

Российская Академия Наук
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
Институт проблем промышленной экологии Севера

VI Всероссийская научная конференция с международным участием

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ



Федеральное агентство научных организаций России

Российская Академия Наук

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием
(посвященная 120-летию со дня рождения Г.М. Крепса и 110-летию со дня рождения
О. И. Семенова-Тян-Шанского)*

10-14 октября 2016 г.

Апатиты
2016

Печатается по решению Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-05-20202-г.

УДК 574.4

ISBN 978-5-91137-322-1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ:

Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук

- Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2016. – 344 с.

VI Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» посвящена 120-летию со дня рождения Г. М. Крепса и 110-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского. Сборник содержит 87 статей, в которых уделено внимание антропогенной и природной динамике тундровых и лесных экосистем, сохранению биоразнообразия, современным тенденциям изменения водных экосистем Севера, геохимии природных сред, моделированию природных процессов и технологическим аспектам охраны окружающей среды, влиянию природных и социально-экономических условий на здоровье человека в районах Крайнего Севера, развитию современных подходов и ресурсосберегающих технологий в природоохранной деятельности. Также анализируется значимость заповедников в сохранении биоразнообразия северных экосистем.

Ответственные редакторы
докт. биол. наук, проф. Г. А. Евдокимова
канд. биол. наук О. И. Вандыш

ISBN 978-5-91137-322-1

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского
научного центра Российской академии наук, 2016

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук, 2016

Federal agency of research organizations of Russia

Russian Academy of Sciences

INSTITUTE OF THE INDUSTRIAL ECOLOGY PROBLEMS OF THE NORTH OF THE KOLA
SCIENCE CENTER OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**ECOLOGICAL PROBLEMS
OF NORTHERN REGIONS
AND WAYS FOR THEIR SOLUTION**

*Proceedings of the VI All-Russian scientific conference
with foreign participants*

October, the 10-14th, 2016

Apatity
2016

Published according to a Resolution of the Scientific Council of the Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences
The conference is supported by RFBR, grant No. 16-05-20202-g.

UDK 574.4

ISBN 978-5-91137-322-1

ECOLOGICAL PROBLEMS OF NORTHERN REGIONS AND WAYS FOR THEIR SOLUTION: Materials of the V All-Russian conference with foreign participants / Institute of the North Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences
- Apatity: Publ.office of the Kola Science Center RAS, 2016. - 344 P.

The sixth All-Russian Conference with foreign participants “Ecological Problems of the Northern Regions and Ways to solve them” is dedicated to 120-th anniversary of G. M. Kreps and 110-th anniversary of O. I. Semenov-Tyan-Shanskiy. The book contains 87 publications and addresses the issues of anthropogenic and natural dynamics of tundra and forest ecosystems, preservation of biodiversity, contemporary trends in aqueous ecosystems of the North, geochemistry of natural media, modelling of natural processes and technological aspects of environmental protection, impact of natural and socio-economic conditions on human health in the Far North, development of approaches to resource-efficient technologies for nature management. Particular attention is paid to importance of nature conservation areas and conservation of biodiversity of the northern ecosystems.

Editors-in-chief:
Dr. of Sc. Galina A. Evdokimova
PhD. Oksana I. Vandysh

ISBN 978-5-91137-322-1

© Institution of the Russian Academy of sciences Institute of North Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 2016

© Kola Science Centre of RAS, 2016

Какое сложное явление – дерево...
Ему на долю пало дело древнее:
Оно глотает солнце, как лимоны.
Потом зеленой хвоей и листвой
Раздаривает это солнце.
Стул деревянен. Деревянен стол.
Но дерево – оно не деревянное.
Илья Сельвинский

Эти строки поэт написал, когда такие экологические проблемы, как «глобальное потепление климата», «озоновые дыры» и проч. еще не были на слуху. Это уже шестое мое предисловие к материалам наших конференций по экологическим проблемам Севера. Порой мне кажется – убери слово «проблема» из названий трудов, конференций, совещаний и будет полегче, хотя бы часть проблем исчезнет. Ну, а пока они по-прежнему остаются. Мир воюет, ожесточается, и природе, породившей нас – людей становится от этого всё тяжелее. Мы не бережем не только природу, но и себя. Трудно представить, но за последнее 10-летие только в автомобильных катастрофах погибло 350 тыс. человек – население среднего по величине города.

Как сказал Д. Самойлов «Хочется, чтоб отвечало всё своему назначению». Чтобы радовали своей чистотой воздух и вода, вдаль звала тропинка в светлом сосновом бору, на нашем столе были экологически чистые продукты без нитратов и антибиотиков. А обитатели океанов не давились полиэтиленом и прочей дрянью с подачи человека.

Отрадно отметить, что в последние годы молодежь нашего Института очень активно занимается экологическим и биологическим образованием населения Мурманской области, передает свои знания следующему поколению. Зерно познания благодатно пробивается в детское сознание, вызывая искренний интерес к окружающему миру. Старшеклассники завоевали много побед на экологических конкурсах различного ранга. Разработан и читается серьезный курс лекций для школьников – участников Мурманской областной очно-заочной школы дополнительного образования «А-Элита».

Октябрь в Заполярье не лучшее время года. Здесь прекрасно в длинный полярный день, золотой осенью с лесом, наполненным грибами и ягодами или в ясный мартовский день с манящими склонами гор и лыжней, идущей среди звенящих серебряными подвесками елей.

Спасибо всем, кто не испугался хмурого северного октября и приехал на конференцию, чтобы встретиться с коллегами и обсудить волнующие вопросы состояния и охраны северной природы, а также выживания научных исследований (и исследователей) в острый кризисный период жизни России. Нам, как никогда, нужна сейчас поддержка друг друга, единение и взаимопонимание.

Профессор Г. А. Евдокимова

FOREWORD

It is the sixth foreword which I prepare for the proceeding of the conference dedicated to ecological problems of the North. Sometimes I think that if there weren't a word "problems" in the title of articles, conferences and meetings, a part of the problems will disappear. However, they are still there. The wars and cruelty of the human world deliver and attack at the nature which gave birth to all of us. We don't take care of not only the nature and ourselves as well. It is difficult to believe that during the recent decade 350 thous. people died in motorcar accidents. This amounts to a population of a medium-size town. As D. Samoilov put it: "I wish everything served its purpose". It is desirable for all of us that the air and water would bring us joy with their cleanness, a path in a bright pine forest would call ahead, safe and clean nitrate-and antibiotic-free food would be served at our tables. I would like that the inhabitants of the oceans not to be poisoned by plastic and other poison through a fault of a human being.

I am glad to notice that young researchers of our Institute have been in recent years actively involved in ecological education for the population of the Murmansk region, transferrin their knowledge to the text generation. The seeds of environmental knowledge are sowed in kids arousing their vital interest in the surrounding world. Under-graduate students of our town have received numerous awards and prizes at ecological competitions of different levels. A course of lectures for school pupils studying at on-site and off-site regional school "A-Elite" is developed and presented.

October is not the best time in the Polar North. It is wonderful here during a long Polar-day period, in autumn when the forests are full with mushrooms and berries or on a sunny March day with admirable mountain slopes and skiing routs among the jingly silver pines.

I am grateful to all those who wasn't afraid of the gloomy and cloudy northern October to come to our conference and meet with colleagues and discuss the issues of the state and conservation of the northern nature, the ways for survival and development of researches (and researchers as well) in the critical moment for Russia. We desperately need the support of each other, unity and mutual understanding.

Professor G. Evdokimova

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

<i>Ананьева Н. Д., Орлова М. А., Иващенко К. В., Роговая С. В., Лукина Н. В.</i> Особенности определения и функционирования микробного компонента почвы ельника в геохимически сопряженном северо-таежном ландшафте Кольского полуострова.....	15
<i>Берлин В. Э.</i> Герман Крепс – организатор и первый директор Лапландского заповедника.....	19
<i>Бобкова К. С., Галенко Э. П.</i> Энерго-массообмен в хвойных экосистемах Европейского Севера (на основе экспериментальных исследований).....	25
<i>Евдокимова Г. А., Иванова Л. А., Мозгова Н. П., Мязин В. А., Фокина Н. В.</i> Опыт по применению биоплато для очистки сточных карьерных вод в арктических условиях...	27
<i>Капелькина Л. П.</i> Самозаращение, почвообразование и рекультивация земель на Кольском полуострове.....	31
<i>Кашулин Н. А.</i> Неизбежна ли деградация ресурсов поверхностных вод Арктики?	35
<i>Лозовик П. А., Галахина Н. Е.</i> Оценка загрязнения вод с использованием различных методических подходов и нормирование сброса сточных вод.....	37
<i>Маслобоев В. А.</i> Изменение климата и экологическая безопасность горной промышленности в Арктике.....	42

Секция 1

**ПРИРОДНАЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ДИНАМИКА
ТУНДРОВЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

<i>Белкина О. А., Лихачев А. Ю.</i> Редкие и охраняемые мхи Волчьих тундр (Мурманская область).....	45
<i>Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В.</i> Динамика фенологических и климатических параметров на примере <i>Betula czerepanovii Orlova</i> в Лапландском заповеднике (Мурманская область).....	48
<i>Берлина Н. Г.</i> Олег Измайлович Семенов-Тянь-Шанский и Лапландский заповедник.....	52
<i>Бойко Н. С., Макарова О. А., Катаев Г. Д.</i> Заяц-беляк (<i>Lepus timidus</i>) в заповедниках Мурманской области.....	56
<i>Васильева Н. П.</i> Особенности расселения эпифитных лишайников в окрестностях медно-никелевого производства.....	59
<i>Гилязов А. С.</i> Дикая северный олень (<i>Rangifer tarandus</i>) западной популяции Кольского полуострова в 1930-2016 годах: динамика численности и современное состояние.....	63
<i>Евтюгина З. А., Копылова Ю. В.</i> Химический состав родниковых и ручьевых вод техногенных пустоши и редколесья (Мончегорский район).....	68
<i>Зенкова И. В.</i> Герпетобионтная мезофауна лесных экосистем в зоне воздействия металлургического комбината «Североникель».....	71
<i>Зенкова И. В., Колесникова А. А.</i> Видовое и трофическое разнообразие жуков-стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) в экосистеме соснового леса на иллювиально-гумусовом подзоле.....	76
<i>Ивантер Э. В., Катаев Г. Д., Окулова Н. М.</i> Пространственно-временная динамика населения красной полёвки (<i>Myodes rutilus</i>) на северо-западной окраине ареала.....	81
<i>Ильященко В. А.</i> Применение программы alis в рекультивации нефтезагрязненных земель в Среднем Приобье Западной Сибири.....	85
<i>Исаева Л. Г., Берлина Н. Г.</i> Мониторинг восстановления растительности на вырубках.....	88
<i>Исаева Л. Г., Ершов В. В.</i> Влияние аэротехногенных выбросов комбината «Североникель» на древостой Лапландского заповедника.....	92
<i>Исаченко Г. А.</i> Некоторые итоги стационарных исследований динамики ландшафтов южной тайги Северо-Запада Европейской России.....	95

<i>Катаев Г. Д., Миронов А. Д.</i> Сбор материала по ритмам флуктуации леммингов <i>lemmus</i> , <i>tuorus</i> на Кольском полуострове.....	99
<i>Комлева Е. В., Самаров В. Н., Непомнящий В. З.</i> Системы захоронения радиоактивных отходов.....	102
<i>Корнейкова М. В., Мозгова Н. П.</i> Микромицеты воздуха и почв полуострова Рыбачий.....	105
<i>Кутявин И. Н., Осипов А. Ф.</i> Запасы углерода в древесном дебрисе среднетаежных сосняков Республики Коми.....	110
<i>Лиханова Н. В., Бобкова К. С.</i> Потоки углерода в системе почва – фитоценоз на вырубке ельников средней тайги (на примере Республики Коми).....	113
<i>Лябзина С. Н., Сиккиля Н. С., Толстогузова О. А., Омарова О. Э.</i> К изучению жесткокрылых, обитающих в органических субстратах заповедника «Костомукшский».....	116
<i>Макарова О. А.</i> К программе ведения длительного мониторинга редких видов в Мурманской области.....	118
<i>Макарова О. А., Поликарпова Н. В.</i> Гармонизация научных исследований вдоль зелёного пояса Фенноскандии.....	121
<i>Мязин В. А., Редькина В. В.</i> Оценка возможности применения злаков <i>Phalaroides arundinacea</i> и <i>Festuca pratensis</i> для восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами.....	125
<i>Пинаевская Е. А.</i> Формовая структура и рост сосны обыкновенной в притундровых лесах Европейского Севера России.....	129
<i>Поликарпова Н. В., Боровичев Е. А., Белкина О. А., Берлина Н. Г., Исаева Л. Г., Урбанавичюс Г. П., Шалыгин С. С., Костина В. А., Урбанавичене И. Н., Мелехин А. В., Андреева Е. Н.</i> Роль Лапландского заповедника в сохранении фиторазнообразия Мурманской области.....	132
<i>Поликарпова Н. В., Макарова О. А., Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В., Толмачева Е. Л., Татаринкова И. П., Чемякин Р. Г.</i> Календарь природы заповедников Мурманской области.....	137
<i>Редькина В. В., Шалыгина Р. Р.</i> Предварительные результаты исследования цианобактериально-водорослевых ценозов в почвах полуострова Рыбачий.....	142
<i>Роговая С. В., Ананьева Н. Д., Иващенко К. В.</i> Микробный компонент почвы хвойных лесов в окрестностях карьера по добыче гранитного щебня (Северо-Западное Приладожье)...	145
<i>Салтан Н. В., Шлапак Е. П.</i> Содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных интродуцентов на урбанизированных территориях Мурманской области.....	149
<i>Сухарева Т. А.</i> Лихеноиндикационные исследования северотаежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения.....	152
<i>Фокина Н. В., Евдокимова Г. А., Корнейкова М. В., Мозгова Н. П., Редькина В. В.</i> Биологическая характеристика почв заповедника «Пасвик» и прилегающих территорий.....	155
<i>Чапоргина А. А., Корнейкова М. В.</i> Нефтеокисляющая активность почвенных микромицетов... 159	159
<i>Шалыгина Р. Р., Редькина В. В.</i> Предварительные результаты анализа таксономического состава водорослей и цианобактерий в хвостах обогащения апатит-нефелиновых руд АНОФ-2.....	163
<i>Kauhanen H., Mattsson J.</i> Are treelines advancing in northernmost europe?.....	165

Секция 2

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА

<i>Бородулина Г. С., Токарев И. В., Крайнюкова И. А.</i> Изотопный состав воды Онежского озера...	169
<i>Валькова С. А.</i> Многолетняя динамика макрозообентоса озера Имандра.....	172
<i>Вандыш О. И., Черепанов А. А.</i> Зоопланктонное сообщество озера Имандра в условиях многолетнего комплексного техногенного воздействия.....	174
<i>Гарин Э. В., Крылова Е. Г.</i> Флора водоёмов и водотоков города Рыбинска (Ярославская область)	178
<i>Даувальтер В. А., Кашулин Н. А.</i> Оценка экологического состояния озера Имандра по результатам исследований химического состава донных отложений.....	181

<i>Денисов Д. Б., Косова А. Л., Николаева С. Б., Толстобров Д. С.</i> Голоценовые диатомовые комплексы донных отложений малого озера в реконструкции палеогеографических обстановок (бассейн озера Имандра, Кольский полуостров).....	186
<i>Ефремова Т. В., Пальшин Н. И.</i> Влияние изменений климата на термический и ледовый режим озер Карелии по данным инструментальных наблюдений	189
<i>Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э., Ефремова Т. В., Тержевик А. Ю.</i> Изменчивость вертикальной термической структуры Петрозаводской губы Онежского озера при развитии весенней подледной конвекции.....	193
<i>Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Терентьев П. М.</i> Некоторые популяционные характеристики внутривидовых группировок сига <i>Coregonus lavaretus</i> (Coregonidae) озера Имандра (Мурманская область).....	197
<i>Королева И. М.</i> О плодовитости сиговых рыб озера Имандра	203
<i>Косова А. Л., Денисов Д. Б.</i> Диатомовые комплексы донных отложений малого горного озера	208
<i>Кучко Я. А., Кучко Т. Ю., Ильмаст Н. В.</i> Современное состояние сообщества зоопланктона озера Сямозеро.....	211
<i>Слуковский З. И., Ильмаст Н. В., Суховская И. В., Борвинская Е. В.</i> Анализ содержания тяжелых металлов в органах рыб озера Ламба (Петрозаводск, Республика Карелия).....	214
<i>Терентьев П. М., Кашулин Н. А.</i> Пространственно-временные особенности накопления тяжелых металлов в рыбах Бабинской Имандры.....	218
<i>Терентьева И. А., Кашулин Н. А., Кудрявцева Л. П.</i> Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод технологического отстойника (озеро Нюдъявр).....	223
<i>Novichkova A. A., Azovsky A. I.</i> Freshwater microcrustaceans (Cladocera, Copepoda) at high latitudes and factors affecting its regional diversity and distribution	227

Секция 3

ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Баярова Ю. Л.</i> Геохимические барьеры для очистки сточных и природных вод от цветных металлов.....	232
<i>Васильева Г. К., Зиннатшина Л. В., Слюсаревский А. В., Стрижакова Е. Р., Кондрашина В. С.</i> Сорбционно-биологическая очистка химически загрязненных почв.....	236
<i>Горбачева Т. Т., Мазухина С. И., Черепанова Т. А., Максимова В. В.</i> Оценка влияния морских аэрозолей на состав атмосферных выпадений (по результатам мониторинговых исследований и физико-химического моделирования)	240
<i>Калинкин А. М., Гуревич Б. И., Мазухина С. И., Калинкина Е. В., Тюкавкина В. В., Серова Е. С.</i> Нефелинсодержащие отходы – компонент геополимерных вяжущих.....	244
<i>Корнейков Р. И., Иваненко В. И., Локшин Э. П.</i> Обоснование перспективности сорбционной очистки технологических жидких отходов от катионов токсичных металлов оксогидроксифосфатами титана (IV).....	248
<i>Кошкина Л. Б., Сулименко Л. П., Некипелов Д. А., Макаров Д. В.</i> Процессы выщелачивания молибденсодержащих руд в зоне техногенеза Хибинского горного массива.....	252
<i>Кошкина Л. Б., Сулименко Л. П., Мингалева Т. А., Макаров Д. В.</i> Разработка сорбционно-активных материалов для очистки молибденсодержащих стоков в технологии кондиционирования сточных вод.....	256
<i>Светлов А. В.</i> Оценка экологической опасности и разработка обогатительно-гидрометаллургических процессов переработки медно-никелевых техногенных образований.....	261
<i>Сулименко Л. П., Мингалева Т. А., Кошкина Л. Б.</i> Роль почвогрунтов и снегового покрова в загрязнении молибденом водных объектов района Хибин.....	265
<i>Лосев А. В., Маслобоев В. А., Амосов П. В.</i> Анализ информации по выбросам черного углерода для региона Кольского полуострова на основе онлайн-сервиса ессad.....	271
<i>Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Сандимиров С. С., Иванов С. В.</i> Формирование химического состава поверхностных вод в Арктике на примере реки Паз.....	275

<i>Маслова М. В., Мазухина С. И., Герасимова Л. Г.</i> Очистка сточных вод горно-металлургических предприятий Баренц-региона с использованием неорганического ионообменного материала на основе фосфата титана.....	278
<i>Маслобоев В. А., Бакланов А. А., Амосов П. В.</i> Исследование влияния скорости ветрового потока и высоты хвостохранилища на загрязнение атмосферы (на базе численного моделирования).....	281
<i>Маслобоев А. В., Бокарева А. В.</i> Мультиагентная система информационной поддержки управления экологической безопасностью региона.....	286
<i>Маслобоев А. В., Семакова Е. А.</i> Мультиагентная система информационной поддержки управления устойчивым развитием моногорода.....	290
<i>Мельников Н. Н., Амосов П. В., Климин С. Г.</i> К вопросу оценки размера области оттаивания криолитозоны посредством интегрирования теплофизических параметров модели.....	294
<i>Миненко В. Г., Суворова О. В., Плетнева В. Е., Макаров Д. В., Самусев А. Л., Силикова А. Р.</i> Возможности получения керамических строительных материалов из сапонитсодержащих отходов ОАО «Севералмаз»	298
<i>Табуркин Л. А., Сванидзе И. Г., Ефимова А. А.</i> Воздействие техногенного галогенеза на ионный и микроэлементный состав реки Аремзянка (Тобольский район Тюменской области).....	301
<i>Федорец Н. Г.</i> Фракционный состав соединений алюминия и железа в альфегумусовых песчаных подзолах Карелии.....	304
<i>Янишевская Е. С., Гершенков А. Ш., Евдокимова Г. А., Каменева Ю. С., Фокина Н. В.</i> Изучение развития и функционирования микроорганизмов в процессе флотации сульфидных медно-никелевых руд на обогатительной фабрике АО «Кольская ГМК»...	308

Секция 4

ЧЕЛОВЕК В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА: СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ

<i>Благодетелева О. М.</i> Вопросы формирования искусственной среды обитания в условиях Крайнего Севера.....	312
<i>Буркин М. М., Молчанова Е. В.</i> Социально-экономические и медицинские аспекты высокой смертности в Северном регионе.....	317
<i>Завадская Т. С., Михайлов Р. Е., Чеботарева Е. Н., Белишева Н. К.</i> Рост микрофлоры в организме женщин, проживающих в Евро-Арктическом регионе в условиях variability гелиогеофизических агентов.....	321
<i>Исаченко Т. Е.</i> Проявление основных тенденций развития рекреационного природопользования в северных промышленных регионах.....	325
<i>Ключникова Е. М.</i> Устойчивое развитие и добыча минерального сырья в Арктике: разработка эффективной системы управления с участием многих заинтересованных сторон. постановка проблемы.....	329
<i>Коломейчук С. Н., Шабалина И. А., Фрадкова Л. И.</i> Генетические аспекты формирования хронотипа у студентов Карелии.....	331
<i>Мартынова А. А., Михайлов Р. Е., Пряничников С. В.</i> Влияние условий труда на variability сердечного ритма женского контингента работников горнорудного производства.....	334
<i>Петрашова Д. А., Пожарская В. В.</i> Цитогенотоксичные эффекты в буккальном эпителии у молодых горнорабочих Мурманской области.....	337
<i>Пожарская В. В., Петрашова Д. А.</i> Цитогенотоксичные эффекты в лимфоцитах периферической крови молодых горнорабочих Мурманской области.....	341

PLENARY SESSION

<i>Ananjeva N. D., Orlova M. A., Ivashchenko K. V., Rogovaya S. V., Lukina N. V.</i> The peculiarities of definition and functioning of soil microbial component in spruce forests in geochemically complementary northern-taiga landscapes in the Kola peninsula	15
<i>Berlin V. E.</i> German Kreps as an organizer and the first director of the Lapland reserve	19
<i>Bobkoa K. S., Galenko E. P.</i> Energy-and-mass transfer in conifer ecosystems of the European North (based on experimental studies)	25
<i>Evdokimova G. A., Ivanova L. A., Mozgova N. P., Myazin V. A., Fokina N. V.</i> Experience of using bioplateau to decontaminate carrier sewages in the arctic	27
<i>Kapelkina L. P.</i> Self-organized vegetation, soil formation and recultivation of lands in the Kola peninsula	31
<i>Kashulin N. A.</i> Is the degradation of surface water resources inevitable in the Arctic?	35
<i>Lozovik P. A., Galakhina N.E.</i> Water pollution assessment using different methodical approaches and regulation of sewage discharge	37
<i>Masloboev V. A.</i> Climate change and environmental security in the Arctic	42

Session 1

NATURAL AND ANTHROPOGENIC DYNAMICS OF TUNDRA AND FOREST ECOSYSTEMS, CONSERVATION OF BIODIVERSITY. UP-TO-DATE APPROACHES AND TECHNOLOGIES IN NATURE CONSERVATION ACTIVITIES

<i>Belkina O. A., Likhachev A. Yu.</i> Rare and protected mosses in Volchja tundra (the Murmansk region)	45
<i>Berlina N. G., Zanzudaeva N. V.</i> Dynamics of phenologic and climate parameters by the example of <i>Betula czerepanovii</i> orlova in Lapland reserve (the Murmansk region)	48
<i>Berlina N. G.</i> Oleg Semenov Tyan-Shanskiy and the Lapland reserve	52
<i>Boiko N. S., Makarova O. A., Kataev G. D.</i> Arctic hare (<i>Lepus timidus</i>) in the reserves of the Murmansk region	56
<i>Vasiljeva N. P.</i> Peculiarities of distribution of epiphytic lichens in the vicinity of copper-nickel production	59
<i>Gilyazov A. S.</i> Wild reindeer (<i>rangifer tarandus</i>) of western population of the Kola peninsula in 1930-2016: population dynamics and the present state	63
<i>Evyugina Z. A., Kopylova Yu. V.</i> Chemical composition of spring and brook waters of technogenic deserts and rare forests (the Monchegorsk district)	68
<i>Zenkova I. V.</i> Herpetobion mesofauna of forest ecosystems in the impact area of Severonikel smelter	71
<i>Zenkova I. V., Kolesnikova A. A.</i> Species and trophic diversity of rove beetles (<i>Coleoptera, Staphylinidae</i>) in the ecosystems of pine forests on illuvial-humus podzol	76
<i>Ivanter E. V., Kataev G. D., Okulova N. M.</i> Spatial-temporal dynamics of population of northern red-backed vole (<i>Myodes rutilus</i>) in the north-western limit of the areal.....	81
<i>Ilyashchenko V. A.</i> Application of alis program for recultivation of oil-contaminated lands in the Middle Ob River Region in the West of Siberia	85
<i>Isaeva L. G., Berlina N. G.</i> Monitoring of vegetation restoration after cuttings	88
<i>Isaeva L. G., Ershov V. V.</i> Impact of air-borne industrial emissions of Severonikel smelter on woodlands of Lapland reserve	92
<i>Isachenko G. A.</i> Some results of stationary studies of landscape dynamics of the southern taiga in the North-West of European Russia.....	95
<i>Kataev G. D., Mironov A. D.</i> Collection of materials according to fluctuation rhythms of lemmings lemmus, myopus in the Kola peninsula	99
<i>Komleva E. V., Samarov V. N., Nepomnyashchiy V. Z.</i> Systems of radioactive wastes disposal	102
<i>Korneykova M. V., Mozgova N. P.</i> Air and soil micromycetes of the Rybachiy peninsula	105
<i>Kutyavin I. N., Osipov A. F.</i> Carbon reserves in wood debris of middle-taiga pine forests in the Komi Republic	110

<i>Likhanova N. V., Bobkova K. S.</i> Carbon losses in a soil – phytocoenosis system in the cuttings of spruce forests of middle taiga (by the example of the Komi Republic)	113
<i>Lyubzina S. N., Sikkila N. S., Tolstoguzova O. A., Omarova O. E.</i> The study of coleoptera inhabiting organic substrates of the Kostomuksha reserve	116
<i>Makarova O. A.</i> About the introduction of long-term monitoring program of rare species of the Murmansk region	118
<i>Makarova O. A., Polikarpova N. V.</i> Harmonization of researches along the green belt of Fennoscandia	121
<i>Myazin V. A., Redkina V. V.</i> Assessment of using cereals <i>Phalaroides arundinacea</i> and <i>Festuca pratensis</i> for soil reclamation after oil contamination.....	125
<i>Pinaevskaya E. A.</i> Form structure and growth of pine in subtundra forests of the European North of Russia	129
<i>Polikarpova N. V., Borovichev E. A., Belkina O. A., Berlina N. G., Isaeva L. G., Urbanavichus G.P., Shalygin S. S., Kostina V. A., Urbanavichene I. N., Melekhin A. V., Andreeva E. N.</i> The role of Lapland reserve in conservation of phytodiversity of the Murmansk region	132
<i>Polikarpova N. V., Makarova O. A., Berlina N. G., Zanuzdaeva N. V., Tolmacheva E. L., Tatarinkova I. P., Chemyakin R. G.</i> Nature calendar in the reserves of the Murmansk region.....	137
<i>Redkina V. V., Shalygina R. R.</i> Preliminary results of study of cyanobacteria-algae conenoses in soils of the Rybachiy peninsula	142
<i>Rogovaya S. V., Ananjeva N. D., Ivashchenko K. V.</i> Microbial component of soils in coniferous forests in the vicinity of a carrier for granite stone extraction (North-Western part of the Ladoga lake region)	145
<i>Saltan N. V., Shlapak E. P.</i> Concentrations of photosynthetic pigments in leaves of introduced species of trees on urbanized territories of the Murmansk region	149
<i>Sukhareva T. A.</i> Lichen –indication studies in northern-taiga forest under conditions of air-borne industrial pollution	152
<i>Fokina N. V., Evdokimova G. A., Korneykova M. V., Mozgova N. P., Redkina V. V.</i> Biological description of soils in pasvik reserve and adjacent territories	155
<i>Chaporgina R. R., Korneykova M. V.</i> Oil-acidifying activity of soil micromycetes	159
<i>Shalygina R. R., Redkina V. V.</i> Preliminary analysis of taxonomic structure of algae and cyanobacteria in processing tailings of apatite-nepheline ores at ANOF-2	163
<i>Kauhanen H., Mattsson J.</i> Are treelines advancing in northernmost europe?.....	165

Session 2
UP-TO-DATE TRENDS IN WATER ECOSYSTEMS
OF THE NORTH

<i>Borodulina G. S., Tokarev I. V., Krainyukova I. A.</i> Water isotope composition of lake Onega	169
<i>Valkova S. A.</i> Long-term dynamics of macrozoobenthos in lake Imandra	172
<i>Vandysh O. I., Cherepanov A. A.</i> Zooplankton community of lake Imandra under conditions of long-term integrated technogenic impact	174
<i>Garin E. V., Krylova E. G.</i> Flora of reservoirs and water-currents of Rybinsk (the Yaroslavl area).....	178
<i>Dauvalter V. A., Kashulin N. A.</i> Environmental state assessment of lake Imandra based on chemical composition analysis of ground sediments.....	181
<i>Denisov D. B., Kosova A. L., Nikolaeva S. B., Tolstobrov D. S.</i> Holocene diatom complexes of ground sediments in a small lake in pelegeographic reconstructions (lake Imandra basin, the Kola peninsula).....	186
<i>Efremova T. V., Palshin N. I.</i> Impact of climate changes on thermal and ice regime of Karelian lakes based on instrumental measurements	189
<i>Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Efremova T. V., Terzhevik A. Yu.</i> Flexibility of vertical thermal structure of Petrozavodskaya bay of lake Onega under conditions of spring under-ice convection	193
<i>Zubova E. M., Kashulin N. A., Terentjev P. M.</i> Some population characteristics of intraspecific groups of whitefish coregonus lavaretus (coregonidae) of lake Imandra (the Murmansk region)	197
<i>Koroleva I. M.</i> About the productivity of whitefish in lake imandra	203
<i>Kosova A. L., Denisov D. B.</i> Diatom complexes of ground sediments in a small mountain lake	208

<i>Kuchko Ya. A., Kuchko T. Yu., Ilmast N. V.</i> Contemporary state of zooplankton community of lake Syamozero.....	211
<i>Slukovskiy Z. I., Ilmast N. V., Sukhovskaya I. V., Borvinskaya E. V.</i> Analysis of heavy metal concentrations in fish organs in lake Lamba (Petrozavodsk, the Republic of Karelia)	214
<i>Terentjev P. M., Kashulin N. A.</i> Spatial-temporal peculiarities of heavy metal accumulation in fish of lake Babinskaya Imandra	218
<i>Terentjeva I. A., Kashulin N. A., Kudryavtzeva L. P.</i> Anthropogenic changes of water hydrochemical indices in a technological sediment basin (lake Nyudjavr).....	223
<i>Novichkova A. A., Azovsky A. I.</i> Freshwater microcrustaceans (<i>Cladocera</i> , <i>Copepoda</i>) at high latitudes and factors affecting its regional diversity and distribution	227

Session 3

GEOCHEMISTRY OF NATURAL MEDIA, MODELLING OF NATURAL PROCESSES AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION

<i>Bayurova Yu. L.</i> Geochemical barriers for purification of sewage and natural waters from non-ferrous metals	232
<i>Vasiljeva G. K., Zinnatshina L. V., Slyusarevskiy A. V., Strizhakova E. R., Kondrashina V. S.</i> Sorption-biological purification of chemically polluted soils	236
<i>Gorbacheva T. T., Mazukhina S. I., Cherepanova T. A., Maksimova V. V.</i> Impact assessment of marine aerosols on composition of atmospheric precipitations (results of monitoring and physico-chemical modelling).....	240
<i>Kalinkin A. M., Gurevish B. I., Mazukhina S. I., Kalinkina E. V., Tyukavina V. V., Serova E. S.</i> Nepheline – containing wastes as a component of geopolymeric binding agents.	244
<i>Korneykov R.I., Ivanchenko V.I., Lokshin E.P.</i> Viability justification of sorption purification of technological liquid wastes from cations of toxic metals by titanium oxohydroxofosphates (iv).....	248
<i>Koshkina L. B., Sulimenko L. P., Nekipelov D. A., Makarov D. V.</i> Leaching of molybdenum-containing ores in technogenesis area in the Khibiny mountain massif	252
<i>Koshkina L. B., Sulimenko L. P., Mingaleva T. A., Makarov D. V.</i> Development of sorption-active materials for purification of molybdenum-containing sewages during the conditioning of sewage waters.....	256
<i>Svetlov A. V.</i> Environmental impact assessment and development of concentration-hydrometallurgical processes for treatment of copper-nickel technogenic formations.....	261
<i>Sulimenko L. P., Mingaleva T. A., Koshkina L. B.</i> The role of soils and snow cover in molybdenum pollution of water bodies in the Khibiny mountains	265
<i>Losev A. V., Masloboev V. A., Amosov P. V.</i> Data analysis related to black carbon emissions in the Kola peninsula basing on eccad online service	271
<i>Mazukhina S. I., Masloboev V. A., Sandimirov S. S., Ivanov S. V.</i> Forming of chemical composition of surface waters in the Arctic by the example of Paz river	275
<i>Maslova M. V., Mazukhina S. I., Gerasimova L. G.</i> Purification of sewage waters of mining and metallurgical enterprises of the Barents region using inorganic ion-exchange material based on titanium phosphate.....	278
<i>Masloboev A. V., Baklanov A. A., Amosov P. V.</i> Study of the impact of wind stream velocity and the height of tailing dump on air pollution (based on numerical modelling)	281
<i>Masloboev A. V., Bokareva A. V.</i> Multiagent system of data support for environmental safety management on the region.....	286
<i>Masloboev A. V., Semakova E. A.</i> Multiagent system for data support of sustainable development in a monotown	290
<i>Melnikov N. N., Amosov P. V., Klimin S. G.</i> On the issue of melting area size assessment of a cryolithic zone using integration of thermophysical properties of a model	294
<i>Minenko V. G., Subvoorova O. V., Pletneva V. E., Makarov D. V., Samusev A. L., Silikova A. R.</i> Opportunities for production of ceramic materials from saponite-containing wastes of Severalmaz Company OAO.....	298
<i>Taburkin L. A., Svanidze I. G., Efimova A. A.</i> Impact of technogenic halogenesis on ionic and microelemental composition of river Aremzyanka (the Tobolsk district of the Tumen region)	301

<i>Fedoretz N. G.</i> Fraction composition of aluminium and iron compounds in alfehumus sand podzols of Karelia	304
<i>Yanishevskaya E. S., Gershenkop A. Sh., Evdokimova G. A., Kameneva Yu. S., Fokina N. V.</i> Study of development and functioning of microorganisms during floatation of sulfide copper-nickel ores at a concentration plant of Kola Mining and Metallurgical Company AO.....	308

Session 4

HUMAN BEING IN THE HIGH NORTH: SOCIAL-ECONOMIC AND MEDICAL ASPECTS

<i>Blagodeteleva O. M.</i> About forming artificial habitat in the High North	312
<i>Burkin M. M., Molchanova E. V.</i> Socio-economic and medical aspects of heavy mortality in the Northern Region	317
<i>Zavadskaya T. S., Mikhailov R. E., Chebotareva E. N., Belosheva N. K.</i> Growth of bacterial population in organisms of women leaving in Euro-Arctic region under conditions of flexibility of heliogeophysical agents	321
<i>Isachenko T. E.</i> Main trends in development of recreational nature management in northern industrial region.....	325
<i>Klyuchnikova E. M.</i> Sustainable development and mineral production in the Arctic: development of efficient management system with participation of various stakeholders. problem setting	329
<i>Kolomeychuk S. N., Shabalina I. A., Fradkova L. I.</i> Genetic aspects related to chronotype development of Karelian students.....	331
<i>Martynova A. A., Mikhailov R. E., Pryanichnikov S. V.</i> Effect of labor conditions on variability of heart rhythm of women working at mining enterprises.....	334
<i>Petrashova D. A., Pozharskaya V. V.</i> Citogenotoxic effects in buccal epithelium of young-aged mining workers in the Murmansk region	337
<i>Pozharskaya V. V., Petrashova D. A.</i> Citogenotoxic effects in lymphocytes of peripheric blood of young mining workers in the Murmansk region	341

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

Н. Д. Ананьева¹, М. А. Орлова², К. В. Иващенко¹, С. В. Роговая¹, Н. В. Лукина²

¹*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино*

²*Центр по проблемам экологии продуктивности лесов РАН, г. Москва*

ananyeva @rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОБНОГО КОМПОНЕНТА ПОЧВЫ ЕЛЬНИКА В ГЕОХИМИЧЕСКИ СОПРЯЖЕННОМ СЕВЕРО-ТАЕЖНОМ ЛАНДШАФТЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА¹

Микробный компонент почвы – это совокупность микроорганизмов, основная функция которых направлена на разложение растительного материала. Для понимания функционирования микробного компонента в разных почвах и наземных экосистемах необходима информация об его обилии, активности и структуре. Среди методов, позволяющих оценивать эти показатели, выделяют субстрат-индуцированное дыхание (СИД). Оно основано на регистрации избыточного дыхания почвенных микроорганизмов *in situ* (образование CO_2) при внесении дополнительного источника углерода и энергии (глюкоза – один из основных метаболитов целлюлозы) с последующим расчетом их биомассы (Перт, 1978; Anderson, Domsch, 1978). Дыхание микроорганизмов почвы после внесения глюкозы следует регистрировать через короткий период времени ($\leq 5-6$ ч), за который происходит ее окисление и соокисление, а не потребление (исключить размножение клеток). Установлено, что первоначальная максимальная скорость дыхания микроорганизмов после обогащения почвы пропорциональна их биомассе, которую часто выражают в единицах углерода – $C_{\text{мик}}$. Поэтому определение $C_{\text{мик}}$ разных почв методом СИД следует предварять экспериментами, оценивающими продолжительность инкубации конкретной почвы с глюкозой и ее концентрацию. Преимущества метода СИД связаны с высокой чувствительностью, воспроизводимостью и низкой время- и трудозатратностью по сравнению с другими. Кроме того, он дает представление об активности почвенного микробного пула (Ananyeva et al., 2008; Vlagodatskaya, Kuzyakov, 2013), но для почв с $\text{pH} \geq 8.5$ и $\leq 2-3$ его применять не следует.

Комбинация метода СИД с селективными ингибиторами (СИ) дыхания эукариотных и прокариотных микроорганизмов позволяет разделить их вклад и, тем самым, определить структуру микробного сообщества, выраженным отношением грибов (Г) / бактерии (Б) (Ananyeva et al., 2015). Дыхание микроорганизмов небогатой почвы (базальное дыхание, БД) отражает их эмиссионную (поток CO_2) и минерализационную (разложение органического вещества) способность. Наша работа была нацелена на изучение особенностей функционирования микробного компонента почвы северо-таежного леса разных частей геохимически сопряженного ландшафта и методических процедур их характеризующих (преимущественно $C_{\text{мик}}$ и Г / Б).

Объекты и методы исследования

Локализация, отбор образцов. Исследовали иллювиально-железистый подзол подкronовых пространств ельника кустарничково-зеленомошного ($E_{\text{КЗ}}$) автоморфной, транзитной и аккумулятивной частей геохимически сопряженного ландшафта ($67^{\circ}29'$ с.ш. и $34^{\circ}32'$ в.д., центральная часть Кольского полуострова, южный берег озера Умбозеро), в пяти точках которых (площадка 25×25 м) отбирали образцы (всего 75) органогенных (L, F, H) и минеральных (E, B) горизонтов (из пяти локализаций каждого).

Методы

Микробиологические. Навеску образца (2 и 1 г) помещали во флакон (объем 15 мл), добавляли раствор глюкозы (0.1 и 0.3 мл г^{-1} , 10 и 20 мг г^{-1} почвы и растительного субстрата соответственно), герметично закрывали и фиксировали время (Anderson, Domsch, 1978; Ананьева и др., 2011). Скорость СИД образцов разных почвенных локализаций измеряли (газовый хроматограф

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-04-00915 и 16-34-00398.

Кристаллюкс 4000М) в интервале от 2-х до 4.5 ч (каждые 0.5 ч). Величину $C_{\text{мик}}$ (мкг С г^{-1} почвы) рассчитывали по формуле: начальное максимальное СИД (мкл $\text{CO}_2 \text{ г}^{-1}$ почвы ч^{-1}) $\times 40.04 + 0.37$ (Anderson, Domsch, 1978). Скорость БД (мкг $\text{CO}_2\text{-C г}^{-1} \text{ч}^{-1}$) определяли как для СИД, только вместо раствора глюкозы добавляли воду, продолжительность инкубации – 24 ч. Рассчитывали отношение $\text{БД} / C_{\text{мик}} = q\text{CO}_2$ (мкг $\text{CO}_2\text{-C мг}^{-1} C_{\text{мик}} \text{ч}^{-1}$) и долю $C_{\text{мик}}$ в $C_{\text{орг}}$ почвы (%).

Стрептомицина сульфат ($\text{C}_{21}\text{H}_{39}\text{N}_7\text{O}_{12} \times 3\text{H}_2\text{SO}_4$, водный раствор) и циклогексимид ($\text{C}_{15}\text{H}_{23}\text{NO}_4$, порошок) вносили в почву по отдельности и вместе, добавляли глюкозу (10 и 20 мг г^{-1} почвы и субстрата соответственно) и измеряли СИД. Циклогексимид добавляли в почву за 4 ч до внесения глюкозы, а стрептомицин – за 0.5 ч (Сусьян и др., 2005). Рассчитывали коэффициент перекрытия активности антибиотиков – ПАА (Bailey et al., 2002) и отношение Г / Б (Lin, Brookes, 1999).

До начала микробиологических измерений почву просеивали через сито, растительный субстрат измельчали ножницами, увлажняли до 55 и 250% полной влагоемкости соответственно и предынкубировали (22°C, 7 сут.).

Химические. Содержание $C_{\text{общ}}$ почвы определяли бихроматным окислением (Тюрин), $N_{\text{общ}}$ – сернокислым (Кьельдаль), рН – потенциометрически.

Статистика. Измерение СИД и БД проводили в 4-х повторностях, СИ – 2-х. Расчет выполнен на вес сухой почвы (105°C, 8 ч), результаты – среднее \pm стандартное отклонение. Сравнение СИД разного времени инкубации (всего 6) и микробиологических параметров почвы ($C_{\text{мик}}$, БД, $q\text{CO}_2$ и $C_{\text{мик}} / C_{\text{орг}}$) разных частей ландшафта проводили тестом Краскела-Уолиса. Визуализацию данных осуществляли в программе Statistica 10.0 (box-plot), динамику СИД – в Excel.

Результаты

Горизонты профиля подзола имели кислую реакцию (рН 4.1-5.4), содержание $C_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в органогенных горизонтах было в 40-73 и 33-68 раз больше, чем минеральных соответственно (табл.1). Отношение С / N в органогенных горизонтах было выше, чем в минеральных (28-33 и 17-22 соответственно). Наибольший запас подстилки органогенных горизонтов был отмечен в автоморфном ландшафте, меньший – в транзитном и аккумулятивном (7.61, 4.27 и 3.71 кг м^{-2} соответственно).

Особенности определения $C_{\text{мик}}$ почвы методом СИД. Скорость СИД органогенных горизонтов была почти на порядок больше, чем минеральных (рис. 1). Установлено также, что в горизонтах L и F величина СИД в интервале 2-4.5 ч значимо ($p \leq 0.05$) не различалась, однако для 2 и 2.5 ч коэффициент вариации (CV) среднего был высоким (20-50%), а для 3-4.5 ч – меньшим (1-10%). В нижнем органогенном горизонте H и минеральных (E, B) величина СИД для 2 и 2.5 ч была значимо меньше и с высоким CV, чем для 3-4.5 ч. Поэтому для устойчивого определения $C_{\text{мик}}$ растительных и минеральных горизонтов подзола методом СИД время инкубации с глюкозой должно составлять не менее 3-4.5 ч. Показано также, что концентрация глюкозы, обеспечивающая наибольшее СИД в органогенных горизонтах составила 20 мг г^{-1} субстрата, а минеральных – 10 мг г^{-1} почвы (данные не показаны).

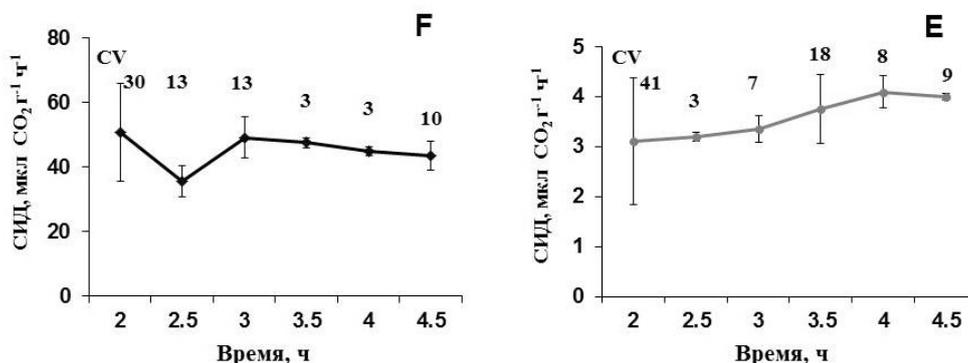


Рис.1. Динамика субстрат-индуцированного дыхания (СИД) органогенного (F, транзитный ландшафт) и минерального (E, автоморфный) горизонтов иллювиально-железистого подзола ельника кустарничково-зеленомошного (коэффициент вариации)

Показатели $C_{\text{мик}}$, $q\text{CO}_2$, $C_{\text{мик}} / C_{\text{общ}}$ горизонта F разных частей ландшафта значимо не различались, а БД – было меньше в аккумулятивном (рис.2). В минеральном горизонте E аккумулятивной части ландшафта величины $C_{\text{мик}}$, БД и $C_{\text{мик}} / C_{\text{общ}}$ были в среднем меньше, чем автоморфной и транзитной, указывая, тем самым, на менее благоприятные условия функционирования микробного сообщества этой локализации. И если в растительном горизонте F транзитного ландшафта скорость БД значимо не отличалась от автоморфной, то в минеральном E – отличие выявлено. Показатель $q\text{CO}_2$ разных горизонтов профиля подзола был довольно высоким ($>3 \text{ мкг CO}_2\text{-C мг}^{-1} \text{ C}_{\text{мик}} \text{ г}^{-1}$), однако значимого различия для частей ландшафта не показано.

Таблица 1

Запас растительной подстилки (ЗП), плотность (П) минеральных горизонтов и химические свойства иллювиально-железистого подзола ельника в сопряженных частях ландшафта (пространственное варьирование, n = 5 для каждой части)

Горизонт (мощность, см)	ЗП, кг м ⁻² (для L, F, H); П, кг м ⁻³ (для E, B)	pH _{H2O}	C _{общ} , %	N _{общ} , %	C / N
Автоморфная					
L (1-2)	0.93±0.17	4.88±0.16	51.6±3.8	1.60±0.08	31±2
F (3-4)	2.10±1.21	4.37±0.26	51.7±3.6	1.65±0.13	31±1
H (1-3)	4.58±0.62	4.09±0.26	35.9±7.5	0.98±0.20	36±5
E (4-6)	1.03±0.10	4.34±0.20	1.0±0.2	0.04±0.01	22±2
B (10-22)	1.03±0.05	4.89±0.17	2.2±0.4	0.10±0.02	22±2
Транзитная					
L (2-3)	0.27±0.08	5.27±0.12	48.3±2.9	1.75±0.08	28±2
F (3-4)	0.40±0.04	5.05±0.36	51.3±4.2	2.03±0.37	26±3
H (2-3)	3.60±0.38	4.31±0.37	49.2±4.6	1.49±0.22	33±2
E (5-10)	1.24±0.72	4.51±0.33	0.7±0.2	0.03±0.01	24±4
B (9-14)	0.94±0.46	5.10±0.21	1.6±0.6	0.51±0.60	17±3
Аккумулятивная					
L (1-2)	0.43±0.17	4.91±0.23	49.1±4.5	1.66±0.16	30±4
F (2-6)	0.72±0.34	4.27±0.08	49.3±5.4	1.54±0.31	33±4
H (4-8)	2.69±0.27	4.65±0.49	52.4±3.6	1.66±0.51	28±3
E (3-6)	Не опред.	5.42±0.75	1.3±1.3	0.05±0.02	17±6
B (6-8)	Не опред.	5.24±0.61	2.3±1.2	0.65±0.62	19±5

Особенности определения вклада грибов и бактерий в общее СИД. Стрептомицин вносили в почву (активность зависит от pH) в концентрации от 20 до 100, циклогексимид – от 50 до 100 мг г⁻¹. Подавление СИД двумя антибиотиками в изученной почве, сопровождаемое удовлетворительным значением ПАА (0.92-1.11), составило 52-92%, в среднем – 63% (табл.2). Вклад грибов в общее СИД был доминирующим по сравнению с бактериями (67-97%), он достигал в среднем 84, 81 и 82% для автоморфной, транзитной и аккумулятивной частей ландшафта соответственно.

Таким образом, почвы еловых северо-таежных лесов, имеющие маломощный профиль, обладают высокой микробиологической биогенностью и дыхательной микробной активностью органогенных горизонтов и низкой – минеральных, что индицирует их как «хрупкую» и «уязвимую» биосистему. Микробный компонент профиля подзола в аккумулятивной части ландшафта характеризуется низкой дыхательной, а значит минерализационной, активностью по сравнению с другими. К тому же, показатели микробного сообщества ($C_{\text{мик}}$, БД, $C_{\text{мик}} / C_{\text{общ}}$) минерального горизонта аккумулятивной части ландшафта существенно меньше таковых автоморфной и транзитной, что также свидетельствует о неблагоприятных условиях его функционирования в этой локализации.

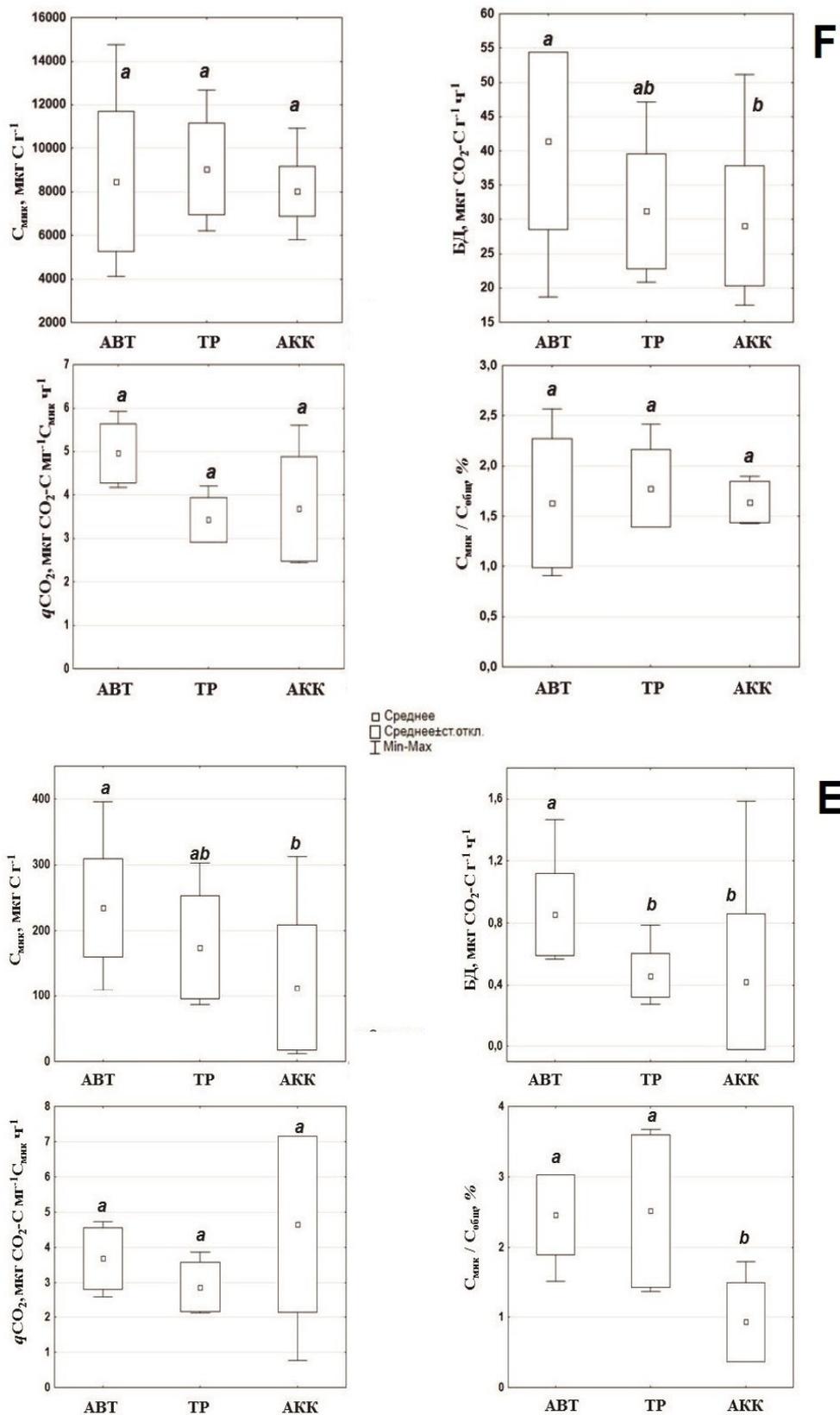


Рис.2. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), скорость базального дыхания (БД), микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$) и доля $C_{\text{мик}}$ в общем углероде ($C_{\text{общ}}$) органогенного F и минерального E горизонтов иллювиально-железистого подзола ельника кустарничково-зеленомошного в автоморфной (АВТ), транзитной (ТР) и аккумулятивной (АКК) частях ландшафта

Таблица 2

Концентрация стрептомицина (С) и циклогексимида (Ц) для наибольшего подавления субстрат-индуцированного дыхания (СИД), коэффициент перекрытия активности антибиотиков (ПАА) и отношение грибы и бактерии (Г / Б) в профиле подзола ельника в автоморфном (АВТ), транзитном (ТР) и аккумулятивном (АКК) частях ландшафта

Ландшафт	Гор.	С+Ц, мг г ⁻¹	Угнетение СИД, % от контроля	ПАА	Г / Б, %	Г / Б
АВТ	L	80+100	52±4	0.92	77±8 / 15±0	4.9
	F	100+50	70±1	1.09	79±3 / 30±16	2.6
	E	20+50	92±1	1.11	95±1 / 16±0	5.9
ТР	L	40+100	57±7	1.02	77±3 / 25±6	3.1
	F	60+50	52±5	1.01	92±3 / 9±0	10.2
	H	10+50	56±4	0.97	75±17 / 22±10	3.4
	E	30+50	83±8	1.09	81±1 / 23±9	3.5
АКК	L	40+100	61±3	0.98	67±3 / 32±1	2.1
	F	80+50	57±1	0.99	81±6 / 18±0	4.5
	H	20+50	53±15	1.10	97±18 / 12±0	8.1

Литература

1. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327-1333.
2. Сусьян Е.А., Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В. Разделение грибного и бактериального субстрат-индуцированного дыхания с использованием антибиотиков в почвах разных экосистем // Микробиология. 2005. Т. 74. № 3. С. 394-400.
3. Перт С.Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. М.: Мир, 1978. 330 с.
4. Ananyeva N.D., Castaldi S., Stolnikova E.V., Kudryarov V.N., Valentini R. Fungi-to-bacteria ratio in soils of European Russia // Archives of Agronomy and Soil Science. 2015. V. 61. P. 427-446.
5. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Chernova V., Wirth S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // European Journal of Soil Biology. 2008. V. 44. P. 147-157.
6. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol Biochem. 1978. V. 10. P. 215-221.
7. Bailey V.L., Smith J.L., Bolton H.Jr. Fungal-to-bacterial biomass ratios in soils investigated for enhanced carbon sequestration // Soil Biol Biochem. 2002. V. 34. P. 997-1007.
8. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches // Soil Biol Biochem. 2013. V. 67. P. 192-211.
9. Lin Q., Brookes P.C. Comparison of substrate-induced respiration, selective inhibition and biovolume measurements of microbial biomass and its community structure in unamended, regrass-amended, fumigated and pesticide-treated soils // Soil Biol Biochem. 1999. V. 31. P. 1999-2014.

В. Э. Берлин

Редакция альманаха "Живая Арктика", г. Анапиты
valeraberlin@rambler.ru

ГЕРМАН КРЕПС – ОРГАНИЗАТОР И ПЕРВЫЙ ДИРЕКТОР ЛАПЛАНДСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Не тех, кто щедрою увенчанный судьбою,
Нередко получал награду сверх цены;
Но тех, кто душу нам, отдав, с ее красою,
Забывает, молчит и спит, мы помянуть должны...*

А. П. Семенов-Тянь-Шанский

В мае 2016 г. исполнилось 120 лет со дня рождения Г. М. Крепса (1896-1944), геоботаника, зоолога, этнографа. С его именем связаны первые советские экспедиции по Кольскому полуострову,

имевшие впоследствии огромное народнохозяйственное значение. Ему принадлежит идея создания самого северного в нашей стране Лапландского заповедника.

Герман Михайлович Крепс родился 12 мая 1896 г. в семье потомственных медиков. Его отец – известный всему Петербургу врач-уролог Михаил Львович Крепс, с именем которого в медицине связана одна из первых и оригинальных методик дробления камней в почках. Среди его пациентов были – министр финансов С.Ю. Витте, министр земледелия Куломзин, английский посол Бьюкенен и др. В советское время, уже, будучи профессором, М. Л. Крепс возглавлял в Ленинграде Институт усовершенствования врачей, где и работал до конца своих дней.

Герман был старшим из детей, вместе с ним росли еще два брата и сестра. Дружной и гостеприимной была эта семья. Всегда у них толпился народ. Возможно, близость Географического общества повлияла на круг друзей и знакомых семьи Крепсов. Частыми гостями здесь были ученые, литераторы, путешественники, вернувшиеся из дальних странствий. Устроившись в глубоком кресле в дальнем углу комнаты, Герман с братом Евгением жадно всматривались в мужественные лица. Мальчиков отправляли спать, а уходить так не хотелось! Судьба еще уготовит им немало встреч на жизненных дорогах с замечательными людьми своего времени. Среди них будут Нансен и Амундсен, Павлов и Орбели, Горький, Пришвин и Соколов-Микитов...

Когда Герману исполнилось 12 лет, дядя подарил ему маленькую винтовку типа теперешней «тозовки». В зарослях вокруг дачи Герман совершает свои первые путешествия по воображаемым джунглям. Мало кто видел его стреляющим, однако фантазировать о своих трофеях он мог часами.

После подготовительных классов Германа и Евгения отдали в Тенишевское училище, одно из лучших петербургских учебных заведений. Затем дороги братьев разошлись. В отличие от брата, Герман Крепс, нарушив семейные традиции, поступает в Новоалександрьевский сельскохозяйственный институт, организованный в конце 80-х годов прошлого столетия великим русским естествоиспытателем В. В. Докучаевым. Во время учебы в институте Герман Крепс сблизился с географом А. А. Григорьевым (1883–1968), находившимся в те годы под влиянием новых направлений в естествознании.

Один из организаторов Географического института в Ленинграде, академик Андрей Александрович Григорьев, вырастил славную плеяду советских географов. Среди них и известный исследователь Крайнего Севера Г. Д. Рихтер, с которым Г. М. Крепса свяжет многолетняя дружба. Как выдающийся географ-теоретик, А. А. Григорьев стал одним из основоположников современной географии. Именно ему принадлежит учение о физико-географической оболочке, о типах географической среды, во многом определившее развитие целого ряда важнейших направлений современной науки.

Вскоре после Октябрьской революции А. А. Григорьев предлагает молодому выпускнику сельскохозяйственного института Г. М. Крепсу провести обследование торфяных болот во Владимирской губернии. Написанная Крепсом по возвращении из Берендеева царства научная статья о строении и жизни болот Владимирской губернии, полностью оправдала надежды его учителя. Несомненно, также, что плодотворные идеи Григорьева о комплексном изучении природной среды имели решающее значение для дальнейшего формирования Германа Крепса как вдумчивого и разностороннего исследователя. Профессор Н. И. Прохоров предлагает ему возглавить агрономическую службу Почвенно-ботанического отряда Мурманской железной дороги. И вот в 1920 г. начинается «северная одиссея» Германа Крепса.

«Я схватил свое счастье, как птицу на лету, одним метким выстрелом», – писал в одном из своих дневников Михаил Пришвин. Край непуганых птиц стал судьбой и для Германа Крепса. В начале 1930-х в Хибинах произошло их знакомство (об этой встрече Пришвин даже написал рассказ «Кривая берёзка»). Бывал Пришвин и на московской квартире Крепса, где, по словам супруги Германа Михайловича, «они вели длинные беседы о будущем природы планеты».

Еще в студенческие годы Г. М. Крепс научился видеть в растениях друзей. Ведь это те же живые существа – они рождаются и умирают, они дышат, пьют воду и страдают от голода. Поэтому главная задача агронома – познать душу Растения, стать его другом в общем доме Природы. Особенно остро Крепс ощутил эту связь на Кольском Севере, куда он отправляется летом 1920 года. Вначале ему предстоит работа на «Мурманке» (Крепс консультирует служащих железной дороги по организации приусадебных хозяйств).

В сентябре 1921 г. по заданию Колонизационного отдела Мурманской ж.д. Крепс вместе с Н. И. Прохоровым и О. И. Кузёновой отправляется в экспедицию для геоботанического обследования бассейна реки Чуны (это было первое знакомство Германа Крепса с одним из районов

Чуна-тундры, впоследствии ставшего частью Лапландского заповедника). Географ С. Г. Григорьев в отчете ещё об одной экспедиции 1921 г. в западные районы озера Имандра также пишет об участии в ней Германа Михайловича, Крепс наносил на карту места, удобные для покосов, пишет образцовую статью на эту тему.

Весной 1922 г. Г. М. Крепс вместе с метеорологом К. Д. Доброхотовым (под руководством проф. Н. И. Прохорова) начинают работы по организации Хибинского агроклиматического пункта. Около наскоро срубленной избушки Крепс и Доброхотов раскорчевывают, распахивают первый гектар болотистой северной земли и делают посадки нескольких сельскохозяйственных культур. В хозяйстве у них лошадь, плуг, борона и пара охотничьих собак. Под окнами избушки Крепс посадил цветы – настурцию, резеду, прекрасно разросшиеся уже в первое лето.

Началом работ в Хибинах всерьёз заинтересовался Николай Иванович Вавилов. Знаменитому академику давно уже хотелось иметь в России самую северную точку так называемых географических посевов для изучения географической изменчивости признаков у культурных растений. В 1923 г. опытная агрономическая станция, уже стараниями Иогана Гансовича Эйхфельда, будет преобразована в Полярную опытную агрономическую станцию Всесоюзного института растениеводства (ПОСВИР), и на долгое время станет флагманом в мировой практике полярного земледелия.

Экономическое освоение глубинных районов Кольского полуострова было бы невозможно без всестороннего изучения численности и быта коренного населения – саамов. С этой целью Мурманское Губстатбюро решило организовать экспедицию в восточные малоизученные районы Кольского полуострова. Участвовать в этой экспедиции был приглашен Г. М. Крепс. Ему поручалось собрать этнографический материал, а также вести фотографическую съемку в маршруте.

Вот как поэтически описывает Герман Крепс начало путешествия: «Как зачарованный стоит обряженный снегом безмолвный лес; светло как днем; лесистые увалы сменяют открытые болота, окруженные черной зубчатой стеной стройных, как свечи, полярных елей. Целина снега изредка нарушается четкими убегающими вдаль следами куропаток. Мороз крепчает, луна обходит свой круг по небу, теперь она сзади и справа, а с южной стороны начинают показываться белые вершины гор – это северные отроги Хибин, которые дальше к востоку переходят в горы Ловозерской тундры. Отдельные грани гор, покрытые обледенелым и отшлифованным ветрами снегом, светятся тихим холодным блеском... Через каждые 10-15 верст делаем остановку – дать отдохнуть оленям – потом дальше и дальше...».

Уже в первые годы работы в Заполярье Крепс понял, насколько ранима хрупкая северная природа и как невозполнимы могут быть потери при неразумном обращении с ней. Так, в одной из своих работ Крепс подчеркивает, что «к оленному хозяйству нельзя подходить с обычной меркой, применяемой вообще к скотоводству: понятие тесноты и перенаселенности здесь совершенно иное, так как ягель, объединенный оленем, вырастает снова лишь через 10, а то и 20 лет...».

Обращаясь в адрес Понойского волостного съезда, который должен был состояться в январе 1924 г., Г. М. Крепс с горечью писал, «что в настоящее время приходится наблюдать постепенную гибель саамского оленьего хозяйства...». И нужно отметить, что Понойский волостной съезд принял в этом отношении достаточно действенные меры, защитив интересы коренного населения.

«Ни дня без дороги» – давно уже стало девизом Германа Крепса. Суровый северный лес задал тон всей его жизни. Там возле горящих углей костра, на краю безмолвного лесного одиночества, научился он понимать глубочайшие звуки Природы, постигать их первозданность, их величие. Однако любовь к северной природе не стала для Г. М. Крепса самоцелью. Он все время ищет нового приложения своим знаниям и в конце 1923 г. с удовольствием принимает предложение профессора А. А. Клюге о работе на Мурманской биологической станции.

Вместе с почвоведом Н. Н. Спасским, Крепс проводит геоботаническое обследование торфяников Большого Оленьего острова в Кольском заливе. Исследования подтвердили целесообразность разработки и добычи крайне дефицитного в этих местах топлива. В работах Мурманской биостанции появляется их совместная статья «Очерк растительности Большого Оленьего острова».

Положение острова в Кольском заливе не далеко от выхода в открытое море на пути пролета птиц, удобные и разнообразные места остановок, кормежки и гнездовья, превращали его как бы в естественный зоологический сад, где на небольшой площади были сконцентрированы почти все представители местной орнитофауны. И не случайно, в журнале «Вестник Карело-Мурманского края» появляется статья Крепса, где он говорит о необходимости организовать охрану Б. Оленьего острова. Герман Михайлович пишет, что охота, которая здесь издавна велась, а с начала 1920-х годов

без всякого, на то, соблюдения законных сроков, а также вырубка деревьев (для браконьерских костров), хищнический сбор яиц и гагачьего пуха, привели к почти полному опустошению столь богатого в прежние пернатый населением острова. И он начинает активную кампанию, в результате которой Мурманская биостанция получает в свое ведение Большой Олений остров для организации на нём заказника! Охрана острова в первый же год дала свои результаты: здесь загнездились и спокойно вывели птенцов многочисленные колонии птиц.

Однажды, гуляя по живописному острову, Крепс обратил внимание на продолговатые камни необычайной конфигурации на поверхности торфяника. Приглядевшись он увидел очертания, очень похожие на человеческий скелет. Делать раскопки Герман не решился – здесь нужна была работа специалистов. Вот так, неожиданно, Крепс становится одним из участников открытия самого древнего могильника (эпохи неолита) на территории Мурманской области.

В своих газетных публикациях Крепс неоднократно обращает внимание читателей и на тот факт, что "охота на оленей, которая, хотя и запрещена для всей европейской части России, в Лапландии производится совершенно свободно, причем ведется главным образом по насту, бьют и самок и телят... В целях защиты дикого оленя нужно было бы организовать заповедник в местности, где он еще держится». Эту мысль о создании оленьего заповедника Г. М. Крепс впервые высказал на страницах «Мурманского вестника» в 1925 г.

Осенью 1924 г. Мурманская биологическая станция направляет на Имандру небольшую исследовательскую партию. Вместе с Г. М. Крепсом, возглавившим первую экспедицию, отправились ихтиолог Ф. В. Крогиус (ставшая впоследствии женой Г. М. Крепса), почвовед Ф. К. Белова и биолог М. Н. Михайлов (будущий первый директор Мурманского краеведческого музея). Скоро к ним присоединится и географ Г. Д. Рихтер. За три года напряженной работы было произведено измерение глубин на 250 профилях, общая протяженность которых составила почти 500 км. На основании этих данных была составлена достаточно подробная батиметрическая карта озера.

Хочется упомянуть еще об одном важном эпизоде в работе Имандрской экспедиции. Речь идет о создании гипсометрической карты Кольского полуострова. В литературе прошлых лет Г. Д. Рихтер и Г. М. Крепс находили массу разрозненного картографического материала, но главным, связующим элементом для них, оказались топонимы Мурмана. Указывая на особенности рельефа, они помогают определить и приблизительную высоту местности. Несмотря на кажущуюся примитивность метода, составленная Рихтером и Крепсом гипсометрическая карта русской Лапландии, давала весьма точное представление о господствующих высотах Кольского полуострова. Правление Мурманской железной дороги небольшим тиражом издает эту карту, и она становится очень популярной среди исследователей и туристов.

В 1920 г. на Кольский полуостров приехал А. Е. Ферсман. И для него сразу же стало ясно, что Хибинны – «это целый мир камня, и углубленное изучение природы Хибин не может не привести к крупным открытиям новых полезных ископаемых». Предсказания Ферсмана скоро начали сбываться. На горе Кукисвум-чорр было открыто первое месторождение апатита, а спустя некоторое время геолог А. Н. Лабунцев «застолбил» ещё несколько месторождений апатитовой руды, ценнейшего сырья для производства фосфорных удобрений, крайне важных для сельского хозяйства. И тем не менее вопрос о промышленном освоении хибинских апатитов решался чрезвычайно медленно. О будущем хибинских суперфосфатов серьёзно задумались в Полярном отделении Всесоюзного института растениеводства.

Осенью 1926 г. И. Г. Эйхфельд вместе с Г. М. Крепсом организуют небольшую экспедицию для добычи и вывозки апатитовой руды с плато Расвум-чорр (для этой цели Мурманская железная дорога выделила им небольшие средства). Доставленная с гор на оленьих упряжках порода (1600 кг) была отправлена в Ленинградский институт прикладной химии, где были проведены успешные опыты по определению содержания фосфора. Специалисты дали высокую оценку добытым рудам. Пройдёт ещё несколько лет и в долине среди живописных крутых склонов гор вырастет город горняков Хибингорск, а рядом с ним (уже шестидесятые годы) будет построен город ученых – Апатиты, крупнейший на Крайнем Севере форпост науки.

В конце 1927 г. на заседании Географического общества СССР Г. М. Крепс выступает с докладом «О промысловой фауне Лапландии». В начале января 1928 г. на ученом совете Зоологического Музея он уже говорит о положении дикого северного оленя и ряд вопросов, не терпящих отлагательства.

21 марта 1928 г. состоялось расширенное собрание Общества по изучению Мурманского края. С докладом «Положение дикого северного оленя на Кольском полуострове и проект организации

Лапландского заповедника» выступил Герман Михайлович. Подготовленный для печати, этот доклад был опубликован в журнале «Карело-Мурманский край». «При организации заповедника, – подчеркивал Крепс, – имеющего целью не только охрану какого-либо одного животного, но и сохранение в естественной неприкосновенности целого географического ландшафта, вопрос о территории заповедника, его границах и размерах является наиболее существенным».

Говоря о довольно интенсивной эксплуатации лесов Кольского полуострова, Крепс добавляет что «сокращение лесных сообществ и не тронутых домашними стадами ягельников (лесных, ягельников паркового редколесья и горно-тундровых) должно также войти в план организации заповедника». Развивая этот тезис, Крепс доказывает, что необходимость сосредоточения на одном месте и леса и тундры сразу же принуждает отказаться от всей тундры Кольского полуострова, которая тянется полосой шириной от 30 до 100 км по берегу Баренцева и Белого морей. Также отпадают Ловозерские тундры и Хибины, как лишенные практически полностью дикого оленя и к тому же прилегающие к местности относительно густо населенной. «Естественно, – подытоживает Крепс, – остаются горы, лежащие к западу от Имандры. Дикий олень до сих пор сохранился в Чуна-тундре, встречается в прилегающих к ней Гарьюсной и Нявка-тундре». Весь этот намеченный район совершенно не заселен, «и организация заповедника практически не затронет интересов местного населения», – с особым удовлетворением отмечал Крепс.

Постановление о создании Лапландского заказника в границах проектируемого заповедника было утверждено 10 января 1929 г. на заседании Президиума Мурманского исполкома. Вслед за этим лесной отдел Мурманского земельного управления принимает решение о рекогносцировочном обследовании территории проектируемого заповедника. Эта работа поручается Г. М. Крепсу.

В рукописи первой книги о Лапландском заповеднике в 1936 году Герман Крепс напишет о первом учете диких оленей «с местным саамом Ф. К. Архиповым, прекрасным знатоком местности, ныне старшим наблюдателем охраны заповедника...». Год спустя, в 1937 г., в вышедшей книге «Лапландский заповедник» эти слова Крепса московская редакция изъяла. И не удивительно. В сентябре 1937 г. Архипов был уволен из заповедника, как следует из Книги приказов по ЛГЗ: «вследствие ареста органами НКВД», а затем и расстрелян...

А тогда, в начале апреля 1929 г. Г. М. Крепс и Ф. К. Архипов на трёх санях с десятью упряжными оленями и с протяжными саамскими песнями покинули берег Монче-озера. Невеселые, после двухнедельной поездки, возвращались следопыты домой. Результаты переписи оленя оказались плачевными. Им удалось учесть всего 95 голов.

Чтобы ускорить дело по организации заповедника, Крепс составляет обзорную карту заповедника с описанием и обращается к своим друзьям, работающим в различных экспедициях на Кольском полуострове. Исследовательские партии Ленгосторга и Союзазаготпушнины дают весьма обоснованные и достаточно убедительные рекомендации для открытия заповедника. Значительный вклад в общее дело по организации заповедника внесли председатель Мурманского губисполкома В. К. Алымов, директор ПОСВИРа И. Г. Эйхфельд, путешественник и натуралист Е. Ф. Бартольд, известные ботаники Ю. Д. Цинзерлинг и В. Г. Клейнберг, профессор и знаменитый писатель Б. М. Житков, директор Московского зоопарка профессор П. А. Мантейфель, имандровский лесничий П. Я. Ромин и многие, многие другие.

Неутомимая и разносторонняя деятельность Г. М. Крепса увенчалась, в конечном счете, полным успехом. 17 января 1930 г. Президиум ленинградского облисполкома вынес постановление: «Об образовании государственного Лапландского заповедника в Мурманском округе» – первого самого северного на нашей планете. Первым директором заповедника назначается Герман Михайлович Крепс.

Одним из самых замечательных качеств Крепса было его умение яркими впечатляющими рассказами заинтересовать людей, увлечь их своей идеей. Где бы он ни работал, вокруг него всегда образовывался дружный и чрезвычайно трудоспособный коллектив. Так было на «Мурманке» и на Мурманской биологической станции, в Имандрской экспедиции и в многочисленных его экспедициях. Так было потом и в заповеднике. Первыми его сотрудниками стали: его друг, саам Федор Архипов и молодой охотовед Андрей Васильев, а скоро к ним присоединится еще один сотрудник – О. И. Семенов-Тянь-Шанский, внук знаменитого русского географа.

Активная пропаганда идей заповедного дела, которую неутомимо вел Г. М. Крепс на страницах печатных органов, привлекает в заповедник как маститых ученых, так и молодых энтузиастов, многие из которых станут впоследствии широко известны в научном мире. Среди них были

Г. Д. Рихтер, Б. Н. Куплетский, А. А. Насимович, Е. Ф. Бартольд, Т. П. Некрасова, Н. М. Пушкина, М. И. Владимирская, Г. А. Новиков и др.

Ежегодно проводимые Г. М. Крепсом и О. И. Семёновым-Тян-Шанским учеты диких оленей давали обнадеживающие результаты. Уже в середине 30-х годов только на охраняемой территории численность «дикарей» увеличилась почти в пять раз. Это был несомненный успех – т. е., задача по восстановлению западной популяции диких северных оленей была уже в заповеднике близка к выполнению!

Успешными оказались и опыты Крепса по акклиматизации ондатры (1932 г.) и реакклиматизация на заповедной территории воронежского бобра, полностью истребленного на Кольском полуострове ещё в конце XIX века.

Известные художники и писатели охотно приезжали в заповедный уголок северной природы. В самых дружеских отношениях Крепс находился с художниками ВХУТЕМАСа – Н.К. Хотулевым, П. Н. Рябовым, И. В. Вальтер. Некоторые их работы, подаренные Г. М. Крепсу, бережно хранят родные и близкие Германа Михайловича, а несколько замечательных акварелей украшают сегодня экспозицию Дома-музея Г. М. Крепса на Чунозерской усадьбе Лапландского биосферного заповедника.

Судьба самого Германа Михайловича сложилась очень не просто. Не будучи членом партии в годы сталинских чисток на него обрушился целый шквал «разоблачительных» статей, он был лишен личного оружия, а затем смещен с директорского поста. И, если бы не друзья из московского Комитета по охране природы, организовавшие в 1937 г. его перевод в Алтайский заповедник неизвестно, где бы он кончил свои дни.

Начало войны Крепс встретил в Центральном лесном заповеднике. Занимаясь эвакуацией музейных коллекций был сильно контужен под Калинин, лежал в московских госпиталях, но, так и не смог вылечиться. Умер Г. М. Крепс, не дожив двух лет до своего пятидесятилетия.

В книге отзывов Дома-музея Г. М. Крепса есть такие строки: «Лев Толстой писал однажды в своем дневнике о том, как добро и хорошо ожидать продолжения своей жизни в душах других людей. Едва ли Г. М. Крепс заботился об этом, но то, что память о нем поддерживается делами молодых людей, показывает, что и личность, и добрые красивые дела Германа Михайловича бессмертны!..» И словно памятник северной природы, стоит в центре Кольского полуострова Лапландский государственный природный биосферный заповедник, навсегда увековечивая имя своего создателя.

Ниже приводим библиографию основных трудов Г. М. Крепса:

Крепс Г. М. К истории строения и жизни болот по исследованиям во Владимирской губернии. Реферат Географического института. Петербург, 1921.

Крепс Г. М. Путешествие в Среднюю Лапландию в марте 1923 года (с 1 картой // Работы Мурманской биологической станции Ленинградского общества естествоиспытателей. Л., 1925. Т. I. С. 162-186.

Крепс Г. М. О состоянии льдов в горле Белого моря // Работы Мурманской биологической станции. Л., 1925. Т. I. С. 145-152.

Крепс Г. М. Охота в Лапландии // Вестник Карело-Мурманского края, 1925. № 12-14. С. 41-45.

Крепс Г. М., Спасский Н. Н. Очерк растительности Большого Оленьего острова в Кольском заливе // Работы Мурманской биологической станции. Т. II. Л., 1926. С. 18-36.

Крепс Г. М., Рихтер Г. Д., Егоров С. Ф. и др. Предварительный отчет о работах Имандрской экспедиции Мурманской биологической станции (с 3 картами). Л., 1926. С. 12-64.

Крепс Г. М. Дикий северный олень на Кольском полуострове и проект организации Лапландского заповедника // Карело-Мурманский край, 1928. № 10-11. С. 42-54.

Крепс Г. М. Материалы к растительности ландшафтов района озера Имандра // Работы Мурманской биологической станции. Т. III. Л., 1929. С. 2-28.

Крепс Г. М. По Лапландской тундре // Карело-Мурманский край, 1930. № 4-5, 10-11. С. 31-34.

Крепс Г. М. Организация Лапландского заповедника // Карело-Мурманский край, 1930. № 2. С. 18-25.

Крепс Г. М. О реакклиматизации речного бобра // Рукопись, 1930. Дом-музей Г. М. Крепса.

Крепс Г. М., Семенов-Тян-Шанский О. И. Очерк биологии дикого северного оленя в Лапландии // Промысловая фауна и охотничье хозяйство. Л., М., 1934. С. 35-49.

Семенов-Тян-Шанский О. И., Крепс Г. М. Лапландский государственный заповедник. М.: Изд. комитета по зап.-кам., 1937. 136 с.

Крепс Г. М. Очерки о промысловых животных // Географический словарь Кольского полуострова. Л., 1941.

ЭНЕРГО-МАССОБМЕН В ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА (НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

Леса северного региона европейской части России – это лесные массивы Архангельской, Вологодской, Мурманской областей, Республик Карелия и Коми, имеют исключительно важное средообразующее значение. Покрытая лесом площадь региона составляет 70 млн. га и располагается в подзонах крайнесеверной, северной, средней и южной тайги. Доминируют еловые леса (48 %), большая часть которых представлена старовозрастными насаждениями. Сосновые фитоценозы занимают 32 %, мелколиственные – 18, лиственничники, кедровые и пихтовые насаждения – около 2 % лесопокрытой площади. Леса региона интенсивно осваиваются, поэтому при решении проблем рационального природопользования, сохранения биоразнообразия и устойчивости лесных экосистем важны знания обмена вещества и энергии между их компонентами.

Цель настоящей работы дать характеристики основных составляющих энерго-массобмена (ЭМО) между атмосферой, фитоценозом и почвой в хвойных экосистемах северной и средней тайги. Энергообмен включает поступление, отражение, пропускание и поглощение солнечной радиации. Массобмен рассматривает потоки органического вещества, воды и CO₂, внутри растительного покрова (РП) и между РП и атмосферой. Круговорот азота и зольных элементов характеризует массообмен в системе почва-фитоценоз. РП включает в себя весь фитоценоз и активный горизонт почвы, ограниченный снизу уровнем постоянных суточных температур, то есть той границей, до которой уже не доходят тапловые волны. В летние месяцы этот слой равен в северной тайге – 0-20, средней 0-30 см.

На основании проведенных авторами экспериментальных исследований потоков солнечной радиации, тепла, воды, органического вещества, элементов минерального питания в хвойных экосистемах, а также используя литературные данные этих потоков (Казимиров, Морозова, 1973; Алексеев, 1975; Обмен веществ и..., 1977; Волкова, Дмитриева, 1978; Perttu et. al., 1983; Лукина, Никонов, 1996; Биопродуционный процесс..., 2001; Коренные леса..., 2006 и др.), выявлены основные закономерности ЭМО в хвойных сообществах европейского Севера.

Режим солнечной радиации. Хвойные сообщества бореальной структуры в вегетационный период практически не испытывают световые ограничения. Средние суточные величины интегральной радиации (350-550 кал/см² сут.) и ФАР (200-260 кал/ см²сут) сравнимы с аналогичными в южных районах лесной зоны, что обусловлено продолжительностью светового дня в северных широтах в летний период. Как в ельниках, так и в сосняках наблюдается хорошо выраженное проникновение радиации в глубь полога благодаря разновысотной структуре древостоев и относительно большим межкрупным пространствам, особенно в северной тайге. Наименьшее количество солнечной радиации (14-16 %) проходит через полог двухъярусного сосново-евого древостоя, наибольшее (36-43 %) сквозь полог сосняка, полог ельников пропускает 22-31 % солнечной радиации.

Поглощение солнечной энергии лесным пологом зависит от многих факторов, в частности от фенологического состояния растительности, сомкнутости древесного полога, структуры древостоя. Как результат, древесный ярус хвойных фитоценозов северной тайги обладает меньшей способностью поглощения солнечной энергии (42-70 %) по сравнению с хвойными древостоями средней тайги (72-84 %). Причем эти различия наиболее четко выражены в условиях малооблачной погоды и при больших высотах Солнца. Средняя величина поглощенной древостоем солнечной энергии в мае – июле составляет 400-500 МДж в мае-июле, в августе она снижается на 30-50 %, в сентябре на 60-65 %.

Теплообмен. Из поглощенной растениями солнечной энергии 70% превращается в тепло и используется для транспирации и поддержания температуры растениями (турбулентный теплообмен). Исследования в северной тайге показали, что в летние месяцы в среднем затраты тепла на турбулентный теплообмен довольно значительны, сравнимы с энергетическим расходом на суммарное испарение и составляют в зеленомошном сосняке соответственно 40 и 52% от радиационного баланса. Под пологом леса (деятельный слой почвы 0-20 см и приземный слой воздуха до высоты 1.0 м) в структуре теплового баланса значительно возрастает роль почвенного

теплообмена. На эвапотранспирацию с поверхности почвы и напочвенного покрова расходуется 35-70%, на турбулентный теплообмен – 13-50% поглощенного тепла, что свидетельствует о равнозначности того и другого процесса.

В еловых и сосновых сообществах тайги тепловые ресурсы почвы обеспечивают возможность активной жизнедеятельности корней древесных пород в северной тайге в почвенной толще сосняка 0-40 (60) см, ельника – 0-10(30) см, в средней тайге – соответственно до 80 и 60 см глубины. Такие возможности в достаточной мере обеспечивают относительно небольшую продуктивность, но устойчивое саморегулирующее развитие их в условиях Севера, что объясняется адаптивными особенностями *Picea Obovata* и *Pinus sylvestris*, как эдификаторов и основных трансформаторов экологических условий таежных биогеоценозов европейского Севера.

Можно заключить, что в условиях достаточного и избыточного почвенного увлажнения поглощенное радиационное тепло почти в равной мере расходуется на суммарное испарение всего деятельного слоя и на турбулентный теплообмен. Эта особенность северных лесов является следствием низкого фонового температурного режима, пониженной интенсивности физиологических процессов (в частности транспирации) и небольшой сомкнутости древостоев.

Массообмен. Биологическая продуктивность фитоценозов отражает скорость накопления органического вещества. Этот показатель в значительной степени позволяет оценить вещественно-энергетический потенциал лесных экосистем. Так, в годичной продукции еловых фитоценозов накапливается 4.3-10.5, в сосновых 2.1-7.8 тга⁻¹ органического вещества или 1.1-4.9 тСга⁻¹. Эффективность использования солнечной радиации, ее фотосинтетически активной части (ФАР) в продукционном процессе невысокая. Коэффициент утилизации ФАР на текущую продукцию древостоев северной тайги не превышает 1.2, средней – 1.6 %. Прослеживается тенденция КПД использования ФАР с увеличением трофности и водного режима почв.

Количество азота и зольных элементов, находящихся в составе фитомассы хвойных насаждений различных типов, составляет от 0.6 до 2.4 т га⁻¹. Следует отметить, что в хвойных сообществах северной тайги, где значительная часть веществ в общем запасе элементов в фитоценозе принадлежит не древостою, а растениям нижних ярусов с меньшей емкостью биологического круговорота, накопление энергии и питательных элементов менее развито. В подзоне средней тайги в хвойных экосистемах положение в круговороте веществ складывается в пользу древостоя. Способность лесов к консервации энергии и питательных элементов позволяет им развивать сложную структуру сообществ, которая имеет большую листовую поверхность древостоев (3.1-10 га/га⁻¹ в сосняках и 16-16 га/га⁻¹ в ельниках) для осуществления фотосинтеза.

Интенсивность биологического круговорота или количество минеральных элементов в формирующейся годичной продукции фитоценозов в еловых и сосновых биогеоценозах составляет 110-190 кг·га⁻¹. Для годичной продукции большинства типов хвойных лесов характерен азотно-кальциевый режим потребления. Количество минеральных элементов, закрепленных в истинном приросте хвойных еловых фитоценозов, составляет 21-72 кг·га⁻¹. Наиболее сильно удерживается N и K, количество которых на порядок превышает содержание других элементов. Менее всего в нетто-продукции удерживается Na, Al, Fe, Si. Годичный цикл круговорота веществ по существу определяется зелеными фракциями фитомассы, так как через листву и хвою, составляющих большую часть прироста и опада, осуществляется обмен азотом и зольными элементами в системе растение-почва.

Таким образом, обмен элементов минерального питания между почвой и растительностью в хвойных сообществах европейского Северо-Востока ограничен в основном биологическим ярусом (фитоценоз-подстилка). В сосняках и ельниках данного региона весьма значительны запасы лесной подстилки и химических элементов в ней, что создает гарантии устойчивого функционирования экосистем в условиях Севера.

Литература

1. Алексеев В. А. Световой режим леса. Л., 1975. 225 с.
2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб: Наука, 2001. 278 с.
3. Волков А. Д., Дмитриева И. А. Особенность светового режима и баланса солнечной энергии в связи с температурным режимом воздуха и почвы «Формирование и продуктивность сосновых насаждений Карельской АССР и Мурманской области». Петрозаводск, 1978 С. 4-12.
4. Казимиров Н. И., Морозова Р. М. Биологический круговорот в ельниках Карелии. Л., 1973. 175 с.
5. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб, 2006. 337 с.

6. Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения: В 2-х ч. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1998. 316 с.
7. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах европейского Севера / Н. И. Казимиров, А. Д. Волков, С.В. Зябченко и др. Л., 1977. 304 с.
8. Pertty K., Bichof W., Gerip H., Jansson P. S., Lindgern A., Lindroth A., Noren B. Micrometeorology and Hydrology of pine forest ecosystems // Ecol. Bull. Structure and Function of Northern coniferous Forests. Stockholm. 1983. Vol. 32. P. 75-121.

Г. А. Евдокимова¹, Л. А. Иванова², Н. П. Мозгова¹, В. А. Мязин¹, Н. В. Фокина¹

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
galina@inep.ksc.ru

²Полярно-альпийский ботанический сад институт Кольского НЦ РАН, г. Кировск
ivanova_la@inbox.ru

ОПЫТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БИОПЛАТО ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ КАРЬЕРНЫХ ВОД В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Биоплато с высшими растениями широко используются для доочистки сточных вод от различных загрязняющих веществ после первичной очистки стоков механическими и физико-химическими методами. Технология основана на использовании природных механизмов очистки сточных вод с помощью растений-гидрофитов, произрастающих в водоеме. Этот способ не оказывает негативного воздействия на окружающую среду, так как не требует дополнительных источников энергии, кроме энергии Солнца, и внесения каких-либо химикатов. Обычно биоплато состоит из двух блоков – растительного и фильтрующего, представляющего собой ложе из щебня, гравия, песка и прочих фильтрующих материалов, которые засаживаются водными растениями.

В течение 3 лет (2013-2015 гг.) проводилась работа по использованию растений-макрофитов для очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота на пруду-отстойнике Кировогорского карьера АО «ОЛКОН» (г. Оленегорск Мурманская обл.), собирающем рудничные воды с его обширной территории. В связи с использованием взрывчатых веществ в отстойник поступает ежемесячно 5000-6000 кг нитратов, 30-50 кг нитритов, 60-80 кг аммонийного азота (усредненные данные).

Формирование плавающих биоплато. Особенности Кировогорского пруда-отстойника (обширная территория, высокая скорость потока воды, большая глубина водоема) затрудняют применение традиционных технологий биологической очистки стоков путем создания насыпного ложа для высадки водной растительности, поэтому мы разработали инновационную технологию на основе плавающих биоплато с фитоценозами, предназначенными для естественной биологической очистки стоков (Евдокимова и др., 2015).

Для формирования фитоценоза применяли ковровую травянистую дернину, выращенную по ранее разработанной гидропонной технологии (Иванова, 2009), с той лишь разницей, что в эксперименте не использовали предусмотренный технологией питательный раствор, в состав которого входят соединения азота. Данная технология основана на комплексном применении вермикулитового субстрата-почвозаменителя Випон-1 и многолетних травянистых растений. Видовой состав дернины включал: пырей сизый (*Agropyron intermedium* (Host.) Beauv.), овсяницу красную (*Festuca rubra* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) и тимopheевку луговую (*Phleum pratense* L.), взятых в соотношении 1:2:1:2 (по массе). В дернину дополнительно высаживали растения-гидрофиты: пушицу узколистную (*Eriophorum angustifolium* Honck., syn. *Eriophorum polystachyon* L.), пушицу Шейхцера (*Eriophorum vaginatum* L.), вахту трехлистную (*Menyanthes trifoliata* L.), сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), каллу болотную (*Calla palustris* L.), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), хвощ топяной, (*E. fluviatile* L.), иву филиколистную (*Salix phyllicifolia* Willd.), иву козью (*Salix caprea* L.), сфагновый мох (*Sphagnum*), мать-и-мачеху обыкновенную (*Tussilago farfara* L.), корневища осоки (рис.1).

В функционировании биоплато важен правильный подбор растений, которые должны быть представителями местной флоры, адаптированными к условиям Заполярья, отличаться высокой устойчивостью к водной среде, иметь высокую семенную продуктивность и хорошо развитую корневую систему, уходящую на значительную глубину.

Выполнены некоторые микробиологические анализы воды пруда-отстойника. Численность сапротрофных бактерий измерялась сотнями клеток в 1 мл. Обнадживает наличие денитрифицирующих бактерий (до 800 клеток в 1 мл), снижающих содержание нитратного азота. Численность нитрифицирующих бактерий, уменьшающих содержание аммонийного азота, в пруду низкая (табл.1).

Таблица 1

Средняя численность бактерий в воде Кировогорского пруда-отстойника, кл./мл

Год	Сапротрофные		Денитрифицирующие		Нитрифицирующие	
	вход	выход	вход	выход	вход	выход
2012	492±34	197±14	475±19	49±3	20±3	13±1
2015	790±51	1646±82	485±24	787±45	82±9	87±6



Рис.1. Общий вид биоплато на Кировогорском пруду-отстойнике

Определение оптимальной площади биоплато. Для определения площади покрытия водоема растительностью биоплато, эффективно снижающей содержание минерального азота в сточных карьерных водах, был проведен лабораторный опыт. В водопроводную воду добавляли соли азота из расчета их концентрации в пруду: NO_3^- – 170 мг/л, NH_4^+ – 2.5 мг/л, NO_2^- – 1.7 мг/л. В емкости определенной площади с одинаковым объемом воды на пластиковые решетки с поплавками помещали ковровую дернину, покрывающую 10, 30, 50 и 70% поверхности сосуда от общей его площади. Температура воды поддерживалась на уровне +15°-+16°С. В первую очередь нас интересовало снижение содержания нитратов в воде, так как именно этот процесс является приоритетным в данной работе.

Показано, что снижение содержания нитратов в воде наиболее эффективно происходит при 50 % покрытии растениями поверхности сосуда (табл.2). За 3 сут содержание нитратов снизилось здесь в 2.4 раза относительно исходного уровня, а через 7 сут – в 10.6 раза. Именно за 7-10 суток, по нашим расчетам, обновляется вода в той части пруда-отстойника, где расположено биоплато.

Количество аммонийного и нитритного азота в вариантах с 50% покрытия возросло за трое суток в среднем в 6 раз относительно исходного содержания, что свидетельствует об активном процессе денитрификации, снижающем уровень нитратного азота. Повышение содержания этих форм азота наблюдается и в варианте с 70% покрытием. Объяснить это можно интенсификацией процесса денитрификации в связи с созданием некоторых анаэробных условий из-за заполнения значительной площади поверхности дерниной, выделением аммиака, который может растворяться в воде и повышать содержание аммонийного азота. Но, учитывая, что *in situ* подобные анаэробные условия не создаются и, что аммонийный азот предпочтительнее поглощается высшими растениями и водорослями, а содержание нитратного азота в пруду-отстойнике значительно превосходит допустимые нормы, следует активизировать именно процесс денитрификации.

Таким образом, определена оптимальная величина покрытия водоема растительностью биоплато. Она составляет 50 % от общей площади очищаемого водоема. Принимая во внимание, что на пруду-отстойнике развивается еще и естественная болотная растительность, площадь покрытия можно сократить до 40 %. К подобному выводу пришел также J. Vymazal (2008). По его расчетам надводная растительность должна покрывать более 50 % поверхности воды.

Содержание минеральных форм азота (мг/л) в воде в зависимости от площади покрытия растениями

Вариант, % покрытия	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻	
	3 дня	7 дней	3 дня	7 дней	3 дня	7 дней
Без растений	2.7±0.1	2.8±0.2	165.9±7.8	193.6±11.2	2.1±0.2	2.2±0.1
10 %	6.2±0.3	6.6±0.8	169.5±10.7	161.9±7.9	4.1±0.9	4.1±0.7
30 %	9.4±0.9	10.6±0.9	130.1±3.8	105.2±17.8	4.8±0.6	5.9±2.2
50 %	13.0±0.8	15.5±1.2	72.4±5.0	16.0±9.4	15.1±2.3	10.2±5.3
70 %	12.3±0.6	13.8±0.6	100.2±9.1	37.0±4.5	7.2±1.9	6.3±1.0

Фенологические наблюдения. С июля по октябрь ежегодно проводили систематические наблюдения за развитием растений биолато. Температура воздуха в летний период времени изменялась от 12.0 до 15.0°C, температура воды в пруду-отстойнике была в пределах 16.0-17.0°C. В октябре температура воздуха изменялась от +0.4 до -1.4°C, воды – от +1.4 до +2.0°C. Значения рН воды на входе в отстойник 7.8-7.9, на выходе – 7.2-7.3.

Все виды растений на биолато хорошо прижились. За 45 сут прирост травянистых растений составлял от 23 до 40 см (в зависимости от вида). Длина корней изменялась в интервале 20-35 см (рис.2). На побегах ивы, погруженной в воду отстойника, отмечено интенсивное развитие корневой системы (длина корней увеличилась в 2-3 раза), появились многочисленные зеленые облиственные побеги длиной 10 см и более. Отдельные корни пушицы достигали 50 см. К осени практически каждое растение пушицы сформировало более 10, а осоки – 20 дочерних растений. В период ледостава (конец октября) все плотки опустились под лед на глубину, примерно, 10 см.



Рис.2. Развитие фитоценозов биолато

Динамика содержания минеральных форм азота в воде пруда-отстойника. Общая площадь покрытия водоема растениями в первый сезон не превышала 10 %, во второй – достигала 15-17 %, в третий – 23-25 %. Предельно допустимые концентрации (ПДК) минеральных соединений азота в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования СанПиН, РФ следующие, мг/л: NH₄⁺ – 1.5, NO₃⁻ – 45, NO₂⁻ – 3.3. Пробы брали на входе в пруд, на выходе из него и, примерно, в 1 км от выводящего коллектора в ручье Безымянный, в который поступают стоки из пруда.

Содержание минеральных форм азота на третий год использования биолато на входе и на выходе из пруда-отстойника, а также в ручье Безымянный представлены на рис.2. Показано, что растения эффективно снижают содержание аммонийного азота. Его количество на выходе в 3.5-9.3 раз ниже, чем на входе. В целом, во все сроки наблюдений содержание аммонийного азота было на выходе из пруда ниже ПДК.

Содержание нитритного азота во все сроки наблюдений было ниже ПДК как на входе, так и на выходе из пруда.

Остаются проблемы с нитратным азотом, содержание которого на 2 порядка выше аммонийного. Многочисленными исследованиями установлено, что аммонийный азот предпочтительнее, чем нитратный поглощается высшими растениями и водорослями при нейтральной реакции среды (Агрохимия, 1977), а именно такая реакция характерна для воды пруда-отстойника. Наоборот, при кислой реакции нитраты усваиваются растениями лучше, чем аммонийные соли.

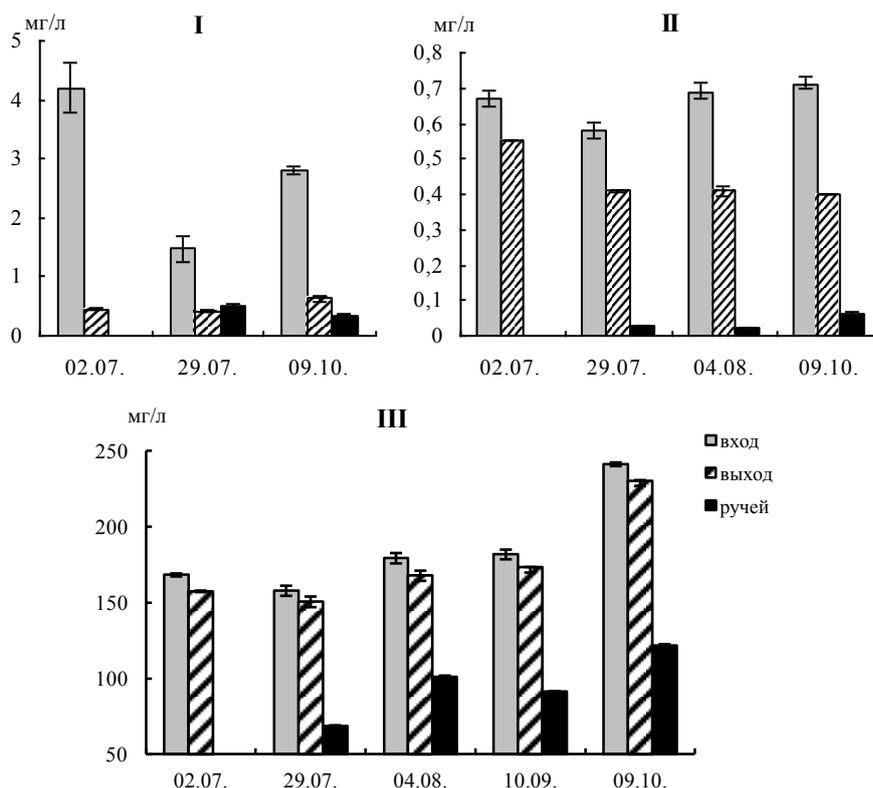


Рис.3. Динамика содержания минеральных форм азота (мг/л) в Кировогорском пруду-отстойнике, 2015 г. I – аммонийный азот; II – нитриты; III – нитраты

Однако, учитывая, что в природных условиях *in situ* процесс денитрификации крайне слаб, а содержание нитратного азота в пруду-отстойнике значительно превосходит допустимые нормы, следует обратить внимание на интенсификацию именно процесса денитрификации и снижение содержания нитратов в воде. Денитрификация активно протекает в водоемах при pH 7-8, в анаэробных условиях, при достаточном количестве нитратов и легкодоступного органического вещества. В очищаемом водоеме нитратов более чем достаточно, значения pH находятся в оптимальном диапазоне для этого процесса, анаэробные условия проблематичны и в нем явно не хватает легкодоступных для бактерий органических веществ. Их содержание в водоеме непременно увеличит растительность биоплато, и тогда процесс денитрификации будет значительно быстрее проходить все промежуточные стадии до своего конечного продукта – молекулярного азота.

Значительное снижение нитратов в воде ручья, поросшего растительностью, свидетельствует не только об эффекте разбавления сточных вод природными, но и эффективности разработанного подхода и необходимости увеличения площади покрытия пруда-отстойника фитоценозами. Фитомасса для поглощения нитратов, поступающих в пруд-отстойник, должна быть в 2.0-2-5 раза выше имеющейся в настоящий период времени. Полученные данные свидетельствуют о необходимости увеличения площади покрытия искусственными фитоценозами пруда-отстойника.

Для расширения площади покрытия растительностью пруда-отстойника удачным решением было бы использование плавающих растений-гидрофитов, не нуждающиеся в закреплении корневой системы в каком-либо субстрате. К плавающим растениям в северных водоемах относятся рдесты, ежеголовник и ряска. Скорость размножения ряски очень высокая. Размножается она в основном вегетативным путем, время удвоения биомассы составляет 5-6 суток. Сточные карьерные воды не токсичны для ряски. Более того, по нашим данным, ряска предпочитает нитратную форму азота аммиачной (не опуб. данные лабораторного опыта).

Таким образом, разработана эффективная малозатратная экобиотехнология плавающих биоплато с применением вермикулитового субстрата Випон-1 и многолетними аборигенными растениями-гидрофитами для очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота. Подобран ассортимент аборигенных растений-гидрофитов, разработан способ их закрепления и выращивания на вермикулитовой основе. Определена оптимальная площадь покрытия поверхности пруда-отстойника биоплато для наиболее эффективного его очищения от соединений азота. В воде

пруда выявлены микроорганизмы, трансформирующие минеральные соединения азота и способствующие вместе с растениями снижению концентрации аммонийного и нитратного азота в водоеме. Разработанная технология может быть применена в любой климатической зоне с характерным для местности ассортиментом растений-мелиорантов.

Авторы благодарят руководство Оленегорского горно-обогатительного комбината (АО «Олкон») за финансирование данной работы и ведущего инженера по охране окружающей среды Т. М. Атавину за содействие и интерес к этим исследованиям.

Литература

1. Агрохимия. Изд. 2-е, перераб. и доп. / ред. Смирнов П.М., Муравин Э.А. М.: «Колос», 1977. 240 с.
2. Патент РФ на изобретение № 2560631. Устройство для биологической очистки сточных карьерных вод // Евдокимова Г. А., Иванова Л. А., Мязин В. А. Приоритет от 30.05.2014. Б.И. № 23, 2015. Дата регистрации 22.07.2015.
3. Патент РФ на изобретение № 2393665. Способ создания экологически чистого покрытия и питательная среда для его выращивания // Иванова Л. А. Б.И. № 2, 2009. Дата регистрации 10.07.2010 г.
4. *Vymazal J.* Constructed wetlands for wastewater treatment // Proc. of TAAL 2007: The 12th World Lake Conf., India, 28 October – 2 November 2008. P. 965-980.

Л. П. Капелькина

*Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, г. Санкт-Петербург
kapelkina@mail.ru*

САМОЗАРАСТАНИЕ, ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Интенсивное освоение Кольского Севера началось в 30-40-е годы XX столетия в связи с открытием месторождения апатитнефелиновых руд. Этот регион является одним из самых индустриально освоенных субарктических регионов. Здесь лучше, чем в других районах Севера, развита сеть дорог, отсутствуют осложняющие освоение территорий и разработку месторождений многолетнемерзлые породы, не столь велики площади болот, характерные для разрабатываемых месторождений Западной Сибири.

В регионе добываются и перерабатываются апатитнефелиновые и железные руды, цветные металлы, редкоземельные элементы, слюды и другие полезные ископаемые. Промышленное освоение региона сопровождается увеличением площади нарушенных земель: ростом отвалов вскрышных пород, хвостохранилищ обогатительных фабрик, золоотвалов, карьеров по добыче рудного и нерудного сырья и другими нарушениями. Горнорудными предприятиями региона нарушено свыше 90 % земель от их общего количества.

Основным способом добычи рудных полезных ископаемых на Кольском полуострове является разработка месторождений открытым способом. При этом способе в процессе добычи формируются глубокие карьеры и отвалы вскрышных пород, занимающие большие площади. Открытым (карьерным) способом разрабатываются месторождения медно-никелевых руд в г. Заполярный, железных – в Оленегорске и Ковдоре, апатитнефелиновых – вблизи города Кировска. Для разрабатываемых месторождений рудных полезных ископаемых Кольского Севера характерно резкое преобладание скальных пород во вскрыше и соответственно в складированных отходах. Подавляющая часть нарушенных земель на Кольском полуострове в настоящее время находится в эксплуатации: в карьерах продолжается добыча руды, хвостохранилища обогатительных фабрик заполняются пульпой, изменяются при укладке вскрышных пород высотные отметки отвалов. Складированные отходы создают для растений большое многообразие экотопов.

Естественное зарастание до настоящего времени занимает преобладающую долю в процессах формирования растительности на нарушенных землях Кольского Севера, и знание его особенностей позволит разработать мероприятия по ускорению этого процесса. Способность к самозарастанию первично свободных субстратов дает возможность сократить или полностью исключить объем активных рекультивационных работ.

Длительность естественного зарастания нарушенных территорий Кольского полуострова в значительной степени определяется географическим нахождением земель, расположенных за Полярным кругом, неблагоприятным составом складированных пород и отходов, а также комплексом других экологических факторов, специфичных для каждого отвала. На скорость самозарастания влияют литологическая неоднородность субстратов, различная удаленность нарушенных участков от источников образования семян – (естественных ненарушенных участков), свойства пород, вынесенных на дневную поверхность, параметры отвалов и другие факторы.

Земли, нарушенные в процессе освоения месторождений на Кольском полуострове, в большинстве случаев представляют первичные экотопы. Таковы отходы обогатительных фабрик, складированные в хвостохранилища, золоотвалы предприятий энергетики, карьеры по добыче руд, вскрышные породы рудных месторождений, извлеченные с большой глубины. Эти техногенные субстраты изначально лишены зачатков растений и органического вещества, поэтому восстановление растительности и почв здесь идет как первичная сукцессия. Примером вторичных экотопов являются отдельные участки карьеров по добыче строительных материалов, откосы строящихся дорог, содержащие в поверхностном слое зачатки растений. Сооружение этих объектов характеризуется поверхностными нарушениями.

Крутые откосы, формирующиеся при экскаваторном способе добычи строительных материалов, обуславливают необходимость проведения планировки с целью придания откосам углов наклона, обеспечивающих их устойчивость и возможность поселения растений. Семена и споры растений, заносимые ветром на крутые откосы, в результате эрозионных процессов смываются водой, или сдуваются ветром. Проведение планировочных работ на откосах, сложенных рыхлыми отложениями, улучшает условия для поселения растений и может рассматриваться как метод содействия естественному зарастанию, хотя эта операция способствует увеличению площади нарушенных земель в полтора-два раза. Спланированные откосы постепенно зарастают в северо-таежной зоне лесной растительностью и спустя определенное время переводятся в лесопокрытую площадь, как рекультивируемые земли. Хотя в основе формирования растительности на подобных нарушениях лежит естественный процесс её поселения.

Обследование состояния нарушенных земель, оценка скорости и характера восстановления растительного покрова в техногенных местообитаниях Севера, изучение сукцессионных стадий позволяет выделить техногенно нарушенные земли, которые без риска возникновения и развития негативных последствий для окружающей среды можно оставлять под самозарастание без осуществления рекультивационных работ. Отдельные категории нарушенных территорий довольно успешно зарастают местными видами растений без вмешательства человека. В условиях удаленности нарушенных участков от поселений меры по содействию и ускорению процессов самозарастания могут явиться важным фактором, позволяющим снизить затраты на восстановление нарушенного почвенно-растительного покрова. Наличие естественного восстанавливаемого на нарушенных землях почвенно-растительного покрова свидетельствует об относительно благоприятных свойствах пород и экологической обстановке. В соответствии с геоморфологическими и эдафическими особенностями нарушенных земель, их площадью, рельефом, свойствами, гидрологическим режимом территорий и т.д. процессы формирования растительного покрова принимают различный характер. В Мурманской области, как и в других районах Севера под самозарастание могут отводиться откосы строящихся дорог, трассы линий электропередач и сейсмопрофилей, спланированные откосы карьеров по добыче строительных материалов.

Выяснение особенностей почвообразования на отвалах горнорудных предприятий Кольского Севера имеет большое значение, как с теоретической, так и с практической точки зрения, поскольку дает возможность оценить скорость почвообразовательных процессов в суровых климатических условиях, а также позволяет в определенной степени судить о скорости естественного зарастания отвалов.

Исследованиями Б. Б. Польшова (1945), И. А. Ассинг (1949), М. А. Глазовской (1958), В. О. Таргульяна (1971), В. А. Ковды (1973), В. Н. Переверзева (2013) и других установлены специфические черты выветривания и почвообразования на массивно-кристаллических и рыхлых породах при их коренном залегании. К настоящему времени накоплен большой фактический материал об особенностях и интенсивности почвообразовательных процессов, составе гумуса, скорости его накопления на промышленных отвалах в различных регионах страны.

Значительная часть сформированных горными предприятиями отвалов вскрышных пород на Кольском Севере сложена устойчивыми к выветриванию породами. На отвале вскрышных пород 40-летнего возраста Оленегорского железорудного ГОКа, расположенного севернее Полярного круга, проведено изучение начальных процессов почвообразования. Откосы отвала сложены

крупнообломочными скальными породами до 1.5 м в поперечнике и представлены гнейсами, диабазами, кварцем, пегматитами, амфиболитами, а также сланцами. Высота отвалов вскрышных пород составляет десятки метров. На таких отвалах создаются особые микроклиматические условия, складываются специфические ветровой, гидрологический и температурный режимы, осложняющие или исключают естественное зарастание отвалов. Горизонтальные участки отвала сложены пылеватыми супесями и мелкозернистыми песками с включением обломков вышеназванных пород. Характерна значительная пестрота гранулометрического состава складываемых пород.

На горизонтальных участках исследованного отвала, сложенного преимущественно пылеватыми супесями и мелкозернистыми песками фиксируются начальные признаки почвообразовательного процесса. Здесь под покровом кустарничков и мхов формируется примитивный почвенный профиль с маломощным (до 1-2 см) темноокрашенным коричнево-бурым органометрическим горизонтом. В этом горизонте потери при прокаливании составляют 20-25 %, ЕКО – 30-33 мг-экв/100 г субстрата, рН 4.8. Почвенные горизонты не сформированы, выделить их невозможно. Низкая скорость почвообразовательных процессов связана не только с суровыми природными условиями, но и с неблагоприятным гранулометрическим составом пород в отвалах.

Большая часть площади отвалов Оленегорского горно-обогатительного комбината, с неизменяющимися высотными отметками, то есть отвалов, где складирование пород временно не осуществляется или прекращено в связи с доведением их до проектных отметок, из-за сложения их крупнообломочными скальными породами, практически не зарастает, так как отвалы лишены мелкозема. Лишь на некоторых участках, где встречаются мелкоземистые фракции горных пород, можно фиксировать поселение растений. Появление рыхлых отложений здесь обеспечивается преимущественно пылевыми частицами, переносимыми ветром. Продолжающиеся горные и строительные работы, нахождение поблизости хвостохранилища обогатительной фабрики вызывают повышенную запыленность воздуха и переотложение пыли, которая оседает на поверхности камней и собирается в углублениях, неровностях и трещинах. Вместе с пылью заносятся семена и споры растений. Здесь же задерживается влага осадков. Пионерами естественного зарастания откосов, сложенных устойчивыми к выветриванию крупнообломочными скальными породами являются мхи (*политрихумы альпийский* и можжевельникоподобный, *цератодон пурпурный*, *фунария гигрометрическая*) и лишайники (*стереокаулоны*, *кладония деревцевидная*, *пельтигера пальчатая*, *пармелия скальная*). Обычно считается (Полынов, 1945; Ковда, 1973), что мхи появляются на скалах после того, как будет подготовлен слой мелкозема в процессе почвообразования под покровом лишайников. На отвалах Оленегорского ГОКа, сложенных скальными породами, поселение мхов и лишайников идет одновременно. Образование мелкозема вследствие поселения на скальных лишайниках и разрушения ими горных пород имеет здесь подчиненный характер. Накопление под мхами мелкозема происходит не в результате выветривания пород и почвообразования, хотя начальные признаки этих процессов присутствуют, а преимущественно вследствие переноса пылеватых частиц ветром. Мхи, поселяющиеся на рыхлых эоловых наносах, способствуют удержанию пылевых частиц, что в свою очередь ведет к постепенному увеличению площади, покрытой мхами. Постепенно скальная поверхность начинает «обрастать моховой подушкой». Однако, поскольку процесс переотложения пыли даже здесь, в районе с интенсивной добычей ископаемых длителен, а сами породы устойчивы к выветриванию, то для полного зарастания подобных отвалов, по нашим предположениям, нужны тысячелетия.

В то же время проведение активных рекультивационных работ на отработанных породных отвалах невозможно или весьма сложно по следующим причинам. Зонально-географические, горно-геологические условия месторождений, система их разработки, свойства складываемых вскрышных пород (резкое преобладание скальных пород), отсутствие плодородных пород (почвенного слоя), технико-экономические показатели восстановления свидетельствуют о не реальности проведения рекультивационных работ. На большей части разрабатываемых месторождений под отвалами вскрышных скальных пород оказался не только маломощный органометрический горизонт, но и рыхлые четвертичные отложения, залегающие с поверхности. Ущерб для населения и окружающей среды, наносимый породными отвалами на Кольском полуострове по сравнению с хвостохранилищами обогатительных фабрик, менее значительный. Он сводится к исключению из производственного процесса больших земельных площадей, сведению северных лесов, а также нарушению эстетического вида местности. Ограниченное проведение рекультивационных работ целесообразно на участках, граничащих с жилой застройкой. Однако, оно трудно осуществимо по вышеназванным причинам. Важнейшей задачей в этом регионе является разработка и внедрение мероприятий по содействию естественному зарастанию.

Обязательной рекультивации на Кольском полуострове должны подлежать заполненные (доведенные до проектных отметок) хвостохранилища обогатительных фабрик, в частности отходы апатитонефелиновых обогатительных фабрик в связи со значительным их пылением и существенным ущербом окружающей среде. Пылящие поверхности действующих хвостохранилищ должны подвергаться защите методами физико-химической стабилизации.

В 1978 году на закрепленном многолетними травами участке хвостохранилища вблизи г. Кировска в плужные борозды нами (Капелькина, Казаков, 1989) было высажено более 2-х тысяч экземпляров сосны обыкновенной и лапландской 2-4-хлетнего возраста, выращенных из местных семян. Лучшая приживаемость была у сосны обыкновенной, высаженной 2-хлетними сеянцами. Она составила 47 %, что для условий хвостохранилища со сложными эдафическими и микроклиматическими условиями, можно признать вполне удовлетворительной, поскольку на лесных площадях, с ненарушенным или частично нарушенным почвенным покровом (вырубки, гари) в среднем по Мурманской области приживаемость составляет 61-68 %. Спустя 8 лет, в 1986 году была проведена инвентаризация посадок. Сохранность культур сосны была практически на том же уровне. В последующие годы наблюдался существенный отпад и гибель посадок. К настоящему времени сохранились лишь единичные экземпляры, которые находятся в угнетенном состоянии.

В 2013 г. проведено очередное обследование территории хвостохранилища. В настоящее время из древесных пород на хвостохранилище преобладают береза извилистая и различные виды ив естественного происхождения. На общем фоне с относительно низкой по высоте древесной и кустарниковой растительностью выделяются отдельно стоящие, располагающиеся на расстоянии в 120-150 м друг от друга 6-7-метровые одиночные, естественно поселившиеся на хвостохранилище, плодоносящие экземпляры сосны хорошего состояния. Их возраст 20-25 лет. Под некоторыми из них имеется 3-7-летний самосев высотой до 40-50 см, находящийся также в хорошем состоянии. Группового произрастания сосен на хвостохранилище, то есть куртин, встречено не было. Причины различного состояния сосны естественного происхождения и созданных 37 лет назад искусственных посадок окончательно не выяснены. Требуется проведение дополнительных исследований и тщательный анализ факторов и условий, обуславливающих их различное состояние и рост. Причины гибели посадок сосны могут быть различны: это повреждения, обусловленные поджогом на хвостохранилище сухой травы, повреждения, вызванные энтомовыми вредителями и фитозаболеваниями, несбалансированность элементов питания, протекающие микробиологические процессы в субстрате на начальном этапе (Евдокимова и др., 2010) и другие факторы. По-видимому, определенное значение имеет и время, необходимое для формирования в этих техногенных отложениях благоприятных экологических условий, обеспечивающих нормальный рост и развитие сосен. Известно, что формирующиеся в ходе самовосстановления растительные сообщества обычно гораздо устойчивее искусственно созданных посевов и посадок.

Неоднородность горно-геологических, эдафических, экологических, технико-экономических и хозяйственных условий, складывающихся при освоении месторождений полезных ископаемых на Кольском полуострове, обуславливает необходимость тщательного анализа факторов и условий при обосновании целесообразности и выборе направлений восстановления нарушенных земель.

Содействие естественному зарастанию нарушенных земель следует считать основным способом восстановления нарушенного почвенно-растительного покрова в суровых природно-климатических и сложных горно-геологических условиях Кольского Севера.

Литература

1. *Ассинг И. А.* Начальные стадии выветривания и почвообразования на массивно-кристаллических породах // Проблемы советского почвоведения. Сб. 15. М.-Л., 1949. С. 80-94.
2. *Глазовская М. А.* Выветривание и первичное почвообразование в Антарктиде // Научные доклады высшей школы. Геолого-географические науки. М.: 1958. № 1. С. 63-76.
3. *Евдокимова Г. А., Переверзев В.Н., Зенкова И. В., Корнейкова М. В., Редькина В. В.* Эволюция техногенных ландшафтов. Апатиты: Изд-во Кольского НИЦ РАН. 2010. 146 с.
4. *Капелькина Л. П., Казаков Л. А.* Лесная рекультивация нарушенных земель в Заполярье // Лесное хозяйство. 1989. № 2. С 27-29.
5. *Ковда В. А.* Основы учения о почвах. КН. 2. М.: Наука. 1973. 231 с.
6. *Переверзев В. Н.* Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в северной Фенноскандии. Апатиты: Изд-во Кольского НИЦ РАН. 2013. 158 с.
7. *Польнов Б. Б.* Первые стадии Почвообразования на массивно-кристаллических породах // Почвоведение, 1945. № 7. С. 327-339.
8. *Таргульян В. О.* Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М., 1971. 268 с.

НЕИЗБЕЖНА ЛИ ДЕГРАДАЦИЯ РЕСУРСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД АРКТИКИ?

В современном мире пресная вода становится стратегическим природным ресурсом, определяющим экономическое развитие целых регионов. Основные запасы пресных вод сосредоточены в полярных областях, но вследствие низкой устойчивости к внешним воздействиям, нерационального использования, глобальных и региональных процессов изменений окружающей среды и климата, они стремительно деградируют. Охрана водных ресурсов является приоритетной стратегической задачей обеспечения экологической безопасности. Поверхностные воды занимают важнейшее место среди природных ресурсов Арктики. Озера и реки во многом определяют экономическое и социальное развитие северных регионов, являются источником продовольствия, тесным образом связаны с культурным наследием коренных народов, являются составной частью их жизненной среды.

Запасы водных ресурсов, используемые в настоящее время, ограничены, и их качество неуклонно ухудшается. В последние десятилетия проблема качества вод Евро-Арктического региона приобретает все большую остроту. Скорость таких изменений и роль глобальных процессов чрезвычайно возросла. Явления, которые в XX веке казались невероятными, например регулярное массовое цветение сине-зеленых водорослей в арктических озерах, в настоящее время происходят регулярно. Вследствие долговременной аэротехногенной нагрузки в Евро-Арктическом регионе практически отсутствуют водные объекты не измененные антропогенной деятельностью. Долговременное многофакторное антропогенное воздействие, включая промышленное загрязнение и нарушение естественных биогеохимических циклов элементов, привело к дефициту качественных пресных вод. Под угрозой находятся не только запасы питьевых или используемых в промышленных целях вод, но и ценные виды гидробионтов, включая промысловые виды рыб. Необходимо пересмотреть принципы использования пресных вод арктического региона, оптимизировать систему управления и контроля их качества, обеспечивающие устойчивое развитие.

Мурманская область является одним из наиболее индустриально-развитых регионов арктической зоны. Здесь сосредоточены богатейшие запасы пресных вод, качество которых в настоящее время находится под угрозой необратимых изменений и деградации, обусловленных целым рядом причин, и прежде всего - крайне нерациональным использованием этого природного ресурса. Мурманская область может рассматриваться как уникальный модельный полигон для решения задач, направленных на разработку основ сохранения ресурсного потенциала пресных вод Евро-Арктического региона на современном этапе.

В области существует целый ряд потребителей, интересы которых зачастую конфликтуют между собой, а сами природные воды и их ресурсы являются предметом разнообразных полномочий на локальном, региональном и национальном уровнях, что снижает эффективность управления. Основными потребителями являются предприятия энергетики и горнодобывающей промышленности. При этом, по-прежнему господствуют экономический императив при принятии управленческих решений, устаревшие водоемкие технологии, представления о низкой стоимости и неисчерпаемости ресурса. В гидроэнергетике во главу угла также поставлены получение максимальной прибыли, повышение эффективности генерирующих мощностей, и совершенно не учитываются особенности функционирования водных экосистем Заполярья. Этому способствуют и правила, регулирующие уровень режим водохранилищ, которые давно устарели и требуют пересмотра. Огромные объемы переработки горных пород, отсутствие их комплексного использования, малый процент извлекаемых ценных продуктов, устаревшие технологии обогащения, использующие большие объемы воды, пирометаллургические процессы извлечения металлов, громадные объемы обводненных мелкодисперсных отходов, размещение их непосредственно в акваториях озер или руслах рек, сброс сточных вод в водоемы, аэротехногенное загрязнение водосборов делают предприятия горно-перерабатывающих отраслей основными источниками загрязнения окружающей среды региона. Значительный вклад в загрязнение Арктики вносят дальние трансграничные переносы загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в более южных индустриально-развитых регионах. При этом наибольшую опасность представляют тяжелые

металлы, которые не разлагаются, имеют высокую степень миграции и способны накапливаться в различных компонентах экосистем. Новым фактором, определяющим процессы трансформации пресноводных экосистем Арктики, является изменение климата.

Функционирование арктических пресноводных экосистем имеет ряд особенностей, обусловленных специфическими природными условиями и многофакторным антропогенным воздействием, имеющим как глобальный, так и региональный характер. При этом они являются наиболее уязвимыми компонентами природной среды Арктики, поскольку интегрируют все изменения окружающей среды, происходящие на территории их водосборов и аккумулируют большую часть загрязняющих веществ. Их биоразнообразие очень чувствительно к климатическим изменениям, нарушению гидрологического режима, ухудшению качества воды и вселению новых видов.

Можно выделить основные направления изменений в водоемах арктического региона.

- Увеличение токсичности водной среды вследствие накопления в озерах загрязняющих веществ.
- Изменение трофического статуса озер. Усиление темпов эвтрофикации.
- Инвазии новых видов и иные виды биологического загрязнения.
- Изменение направленности и скорости сукцессий.
- Снижение стабильности экосистемы и их биологического разнообразия, повышение рисков катастрофических деградационных изменений.

Высокий уровень индустриального развития Евро-Арктического региона привел к радикальным изменениям в структурно-функциональной организации природных экосистем, снижающих их ресурсный потенциал. Во многих озерах региона в условиях долговременного интенсивного загрязнения стоками промышленных предприятий на фоне снижения стабильности региональных климатических систем наблюдаются нарушения продукционных процессов, сложных межвидовых и симбиотических отношений гидробионтов, изменение видового состава их сообществ, выражающееся в исчезновении ценных промысловых видов (лососевые, сиговые) и увеличении доли малоценных эврибионтных короткоциклового местных и инвазивных видов. В водоемах Арктической зоны РФ регулярно наблюдается массовое развитие токсичных водорослей и микроорганизмов (HAB – Harmful Algal Blooms), способных вызывать не только гибель рыбы, но и наносить вред здоровью населения. Аквакультура становится мощным фактором эвтрофирования озер и рек региона и их биологического загрязнения. Инвазии новых видов и инфекционные заболевания угрожают природным популяциям. Рыбные болезни, передаваемые между странами и переносимые на диких рыб, могут привести к уничтожению природных популяций рыб и тем самым нарушить хрупкое равновесие экосистемы севера, быть причиной существенного экономического ущерба. Лечение вспышек заболеваний при выращивании рыб требует использование антибиотиков, а также утилизацию десятков тонн зараженной рыбы. Попадание антибиотиков в окружающую среду способствует развитию новых устойчивых к антибиотикам штаммов возбудителей, представляющих угрозу для здоровья человека. При этом попадающие в окружающую среду антибиотики разрушают природные микробные сообщества, играющие важную роль в циклах химических элементов. Утилизация заболевшей рыбы требует огромных инвестиций и может привести к банкротству рыбных хозяйств. Зачастую эти проблемы обусловлены низким уровнем менеджмента и игнорированием элементарных биологических законов природы.

Совместное действие климатических изменений и загрязнения окружающей среды носит сложный характер, вызывает глубокие перестройки в арктических пресноводных экосистемах, снижающие их устойчивость, ресурсный потенциал и, в конечном итоге, социально-экономическую значимость. Могут определить существенные изменения в важнейших для арктического региона отраслях экономики: энергетике, коммерческом рыболовстве (включая аквакультуру), туризме, привести к социальной напряженности вследствие ухудшения условий жизни. При этом многие аспекты современных процессов изменений поверхностных вод Арктики остаются не до конца изученными и понятными, что затрудняет поиск ответов на современные вызовы.

К этому необходимо добавить неэффективное управление водными ресурсами, включая отсутствие стратегии их использования и действенного контроля. Отсутствуют реестры, учитывающие количественные, качественные характеристики водных ресурсов и их использование, современная нормативная база, учитывающая природные особенности региона, эффективная система контроля. Следствием является резкое ухудшение качества поверхностных вод, деградация биологических ресурсов. В области складывается парадоксальная ситуация, когда при огромных запасах пресных вод большинство населенных пунктов испытывают дефицит качественной питьевой воды. Практически полностью прекратилось промышленное рыболовство на внутренних водах.

Такой крупный промышленный регион, как Мурманская область, испытывает острый дефицит качественной питьевой воды для всех населенных пунктов. Регион столкнулся с острой проблемой ликвидации распространения инфекций рыб и утилизации отходов аквакультуры, как следствия малопродуманной политики ее развития и неэффективного управления водными ресурсами. В отсутствии научно-обоснованных подходов использования водных ресурсов и управления их качеством неизбежна их деградация.

Это свидетельствует о низкой эффективности существующей системы контроля и охраны водных ресурсов. Наметившиеся в последние годы процессы, связанные с радикальными перестройками структурно-функциональной организации пресноводных экосистем Севера, требуют осмысления и анализа всей полученной информации, а также изучения новых аспектов функционирования экосистем в условиях глобальных преобразований климата и окружающей среды.

Среди организационных причин деградации водных ресурсов арктического региона можно отметить следующие: неадекватное управление; недостаток информации, научных знаний и понимания процессов, протекающих в водоемах; устаревшие технические и технологические решения; неадекватное использование интеллектуальных, финансовых и/или технологических ресурсов.

Многие проблемы, обуславливающие дегазационные процессы в поверхностных водах Арктики (накопление долгоживущих загрязняющих веществ, изменения климата, массовое цветение сине-зеленных водорослей, инвазии новых видов и т. д.), достаточно новые для этого региона и до конца не изучены. Совершенно очевидно, что в современных условиях необходимы новые подходы управления ресурсами поверхностных вод, учитывающие их современное состояние и тенденции их изменений. Для этого необходимо понимание механизмов трансформации как отдельных компонентов, так и экосистем в целом, изучение закономерностей функционирования водоемов в динамической системе взаимосвязанных природных и антропогенных факторов, а также выделение регулирующих и лимитирующих параметров среды, что позволит прогнозировать развитие природных систем в будущем и формировать новые принципы и подходы управления ресурсами поверхностных вод. Это может быть обеспечено проведением комплексных исследований, включающих реконструкцию долговременных изменений водоемов, и изучением современного состояния абиотических и биотических компонентов их экосистем.

П. А. Лозовик, Н. Е. Галахина

*Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
lozovik@nwpi.ksc.karelia.ru; kulakovanata@mail.ru*

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И НОРМИРОВАНИЕ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД

В настоящее время в связи с усиливающимся загрязнением окружающей среды остро встает проблема достоверной оценки ее загрязнения. Применительно к водной среде имеется много методических подходов такой оценки. В этой связи, прежде всего, необходимо выделить методы расчета индексов загрязнения воды, предложенные Роскомгидрометом (Временные..., 1986; РД 52.24.643-2002). В методиках (Былинкина и др., 1962; Оксик и др., 1993) оценивается качество воды по совокупности химических, микробиологических, гидробиологическим и физическим показателям. В отдельную группу необходимо выделить методы определения экологически допустимых уровней концентрации загрязняющих веществ (ЭДУ) (Замолотчиков, 1993; Фрумин, 1998), биогеохимического порога экологической толерантности (Патин, 1979) и гидроэкологичности (ГЭ) (Иванов, 1994). Моисеенко Т. И. (1998) предложена методика расчета суммарного индекса качества воды ($I_{\text{сум}}$), учитывающего изменение физико-химических показателей, степень загрязнения токсичными веществами и евтрофирование вод. Для оценки загрязнения вод разработан также метод, основанный на региональных предельно допустимых концентрациях (Лозовик, Платонов, 2005). Розенберг Г. С. с соавторами (2011) предложили расчет региональных нормативов качества вод, Селезнева А. В. и Селезнев В. А. (2011) – региональных допустимых концентраций. Веницианов Е. В. с соавторами рассматривает качество вод с позиций распределения химических показателей в водных объектах (Веницианов и др., 2015).

Для выяснения применимости отдельных методик для оценки загрязнения вод был проведен анализ получаемых на их основе результатов на примере водных объектов озерно-речной системы Кенти, подверженной влиянию техногенных вод Костомукшского ГОКа (Кулакова, Лозовик, 2012). Ежегодно в систему осуществляются попуски воды из хвостохранилища, объем которых зависит от водности года и в среднем составляет около 14 млн м³/год. В нее поступают рудничные воды с Корпангского месторождения, а также воды отводных каналов и фильтрационные. Общий объем техногенных вод, включая каналы, оценивается около 39 млн м³/год. Загрязнение вод системы р. Кенти отражается в первую очередь на содержании K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni, а также на величине минерализации и соотношении ионов щелочных и щелочно-земельных металлов (Кулакова, Лозовик, 2012). Наибольшие величины указанных показателей отмечаются в верхних водоемах системы, наименьшие – в нижних озерах и оз. Ср. Куйто.

Оценить загрязнение системы р. Кенти по методике А. А. Былинкиной с соавторами (1962) не представляется возможным, поскольку из рекомендованных в ней показателей используются только два химических (содержание аммония и БПК₅), которые не отражают загрязнение системы.

Оценка качества вод системы р. Кенти по отдельным компонентам, проведенная в соответствии с методикой О. М. Окснюка с соавторами (1993), показала, что по степени минерализации все водоемы системы являются пресными и относятся большей частью к сульфатному классу группы калия. Из физических показателей загрязнение выявлено по цветности в нижних озерах и оз. Ср. Куйто и их воды соответствуют "слабо загрязненным" и "умеренно-загрязненным". Это объясняется тем, что в эти озера наблюдается больший приток природных гумусных вод с водосбора, чем в верхние озера, куда в основном поступают техногенные воды с низкими показателями содержания ОВ. И фактически, эта характеристика загрязненности не соответствует реальной действительности, а отражает природную специфику вод. Выявлено также загрязнение водоемов системы р. Кенти азотными соединениями, особенно нитратами. Степень загрязнения ими изменяется от "предельно грязной" до "предельно чистой" от верхних к нижним озерам, что вполне закономерно за счет боковой приточности и трансформации азотсодержащих веществ в системе. Содержание фосфора в водоемах системы р. Кенти находится на уровне фона и согласно данной классификации по этому показателю воды относятся к "очень" и "предельно чистым". Загрязнение вод токсичными веществами выявлено по таким металлам, как Mn и Cu, но оно связано с геохимическими особенностями региона. В целом, авторы (Окснюк и др., 1993) используют только частные показатели, и в их методике нет интегрированной оценки качества воды и не учитываются геохимические особенности региона. В результате получается завышенная степень загрязненности вод (по цветности, Cu, Mn), которая связана с региональной спецификой вод.

Что касается расчетов ЭДУ по (Замолодчиков, 1993; Фрумин, 1998) и биогеохимического порога экологической толерантности по (Патин, 1979), то получается, что чем грязнее водоем, тем выше значения этих показателей (рис.1). Это связано с тем, что расчеты авторов базируются на данных наблюдений в самих водоемах. В принципе величина ЭДУ должна быть одинаковой для всех водоемов системы, и она должна отражать допустимое поступление веществ в них. Фактически такая же картина получается и по варианту расчета (Веницианов и др., 2015), в котором региональная ПДК близка к третьему квартилю распределения химических показателей в водном объекте. По этой методике для каждого объекта будет получаться свое значение региональной величины ПДК.

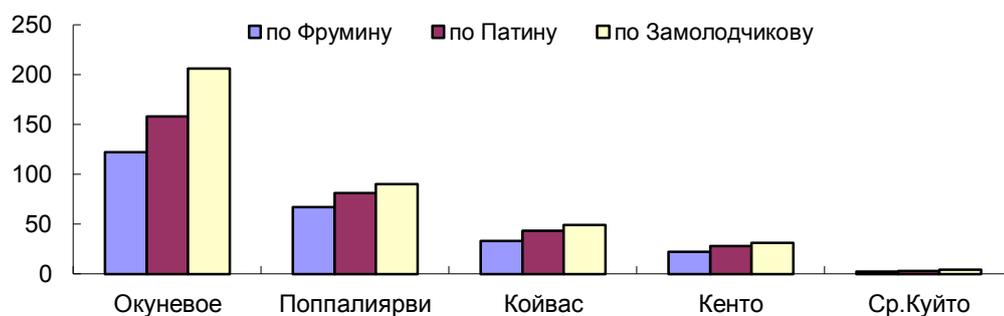


Рис.1. ЭДУ и биогеохимический порог экологической толерантности, рассчитанные для системы р. Кенти по методикам (Замолодчиков, 1993; Патин, 1979; Фрумин, 1998)

Гидроэкологичность по Иванову В. В. (1994) есть не что иное, как техногенная нагрузка (Z_T), только имеющая значительно большие значения (рис.2).

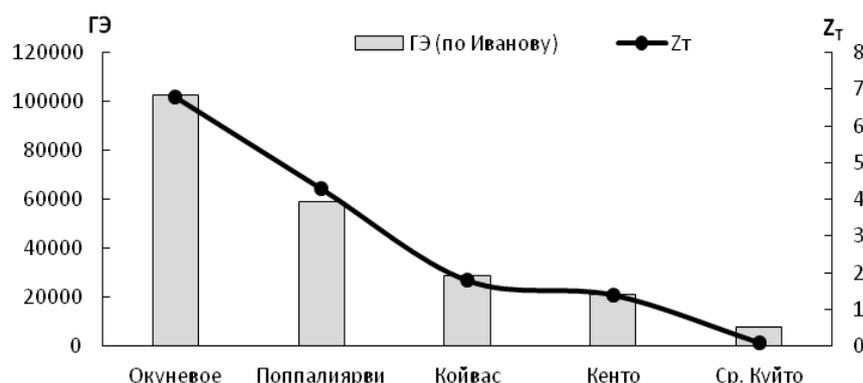


Рис.2. Гидроэкологичность по (Иванов, 1994) и техногенная нагрузка по (Янин, 1999) для системы р. Кенти

Основной вклад в величину суммарных индексов загрязнения воды системы р. Кенти, рассчитанных в соответствии с (Моисеенко, 1998), дает изменение физико-химических параметров (в нашем случае изменение минерализации), поскольку максимальная фоновая $\Sigma_{ин}$ в водоемах системы очень низкая (табл.1). И в этом случае вряд ли следует считать, что суммарный индекс реально отражает состояние водных объектов системы.

Таблица 1

Суммарные индексы загрязнения водоемов системы р. Кенти по (Моисеенко, 1998)

Водный объект	$I_{ф-х}$	$I_{евт}$	$I_{токс}$	$I_{сум}$
Хвостохранилище	56	0	8	64
Оз. Окуневое	44	0	6	50
Оз. Поппалярви	29	0	4	33
Оз. Койвас	12	0	2	14
Оз. Кенто	10	0	1	11
Оз. Ср. Куйто	1	0	0.2	1.2

Методики (Розенберг и др., 2011; Селезнева, Селезнев, 2011) позволяют оценить качество воды системы без учета поступления в нее техногенных вод Костомукшского ГОКа.

С использованием методики (Временные..., 1986) путем расчета индексов загрязнения воды (ИЗВ) по общероссийским ПДК по формуле

$$ИЗВ = 1/6 \sum \frac{C_i}{ПДК_i}$$

установлен низкий уровень загрязнения водоемов системы р. Кенти (табл.2). Это связано с тем, что по учитываемым элементам ПДК намного больше их фоновых концентраций, поэтому получаются заниженные значения ИЗВ. Для расчета использовали содержание K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li , O_2 и величина БПК₅.

Таблица 2

ИЗВ хвостохранилища, системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто

Объект	ИЗВ _{росс}	Характеристика по ИЗВ _{росс}	ИЗВ _{пер}	Характеристика по ИЗВ _{пер}
Хвостохранилище	1.5	Умеренно загрязненное	19.2	Чрезвычайно грязное
Оз. Окуневое	1.2	Умеренно загрязненное	14.0	Чрезвычайно грязное
Оз. Поппалярви	0.9	Чистое	8.5	Очень грязное
Оз. Койвас	0.4	Чистое	3.6	Загрязненное
Оз. Кенто	0.4	Чистое	2.6	Загрязненное
Оз. Ср. Куйто	0.2	Чистое	0.3	Чистое

Расчеты комбинаторного и удельного комбинаторного индексов загрязненности воды (КИЗВ и УКИЗВ) в соответствии с (РД 52.24.643-2002) позволили выявить большее загрязнение системы р. Кенти (табл.3), но оно обусловлено повышенным содержанием Mn, отражающим региональную специфику вод, а не их загрязнение.

Таблица 3

КИЗВ и УКИЗВ хвостохранилища, системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто по данным наблюдений 2009-2012 гг.

Объект	КИЗВ	УКИЗВ	Характеристика по УКИЗВ	КПЗ
Хвостохранилище	77.2	5.5	Грязное	2(Fe _{общ} , Mn)
Оз. Окуневое	52.3	3.7	Очень загрязненное	1(Mn)
Оз. Поппалиярви	44.1	3.2	Очень загрязненное	1(Mn)
Оз. Койвас	25.1	1.8	Слабо загрязненное	0
Оз. Кенто	36.5	2.6	Загрязненное	1(Mn)
Оз. Ср. Куйто	29.2	2.0	Слабо загрязненное	0

С использованием методики, аналогичной расчету ИЗВ (Временные..., 1986), но учитывающей уже региональные ПДК (РПДК)

$$\text{ИЗВ}_{\text{рег}} = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{\text{РПДК}_i},$$

получена более контрастная картина загрязнения вод (табл.1): от «чрезвычайно грязного» (хвостохранилище) до «загрязненного» (оз. Кенто). И эта оценка согласуется с данными гидробиологических наблюдений (Куликова, Калинин, 2007). Для расчета ИЗВ_{рег} использовали данные по содержанию K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Li и Ni. Для веществ, у которых ПДК >> C_{фон}, РПДК рассчитывается как среднегеометрическое их значение:

$$\text{РПДК} = \sqrt{\text{ПДК} \cdot C_{\text{фон}}}$$

(Лозовик, Платонов, 2005). Для соединений, у которых ПДК одного порядка, что и фоновая концентрация, используется их сумма:

$$\text{РПДК} = \text{ПДК} + C_{\text{фон}}$$

Вещества, содержание которых в природных водах больше ПДК, не учитываются при оценке загрязнения воды.

Таким образом, анализ различных методических подходов показал, что наиболее объективную оценку загрязнения вод можно получить при использовании методики, учитывающей ПДК элементов для рыбохозяйственных водоемов и их геохимический фон. На основе этой методики можно также осуществить нормирование сброса сточных вод.

В качестве допустимого объема сброса сточных вод следует принимать такой их объем, когда ИЗВ_{рег} = 1.0. Согласно данным табл.1, во всех ее объектах системы р. Кенти превышен объем допустимого сброса техногенных вод и только для оз. Ср. Куйто он меньше. ИЗВ_{рег} отражает загрязнение воды в водном объекте, но он не показывает, какой имеется объем загрязненных вод. Поэтому целесообразно ввести критерий нормируемого количества загрязненных вод (КЗВ) как произведение ИЗВ_{рег} на среднегодовой сток (V_{ст}): КЗВ = ИЗВ_{рег} V_{ст}. Этот критерий показывает, какому количеству разбавленных техногенных вод будет соответствовать ИЗВ_{рег} = 1.0 или до какого объема следует разбавить загрязненные воды, чтобы ИЗВ_{рег} стал равным 1.0. Расчеты КЗВ для водных объектов системы р. Кенти (рис.3) показали близкие их значения независимо от месторасположения озер (вблизи выпусков техногенных вод или вдали). В среднем по системе КЗВ составляет 302 млн м³/год и отличие КЗВ для отдельных водных объектов не превышает 6 % от среднего значения. КЗВ, рассчитанное для техногенных вод, достигает 293 млн м³/год. Величина допустимого количества загрязненных вод (ДКЗВ) будет различной для каждого водного объекта и фактически она равна среднегодовому объему стока из него.

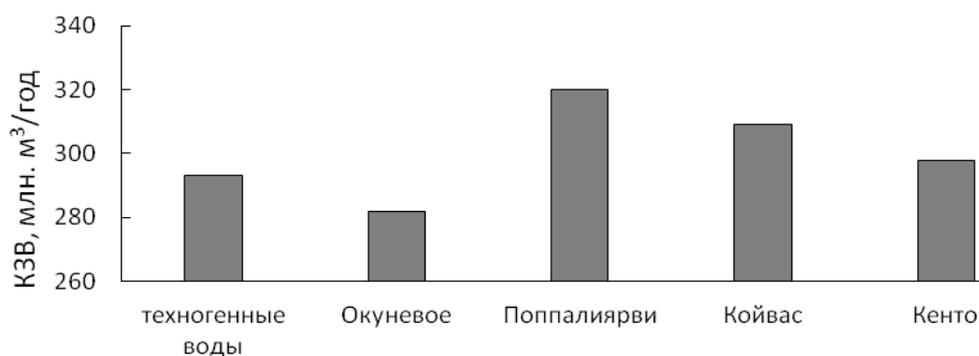


Рис.3. КЗВ для техногенных вод и водоемов системы р. Кенти, рассчитанные по среднемноголетним данным (1994-2009 гг.)

Предложенный вариант оценки последствий загрязнения водной среды имеет свои преимущества. Во-первых, учитывается региональная специфика вод, во-вторых, рассматривается как объем загрязненных вод, так и степень их загрязнения, в-третьих, не имеет значения, по каким компонентам осуществляется расчет $ИЗВ_{рег}$, в-четвертых, нет принципиального значения, где устанавливается контрольный створ, как это имеет место в существующей методике (Методика..., 2007).

Литература

1. Былинкина А. А., Драчев С. М., Ицкова А. И. О приемах графического изображения аналитических данных о состоянии водоемов // Материалы 16-го гидрохим. совещ. Новочеркасск, 1962. С. 8-15.
2. Веницианов Е. В., Губернаторова Т. Н., Лепихин А. П., Мирошниченко С. А. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды для водных объектов бассейна Верхней Камы // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 15-18 сентября 2015 г. / ИВП РАН: отв. ред. Болгов М. В. Москва: ИВП РАН, 2015. С. 146-149.
3. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250-1163. М., 1986. 5 с.
4. Замолотчиков Д. Г. Оценка экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. Т. XV. С. 214-233.
5. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов. Книга 1. S-элементы. М.: Недра, 1994. 304 с.
6. Кулакова Н. Е., Лозовик П. А. Анализ влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду с учетом природно-техногенных факторов формирования и трансформации вод // Вода: химия и экология, 2012. № 2. С. 18-25.
7. Куликова Т. П., Калинин Н. М. Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Характеристика биоценозов. Зоопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 115-124.
8. Лозовик П. А., Платонов А. В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология, 2005. № 6. С. 527-532.
9. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные среды для водопользователей. Утв. МПР России от 17.12.2007 г. Приказ № 333. 41 с.
10. Моисеенко Т. И. Экотоксикологический подход к нормированию антропогенных нагрузок на водоемы Севера // Экология. 1998. № 6. С. 452-461.
11. Оксюк О. М., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 30, № 2. С. 213-221.
12. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность мирового океана М.: Пищевая промышленность, 1979. 304 с.
13. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 50 с.
14. Розенберг Г. С., Евланов И. А., Селзнев В. А. и др. Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней

- Волги) // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 5-29.
15. Селезнева А. В., Селезнев В. А. Учет региональных особенностей при нормировании антропогенной нагрузки на водные объекты // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 167-170.
 16. Фрумин Г. Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование. СПб.: Синтез, 1998. 96 с.
 17. Янин Е. П. Введение в экологическую геохимию. М.: ИМГРЭ, 1999. 68 с.

В. А. Маслобоев

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
masloboev@ksc.ru*

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В АРКТИКЕ

Горно-перерабатывающие промышленные комплексы в процессе своей деятельности в условиях Арктики ориентированы на замыкающий товарный продукт в виде концентратов и выполняют работы по добыче и обращению с извлечёнными горными массами: классификация горной массы на вскрышу, некондиционное сырьё и руду, обогащение с выделением целевых концентратов и отходов обогащения. Этот процесс сопровождается складированием в отвалах пустой породы, забалансовых руд, дезинтегрированных отходов обогащения, сбросом крупнотоннажных технологических стоков, промышленных выбросов в виде пыли и неиспользованного тепла. Отличительная особенность любого из производств Субарктики – это относительно низкий уровень природопользования как минеральным сырьём, так и природными ресурсами, что объясняется историческими условиями доиндустриального освоения Севера, а также сформированной структурой обращения с товарными продуктами, потребительским рынком, направленным в основном на переработку в более высокотехнологичные продукты в метрополии или за рубежом. Сюда, безусловно, следует добавить и проблемы формирования законодательной базы недропользования, природопользования, обращения с отходами производства и потребления, социальные условия. Пионерский способ освоения Субарктики остаётся преобладающим, если функционирование горно-рудных предприятий приводит к накоплению огромных масс отходов обогатительного передела. В последнее время эти хвостохранилища привлекают к себе всё большее внимание, с одной стороны, как источник реальной угрозы загрязнения окружающей среды токсичными элементами (Ni^{+2} , Cu^{+2} , Co^{+2} , Al^{+3} , Sr^{+2} , F^-), с другой – как техногенные месторождения.

Основные экологические проблемы Арктики (загрязнение атмосферы и водных ресурсов, антропогенная деградация экосистем, утилизация горнометаллургических отходов, ликвидация накопленного экологического ущерба) осложняются в последнее десятилетие экологическими и социально-экономическими последствиями изменения климата.

В России до сих пор не уделялось достаточное внимание проблеме изменения климата. Наоборот, имеет место преувеличение положительных проявлений изменения климата (Северный морской путь, развитие сельского хозяйства, сокращение расходов на отопление), за которыми не видно отрицательных. Огромные запасы углеводородного сырья не стимулируют развития альтернативной энергетики и энергосбережения. Сказывается недостаток экологического образования и крайне низкая экологическая ответственность населения.

Проблема экологической безопасности при добыче и переработке минерального сырья остро стоит во всем мире. В нашей стране она имеет свою специфику: использование относительно бедного минерального сырья, часто нетрадиционных его видов, содержащих несколько полезных компонентов. Специфическим является и географическое положение отечественной минерально-сырьевой базы – большая часть промышленных месторождений расположена в районах Крайнего Севера. Огромные объемы накопленных отвальных пород и хвостов обогащения создают серьезные экономические и экологические проблемы. В Мурманской области ежегодно складывается более 150 млн т отходов, общий объем которых к настоящему времени достиг около 8 млрд т. Из этого

объема забалансовые и попутные руды, уложенные в отвалы – 2.4 %, породы вскрыши и проходки (скальные и моренные) – 72.4 %, хвосты обогащения – около 24 %, остальное составляют шлаки и золы.

Основные факторы негативного воздействия на окружающую природную среду минерально-сырьевых предприятий.

1. Пространственно-временная деформация ландшафтов и климата (удаление почвенного слоя, образование пустотных пространств, размещение отвалов горных пород, шлаков, золы и т.д.).

2. Загрязнение грунтовых и поверхностных водных экосистем за счет сброса шахтных, карьерных вод и отходов металлургического и обогатительного производства, подогретых вод контура охлаждения энергетических предприятий.

3. Загрязнение территорий (леса, почвы, водоемы), значительно удаленных от промышленных зон за счет атмосферного переноса и последующего выпадения вредных веществ (газы, пыль, включая тяжелые металлы), в результате выброса пыли и газов металлургическими производствами и тепловыми электростанциями, работы карьерного автотранспорта и применения взрывчатых веществ на подземных и открытых работах.

4. Нарушение естественной трансформации минералогического, химического и физического состава продуктов выветривания горных пород при размещении в них отходов.

Основные геохимические факторы, определяющие эмиссию загрязнителей из техногенных минеральных отходов:

- подвижность поллютантов, а именно, способность химических элементов переходить из твёрдых фаз (почвы, грунты, породы) в жидкую фазу (воду);
- миграционная способность – изменение масштабов и интенсивности перемещения химических элементов в природных геосистемах вследствие изменения термодинамических и геохимических условий;
- трансформация состава отходов в хвостохранилищах и, как следствие, изменение структуры потоков рассеяния поллютантов в окружающей среде.

Источниками поступления поллютантов в техногенные минеральные отходы являются как компоненты руд и вмещающих пород, так и технологические химические реагенты органической природы, в результате чего формируются сложные поликом-понентные органо-минералогические комплексы, поведение которых в окружающей среде изучено недостаточно.

Проявления локального техногенеза и климат. Климат будет влиять на:

- функционирование в пределах промышленных площадок техногенных объектов, оказывающих взаимное влияние друг на друга (депресссионная воронка карьера, хвостохранилище, отстойник), а также на природную гидросеть и подземные воды;
- наличие сложной технической гидросети с интенсивным водооборотом большого объема воды, существование «подвешенных» водоемов с высокой минерализацией и значительным объемом водной массы – проблема фильтрации через дно, стенки, дамбы;
- наличие малосвязанных, дезинтегрированных масс грунта, незащищенных естественным почвенным и растительным покровом, активизируются процессы выветривания;
- накопление загрязняющих веществ (ЗВ) в техногенных объектах и природных средах (почвах, илах, растительности, животных, т.д.).

Вовлечение в переработку новых видов сырья обусловит увеличение перечня ЗВ (новые минералы, реагенты). Усложнится внутренний водооборот предприятий. Потребуется новые системы очистки воды. Например, нами установлено, что интенсивная разработка апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений сопровождается интенсивным гипергенным взаимодействием многочисленных рудопроявлений молибденита, приводящим к появлению в природных водах молибдена в концентрациях, превышающих предельно допустимые в 20-30 раз.

Будущее горной промышленности в Арктической зоне РФ в условиях глобального изменения климата. Анализ российских и иностранных источников показывает, что в будущем при интенсивном развитии горнодобывающих проектов в Арктике можно выделить следующие проблемы (вызовы):

- необходимость учета интересов коренных и малочисленных народов Севера. Сохранение практик традиционного природопользования; вовлечение КМНС в обеспечение продовольственной безопасности горнодобывающих проектов в Арктике вдоль трассы СМП;
- подготовка достаточного количества квалифицированных и мотивированных кадров для горнодобывающих проектов в Арктике;

- необходимость разработки новых технологий, обеспечивающих экологическую безопасность и низкую ресурсо- и энергоемкость горнодобывающих проектов в Арктике.

В сфере экологической безопасности недропользования в условиях глобальных изменений климата следует выделить пять основных задач:

- обеспечение безаварийной эксплуатации технологического оборудования, в первую очередь, на объектах добычи углеводородного сырья;

- внедрение современных технологий, обеспечивающих минимизацию негативного воздействия на окружающую среду (наилучшие доступные технологии – НДТ);

- обеспечение готовности специализированных подразделений и служб к ликвидации последствий возможных аварий, в том числе – экологических, а также организационного обеспечения (в том числе финансового) профилактики возможных аварий, как на суше, так и на континентальном шельфе;

- предоставление субъектами хозяйственной деятельности оперативной достоверной информации о конкретных случаях загрязнения окружающей среды и принимаемых мерах по реабилитации загрязнённых территорий и водных объектов;

- организация эффективной системы производственного контроля и государственного надзора.

Секция 1

ПРИРОДНАЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ДИНАМИКА ТУНДРОВЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

О. А. Белкина, А. Ю. Лихачев

*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского НЦ РАН,
г. Анатиты
olgabelk@yahoo.com*

РЕДКИЕ И ОХРАНЯЕМЫЕ МХИ ВОЛЧЬИХ ТУНДР (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В продолжение многолетнего изучения видового разнообразия и распространения мхов Мурманской области, в 2011-2012 гг. была обследована южная часть горного массива Волчья тундры, частично входящего в состав Лапландского государственного природного биосферного заповедника (ЛЗ). В первый год полевые работы проводились на южном и юго-восточном склонах горы Волчья Тундра (другое название горы – Северная и Южная Совельуайвенч). В 2012 г. маршрутами были охвачены юго-западный склон Волчьей Тундры, глубокая расщелина у его основания (далее – Скалистое ущелье) и расположенная к западу от нее безымянная возвышенность, а также западный, северный и частично восточный склоны Волчьей Тундры, перевал у южного склона горы Мочесньюначорр. Самая северная часть изученной территории не входит в состав заповедника, но примыкает к его границе. Всего собрано более 500 образцов мхов со 120 площадок.

Волчьи тундры расположены к северу от горного массива Чуна-тундра, как бы являясь его продолжением, но отделенным долиной рек Купись, Вайкис и оз. Вайкис. Волчьи тундры вытянуты приблизительно на 13-13.5 км в меридиональном направлении, имея в ширину более 4 км; максимальная высотная отметка составляет 956 м над ур. моря (г. Юкспор). Волчьи тундры сложены продолжающейся от Чуна-тундры полосой габбро и габбро-анортозитов. С запада к этой полосе, почти параллельно ей, примыкает комплекс оснований (гнейсы, мигматиты, граниты). В юго-западной части горного массива между этими двумя полосами вклинивается участок, сложенный гнейсами и амфиболитами (метавулканитами среднего, кислого и основного состава). Он приурочен к упомянутому выше узкому Скалистому ущелью и прилегающей к нему с запада возвышенности. Наличие анортозитов, а также обнажений ультраосновных пород на склонах гор и в ущелье обеспечивает повышенное содержание доступного кальция на некоторых участках, в которых регистрируется концентрация кальцефильных видов мхов.

Горы имеют куполообразные вершины и сравнительно пологие гладкие склоны в верхней, горно-тундровой части. Южные склоны горы Волчья Тундра в нижней части крутые, с отвесными скальными обнажениями. Стекая по ним, ручьи образуют многочисленные небольшие водопады разной высоты и степени затененности. Растительность лесного пояса представлена сосновыми и еловыми лесами, преимущественно кустарничковыми, но также кустарничково-лишайниковыми (сосняки) и разнотравными (ельники). В березовых криволесьях встречаются участки с березово-ивовым древостоем и ольшаники. В верхней части пояса нередко отдельно стоящие или расположенные группами высокие (4-6 м высотой) ели и сосны. В горно-тундровом поясе преобладают кустарничковые тундры. Во всех поясах встречаются каменистые россыпи и скальные обнажения. Понижения рельефа заняты небольшими осоково-сфагновыми и пушицево-осоковыми болотцами. В Скалистом ущелье по крутым скалистым бортам, иногда на осыпях произрастают ельники, осинники, а также рябиново-березовые с единичными елями сообщества. Дно ущелья занято нагромождениями крупных скальных обломков, местами покрытых почвой с сосудистыми

растениями и моховым покровом, или перемежающимися с сырыми ельниками на участках, где ручей выходит на дневную поверхность.

В горном массиве Волчья тундры зарегистрировано 169 видов мхов. Это число видов невелико для горного массива, но с учетом небольших размеров обследованной площади представляется вполне высоким. Впервые для Лапландского заповедника выявлено 12 видов мхов (табл.). Большинство их имеет спорадическое распространение в Мурманской области. За исключением двух видов (*Dicranum groenlandicum*, *Ditrichum heteromallum*) общей особенностью новых для заповедника видов является их кальцефильность, т.е. приуроченность к местообитаниям с повышенным содержанием доступного кальция в горных породах и, соответственно, в почве. Карбонатные породы не имеют широкого распространения в Мурманской области, поэтому данные виды встречаются в регионе довольно редко.

Новые для Лапландского заповедника (ЛЗ) и/или внесенные в Красную книгу Мурманской области (ККМО) виды мхов, найденные в горном массиве Волчья тундры

№ п/п	Название вида	Место произрастания	Чем интересен
1.	<i>Abietinella abietina</i>	ЮЮОВ склон г. Волчья Тундра	Новый для ЛЗ
2.	<i>Amphidium mougeotii</i>	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ
3.	<i>Andreaea blyttii</i> Bruch et al.	Северный склон безымянной горы между г. Волчья Тундра и г. Мочесньоначорр; восточный склон г. Волчья Тундра	ККМО (2014) – 3
4.	<i>Dicranum groenlandicum</i> Brid.	ЮЮОВ склон г. Волчья Тундра	Новый для ЛЗ
5.	<i>Diphyscium foliosum</i> (Hedw.) Mohr	ЮЮОВ склон г. Волчья Тундра; Скалистое ущелье	ККМО (2014) – особое внимание
6.	<i>Ditrichum heteromallum</i> (Hedw.) E.Britton	Распадок с озерами между двумя возвышенностями, расположенный в 2.5-3 км к ЮЗ от вершины г. Волчья Тундра и к ССВ от Скалистого ущелья	Новый для ЛЗ
7.	<i>Encalypta affinis</i> R.Hedw.	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ ККМО (2014) – особое внимание
8.	<i>E. rhaptocharpa</i> Schwägr.	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ
9.	<i>E. streptocarpa</i> Hedw.	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ ККМО (2014) – 3
10.	<i>Neckera complanata</i> (Hedw.) Huebener	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ ККМО (2014) – 3
11.	<i>Pohlia crudoides</i> (Sull. & Lesq.) Broth.	ЮЮОВ склон г. Волчья Тундра; Скалистое ущелье; Возвышенность к юго-западу от вершины г. Волчья Тундра и Скалистого ущелья	ККМО (2014) – особое внимание
12.	<i>P. formosum</i> (Hedw.) G.L. Sm.	Возвышенность к юго-западу от вершины г. Волчья Тундра и Скалистого ущелья	ККМО (2014) – особое внимание
13.	<i>Schistidium boreale</i> Poelt	ЮЮОВ склон г. Волчья Тундра	Новый для ЛЗ
14.	<i>Schistidium papillosum</i> Culm.	ЮЮОВ склон г. Волчья Тундра	Новый для ЛЗ
15.	<i>Stereodon revolutus</i> Mitt.	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ
16.	<i>Tayloria tenuis</i> (Dicks. ex With.) Schimp.	Скалистое ущелье	Новый для ЛЗ

Примечание. В последнем столбце после указания, что вид внесен в Красную книгу Мурманской области (2014), дается значение категории редкости данного вида. Аббревиатура ЮЮОВ означает юго-юго-восточный, ССВ – северо-северо-восточный.

Три вида мхов внесены в Красную книгу Мурманской области как редкие.

Еще 4 вида включены в дополнительный список как нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде в Мурманской области (в таблице – «особое внимание»). В этой группе следует отметить *Diphyscium foliosum*, популяция которого была исследована в Скалистом ущелье. Обычно популяции этого вида очень малочисленны, занимают небольшую площадь на маленьких

уступах выходов горных пород, реже – на пятнах морозного пучения грунта. В ЛЗ одна такая группа растений была найдена нами ранее (впервые для заповедника) в урочище Сейднотлаг (Белкина, Лихачев, 2011). Другая небольшая популяция отмечена на юго-юго-восточном склоне горы Волчья Тундра в 2011 году. На следующий год обширные куртины этого вида, местами без примесей других мхов, были встречены в Скалистом ущелье – на почве у основания скал на крутом склоне, на покрытых почвой крупных камнях каменной россыпи на дне ущелья, а также на горизонтальных участках с почвой под крупными каменными глыбами. В 2012 г. растения образовали многочисленные спорофиты, что в условиях Мурманской области встречается сравнительно редко. Очевидно, что условия произрастания для данной популяции являются очень благоприятными. Кроме того, по-видимому, 2012 г. был в целом подходящим для образования спороношений у *D. foliosum*, поскольку в этот год многочисленные коробочки были собраны и в других районах Мурманской области – Кицких тундрах и Хибинских горах (Fedosov, 2012). Учитывая эти находки, а также то, что вид встречается на ООПТ (ЛЗ, Кутса, ПАБСИ) и что в Волчьих тундрах находится большая популяция этого вида с хорошим возобновлением, при составлении 2-го выпуска Красной книги Мурманской области *D. foliosum* был исключен из числа нуждающихся в специальных мерах охраны.

Интересно отметить, что в 2012 г. в ЛЗ были отмечены спорофиты и у другого, довольно редко спороносящего вида – *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr. Хотя этот вид является широко распространенным в области, коробочки у него образуются лишь изредка. Гораздо чаще формируются органы вегетативного размножения, расположенные на безлистных верхушках побегов.

Аналогично *D. foliosum*, находка в Волчьих тундрах на территории ЛЗ популяции *Pohlia crudoides* показала, что данный вид встречается в области спорадически, в том числе на ООПТ, периодически спороносит, и, следовательно, не нуждается в специальных мерах охраны. Этот вид также был исключен из 2-го издания областной Красной книги, но, как и *D. foliosum*, внесен в дополнительный список нуждающихся в особом внимании из-за небольших размеров известных популяций.

Несколько видов, встреченных в Волчьих тундрах, включено в Красную книгу мохообразных Европы (1995). *Grimmia reflexidens* Müll. Hal. (категория редкости R) и *Schistidium papillosum* (категория K) найдены на южных склонах горы Волчья Тундра, *Pseudeskeella papillosa* (Lindb.) Kindb. (категория R) – в Скалистом ущелье.

Наиболее интересным в бриологическом отношении является Скалистое ущелье, расположенное в основании юго-западного склона вершины горы Волчья Тундра, начинающееся у юго-западного конца оз. Вайкис и ориентированное на северо-запад. Из 12 новых для заповедника видов, 7 собрано в нем, в том числе 2 «краснокнижных». Отвесные высокие скалы, влажные и сухие выходы горных пород среди деревьев, осинники на каменистых крутых осыпях, нагромождения каменных глыб на дне ущелья, ручьи, – все это создает большое разнообразие местообитаний. Кроме того, наличие повышенного количества доступного кальция обусловило произрастание большого числа кальцефильных видов которые всегда увеличивают видовое богатство локальной флоры, придают ей своеобразие, в том числе благодаря наличию среди них большого числа редких видов. Из 27 обнаруженных кальцефильных видов 19 произрастают в упомянутом ущелье.

Вместе с тем, южные склоны Волчьей Тундры тоже представляют значительный интерес. Наряду с горными породами своеобразие району придают многочисленные ручьи с водопадами и связанные с ними скалы, затененные лесом и на некоторых участках орошаемые брызгами этих водопадов. В таких местообитаниях встречаются *Amphidium lapponicum* (Hedw.) Schimp., *Blindia acuta* (Hedw.) Bruch et al., *Bucklandiella sudetica* (Funck) Bednarek-Ochyra & Ochyra, *Dichodontium palustre* (Dicks.) M. Stech, *Dichodontium pellucidum* (Hedw.) Schimp., *Ochyraea duriuscula* (De Not.) Ignatov & Ignatova, *Oxystegus tenuirostris* (Hook. & Taylor) A.J.E. Smith, *Philonotis seriata* Mitt. и многие другие виды. На южных склонах произрастают 10 кальцефильных видов мхов, найдено 4 новых для заповедника вида и 2 требующих биологического надзора.

Как указывалось выше, часть обследованной территории находится вне границ ЛЗ. Там из числа охраняемых мхов был встречен только *Andreaea blyttii*. Но на восточном склоне г. Волчья Тундра, уже на территории заповедника, находится вторая найденная точка произрастания. Ряд видов был собран только на примыкающих к заповеднику участках Волчьих тундр. Большинство из них являются распространенными в пределах заповедника видами и, без сомнения, произрастают и в южной части массива (*Polytrichum hyperboreum* R.Br., *Bryum weigelii* Spreng., *Sphagnum squarrosum* Crome). Другая часть видов (*Pohlia ludwigii* (Spreng. ex Schwaegr.) Broth., *P. wahlenbergii* (F. Weber & D. Mohr) A.L. Andrews) приурочена к участкам с поздно стаивающим снегом, которых оказалось

много именно в том районе. Это тоже широко распространенные виды и, скорее всего, встречаются также и в верхних частях г. Волчья тундра. Третья группа видов имеет спорадическое распространение по территории заповедника и, вполне вероятно, может не произрастать на охраняемой части Волчьих тундр (*Tortella fragilis* (Hook. & Wilson) Limpr., *Splachnum sphaericum* Hedw.).

Таким образом, южные склоны горы Волчья Тундра и Скалистое ущелье представляют большой бриологический интерес, являясь местом произрастания целого комплекса кальцефильных мхов, а также созологически значимых видов. Живописный и разнообразный ландшафт обеспечивает произрастание большого числа различных по экологии видов. Здесь отмечены редкие сосудистые растения – *Fragaria vesca* L., *Polypodium vulgare* L. и др. Исходя из этого, предлагаем расширить границы проектируемой ключевой ботанической территории «Скалы в долине озера Вайкис» (Боровичев и др., 2011) и включить в нее указанные участки района Волчьих тундр. А при возможном зонировании площади Лапландского заповедника рекомендуем отнести их в разряд наиболее ценных территорий.

Выражаем большую благодарность администрации и сотрудникам Лапландского заповедника за финансовую и организационную поддержку работы. Исследование частично поддержано грантом РФФИ 15-29-02662.

Литература

1. Белкина О. А., Лихачев А. Ю. Список мхов урочища Сейднотлаг (Лапландский заповедник) // Ботанические сады и устойчивое развитие северных регионов. Материалы докладов Всеросс. научной конф. с междунар. участием, посвященной 80-летию юбилею ПАБСИ КНЦ РАН, Апатиты-Кировск, 25-28 августа 2011 г. Апатиты: К&М, 2011. С. 17-22.
2. Боровичев Е. А., Костина В. А., Шалыгин С. С. Некоторые ключевые ботанические территории Лапландского заповедника (Мурманская область) // Труды Карельского НЦ РАН. № 2, 2011. С. 48-55.
3. Красная книга Мурманской области. Кемерово: Изд-во Азия-Принт, 2014. 578 с.
4. Fedosov V. E. New moss records from Murmansk Province 3 // Arctoa. 2012. V. 21. P. 265.
5. Red Data Book of European Bryophytes. Trondheim, 1995. 290 p.

Н.Г. Берлина, Н.В. Зануздаева

ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник»,
г. Мончегорск
n_berlina@yandex.ru

ДИНАМИКА ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ *BETULA CZEREPANOVII ORLOVA* В ЛАПЛАНДСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Лапландский государственный биосферный заповедник – один из крупнейших в европейской части России. Его площадь составляет 278435 га (Особо охраняемые ..., 2003). Заповедник организован в 1930 г. для охраны дикого северного оленя и сохранения репрезентативного участка Российской Лапландии с характерными ландшафтами, флорой и фауной северной тайги и горных тундр. Лапландский заповедник, находится почти в центре гористой западной части Кольского п-ова, и характеризует именно этот регион. Территория его полностью входит в зону северной тайги, граница которой с равнинной тундрой проходит в 70-90 км от северной границы заповедника; южная граница проходит в 120-130 км к северу от Полярного круга. Территория заповедника охватывает равнинные водоразделы рек Чуны, Нявки, Мавры, Вувы и горные массивы – Чуна-, Монче-, Нявка-, Нялл- и Сальные тундры. Более полную характеристику природы Лапландского заповедника можно найти в работах О. И. Семенова-Тян-Шанского (1988) и Т. П. Некрасовой (1960).

Климат Лапландского заповедника значительно смягчает незамерзающее Баренцево море, обогреваемое Нордкапской ветвью теплого атлантического течения.

Предлагаемое сообщение посвящено фенологии *Betula czerepanovii* Orlova. Фенологические наблюдения, включающие в себя 216 явлений, проводятся на специальных маршрутах, которые находятся в районе залива Ельлухт, озера Чунозеро (67°39' с. ш. и 32°38' в. д.). Это базовые наблюдения для «Календаря природы». Главная ценность этой работы в длительности наблюдений за

одними объектами на одних и тех же стационарах. Многие ряды данных превышают 70 и более лет. По длительности рядов фенологических наблюдений Лапландский заповедник занимает одно из первых мест на Севере России. Так, наблюдения за снежным покровом в лесу (первый снежный покров – 8.10, последний – 20.05) ведутся в течение 72 лет. Ряд данных по окончательному ледоставу на Чунозере (8.11) и вскрытию Чунозера (31.05) составляет 70 лет. Наблюдения за березой – 69 лет. По средним многолетним данным начало зеленения березы приходится на 2.06, (самая ранняя дата – 15.05, самая поздняя – 18.06), окончание листопада – 2.10 (самая ранняя дата – 21.09, самая поздняя – 13.10).

В настоящей работе рассмотрены следующие фенологические параметры *Betula czerepanovii*: начало сокодвижения, начало зеленения, зацветание березы, первые желтые ветви, начало общего пожелтения, пожелтение берез наполовину, полное пожелтение, начало листопада и окончание листопада (Филонов, Нухимовская, 1985). Были выбраны данные с 1959 г., после двух перерывов в работе заповедника, т.к. в данных с 1930 по 1958 гг. много пропусков.

Кроме этих наблюдений, которые проводятся в рамках ведения Летописи Природы, с 1994 г. ведутся более полные наблюдения за следующими фенологическими фазами березы: лопнули почки; начало развития листьев, “зеленение”; появление полного листа; начало бутонизации; начало цветения; массовое цветение – более 50 % цветущих растений; начало отцветания; массовое отцветание – более 50 %; полное отцветание – 100 %; начало созревания плодов (рассеивание семян); массовое созревание, поспевание более 50 %; начало изменения окраски листьев; массовое изменение окраски листьев; начало листопада и массовое опадение листьев – 50 %. Все календарные даты переводились в числа от 1 марта. Для статистических расчетов использовали Statistica 6.0 и Excel 2010. В качестве показателя тренда взят коэффициент детерминации R^2 – альтернативный показатель степени зависимости между двумя переменными, показывающий какая часть варьирования изучаемого параметра зависит от фактора времени. Коэффициент детерминации не имеет положительного или отрицательного знака, поэтому используемые нами знаки «+» и «-» перед значением R^2 условно, добавляют информацию о характере тренда: «+» – возрастающий, «-» – убывающий. P – вероятность ошибки принятия гипотезы о незначительности показателя тренда R^2 . Тренды рассчитаны для всего периода наблюдений за указанными параметрами. Показатели тренда, значимые на 95%-ном уровне и выше, в таблицах выделены жирным шрифтом. Метеоданные приведены по метеостанции г. Мончегорска с 1959 по 2015 г.

Таблица 1

Статистика среднемесячных температур воздуха в Лапландском заповеднике

Параметры	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение (год)	Максимальное значение (год)	Тренд, R^2	P
Средняя годовая t воздуха, °C	-0.02	1.20	-2.7 (1966)	2.0 (2005)	+0.1827	0.0010
Январь, t °C	-12.26	3.51	-23.1 (1985)	-5.4 (2001)	+0.0372	0.1506
Февраль, t °C	-12.06	4.27	-22.4 (1966)	-2.4 (1990)	+0.0201	0.2930
Март, t °C	-7.31	3.41	-18.0 (1966)	-1.3 (2015)	+0.0326	0.1792
Апрель, t °C	-1.84	2.09	-6.5 (1970)	2.0 (1989)	+0.1286	0.0062
Май, t °C	4.17	1.99	0.1 (1999)	10.0 (1963)	+0.0306	0.1933
Июнь, t °C	10.43	2.02	5.1 (1982)	14.4 (2013)	+0.0208	0.2840
Июль, t °C	13.90	2.01	8.8 (1968)	19.5 (1960)	0.0000	0.9657
Август, t °C	11.84	1.48	9.0 (1987)	15.2 (2013)	+0.0504	0.0932
Сентябрь, t °C	6.97	1.61	3.7 (1993)	10.0 (2015)	+0.1725	0.0013
Октябрь, t °C	0.80	2.21	-4.3(1968. 1992)	5.7 (1961)	+0.1012	0.0159
Ноябрь, t °C	-5.59	2.92	-12.5 (2002)	0.0 (2005)	+0.0310	0.1905
Декабрь, t °C	-9.81	3.94	-19.6 (1985)	-2.0 (2007)	+0.0463	0.1080

Динамика годовой температуры, как суммарный показатель, зависит от многолетних изменений температурных характеристик всех месяцев года. Наибольший вклад в динамику годовой температуры воздуха в заповеднике вносят среднемесячные температуры апреля, сентября и октября (табл. 1).

Для всего периода наблюдений по среднегодовой температуре присутствует достоверный возрастающий тренд. Максимально возросли среднемесячные температуры апреля на 2.5°C, октября на 2.2°C и ноября на 2.3°C и как итог среднегодовая температура возросла на 1.7°C. Наименьшее повышение температуры характерно для июля, в августе прослеживается тенденция к увеличению и в дальнейшем при продолжении существующей динамики можно будет говорить о достоверном повышении температуры в этом месяце.

Характер формирования среднегодовой температуры воздуха обеспечивает динамику наступления ежегодных сезонных процессов в природном комплексе. Направленные изменения в динамике годовой и месячных температур определяют подобную направленность и в зависимых от них природных процессах. Но рассматривая ряд фенологических данных по березе с 1959 г/ (табл.2), такой зависимости мы не находим. В этом блоке данных значимые достоверные изменения только для двух фаз развития. «Первые желтые ветви», наступление которой стало происходить на две недели позднее. В динамике за период наблюдений более пятидесяти лет фаза начало листопада дает достоверные изменения в сторону более раннего наступления, а за последние два десятилетия такой тенденции не наблюдается. По-видимому, тут возможны какие-то неточности в наблюдениях, возможно, отмечался листопад на больных экземплярах берез, эти данные пока нельзя однозначно интерпретировать, необходимо продолжение наблюдений для более достоверной информации.

Таблица 2

Фенологические параметры у *Betula czerепанovii* за период с 1959 по 2015 г.

Фенологические явления	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение (год)	Максимальное значение (год)	Тренд, R ²	P
Начало сокодвижения	4.05	6.62	20.04 (1960)	16.05 (1966)	-0.0513	-0.0932
Начало зеленения	2.06	7.16	15.05 (1959)	18.06 (1982)	-0.0014	-0.7850
Зацветание березы	7.06	6.45	21.05 (2010)	23.06(1996)	-0.0027	-0.7126
Первые желтые ветви	9.08	8.08	16.07 (1960)	22.08 (1977, 2004, 2014)	+0.2966	+0.0002
Начало общего пожелтения	29.08	5.31	15.08 (2006)	14.09 (1996)	-0.0163	-0.3478
Пожелтение наполовину	7.09	4.78	28.08 (1992, 2002, 2006)	21.09 (1974)	-0.026	-0.2399
Полное пожелтение	14.09	4.47	1.09 (1992)	23.09 (1972, 1996)	+0.0002	+0.6659
Начало листопада	6.09	10.50	20.08 (2013)	24.09 (1959, 1965)	-0.6427	-0.000
Окончание листопада	2.10	4.96	21.09 (1992, 2005)	13.10 (1985)	0.003	+0.6893

Более интересные результаты получены при анализе фенологических процессов у березы с 1994 года. Из 15 параметров для 11 из них выявлены достоверные изменения (табл.3). Все достоверные изменения в сроках наступления определенных фенофаз убывающие, даты наступления этих фенологических процессов сместились на более ранние сроки.

Наиболее значительные изменения зарегистрированы для фазы «лопнули почки», максимальный сдвиг в 25 дней, такое сильное изменение прохождения этой фазы развития у березы, видимо, связано с потеплением температуры воздуха в апреле. Устойчивость дат фитофенологических явлений определенным образом изменяется на протяжении сезона: наибольшую устойчивость обнаруживают летние явления, даты наступления ранневесенних и позднелетних явлений более изменчивы (Семенов-Тян-Шанский, 1978). По сравнению с началом 1990-х гг. начало разворачивания листьев или зеленение, развитие полного листа и начало бутонизации в среднем стало происходить на 11 дней раньше. Фенодаты начала и массового цветения березы сдвинулись на 12 и 13 дней соответственно. Начало и массовое отцветание передвинулись на две недели ранее. Полное

отцветание березы в среднем стало происходить на 19 дней раньше, по сравнению с началом 1990-х гг. Начало созревания плодов стало отмечаться на две недели раньше.

Осенние фазы развития у березы за анализируемый двадцатилетний период не имеют достоверных изменений в сроках прохождения, за исключением массового листопада, сроки которого передвинулись на 15 дней раньше. Но эти изменения в сроках прохождения осенних процессов пока не ясны, при повышении температуры осенних месяцев обычны сдвиги осенней фенологии на более поздние сроки (Сапельникова, 2015).

Таблица 3

Фенологические параметры у *Betula czerepanovii* за период с 1994 по 2015 г.

Фенологические явления	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение (год)	Максимальное значение (год)	Тренд, R ²	P
Лопнули почки	18.05	13.19	26.04 (2002)	6.06 (1997)	-0.3521	0.0046
Начало разветвления листьев	1.06	6.05	18.05 (2010)	10.06 (1998, 2008)	-0.3232	0.0072
Появление полного листа	22.06	8.23	5.06 (2010)	7.07 (2003)	-0.1908	0.0477
Начало бутонизации	4.06	7.30	19.05 (2010)	20.06 (1996)	-0.2106	0.0364
Начало цветения	7.06	7.24	21.05 (2010)	24.06 (1996)	-0.2842	0.0128
Массовое цветение	10.06	7.24	24.05 (2010)	28.06 (1996)	-0.3387	0.0056
Начало отцветания	12.06	7.90	25.05 (2010)	30.06 (1996)	-0.4179	0.0015
Массовое отцветание	15.06	8.07	26.05 (2010)	1.07 (1996)	-0.4635	0.0007
Полное отцветание	22.06	10.50	28.05 (2010)	9.07 (2001)	-0.3166	0.0079
Начало созревания плодов	28.07	8.42	8.07 (2013)	15.08 (1996)	-0.2848	0.0154
Массовое созревание	4.08	7.54	15.07 (2013)	20.08 (1996)	-0.1390	0.3728
Начало изменения окраски листьев	15.08	4.99	4.08 (1994)	26.08 (1996)	+0.0085	+0.0071
Массовое изменение окраски листьев	6.09	6.20	27.08 (1995)	19.09 (2013)	+0.0380	+0.1950
Начало листопада	27.08	4.35	20.08 (2013)	5.09 (2014)	+0.0855	+0.2924
Массовое опадение листьев	24.09	7.41	12.09 (2011)	9.10 (1999)	-0.3977	-0.6306

Анализ динамики температурных изменений за последние полвека показывает достоверные изменения в сторону потепления, процесс этот стал явным с начала восьмидесятых годов в центральной части Кольского полуострова. На эти температурные изменения откликается ход фенологических процессов в природе. Эти изменения начали фиксироваться последние 20 или чуть более лет, в конце 20 века такая динамика не прослеживалась (Kozlov, Berlina, 1999). Полученные результаты подчеркивают важность фенологических наблюдений для оценки региональных климатических изменений и трудности в прогнозировании реакции биоты на основе климатических сценариев.

Авторы выражают глубокую благодарность И. И. Сапельниковой за консультации и помощь в статистической обработке.

Литература

1. Некрасова Т. П. Видовой состав флоры цветковых и высших споровых Лапландского заповедника // Труды Лапландского государственного заповедника. М., 1960. Вып. 4. С. 127-188.
2. Особо охраняемые природные территории Мурманской области. Информационный материал. 2-изд., доп. и перераб. Мурманск-Апатиты, 2003. 71 с.
3. Сапельникова И. И. Фенология осенних процессов древесно-кустарниковых видов в Воронежском заповеднике // Современное состояние фенологии и перспективы ее развития. Международная научно-практическая конференция, посвящ. 115-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В. А. Батманова. Екатеринбург, 17-18 декабря 2015 г. Екатеринбург, 2015. С. 268-275.

4. Семенов-Тянь-Шанский О. И. Индикационное значение многолетних наблюдений за видами и сообществами // Биологические методы оценки природной среды. М.: Наука, 1978. С. 7-27.
5. Семенов-Тянь-Шанский О. И. Лапландский заповедник // Заповедники СССР. Заповедники европейской части РСФСР. М., 1988. Ч. 1. С. 61-89.
6. Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР. М.: Наука, 1990. 142 с.
7. Kozlov M. B., Berlina H. G. Decline in length of the summer season on the Kola peninsula, Russia // Climatic Change, 2002. Vol. 54: P. 387-398.

Н. Г. Берлина

ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник»,

г. Мончегорск

n_berlina@laplandzap.ru

ОЛЕГ ИЗМАЙЛОВИЧ СЕМЕНОВ-ТЯН-ШАНСКИЙ И ЛАПЛАНДСКИЙ ЗАПОВЕДНИК

*«С природой одною он жизнью дышал,
Ручья разумел лепетанье,
И говор древесных листов понимал,
И чувствовал трав прозябанье».*

Е. Баратынский

Олег Измайлович Семенов-Тянь-Шанский – имя это известно многим, на Кольском полуострове особенно. Писать о нем – это и большая честь, и такая же ответственность. Сразу вспоминается мой первый полевой сезон с ним в Лапландском заповеднике в 1982 году. Мы прошли с Олегом Измайловичем всю долину реки Верхней Чуны, были и в других районах заповедника. Растения, мхи, лишайники он не просто называл по латыни, он говорил о них, как о живых. Он читал о них стихи. На этом уникальном свойстве его памяти хочется остановиться.

Помнил он практически все, что когда-либо видел, слышал, читал. Поэтому говорить с ним всегда было интересно. Работал он все время – иначе он просто не мог жить. Не имея формального среднего и высшего образования, он был доктором биологических наук. Всего в жизни достиг сам, своим трудом. Не переставал учиться и удивляться тайнам природы до последних дней своей жизни. Радость познания, сопричастия, открытия были с ним каждый день. Однажды мы нашли редкий вид гриба, и я помню, как он весело учил незнакомое латинское название, сбегая по ступенькам крыльца: “клаварио-дельфус трункатус, клаварио-дельфус трун-катус”. В лесу, на полевых работах, человек узнается быстрее и лучше. Олег Измайлович, при нашей с ним полувековой разнице в возрасте, мужскую работу брал на себя. Часто ему приходилось и готовить еду, так как я долго разбирала и сушила только что собранный гербарий. За ужином раздавалось: “С вашего разрешения, я примусь за второе”. И в крохотной, темной избушке, где мы бились лбами, проходя в дверь, такой она была низкой, устанавливалась особая атмосфера. Он очень любил посмеяться, смех его был по-детски заразителен, вечерами мог спеть частушки времен НЭПа, рассказать стихи и пародии, смешные случаи даже из систематики растений. Отсмеявшись, он прибавлял: “Все это от лукавого”, – имея в виду систематические казусы. В беседе с ним получала столько информации, что сразу было не запомнить.

В любое время к нему можно было обратиться за помощью. Если я приходила с трудно определяемыми гербарными образцами, он сразу отодвигал свою работу, и мы садились определять. Любую помощь другому человеку он делал с радостью, да так, что ты не чувствовал себя обязанным и уж тем более, не тяжело было к нему идти с любой просьбой. Любил дарить небольшие подарки, из отпуска без них не возвращался. Они всегда были необыкновенные и незабываемые, например, компас с зеркальцем в крышке.

Всегда подтянутый, очень аккуратный, собранный, легкий на подъем, доброжелательный, искренний человек. Смотришь на него, слушаешь и веришь, этот человек не способен на сколько-нибудь плохой поступок, он может признать свою ошибку, но не поступиться своими принципами.

Имя Олега Измайловича Семенова-Тянь-Шанского неразрывно связано с Лапландским биосферным заповедником.

Родился Олег Измайлович 15 октября 1906 г. в дворянской семье, в которой два предыдущих поколения были широко образованными и талантливыми естествоиспытателями – географами, минерологами, энтомологами, а также государственными деятелями. Это была удивительная семья – подлинное гнездо русской дворянско-интеллигентской культуры. Воспитанная русской историей, русской природой, она щедро проявила себя во славу России на разных поприщах - государственном, художественном, но в первую очередь – научном. Конечно, самым ярким представителем ее был Петр Петрович Семенов-Тянь-Шанский, родной дед Олега Измайловича. Петр Петрович Семенов-Тянь-Шанский – знаменитый географ, сенатор и государственный деятель, был одним из тех, кто осуществлял крестьянскую реформу 1861 г. Чтобы представить масштаб личности Петра Петровича, приведем одну цитату А. И. Алдан-Семенова: «Имя Петра Петровича стало легендой, уже шестьдесят шесть академий, университетов, научных обществ всего мира избрали Петра Петровича своим почетным членом. В честь его названы гора на острове Шпицберген, и горный хребет на Аляске, и ледник на Тянь-Шане, пролив в северо-восточной части Карского моря, пик рядом с великой вершиной Хан-Тенгри. Ботаники, орнитологи, энтомологи присвоили семеновскую фамилию девяносто одному роду и виду животных и растений на всей планете...» (Алдан-Семенов, 1965).

Родители Олега Измайловича – отец Измаил Петрович Семенов-Тянь-Шанский и мать Надежда Владимировна. Измаил Петрович учился в Петербургском университете, окончил естественно-исторический факультет, получил специальность метеоролога-синоптика, почти всю жизнь проработал в Главной физической обсерватории, возглавляя группу метеорологов, первыми осваивавшими в России метод прогноза погоды по синоптическим картам. Измаил Петрович являлся одним из деятельных авторов и составителей многотомного энциклопедического издания «Россия».

После революции, с 1917 г. и до коллективизации крестьянства в 1929 г., семья Олега Измайловича жила в своём имении в Тамбовской губернии, поэтому воспитание и образование он получил в семье, став после «домашнего университета» высоко образованным и культурным человеком, владеющим иностранными языками. С детства он приобщился к деревенской жизни, к полевой биологии и метеорологии, вел дневник, куда аккуратно записывал все свои наблюдения, в том числе фенологические. Хорошо знал местные растения и животных, работал на организованной отцом метеорологической станции. На становление его как ученого биолога повлияло общение с дядей Андреем Петровичем – известным энтомологом, сотрудником Зоологического музея Академии наук. В значительной степени благодаря ему Олег Измайлович постоянно находился в курсе научных проблем, волновавших тогда зоологов, с детства впитав дух и навыки научного творчества.

В этот период Олег Измайлович увлекается фенологией, переписывается с Д. Н. Кайгородовым, известным фенологом, организовавшим российскую фенологическую сеть, который одобрительно отзывался о его первой работе «Очерк периодических явлений природы в Липецком уезде». Ежедневные фенологические наблюдения Олег Измайлович не прерывал на протяжении всей своей жизни.

В предисловии к публикации детских дневников Олега Семенова-Тянь-Шанского в альманахе «Живая Арктика» (1999) доктор биологических наук Ф. Р. Штильмарк писал: «Любые дневники любого человека представляют собой совершенно особый жанр, хотя и лежащий обычно “вне литературы”, однако сохраняющий все неповторимые черты и оттенки авторской личности. Дневники пишут мужчины и женщины, дети и старики, гении и бездари, но совершенно особую “нишу” занимают дневники натуралистов... Олег Измайлович Семенов-Тянь-Шанский превзошел самого Сетона – он начал вести свои фенологические дневники в одиннадцать лет! На первый взгляд эти записи могут показаться наивными, но для тех из нас, кто знал Олега Измайловича лично, встреча с его юностью представляет подлинное откровение. У этого необыкновенного человека до конца жизни сохранялась душа ребенка или юноши, руки же его с малолетства обрели мужскую силу, оставаясь такими до глубокой старости».

Весной 1930 г. Олег Измайлович отправляется на Кольский полуостров - замещать на 3 месяца наблюдателей горной метеорологической станции в Хибинах на время их отпуска. Там он знакомится с организатором и первым директором Лапландского заповедника Германом Михайловичем Крепсом, и принимает его приглашение на работу. Так начинается деятельность Олега Измайловича в Лапландском заповеднике, которая перерастает в любовь и к природе Севера, и к жизни в лесу, и к научной работе в заповеднике. Олег Измайлович так записал в своем дневнике об этом времени: «В ту осень морозы наступили рано, и мелкое озеро Воче-ламбина, через которое надо было проехать, чтобы попасть на Чунозерский кордон, стало уже в начале октября. В Октябрьские праздники потеплело, снег стаял. Воспользовавшись этим, мы выехали из поселка Хибины двумя лодками и 14 ноября 1930 г. прибыли на Чунозеро: заповедник приступил к работе».

Знаменательно, что дядя Олега Измайловича Вениамин Петрович в 1917 г., будучи членом природоохранной комиссии Русского географического общества, составил первый проект сети государственных заповедников и национальных парков, которая включала в себя все наиболее ценные природные объекты России.

В первые годы штат Лапландского заповедника состоял всего из 4 человек: заведующего Г. М. Крепса, наблюдателя О. И. Семёнова-Тян-Шанского (приказ № 2 по заповеднику) и двух егерей охраны из местных саами (лопарей) (Зануздаева, 2000). Олег Измайлович внес большой вклад в организацию научно-исследовательских работ в заповеднике, им разработана методика ведения фенологических наблюдений, метод учета дикого северного оленя с помощью авиации. Почти 20 лет он проводил авиачеты, фотографировал, оформлял результаты. Уже к 1934 году Олег Измайлович подготовил публикацию «Очерк биологии дикого северного оленя в Лапландии».

В военные годы 1941-1945 гг. Олег Измайлович находился на Карельском фронте. Сначала стрелком в пехоте, затем военным аэрологом при штабе 32-й армии, войну закончил вычислителем в топографическом взводе 203-й тяжелой пушечной артиллерийской бригады. Он был награжден медалью «За боевые заслуги» и орденом «Красная звезда». Но самое поразительное, что и в это время он продолжает научную работу, непрерывно ведет фенологические наблюдения за птицами и др. По результатам наблюдений 1942-1944 гг. публикует статью «О пролете птиц в Карелии» (Семенов-Тян-Шанский, 1947). Ученый и на войне остается ученым. В 1946 г. Олег Измайлович защищает кандидатскую диссертацию «Лось на Кольском полуострове».

О работе Олега Измайловича так вспоминает его коллега-орнитолог А. Б. Брагин: «Он вел сразу два дневника: первый непосредственно в поле (записная книжка) и второй перед ночным отдыхом, обычно в избушке (большая тетрадь). В особую таблицу записывал все сведения о проведенных за день фотосъемках. Фотоаппарат на полевой работе держал всегда на груди, что позволяло ему делать уникальные снимки, например спящий на снегу лось. Олег Измайлович знал толк и в охоте, и в рыбалке, но никогда не рыбачил на территории заповедника, за исключением периода продолжительных полевых работ» (Брагин, 2006).

В апреле 1962 г. О. И. Семенов-Тян-Шанский стал первым доктором биологических наук в системе заповедников нашей страны. Им опубликовано более 100 научных работ, в т. ч. 9 книг в СССР и за рубежом. Среди них – «Лось на Кольском полуострове» (1947), «Северный олень» (1977), «Звери Мурманской области» (1982), «Птицы Русской Лапландии» (1991). Наиболее существенны результаты, достигнуты Олегом Измайловичем в области экспериментальной орнитологии с применением гнездовых самописцев – электрических термоактографов улучшенной конструкции. В общей сложности к 1983 г. режим инкубации был изучен в 32 гнездах, из них 20 – глухаринные. Были выявлены метеорологические факторы, определяющие численность глухаря и другой боровой дичи, предложен метод прогноза «урожая» тетеревиных птиц на предстоящий охотничий сезон. Естественно, что книга О. И. Семенова-Тян-Шанского «Экология тетеревиных птиц» (1959) получила заслуженную оценку, авторы фундаментального труда «Глухари», вышедшего в Новой Бремской серии в 1986 г., посвятили ее «старейшинам исследований глухаря – Н. Хеглунду, С. В. Кирикову и О. И. Семенову-Тян-Шанскому». Около 100 страниц этой книги отводится итогам многолетних работ Олега Измайловича.

Особо хочется отметить его научно-популярные издания. Редко можно встретить в одном человеке такое сочетание дара критической наблюдательности, способности к абстракции и концентрации, терпения, последовательности и способности устно и письменно кратко и четко выражать мысли. Все эти особенности щедро сдабривались удивительным, непосредственным его детским изумлением перед природой. Так, книга «Лапландский заповедник», выдержавшая 3 издания (1937, 1960, 1975), по словам профессора А. Н. Формозова, являлась лучшей книгой среди вышедших в системе заповедников СССР. В предисловии к ней, доктор геолого-минералогических наук С. Стрелков обращается к читателям: «В этой книге вы не найдете неуместных восторгов, умиления по поводу жизни "братьев наших меньших", но почувствуете, сколько настоящей любви скрыто за подчас деловыми строками».

Олег Измайлович собрал обширный архив, насчитывающий десятки тысяч карточек, наблюдений за животным миром, негативов, материалов учебных маршрутов. Совместно с Германом Крепсом Олег Измайлович собрал и оформил картотеку саамских названий географических объектов, насчитывающая 405 топонимов заповедника, которые опубликованы в альманахе «Живая Арктика» (2004). В архиве заповедника (г. Мончегорск) и в государственном архиве Мурманской области в г. Кировске хранится 125 рукописных отчетов, 41 фенологический журнал, 18 фотоальбомов, в них

1407 фотографий, выполненных О. И. Семеновым-Тян-Шанским. За 30 лет сотрудничества с различными реферативными журналами им было опубликовано более 1000 рефератов, преимущественно иностранных авторов.

В гербарии заповедника в настоящее время сохранилось более 300 гербарных листов О. И. Семенова-Тян-Шанского. Сборы его были, конечно, более обширны, но весь гербарный фонд с 1930 по 1951 год после закрытия заповедника был передан в Полярно-альпийский ботанический сад.

Последние 10 лет жизни О. И. Семенова-Тян-Шанского чрезвычайно волновали вопросы охраны природы в Заполярье. Уже в 1960-х гг. начали проявляться катастрофические последствия деятельности комбинатов «Апатит», «Печенганикель» и «Североникель». В конце 1970-х гг. восточная граница Лапландского заповедника уже представляла собой выжженную техногенную пустыню, и стало ясно, что сохранить заповедник в его исторических границах уже невозможно. И вновь настойчивость ученого возымела действие. После публикации в газете «Правда» в 1980 г. его статьи «Висит дым над заповедником» дело сдвинулось с мертвой точки. А в 1983 г. решением Совмина РСФСР территория заповедника была значительно расширена в северо-западном направлении, свободном от дымовых шлейфов промышленных объектов Мурманской области.

В своей последней статье, вышедшей в июньском выпуске областного «Экологического вестника» за 1990 г., Олег Измайлович предлагает немедленно «...признать приоритет мероприятий по охране среды от загрязнения перед планами расширения выпуска металла и выполнения социальных программ, поскольку ни санаторий в Сочи, ни пионерлагерь в Риге не сохраняют здоровье людей, вынужденных дышать сернистым газом, а еду и питье сдабривающих медью и никелем». На вопрос корреспондента: «Что вы можете пожелать молодой смене работников заповедного дела?» Олег Измайлович ответил: «Прежде всего, принципиальности, безукоризненной честности в отношении к природе и к людям. Заповедникам нужны настоящие люди, с горячей кровью и преданные делу...». Именно таким человеком с горячей кровью и преданный своему делу был Олег Измайлович Семенов-Тян-Шанский.

До последнего дня своей жизни О. И. Семенов-Тян-Шанский сохранял завидную работоспособность. За день до своей кончины он вернулся с многодневной полевой работы. Сохранена на Чунозерской усадьбе его квартира, ставшая музеем (Катаев, 2006).

Олег Измайлович Семенов-Тян-Шанский был членом Президиума Географического общества СССР, Московского общества испытателей природы, Энтомологического общества, был избран почетным членом Териологического и Орнитологического обществ. Его научная деятельность была по достоинству оценена Родиной. В августе 1990 г. Указом Президента О. И. Семенов-Тян-Шанский награжден орденом «Трудового Красного Знамени».

Мы солидарны с мнением заслуженного ученого-орнитолога В. В. Бианки: «Нет необходимости повторять многочисленные высказывания, высоко оценивающие подвижнический труд Олега Измайловича. Я присоединяюсь к ним, преклоняюсь перед его великим трудом, и уверен, что Лапландскому государственному биосферному заповеднику будет присвоено имя Олега Измайловича Семёнова-Тян-Шанского, о чём уже писали в газетах. Это был его заповедник!» (Бианки, 2006).

Олегу Измайловичу принадлежит заслуга в сохранении и изучении природы первого заполярного заповедника нашей страны в самом сердце Мурманской области.

Литература

1. *Алдан-Семенов А. И.* Семёнов-Тян-Шанский // Жизнь замечательных людей. Выпуск 24 (415). М.: Молодая гвардия, 1965. 304 с.
2. *Бианки В. В.* Натуралист-эколог Олег Измайлович Семенов-Тян-Шанский (1906-1999): к 100-летию со дня рождения // Русский орнитол. журнал, 2006. Том 15. Экспресс-выпуск № 335. С. 1007-1025.
3. *Брагин А. Б.* О. И. Семенов-Тян-Шанский (К 100-летию со дня рождения) // Охота и охотничье хозяйство, 2006. № 11. С. 9.
4. Вершинам созвучное имя (К 85-летию О. И. Семенова-Тян-Шанского) / Составитель В. Э. Берлин. Апатиты, 1991. 22 с.
5. Живая Арктика. Историко-краеведческий альманах / Гл. редактор В. Э. Берлин. № 1. 1999. 35 с.
6. Живая Арктика. Историко-краеведческий альманах / Гл. редактор В. Э. Берлин. № 1. 2004. 174 с.
7. *Зануздаева Н. В.* Хроника событий Лапландского заповедника // Наука и бизнес на Мурмане. Т. 2. № 5: 70 лет Лапландскому государственному природному биосферному заповеднику. Мурманск: Кн. изд-во, 2000. С. 11-17.

8. Катаев Г. Д. К 100-летию со дня рождения Олега Измайловича Семенова-Тян-Шанского // Зоологический журнал, 2006. Т. 85. № 11. С. 1390-1392.
9. Семенов-Тян-Шанский О. И. Дикий северный олень на Кольском полуострове // Труды Лапландского государственного заповедника. М.: изд. Гл. упр. по заповедникам при Совете Министров РСФСР, 1948. Вып. 2. С. 3-90.
10. Семенов-Тян-Шанский О. И. Звери Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1982. 176 с.
11. Семенов-Тян-Шанский О. И. Лапландский государственный заповедник. (Научно-популярный очерк). Мурманск: Кн. изд-во, 1960. 134 с.
12. Семенов-Тян-Шанский О. И. Лапландский заповедник. Мурманск: Кн. изд-во, 1975. 244 с.
13. Семенов-Тян-Шанский О. И. Лось на Кольском полуострове // Труды Лапландского государственного заповедника. М.: изд. Гл. упр. по заповедникам при Совете Министров РСФСР, 1948. Вып. 2. С. 91-162.
14. Семенов-Тян-Шанский О. И. О пролете птиц в Карелии // Зоологический журнал, 1947. Т. 26. № 3. С. 269-276.
15. Семенов-Тян-Шанский О. И. Экология тетеревиных птиц // Труды Лапландского государственного заповедника. М.: изд. Гл. упр. охотн. хоз-ва и заповедников при Совете Министров РСФСР, 1959. Вып. 5. 319 с.
16. Семенов-Тян-Шанский О. И., Гилязов А. С. Птицы Лапландии. М.: Наука, 1991. 288 с.
17. Семенов-Тян-Шанский О. И., Крепс Г. М. Лапландский государственный заповедник (Научно-популярный очерк). М.: Изд. комитета по зап-кам, 1937. 136 с.

Н. С. Бойко¹, О. А. Макарова², Г. Д. Катаев³

¹ФГБУ «Кандалакшский государственный заповедник», г. Кандалакша
kand_reserve@mail.ru

²ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик», пос. Раякоски
makarova5137@mail.ru

³ФГБУ «Лапландский государственный заповедник», г. Мончегорск
kataev@laplandzap.ru

ЗАЯЦ-БЕЛЯК (*LEPUS TIMIDUS*) В ЗАПОВЕДНИКАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящий момент в Мурманской области мониторинг природных процессов в течение года ведут три заповедника, территории которых охватывают основные растительно-географические зоны Кольского Севера. Заповедники Лапландский и Кандалакшский, созданные в 30-е годы прошлого века, накопили длительные ряды наблюдений, заповедник «Пасвик» располагает материалами почти за три десятка лет. Все ООПТ работают в основном по одной методике (Филонов, Нухимовская, 1985), и потому собираемые данные должны быть вполне сравнимы. Например, заповедники используют один и тот же метод для проведения зимнего маршрутного учета – ЗМУ (Методические..., 1990). Кроме того, госохотинспекция при региональном министерстве природных ресурсов применяет близкий метод, с некоторыми дополнениями для расчетов (Приказ..., 2012; www.ohotniki.ru).

Представляется весьма интересным сравнить данные заповедников и госохотинспекции по результатам ЗМУ в Мурманской области. Это довольно сложно выполнить по разным причинам, главным образом, из-за крайней неоднородности собираемого материала. Мы решили начать эту работу, используя для примера данные по численности одного вида, а именно зайца-беляка.

Заяц-беляк *Lepus timidus* L. в нашей области находится на северной окраине своего обширного ареала. Это обычный вид фауны региона. Встречается во всех типах леса, на вырубках, по берегам водоемов, лесотундре и тундре. Отмечается вдоль железных дорог, автотрассы Санкт-Петербург-Мурманск, по обочинам других дорог, вблизи населенных пунктов во все сезоны года. Вблизи антропогенно насыщенных территорий беляк встречается гораздо реже, хотя не избегает таких участков (Макарова, 1989).

Специально исследованием этого вида в нашем регионе не занимались. Однако за длительный период накопилось значительное количество сведений, главным образом по численности вида (табл.). Наиболее пригоден для сравнения показатель учета – количество пересечений следов на 10 км маршрута.

Показатель учета зайца-беляка в заповедниках Мурманской области за период 2000-2015 гг.

Заповедник	Годы															
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Кандалакшский (о. Великий)	3.1	1.9	1.7	1.2	5.6	2.0	1.9	2.0	2.7	2.0	4.0	2.5	1.9	2.2	-	-
Кандалакшский (Турий мыс)	-	4.2	10.0	8.7	7.2	6.1	4.4	4.0	3.7	2.1	1.1	3.9	8.0	8.2	2.7	1.7
Лапландский	8.0	2.9	4.7	8.4	11.6	7.8	2.1	3.4	2.6	-	0.2	6.0	2.2	3.2	6.4	-
Пасвик	5.0	7.4	2.8	12.8	2.6	6.3	1.0	0.2	1.4	1.5	0.1	2.4	1.9	3.2	2.9	2.8

Примечание. Прочерк – нет данных.

В Кандалакшском заповеднике зимний маршрутный учет проводится в южной части на островах и побережье Белого моря. Наиболее пригодными для данного обзора оказались ряды наблюдений на о. Великий и Турьем мысе. На о. Ряжков ряд наблюдений оказался неполным, с большими разрывами. На малых островах Белого моря, находящихся в заповедной зоне, где ежегодно проводится учет, данные представлены в других единицах, и для цели этой статьи не совсем пригодны. Количество обследованных островов каждый год варьирует, в среднем их количество достигает 15, со средней площадью 1.5 тыс. га. Подсчитывается общее количество зайцев. Среднее число их колеблется в пределах 25-26 особей. Средний показатель учета за 16 лет составил 0.19 особей на 10 га.

В заповедниках Мурманской области по результатам ЗМУ высчитывается общий показатель учета (число пересечений животного учетной линии на 10 км маршрута). Следы учитываются в трех категориях угодий (лес, поле, болото), но в данном случае мы используем суммарный показатель по всем станциям, без дифференцировки. Общий километраж маршрутов по всем заповедникам составляет более 300 км, в среднем по 100 км в каждой ООПТ. На рис.1 представлена многолетняя динамика численности зайца-беляка в заповедниках Мурманской области по результатам ЗМУ.

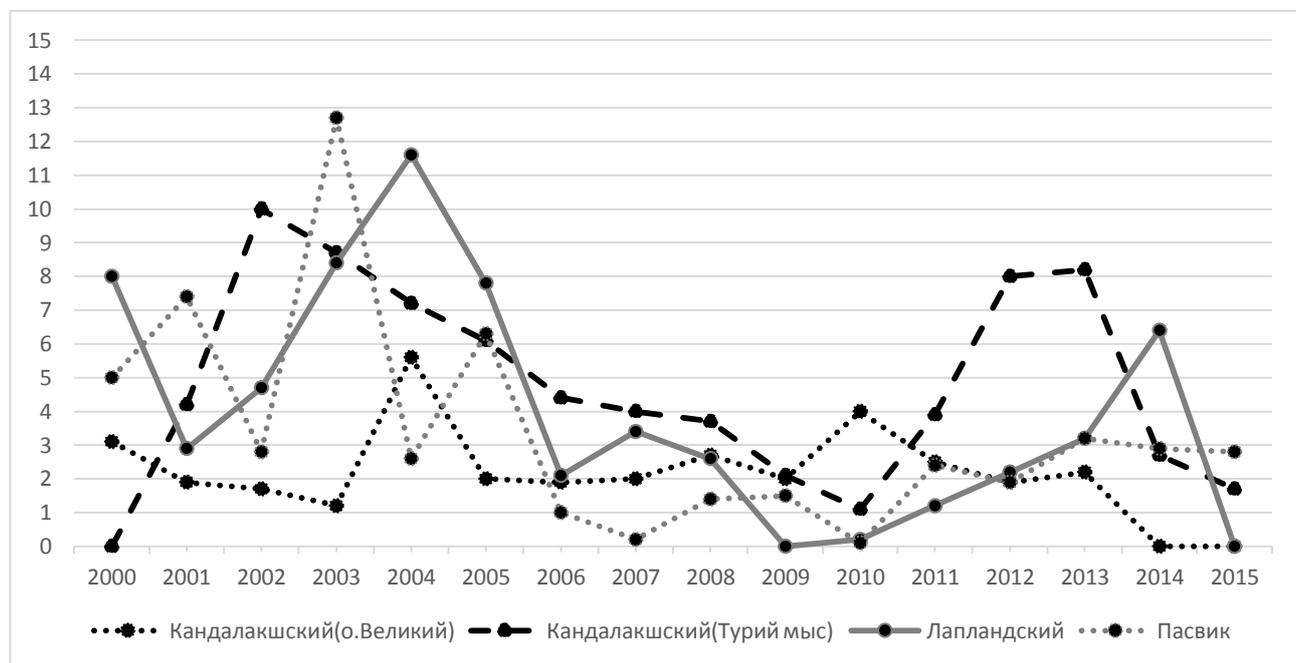


Рис.1. Динамика показателя учета зайца-беляка в заповедниках Мурманской области за 2000-2015 гг.

Тенденции динамики численности беляка в заповедниках в целом совпадают. То есть причины, влияющие на состояние популяций вида, общие для заповедных территорий, расположенных в разных растительно-географических зонах.

Материалы госохотинспекции, в отличие от ООПТ, характеризуют абсолютную численность вида в регионе. Ниже представлена численность популяции, рассчитанная по данным ЗМУ за 2000-2015 гг. (рис.2).

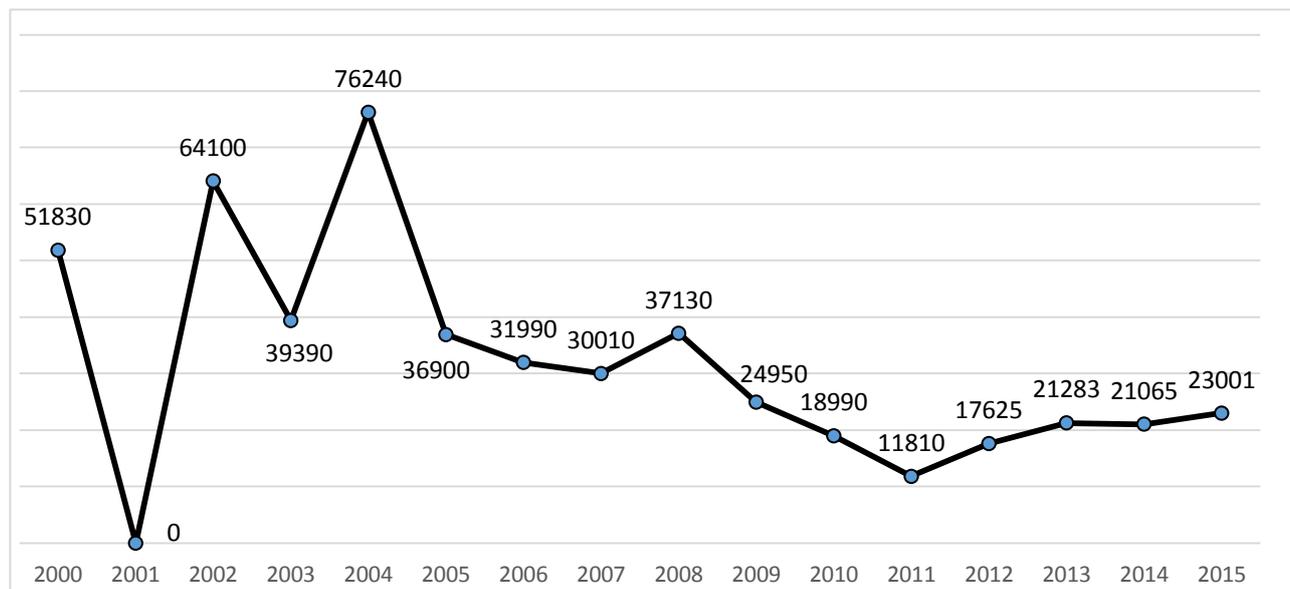


Рис.2. Динамика абсолютной численности зайца-беляка (особей) в Мурманской области за 2000-2015 гг.

Популяция зайца-беляка за последние 15 лет была наиболее многочисленной в самом начале XXI века, в 2002-2004 гг. В последующие семь лет численность снижалась. Нарастание поголовья стало заметно с 2012 г. Сравнение рис. 1 и 2 показывает, что процесс изменения популяции зайца идет синхронно как в заповедниках, так и на других территориях. Однако требуются дополнительные данные для получения более детальной картины. В частности, актуально проследить динамику численности по всем показателям ЗМУ, в т. ч. по станциям.

Заяц-беляк в Мурманской области является видом охотничьей фауны. Согласно Постановлению Губернатора Мурманской области от 18.07.2013 № 118-ПГ сроки охоты установлены с 15 сентября по 28 (29) февраля. Добывается зайца относительно немного. Максимальная добыча отмечена в 2011 г. (661 ос.), в среднем в 300-350 ос. Освоение ресурсов вида низкое, не превышает 10 % от численности. Реальная добыча, вероятно, выше. Не установлен процент естественной гибели беляка от хищников и болезней.

Учитывая, что заяц-беляк является самым обычным видом в регионе, целесообразно провести детальное изучение популяции. Для этого необходимо сравнить методики учета, расположение маршрутов и представленность угодий, включить в анализ ранние данные из архивов для получения более объективных и достоверных сведений о распространении, численности, размножении, болезнях и причинах гибели зайца-беляка на северной границе своего ареала.

Литература

1. *Бойко Н. С.* Наземные млекопитающие Кандалакши и ее окрестностей // Флора и фауна северных городов. Сб. статей Межд. научно-практ. конф. Мурманск, 2008. С. 103-106.
2. *Летопись природы заповедника «Пасвик» (2000-2015 гг.).* Отчет. Архив заповедника «Пасвик».
3. *Летопись природы Кандалакшского заповедника (2000-2015 гг.).* Отчет. Архив Кандалакшского заповедника.
4. *Летопись природы Лапландского заповедника (2000-2015 гг.).* Отчет. Архив Лапландского заповедника.
5. *Макарова О. А.* Численность и размещение зайца-беляка в Мурманской области // Сб. Всесоюз. совещ. по проблеме кадастра и учета жив. мира. Ч. 1. Методы учета позвоночных. Уфа, 1989. С. 322-323.
6. *Методические указания по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР (с алгоритмами расчета численности) / В.А. Кузякин и др. М.: Главохота РСФСР, 1990. 40 с.*

7. Приказ Минприроды России от 11 января 2012 г. №1 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации переданного полномочия Российской Федерации по осуществлению государственного мониторинга охотничьих ресурсов и среды их обитания методом зимнего маршрутного учета». Регистрация в Минюсте РФ 31 мая 2012 г., регистрационный №24403.
8. *Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д.* Летопись природы в заповедниках СССР. Методическое пособие. М., 1985. 143 с.
9. <http://www.ohotniki.ru/hunting/societys/societys/article/2015/04/20/643705-novuyu-metodiku-zmuotmenit.html>. Дата обращения 18.11.2015.

Н. П. Васильева

*Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды, г. Москва
vasilyevanp@rambler.ru*

ОСОБЕННОСТИ РАССЕЛЕНИЯ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Эпифитные лишайники, как известно, являются одним из наиболее чувствительных индикаторов загрязнения воздушной среды. Обилие и разнообразие видов, а также ограниченные возможности определения их таксономической принадлежности часто являются препятствием для проведения обширных и систематических наблюдений (Пчелкин, Боголюбов, 1997). В европейских программах мониторинга лесов (Manual ICP Forests, 1998) применяются оценки проективного покрытия на определенном высотном уровне ствола (обычно 150 см), что позволяет экономично и экологически оправдано охватывать наблюдениями леса в системе национального мониторинга. В России, где распространены локальные очаги загрязнения, лишенометрические исследования проводятся в прилегающих лесах, что расширяет представление о связи распространения эпифитов с условиями загрязнения в пространстве и временной динамике, помогают выявить дополнительные параметры для индикации состояния окружающей среды.

Целью данной работы являлось изучение особенностей поселения эпифитных лишайников по стволу в условиях загрязнения воздушной среды с использованием дополнительных параметров и выявление на этой основе доступных для учета информативных показателей для целей мониторинга.

Объекты и методика работы

Район исследований (69-70° с. ш. и 29-32° в. д.) расположен в северо-западной части Кольского полуострова на территории, прилегающей к горно-металлургическим комбинатам в п. Никеле и г. Заполярный. Растительный покров представляет сочетания березового редколесья, горных тундр и северо-таежных лесов. Разреженные низкостелетные сосново-березовые леса представлены разными типами леса – от сфагновых до лишайниковых в зависимости от приуроченности к элементам рельефа. Важнейшей особенностью лесов является выраженная эдифицирующая роль кустарничков, а также мхов и лишайников, представляющих группу видов, наиболее чувствительную к загрязнению.

Приоритетные поллютанты – выбросы диоксида серы и тяжелых металлов (Ni, Cu) от основного источника загрязнения – горно-металлургического комбината «Печенганикель». Предприятие вступило в строй в 1946 г. Наиболее высокие объемы выбросов, содержащие преимущественно диоксид серы и тяжелые металлы – Ni, Cu – были в период 1974-1995 годы. В отдельные годы этого периода выбросы диоксида серы достигали почти 300-400 тыс. т в год (1979 г.). Начиная с 2004 г. и до настоящего времени, объем практически стабилизировался на уровне около 100 тыс. т., превышая почти в 2 раза ПДВ. По данным Мурманского УГМС в период 2009-2012 гг. среднегодовая концентрация SO₂ составляла в п. Никель 1.4-2.2 ПДК, г. Заполярный 1.7-1.8 ПДК и снижается по мере удаления от ГМК. Выбросы Ni и Cu варьировали в пределах 340 т. в год и 160 т. в год соответственно. Наибольшая протяженность ореола загрязнения воздуха в направлении преобладающих ветров – с юго-запада на северо-восток.

Пробные площади (ПП) закладывались на разном расстоянии от источника выбросов в п. Никель: загрязненные RUS1 и RUS2 в 5-6 км по западному градиенту и условно фоновая ПП RUS0 в 42.2 км к югу от ГМК. Выпадения серы достигали 100 мг/м², превышая в 2 раза фоновые показатели.

На загрязненных участках в пределах 5-6 км от источника выбросов содержание никеля и меди в хвое сосны соответственно равнялось 35 и 19 мг/г, листьях березы 14 и 46 мг/г, мхах 516 и 290 мг/г, что превышает показатели в относительно фоновых условиях у древесных в 2-5 раз, у мхов в 12 раз (Васильева, 2011). Максимальным изменениям подвержена кора – субстрат для эпифитов (Щербенко с соавт., 2008). Содержание Ni и Cu в коре сосны на расстоянии 5-8 км от п. Никель составляет до 2 тыс. моль/кг и более. Превышение относительно фоновых условий: в 18-30 раз (Ni), 12-24 раза (Cu), 6-10 раз (S).

При выборе пробных площадей и их организации использовалась методика мониторинга лесов, апробированная в совместных российско-норвежских исследованиях (Aamlid D., Vassilieva N. et al., 2000). Ее основой является Рекомендации по анализу загрязнения лесов в Европе (Manual ICP Forest, 1998) с некоторой модификацией, применяемой в организации национальной системы мониторинга в Норвегии.

Все типологически одинаковые 25м x 40 м пробные площади (ПП) заложены в 50-60-летних сосняках лишайниково-мохово-кустарничковых с примесью березы и были предназначены для оценки состояния и роста деревьев, напочвенного растительного покрова, химического состава гумуса. По всему периметру выделялась 5-метровая буферная зона. Средняя высота древесного яруса и длина окружности стволов на условно фоновой ПП 10м и 43.5 см. Эти показатели на RUS 1 и RUS2 на 15-20 % ниже. Продолжительность жизни хвои сокращена и 4-х летняя хвоя сохраняется лишь на 50 % деревьев. Видимых признаков усыхания крон не наблюдается. В напочвенном покрове преобладает мохово-лишайниковая синузия, проективное покрытие которой снижено в десятки раз сравнению с фоновым.

Лишайники учитывались на случайно выбранных 10 деревьях сосны и 10 березы в буферной зоне. У каждого дерева проводились замеры покрытия лишайниками с помощью мерной ленты на высотах 135, 150, 165 и 180 см с учетом экспозиции. Проективное покрытие определялось как отношение количества пересекаемых 1-см рисок мерной ленты каждым видом лишайника к длине окружности ствола. Средний показатель проективного покрытия одного дерева на пробном участке рассчитывался как средняя арифметическая величина из 4-х фиксированных высотных уровней поселения лишайников на стволе. Выбранные методы учета ориентированы на доступность и понятность проведения повторных наблюдений с точным мечением всех объектов учета, минимизацию трудовых затрат, использование удобных форм записи для последующего формирования баз данных при проведении мониторинга.

Результаты и обсуждение

Встречаемость деревьев с лишайниками, количество видов, а также среднее покрытие ими ствола на всех ПП у березы больше, чем сосны (табл.1). Разнообразие видов и более благоприятные условия расселения делают ее приоритетным объектом мониторинга.

Таблица 1

Видовой состав и проективное покрытие эпифитных лишайников

Название вида	Параметры	RUS0		RUS1		RUS2	
		Betula	Pinus	Betula	Pinus	Betula	Pinus
<i>Hypogymnia physodes</i>	N	9	4	2	-	-	-
	X	6.28	0.75	0.16	-	-	-
<i>Parmelia olivacea</i>	N	10	-	1	-	1	-
	X	8.67	1.65	0.16	-	0.22	-
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	N	8	5	4	1	-	1
	X	1.03	0.49	0.19	0.65	-	0.26
<i>Brioria sp.</i>	N	10	7	1	1	1	-
	X	6.26	3.55	0.08	0.05	0.07	-
Всего	N	10	7	4	1	1	1
	X	22.24	4.79	0.79	0.72	0.29	0.26

Примечание. N – количество деревьев из 10-ти, заселенных эпифитными лишайниками на фиксированных уровнях учета по высоте ствола. X – среднее (из 4-х фиксированных уровней высоты) покрытие (в %) талломами 1 дерева.

Видовой состав лишайников ограничен. Всего на исследуемых уровнях учета зафиксировано 4 вида: *Hypogymnia physodes*, *Parmelia olivacea*, *Parmeliopsis ambigua*, *Brioria sp.* Все виды встречаются на березе, на сосне отсутствует *Parmelia olivacea*. Максимальное представительство эпифитов как на сосне, так и березе приурочено к условно фоновой ПП RUS0 (табл.1).

Встречаемость деревьев с присутствием лишайников по мере увеличения загрязнения сокращается от 10 (береза) – 7 (сосна) в условно фоновой ПП до 1 дерева на загрязненных ПП, при том более резко у сосны. Число видов лишайников в условиях загрязнения воздушной среды сокращается на сосне до одного-двух.

Parmelia olivacea (на березе) и *Parmeliopsis ambigua* (на сосне) можно отнести к наиболее устойчивым видам, поскольку сохраняется их присутствие на всех ПП. В сильно загрязненных условиях RUS2 исчезает *Hypogymnia physodes* и *Brioria* (на сосне), как наиболее чувствительные виды. Темпы изменения видового состава по мере увеличения загрязнения свидетельствуют о более быстром разрушении эпифитных сообществ на сосне.

Проективное покрытие в среднем на 1 дерево широко варьирует в зависимости от вида лишайника, породы дерева, удаленности от источника выбросов (табл.1).

Наибольшее проективное покрытие лишайниками свойственно березе: в фоновых условиях средний процент проективного покрытия в 4.6 раз выше, чем у сосны. Показатели проективного покрытия этих пород при загрязнении практически не отличаются (табл.1).

В условиях загрязнения покрытие отдельными видами и среднее покрытие всеми видами многократно сокращается по сравнению с фоновыми – в десятки раз. Так среднее (из 4-х уровней учета) покрытие лишайниками березы на фоновой площади RUS0 составляло 22.24%, на RUS1 – 0.79% и RUS2 – 0.29 %; у сосны соответственно 4.79 → 0.72 → 0.26 (табл.1). Таким образом, покрытие лишайниками деревьев на RUS1 и RUS2 отличается от фонового у березы в 28.1 и 76.7 раза, у сосны соответственно в 6.6 и 18.4 раза, то есть возрастает по мере загрязнения в 2.8 раза.

Общий тренд доминирования видов в фоновых условиях у сосны и березы сходен и выражается в уменьшении его величины по следующему ряду: *Parmelia olivacea* → *Brioria sp.* → *Hypogymnia physodes* → *Parmeliopsis ambigua* (табл.1). При загрязнении он изменяется, из-за различий реакции видов на загрязнение. Так у березы на ПП RUS1 подобная тенденция выглядит как *Parmeliopsis ambigua* → *Parmelia olivacea* → *Hypogymnia physodes* → *Brioria sp.*

Сокращение величины покрытия при загрязнении обусловлено не только уменьшением талломов на стволе того или иного вида, но и сокращением количества заселенных эпифитами деревьев. Наименьшие изменения претерпевает *Parmeliopsis ambigua*, поэтому не может активно использоваться в качестве информативного вида.

Таким образом, большее разнообразие в видовом составе и расселении лишайников наблюдается на березе, чем сосне. Учеты на березе дают больше информации для выявления закономерностей расселения видов.

Расселение лишайников по высоте ствола. Учет лишайников на различной высоте ствола проводится в системе национального мониторинга Норвегии и был применен нами для сравнительных оценок результатов исследований на приграничной территории Россия-Норвегия.

В фоновых условиях (RUS0) лишайники присутствуют на всех 4-х уровнях учета и представлены разнообразным сочетанием видов на каждом уровне (табл.2). На березе отмечается несколько большее видовое разнообразие, чем на сосне. Средняя величина покрытия, начиная с высоты 165 см, имеет тенденцию к увеличению, а у сосны к снижению в направлении к комлевой части. Наибольшее заселение в фоновых условиях у березы на уровне 165-150 см, сосны 135-150 см.

В условиях загрязнения (по градиенту его возрастания):

- сокращается видовой состав, практически на каждом высотном уровне учета;
- уменьшается количество заселенных уровней, особенно заметное на березе; в частности на пробе RUS 2 лишайники на березе отмечены лишь на уровне 150 см; у сосны лишайники сохраняются практически на всех уровнях учета при очень низком проективном покрытии (главным образом за счет присутствия *Parmeliopsis ambigua*);
- местообитание отдельных видов ограничивается, в частности на березе, при сильном загрязнении (ПП RUS2) 1-2 высотными уровнями;
- проективное покрытие лишайниками на каждом уровне учета многократно меньше по сравнению с фоновыми и более резко выражено у березы, чем у сосны;
- на сосне сохраняется, как и на фоновом участке, тенденция к возрастанию проективного покрытия в направлении к комлю, у березы оно четко не выражено. На высоте ствола 150 см лишайники поселяются на всех ПП как у сосны, так и березы, отличаясь видовым составом и проективным покрытием в зависимости от условий загрязнения воздушной среды.

Таблица 2

Видовой состав и покрытие (в %) лишайниками сосны и березы на разном высотном уровне

H, см*	№ п/п	Betula					Pinus				
		H. ph.	Par. ol.	Pars.	Br.	Всего	H. ph.	Par. ol.	Pars.	Br.	всего
180	RUS0	6.98	7.34	0.35	6.64	21.31	-	-	0.66	1.76	2.42
	RUS1	0.32	0.32	0.31	-	0.95	-	-	0.23	-	0.23
	RUS2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	RUS0	11.17	4.44	2.03	8.88	26.52	0.44	-	-	4.45	4.89
	RUS1	-	-	-	-	-	-	-	0.45	-	0.45
	RUS2	-	-	-	-	-	-	-	0.18	-	0.18
150	RUS0	3.49	13.17	1.73	4.27	22.66	1.30	-	1.08	3.69	6.07
	RUS1	-	0.32	0.65	0.32	1.29	-	-	0.22	0.22	0.44
	RUS2	-	0.88	-	0.29	1.17	-	-	0.35	-	0.35
135	RUS0	3.49	9.73	-	5.25	18.47	1.28	-	0.21	4.29	5.78
	RUS1	0.31	-	0.62	-	0.93	-	-	1.72	-	1.72
	RUS2	-	-	-	-	-	-	-	0.51	-	0.51

* Расположение линий учета лишайников от основания ствола дерева.

Расселение лишайников по разным экспозициям ствола. В фоновых условиях RUS0 лишайники расселены по всей окружности ствола. Максимальное проективное покрытие приурочено к северной и восточной сторонам, минимальное – к южной стороне стволов (табл.3). Эти особенности характерны для эпифитов. На березе отмечено 3-7-кратное превышение покрытия лишайниками в рассмотренных экспозициях по сравнению с сосной.

В условиях загрязнения происходит резкое изменение в распределении лишайников по окружности ствола: усиливается неравномерность расселения, вплоть до полного исчезновения талломов на отдельных сторонах ствола и сокращение покрытия (табл.3).

На RUS1 и RUS2 лишайники практически полностью исчезают на южной и восточной экспозициях стволов. На RUS2 они исчезают и на западной стороне. Присутствие лишайников сохраняется только на северной стороне, что легко диагностируется глазомерно при выборе серии пробных площадок по градиенту загрязнения.

Реакция лишайников на воздействие выбросов комбината выражается в сохранение их жизнеспособности в наиболее благоприятных условиях северной и отчасти в западной экспозиции ствола. Отсутствие лишайников с южной и восточной экспозиции прямо обусловлено направлением господствующих ветров со стороны комбината, приносящих загрязнение, поскольку ПП располагались к западу от источника выбросов в п. Никель. Эти различия проявляются также при сравнении с данными пробных участков по трансграничной трансекте в Норвегии как продолжение западного градиента.

Таблица 3

Распределение эпифитных лишайников на стволе по сторонам света

№ ПП	Вид	Покровение лишайниками (в %) 1 дерева – среднее из 4-х уровней учета			
		N	E	S	W
RUS0	Betula	6.74	6.26	3.54	5.70
	Pinus	2.02	1.25	0.76	0.75
RUS1	Betula	0.64	-	-	0.15
	Pinus	0.55	0.05	-	0.11
RUS2	Betula	0.24	-	-	-
	Pinus	0.26	-	-	-

Сравнение полученных результатов с данными более раннего периода наблюдений, когда объем выбросов диоксида серы был почти в 2 раза выше и достигал 250 тыс. т в год показало, что видовой состав практически не изменился и указанные различия по градиенту загрязнения сохраняются. На загрязненных ПП среднее покрытие лишайниками стволов березы уменьшилось в 1.8 и 2.7 раза. Усугубляется разница между показателями в фоновых условиях и загрязненных, возрастая в 1.7-2.5 раза. Однако на высоте 150 см наблюдается небольшой рост проективного

покрытия, на что следует в перспективе обратить внимание, поскольку традиционно учеты ограничиваются этим показателем. У сосны различия не столь выражены, что возможно связано с доминированием во всех местообитаниях условиях достаточно устойчивого к загрязнению *Parmeliopsis ambigua*.

Заключение

Вблизи локального источника выбросов диоксида серы, меди, никеля по сравнению с фоновыми условиями происходит сокращение видового состава эпифитных лишайников, смена доминантов, уменьшение встречаемости заселенных деревьев и среднего проективного покрытия лишайниками 1 дерева, сокращается количество заселенных уровней учета по высоте ствола. Естественная закономерность расселения по всей окружности ствола замещается приуроченностью лишайников только к северной экспозиции. Отсутствие талломов с восточной стороны, обращенной к комбинату, возможно связано с реакцией на выбросы. Подтверждается возможность использования отдельных видов в качестве биоиндикаторов, в частности *Hypogymnia physodes*. Трансформации лишайниковых сообществ способствует повышенная, по сравнению с другими органами, аккумуляция загрязняющих веществ в коре. Несмотря на снижение объемов выбросов диоксида серы, увеличение среднего проективного покрытия не наблюдается.

Использованные параметры отражают различия состояния лишайников по градиенту загрязнения, свидетельствуя об их высокой чувствительности и возможности использования для оценки реакции биоты на основе доступных методов мониторинга.

Литература

1. Васильева Н. П. Закономерности изменения лесных фитоценозов на северо-западе Кольского полуострова вследствие техногенного загрязнения воздушной среды. Всероссийский НИИ охраны природы. Москва, 2011. 35 с.: 3 ил. Библиогр.: 18 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 15.03.2011, № 118-В 2011. Библиографический указатель «Депонированные научные работы» № 5. 2011
2. Пчелкин А. В., Боголюбов А. С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды. М.: Экосистема, 1997. 25 с.
3. Щербенко Т. А., Копчик Г. Н., Гринберг Б. Я., Лукина Н. В., Ливанцева С. Ю. Поглощение элементов питания и тяжелых металлов сосной в условиях атмосферного загрязнения // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. № 2. 2008. С. 9-15
4. Aamlid D., Vassilieva N., Aarestad P. A., Gytarsky M. L., Lindmo S., Karaban R., Korotkov V., Rindal T., Kuzmicheva V., Venn K. The ecological state of the ecosystems in the border areas between Norway and Russia // Boreal environment research. Helsinki. 2000, N 5. P. 257-278
5. Manual (ICP Forest). Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Programme Coordinating Centres / UN ECE, Hamburg / Geneva. Part I-YIII, 1998. 100 p.

А.С. Гилязов

ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник»,
г. Мончегорск
alex@laplandzap.ru

ДИКИЙ СЕВЕРНЫЙ ОЛЕНЬ (*RANGIFER TARANDUS*) ЗАПАДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА В 1930-2016 ГОДАХ: ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

О. И. Семенов-Тян-Шанский работал в Лапландском заповеднике с 1930 года до последнего дня своей жизни (21.09.1990). Особое внимание, кроме видов семейства *Tetraonidae* – Тетеревиных (Гилязов, 2006), Олег Измайлович уделял северному оленю. С 1934 по 1990 гг. им опубликовано более 25 работ, посвященных дикому северному оленю (Семенов-Тян-Шанский, 1934, 1948, 1969, 1970, 1975, 1976, 1977, 1989 и др.). Примерно ещё столько же публикаций выполнено Макаровой О. А., Брагиным А. Б. и другими сотрудниками Лапландского заповедника.

Организация Лапландского заповедника в 1930 г. была связана, в числе прочих задач, с проблемой сохранения дикого северного оленя как важной части местной экономики. К концу

19 века ареал дикого оленя резко сократился и сохранился в двух разрозненных местообитаниях: 1) южнее р. Поной по болотистым долинам рек Варзуга, Стрельна, Пана и Пурнач; 2) по Главному хребту в районе Чуна- и Монче-тундре наиболее гористой части Кольского п-ова. Основные причины – развитие домашнего оленеводства и охота. Охота на оленей хорошо обеспечивала саамов, но лишь когда их было много. Олени периодически исчезали. Саамы объясняли это явление с откочевками оленей к Норвегии и даже на Новую Землю, Крепс Г.М. – со стравливанием и отрастанием ягельников. На основе опросов, Крепс Г.М. оценивал продолжительность популяционного цикла дикого северного оленя в 20 лет. В апреле 1929 года Крепсом Г. М. и проводником Архиповым Ф. К. было обнаружено всего 99 голов дикого северного оленя на Монче- и Чуна-тундре.

О. И. Семенов-Тян-Шанский выделил за 60-летний период два популяционных цикла продолжительностью от минимума до минимума 18 и около 35 лет: 1930-1947 и 1948-1982 годы. В условиях строгой охраны к 1940 г. при достижении численности 942 особи, горные зимние пастбища были потравлены. С 1942 г. олени перешли на зимовку в лесах. В годы войны оленей и диких, и домашних отстреливали. В итоге к 1948 г. домашнее оленеводство, которое понесло большой урон, было практически уничтожено. Сохранившиеся дикие олени расселялись на освободившиеся пастбища. Численность оленей с 383 голов в 1948 г. к зиме 1966-1967 гг. возросла до 12640. Ягельники и лесные, и горные были «выбиты». С 1971 года до 1985 года олени не зимовали в заповеднике, перейдя на прилегающие территории. В 1982 г. учтено 163 оленя, в 1988 г. – 405. Для регуляции численности и использования оленей в хозяйственных целях был организован госохотпромхоз, но с опозданием. К естественному падению численности из-за бескормицы и, как следствие, сокращения рождаемости, добавился пресс охоты. В 1971-1976 гг. было отстреляно госохотпромхозом 7375 голов оленя западной популяции, за годы войны – около 1500 (Семенов-Тян-Шанский, 1948, 1952, 1968, 1970, 1975, 1977, 1979, 1989, 1990 и др.).

Динамика численности дикого северного оленя в 1990-2016 годах. В Лапландском заповеднике до 1990 г. проводились ежегодные учеты оленей с использованием авиации (ПО-2, ЯК-12, АН-2, вертолеты). Впоследствии из-за отсутствия средств авиаучеты удалось провести лишь в 1993, 1995, 2000, 2003 и 2013 годах, из них в 1993 г. учет проведен неудачно из-за погодных условий, а в 2000 г. не был охвачен весь ареал западной популяции.

Районы исследований. Район работ в 2003 и 2013 гг. охватил территорию заповедника и участки к юго-западу, западу и северу от заповедника по линии: оз. Лива – Роба-тундра – оз. Гирвас – оз. Явр – Ловна-тундра (западный склон) – пос. Верхнетуломский – оз. Улита – северный конец Волчьей тундры. Площадь этого участка около 10000 км², когда весь ареал западной популяции составляет около 14000 кв. км. (Семенов-Тян-Шанский и др., 1981). Кроме того, в 2013 г. в Туломском заказнике, расположенном севернее оз. Улита, проведены наземные наблюдения, с января по апрель.

В 2013-2015 гг. в заповеднике исследования выполнены в районах Чуна-, Нявка-, Нялл-Волчье, Монче-тундре, долинах рек Вува, Чуна, Курка, Вите, Купись; в 2014 г. вне заповедника: в долинах рек Лива, Гирвас, Мьяла, Нуль, Березовая, Вува, Вите, районы Мьяла, Гладкой и Роба тундр.

Методика и материалы исследований. Предварительно авиаучету проводились объезды на снегоходах по периметру и территории заповедника, с выездами на прилегающие полосы до 20 км шириной. 5.03-6.04.2003 и 05.03-05.04.2013; 17.03-09.04.2014; 03.03-28.03.2015 осмотрена со снегохода большая часть территории заповедника, кроме Сальных тундр и западного склона Чуна-тундры. 03.03-20.03.2003 и 01.03-22.03.2013-2015 гг. проведен ежегодный учет зимнего населения животных в лесной зоне на постоянных маршрутах в долинах 5 основных рек заповедника. Определена высота снежного покрова.

В 2003 г. 11.04 на самолете АН-2 проведен предварительный осмотр территории с целью оценки ситуации и определения размещения стад оленей. В последующие 3 дня с вертолета уточнялись численность и структура стад, обнаруженных с самолета, проводился поиск других мест обитания. В 2013 г. авиаучет проведен 07-09.04.2013 на самолете Cessna 172N. Маршруты прокладывались равномерно по территории, но с предпочтением излюбленных для оленей участков обитания, известных по авиаучетам за прошлые годы и по наземным наблюдениям. Район работ и маршруты предварительно обсуждались с наблюдателями и пилотом. Размер и структура стад определялись при возможности сразу, хотя бы примерно. Численность и состав уточнялись по материалам фотосъемок. Для учетов были выбраны дни с солнечной (или малооблачной) и безветренной погодой. Высота полетов над поверхностью земли при проведении учета составила от 70 до 300 м, при подлетах 200-400 м.

Результаты исследований. По результатам авиаучета 2003 г. и наземных наблюдений этого же года, проведенных до авиаучета, численность дикого северного оленя составила около 1000 особей. Все олени были обнаружены на территории заповедника и на участках, примыкающих к нему на расстоянии не более 20 км от его границ. Такое же распределение по территории было обнаружено и для населения лосей.

В 2013 г. вне территории заповедника дикий северный олень и их следы не обнаружены. На территории заповедника учтено около 720 оленей.

Наиболее полные и достоверные показатели численности дикого северного оленя западной популяции: 1929 – 99 голов, 1940 – 942, 1948 – 383, 1957 – 1964, 1961 – 4396, 1967 – 12641, 1972 – 9756, 1977 – 1234, 1982 – 168, 1988 – 405 (Семенов-Тян-Шанский, 1977, 1990), 1990 – 550, 1995 – 824, 2003 – 992, 2013 – 724.

С 1982 по 2003 гг. в течение 21 года наблюдалось восстановление численности дикого северного оленя, в целом примерно до 1000 голов. Численность оленей с 1995 до 2016 гг. держится на уровне 700-1000 голов. В последние 10 лет (2005-2015 гг.) отмечено снижение численности на 27 %.

Ошибки в результатах учетов 2003 и 2013 гг. невозможны, так как оба учета проводились одним и тем же исполнителем, на той же территории, при ясной погоде и хорошей видимости. Учет с воздуха сочетался со специальными наземными исследованиями в конце марта-начале апреля – пешими и на снегоходе.

Причины спада численности дикого северного оленя. *Антропогенные условия зимовки.* Вся обследованная территория испещрена следами снегоходов. Наиболее популярны, судя по их изъезженности и встречам снегоходов, трассы: Ава-губа – Кым-явр; Ава-губа – р. Лива – р. Вува; оз. Куистюр – оз. Няла; пос. Верхнетуломский – база отдыха «Вува» – устье р. Гирвас; Верхнетуломское водохранилище – оз. Мяла, оз. Нуль, оз. Гирвас, оз. Няла (четыре трассы). Наиболее посещаемы также все крупные озера и реки исследуемого района. Трассы снегоходов проложены вдоль всех рек и крупных ручьев и обычно ведут к местам рыбалки на озерах в верховьях рек. Основная часть посетителей природы на снегоходах – рыболовы. Охотничьи поисковые следы снегоходов по следам оленей и лосей, угонные следы лосей обнаружены в долинах рек Вува, Нялозерская, Мяла, Роговая, Нуль, то есть практически повсюду, где проведены наблюдения.

Для северного оленя характерны сезонные перемещения в годовом цикле, связанные со сменой кормовых объектов (их доступности) и переходом на место отела в конце зимы. В зимний период северный олень предпочитает ягельники с наименьшим снежным покровом, которыми в условиях Лапландии являются выдуваемые участки: тундры, болота и редколесья, сосновые боры. К западу и к северу от заповедника имеются подобные привлекательные для северного оленя обширные территории, а также кроме перечисленных угодий еще и обширные вырубki, и гари, тоже выдуваемые ветром. В бесснежный период эти участки не посещаются из-за отдаленности и плохих дорог, но становятся доступны с установлением снежного покрова и замерзанием водоемов.

В 2003 г. при проведении охранных мероприятий и авиаучета 6.03, 10.03, 12.04 и 13.04 выявлены следы преследования оленей и лосей на снегоходах, добычи не менее 50 оленей в долине р. Вува, в районе Ропы-тундры на участках, примыкающих к территории заповедника. По сведениям, полученным из Мурманского охотуправления, охотникам было выдано лицензии на отстрел лишь 18 оленей. Т. е. охота проводилась без разрешения на отстрел, после закрытия охоты и с использованием мототранспортных средств. Установлены факты незаконной добычи оленей вне территории заповедника: в 2004 г. – в долине рек Конья и Суадаш – около сотни, в 2009 г. – в районе Волчьих тундр не менее 38 голов. По опросным сведениям, незаконная добыча дикого северного оленя и лося с использованием снегоходов не прекращается и поныне, после запрета легальной охоты на оленя западной популяции с 2015 года.

Снежный покров и условия питания оленя. Зимние погодные условия существенно влияют на условия зимовки северного оленя. Образование уплотненной, в особенности, ледяной снежной корки наблюдается почти ежегодно. Зимний период 2012-2013 гг. характеризовался низкими температурами воздуха с ноября по март, потеплением в конце февраля и значительной высотой снежного покрова. Из-за низких температур снег выкристаллизовался и на открытых участках, даже на озерах, оставался сыпучим и рыхлым до конца зимы. Падение кучты с деревьев при оттепели 24.02.2013 уплотнило снег в лесной зоне под кронами деревьев. Высота снежного покрова в сосновых ягельниках в марте составляла около 76-87 см, в ельниках – 100-110 см, что выше средних многолетних показателей на 10-15 см. К концу зимы в горах образовался плотный снежный покров, но площадь участков с невысоким, около 10-20 см снежным покровом и выдутых участков, которые

выбирают олени для поиска ягеля, по размерам близка к среднему уровню. Такие участки имелись на всех горных массивах, их площади значительно увеличились к середине апреля.

В 2014 г. в течение зимы наблюдались несколько оттепелей до +6°C. В результате такой череды оттепелей и морозов до -32°C снежный покров был уплотненный, выкристаллизованный, в особенности, на западной части заповедника, вероятно, из-за более сильных оттепелей. На большей площади обычных зимних пастбищ в борах олень не может добывать ягель из-за плотного перемерзшего льдообразного снежного покрова. На обширных болотах в долине реки Вува, других рек западнее Вувы, снег выдутый, имеются даже бесснежные участки, оголенные пятна вокруг стволов деревьев, на кочках и т.п. Разбившись на группы от нескольких до полусотен особей, олени бродят по этим болотам и редколесьям в поисках корма. Они так же берут «лапп» с деревьев (долина оз. Мела и др. участки), копытят на некоторых участках с рыхлым снегом (варака по западному склону Ропы-тундры, Куистюрская варака). Но и на последних участках дикий северный олень держится в группах по 10-20 голов.

В то же время 10.03 и 31.03.2014 на Чуна-тундре наблюдалось смешанное стадо из 200-300 оленей, зафиксированное здесь же 01.04-08.04.13 при наземном и авиа учетах. Следы другого крупного стада «дикаря», тоже учтенного в 2013 году, встречены в марте на Монче-тундре. То есть снежный покров 2014 года на Чуна- и Монче-тундре, и более обширные и не выбитые пастбища позволяют оленю держаться здесь обычными, характерными для конца зимы, стадами из сотен особей.

Ягельники как горные, так и лесные, в целом в хорошем состоянии по всей лесной зоне и на большей части тундр. Деградация пастбищ на Нявка- и Сальной тундре выявлена с 2003 г. На Сальной тундре в 2001, 2003-2006 гг. в июле-августе отмечено стадо оленей до 400-500 голов. Подобное скопление оленей в летний период вызванное гнусом стало причиной деградации ягельного покрова, хрупкого в этот период.

Потенциальные хищники. Следы росомы наблюдались по всем маршрутам. В долине р. Роговой 08.04.2014 в заповеднике вблизи его границы троплением росомы найдены недоиспользованные остатки лосенка – добычи росомы. Следы волка в этом районе в 2013-2015 гг. не обнаружены.

В 2010, 2014-2016 гг. следы пары волков встречались на территории, прилегающей к северной границе заповедника в долине р. Печа. Волков сюда привлекают отходы промысла лосей и легкость передвижения по выдуваемым от снега участкам гарей и вырубков. В последние годы благоприятным является для популяции северного оленя и лося минимальная численность волка на территории заповедника. Одно из вероятных объяснений этого явления предпочтение волками районов охоты на лося к северу от заповедника, где они могут кормиться остатками добычи охотников, а также могут легче передвигаться по следам снегоходов.

Влияние на популяцию северного оленя медведя, росомы, беркута, орлана-белохвоста естественное.

Современное состояние западной популяции дикого северного оленя. К 2016 г. на территории заповедника обитают три стада северного оленя (примерно 300, 250 и 150 голов), по результатам авиаучета 2013 г. в сумме 700-800 оленей. Наиболее благоприятно существование «чунского» стада из-за обширности и разнообразия богатых кормом и охраняемых угодий как в лесной зоне, так и в тундре. Есть выбор при меняющихся погодных условиях. У оленей этого стада неоднократно отмечено доверчивое к человеку поведение: они могут близко подпустить наблюдателя, не убежать от него, всё более часты заходы на территорию усадьбы заповедника. Привыкание к человеку объясняется отсутствием преследования, угрозы.

Два других стада – «северное» и «западное» традиционно вынуждены выходить за пределы территории заповедника, где подвергаются преследованию охотников в течение всего года, но наиболее интенсивно во второй половине зимы. Наиболее серьезным лимитирующим фактором для северного оленя, а также других объектов охоты, является резкий рост количества снегоходов. Наиболее уязвимо стадо, обитающее в районе Монче- и Волчьей тундр из-за доступности, близости его местообитаний для населения окрестных городов.

Ягельные пастбища и горные, и в особенности, лесные в основном находятся в настоящее время в хорошем состоянии. Но деградация ягельных пастбищ на Сальной и Нявка тундрах, при численности популяции не более 1000 голов, подтверждает возникновение проблем с кормовой базой в будущем в связи с дальнейшим ростом численности дикого северного оленя на территории заповедника. К западу и к северу от заповедника имеются обширные участки пригодные для обитания оленей, но они пока мало используются оленями из-за беспокойства и преследования разного рода посетителями природы: туристами, рыболовами, охотниками и пр.

Таким образом, за 10 лет численность дикого северного оленя сократилась примерно на 250 особей. Сокращение численности произошло в результате охоты и уничтожения стад дикого северного оленя, выходящих за пределы территории заповедника (на Волчьей и Сальной тундрах).

В результате активной деятельности сотрудников заповедника при поддержке Баренцево-мурского отделения WWF, Минприроды Мурманской области, заповедника «Пасвик», КНЦ РАН северный олень западной популяции Кольского полуострова включен в Красную книгу Мурманской области по категории 3 «Редкий, находящийся в состоянии, близком к угрожаемому» (2014). В 2015 г. рабочей группой по дикому северному оленю Евразии Териологического общества обосновано и предложено включение этой популяции (в числе других) в Красную книгу РФ. Данное предложение принято Минприроды РФ.

Литература

1. *Гилязов А. С.* Изменение численности Тетеревиных птиц Лапландского заповедника за 1936-2005 гг. // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского). Материалы международной конференции. Ч. 2. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2006. С. 135-137.
2. *Семенов-Тян-Шанский О. И., Крепс Г. М.* Очерк биологии дикого северного оленя в Лапландии // Промысловая фауна и охотничье хозяйство. Л.; М., 1934. С. 35-49.
3. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Дикий северный олень на Кольском полуострове // Труды Лапландского государственного заповедника. М., 1948. Вып. 3. С. 3-90.
4. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Количественный учет дикого северного оленя в Лапландском заповеднике // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. М.: Изд. АН СССР, 1952. С. 239-244.
5. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Авиачет дикого северного оленя в Мурманской области // Бюллетень МОИП, 1968. Отд. Биологии. Т. XXIII. Вып. 5. С. 21-32.
6. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Дикий северный олень // Охота и охотничье хозяйство, 1969. № 7. С. 18-20.
7. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Ареал и движение численности дикого северного оленя в Мурманской области за 40 лет // Труды IX Международного конгресса биологов-охотоведов. М., 1970. С. 329-334.
8. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Дикий северный олень Кольского полуострова // Дикий северный олень в СССР. Материалы I-го междунар. совещ. по охране и рацион. использ. ресурсов дикого сев. оленя. М.: Советская Россия, 1975. С. 169-172.
9. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Популяция дикого северного оленя в Мурманской области // Дикий северный олень. Бюллетень НТИ НИИ сельск. хозяйства Крайнего Севера. Вып. 12/13. Норильск, 1976. С. 81-84.
10. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Северный олень. М.: Наука. 1977. 94 с.
11. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Изменчивость экологии дикого северного оленя по фазам цикла колебания численности // Копытные фауны СССР: экология, использование и охрана. М.: Наука, 1980. С. 42-43.
12. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Дикий северный олень Мурманской области. Проблемы колебаний численности, охрана и использование запасов // Природа и хозяйство Севера. Вып. 9. Мурманск, 1981. С. 49-52.
13. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* История дикого северного оленя на Кольском полуострове. Лесной северный олень Фенноскандии. // Материалы I-го совет.-фин. симпозиума. Петрозаводск. 1989. С. 15-18.
14. *Семенов-Тян-Шанский О. И.* Лапландский заповедник, как резерват дикого оленя // 60 лет Лапландскому государственному биосферному заповеднику: (информационные материалы). Мончегорск. 1990. С. 46-50.
15. *Semenov-Tyan-Schanskii O. I.* The status of wild reindeer in the USSR, especially in the Kola Peninsula // Proc. 1 Intern. Reindeer and Caribou Symp. Fairbanks, Alaska. 1975. Special report. № 1. P. 155-161.
16. *Semenov-Tyan-Schanskii O. I.* Fluctuations in one wild reindeer population on Kola Peninsula at 50 years and causes underlying them // Proc. 2 Intern. Reindeer and Caribou Symp. Oslo, 1979. P. 134-141.

З. А. Евтюгина¹, Ю. В. Копылова²

¹*Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета,*

г. Апатиты

zina_evt@mail.ru

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

unpr_voda@mail.ru

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РОДНИКОВЫХ И РУЧЬЕВЫХ ВОД ТЕХНОГЕННЫХ ПУСТОШИ И РЕДКОЛЕСЬЯ (МОНЧЕГОРСКИЙ РАЙОН)

В Кольском регионе среди основных источников загрязнения атмосферного воздуха на долю валовых выбросов Кольской ГМК (горно-металлургической компании) приходится более 70 %. С 1990 г. комбинат Североникель (площадка Мончегорск) последовательно снижал объемы выбросов сернистого газа: с 287 тыс. т в 1990 г. (Pozniakov, 1993) до 36.9 тыс. т в 2015 г. (Веб-ресурс, 2016). Снижение объемов выбросов тяжелых металлов происходило не так резко, как SO₂. В 1990 г. в атмосферу поступило Cu и Ni соответственно 1813 т и 2712 т, а в 1999 г. 873.8 и 1127 т, в 2013 г. выбросы Cu достигли 523.8 т, Ni – 374.5 т (данные КГМК).

В настоящее время вблизи комбината на территории площадью около 9 тыс. га лес разрушен полностью (Доклад..., 2013). Почвы могут сорбировать огромное количество тяжелых металлов, поступающих с атмосферными выпадениями, вплоть до разрушения (гибели) растительности (Евтюгина, 1994). Полагают (Калабин, 2009), что в условиях снижения техногенных нагрузок почвы становятся основным источником загрязнения водоёмов за счет длительного процесса вымывания из них несвязанных загрязняющих веществ, в первую очередь тяжелых металлов.

В июле 2014 г в Мончегорском районе опробовали воды небольшого озера, двух родников, расположенных на территории, где полностью разрушен лес, и ручья, дренирующего техногенно трансформированный лесной ландшафт. Анализ химического состава вод проводился в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Научно-образовательного центра «Вода» Института природных ресурсов Томского политехнического университета (НОЦ «Вода» ИПР ТПУ) с использованием методов потенциометрии, фотометрии, ионной хроматографии, титриметрии, высокотемпературного каталитического окисления и масс-спектрометрии (Евтюгина и др., 2015). Сравнительный анализ для двух родников, состав которых формируется на территории интенсивного воздействия выбросов комбината, проводился с привлечением архивных данных (протоколы химического анализа) ОАО ЦКЭ (Центрально-Кольская экспедиция) в г. Мончегорск. С начала 1990-х до 2010 г. периодически, с некоторыми перерывами, гидрогеологи ЦКЭ проводили опробование родников. Состав вод исследовался в аккредитованной (с 1997 года) лаборатории ОАО КГИЛЦ (открытое акционерное общество "Кольский геологический информационно-лабораторный центр") в г. Апатиты.

В период опробования 1986-1990 гг. лесной ландшафт, воды которого поступали в ручей, был представлен воронично-еловым техногенным редколесьем (Никонов и др., 1987). К 2014 г. под влиянием пылегазовых выбросов комбината ландшафт трансформировался в березовое техногенное редколесье (Евдокимова и др., 2011). Почти все хвойные деревья погибли – остались единичные особи, но появилось больше, чем раньше, лиственных деревьев и кустарников высотой 1.5-3 м. Состояние напочвенного покрова также изменилось: увеличилась площадь, не покрытая растительностью. Современный химический состав вод ручья отличается от параметров состава вод, определявшихся в период наибольших объемов выбросов соединений серы, меди и никеля. Содержания сульфат- и хлор- ионов в 2014 г. меньше минимальных концентраций в период опробования с 1986 по 1990 гг., увеличилась концентрация гидрокарбонат-иона. При этом содержания кальция и магния приближаются к максимальным значениям указанного периода, натрия – не превышают, а калия – ниже или совпадают. Содержания меди и никеля не изменились (входят в интервалы значений, полученных в летние периоды 1987-1990 годов), см. таблицу.

Другой водный объект, макрокомпонентный состав вод которого приведен в таблице, – родник Дорожный (Ананьев, 2010), находится в 2 км на ЗЮЗ от источника пылегазовых выбросов в придорожном откосе у подножия юго-восточного склона горы Ниттис. Весь склон сложен песчано-гравийно-галечниковыми озерно-ледниковыми отложениями. Питание родника – атмосферное, с возможной инфильтрацией вод из озера (30X50 м), которое расположено в 30 м от родника на высоте около 2 м. Глубина водоёма – около 1 м, вокруг – полосой 0.5-1 м растут кустарниковые

формы ив, берез. В целом, ближайшая к озеру территория является техногенной пустошью, с которой в течение многих лет талые и дождевые воды смывали органоминеральный материал разрушенных почв. Макро- и микрокомпонентный состав родниковых вод, представленный в таблице, – стабилен. Примечательно, что в родниковых водах концентрация Cu < 1 мкг/л, что в 16 раз меньше её концентрации в озере, а содержание Ni – 6.5 мкг/л, что в 10 раз меньше. Вероятно, тяжелые металлы сорбируются органоминеральным слоем донных отложений и подстилающими породами подобно иллювиальному горизонту подзолистых почв (Евтюгина, 1997). То, что вода из озера может питать родник, подтверждается почти совпадающими содержаниями активного водного мигранта Cl⁻ в почти одновременно отобранных пробах родниковых и озёрных вод.

Статистические параметры концентраций компонентов химического состава природных вод (мг/л, Cu, Ni – мкг/л, pH – единицы pH)

Параметр	Ручей, 7 км, ЮЮЗ				Родник Дорожный, 2 км, ЗЮЗ				
	Июль, август 1986-1990 (n=5)			2014 22.07	1997-2010 (n=29, Ni – 26, Cu – 15)			2014 19.07	
	Min	Max	Med	Рч*	Min	Max	Med	Рд**	Оз***
pH	6.57	6.87	6.65	6.69	5.67	7.41	6.42	5.76	5.91
SO ₄ ²⁻	13.6	18.9	16.2	8.05	9.88	21.81	16.87	13.4	8.7
Cl ⁻	1.77	3.85	2.45	1.39	1.65	5.89	2.6	2.88	2.67
HCO ₃	4.2	12.2	6.3	19.5	7.90	28.67	10.37	12.2	9.76
NO ₃ ⁻	0.08	0.80	0.30	0.17	0.21	2.55	1.67	1.6	-
NH ₄ ⁺	0.14	1.56	0.18	-	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Ca ²⁺	2.39	5.92	5.38	6.15	3.1	7.2	5.8	5.14	3.9
Mg ²⁺	0.75	1.23	1.13	1.63	1.69	5.28	2.57	2.37	1.7
Na ⁺	1.49	2.05	2.01	2.19	1.63	5.32	2.34	2.86	2.66
K ⁺	0.16	0.40	0.17	0.16	0.4	1.65	0.59	0.62	0.42
Cu	6	20	12	20	<1	2	<1	0.9	14.9
Ni	41	86	54	42	2.9	11.4	6	6.5	55.7

*Рч – ручей.

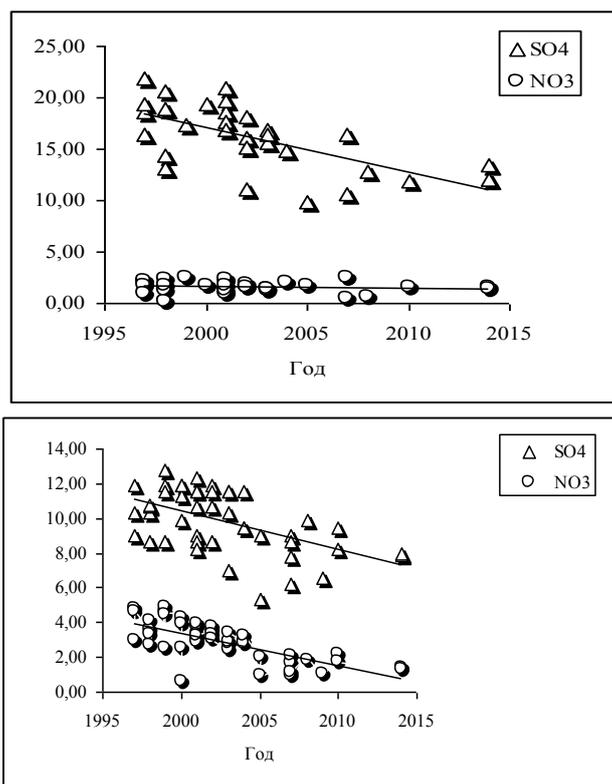
**Рд – родник.

*** Оз – озеро Дорожное.

Родник Горный расположен в 4.5 км в ЮЗ направлении от комбината на юго-восточном склоне хр. Мончетундра. Склон пологохолмистый с чередованием коренных выходов габбро-норитов, песчано-гравийных валов и делювиальных свалов (Ананьев, 2010). На площади возможной инфильтрации атмосферных вод лес разрушен, почти отсутствует лесная подстилка, поэтому почвы эродированы до минеральных горизонтов. Однако на склоне вблизи выхода родника растут угнетенные березы высотой 2-5 м (часть крон берез в июле 2014 г. была без листьев), на уплотнённых чёрных остатках лесной подстилки – редкие особи хвоща. Сопоставим медианные значения концентраций макрокомпонентов в родниковых водах, отбирившихся в период 1997-2010 гг., и содержания катионов и анионов в водах родника Горный в июле 2014 (в скобках), мг/л: 10.29 (7.88) – SO₄²⁻; 1.0 (0.85) – Cl⁻; 9.46 (13.42) – HCO₃⁻; 2.95 (1.4) – NO₃⁻; 5.40 (5.44) – Ca²⁺; 1.33 (1.25) – Mg²⁺; 1.48 (1.62) – Na⁺; 0.30 (0.27) – K⁺. Таким образом, в 2014 г. концентрация катионов в родниковых водах почти не изменилась, но увеличилось содержание HCO₃⁻, снизилось – SO₄²⁻ и NO₃⁻. В 2014 г. концентрации Cu и Ni в одной и другой, отобранной через неделю, пробах, совпали: 0.1 мкг/л (Cu) и 3.3 мкг/л (Ni). В 1997-2010 гг. содержание (медиана) Cu – менее 1 мкг/л, а Ni – 6 мкг/л.

Содержания тяжёлых металлов в подземных (родниковых) водах в зоне интенсивного воздействия выбросов гораздо ниже, чем в поверхностных. Очевидно, медь и никель, поступающие в составе атмосферных выпадений, как и в период наибольших объёмов выбросов комбината (Евтюгина, 1994), задерживаются верхним почвенно-грунтовым слоем рыхлых отложений.

Снижение объёмов выбросов серы проявляется в уменьшении содержания сульфат-ионов в родниковых водах (см. рис).



Тенденции изменения концентраций сульфат- и нитрат-ионов в водах родников.
Сверху – родник Дорожный, снизу – родник Горный

Из рисунка видно, что в водах родника Горный с течением времени содержание NO_3^- снижается, в то время как в Дорожном почти не изменяется.

Поскольку питание родника Дорожный происходит за счёт инфильтрации атмосферных осадков, то уместно привести данные о концентрациях в них нитрат-ионов. Так, в техногенном редколесье (7 км от комбината) в жидких осадках, отбирившихся в течение 1987-1990 гг. – период наибольших объёмов пылегазовых выбросов – концентрация нитрат-ионов (медиана) – 0,32 мг/л при диапазоне от 0,01 до 0,78 (Евтюгина, Асминг, 2013). С 2001 по 2007 гг. на площадке в 4 км к ЮВ от комбината содержание NO_3^- в дождевых водах (медиана) – 0,18 мг/л (Кашулина, Салтан, 2008). Опробование дождевых вод с мая по сентябрь 1994 г. на водосборах в 5 км, 24 и 70 км от комбината показало, что медианные значения содержаний NO_3^- атмосферных вод изменялись от 0,40 до 0,50 мг/л. Эти данные не позволяют говорить о загрязнении дождевых вод соединениями азота, поскольку даже в фоновых районах Финляндии медианные значения содержаний NO_3^- в дождевых водах, отбирившихся с мая по сентябрь 1994 года, составили 0,4 мг/л (Reimann et.al, 1997). На рисунке показаны тренды изменений содержаний NO_3^- в водах родников при снижении техногенной нагрузки. Тенденция изменения концентраций нитрат-ионов в водах родника Дорожный почти не выражена.

Тенденция снижения содержаний нитрат-ионов в водах родника Горный выражена отчётливо. Ранее было показано, что полное отсутствие растительности на техногенных пустошах с сохраняющимся органогенным горизонтом сопровождается значительным увеличением содержаний NO_3^- в почвенных (лизиметрических) водах, поступающих за пределы почвенного профиля (Евтюгина, 1997, Лукина и др., 2001). Поэтому, постепенное снижение концентраций NO_3^- в водах родника Горный может быть связано с активизацией биохимических процессов, осуществляемых микроорганизмами в почвах, загрязнённых тяжёлыми металлами и соединениями серы, при снижении техногенной нагрузки (Евдокимова, 1995). Поскольку питание растений азотом происходит путем поглощения из почвенного раствора NO_3^- и NH_4^+ , то снижение концентрации нитрат-ионов в водах родника в последние годы (рисунок) также может быть косвенным признаком того, что на территории техногенной пустоши происходит самовосстановление растительности, что в некоторых местах можно заметить даже визуально.

Литература

1. *Ананьев В. Н.* Родники Мурманской области: справочник. Мурманск: Книжное изд-во, 2010.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2012 году. Мурманск: Индивидуальный предприниматель Щербаков Максим Леонидович, 2013. URL: <http://www.gov-murman.ru/envcond/2013.pdf>.
3. *Евдокимова Г. А.* Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995.
4. *Евдокимова Г. А., Калабин Г. В., Мозгова Н. П.* Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия воздушных выбросов комбината «Североникель» // Почвоведение. 2011. № 2. С. 261-268.
5. *Евтюгина З. А.* Особенности водной миграции химических элементов в ландшафтах, подверженных аэротехногенному загрязнению. Апатиты: Изд-во КНЦ, 1994.
6. *Евтюгина З. А.* Роль еловых биогеоценозов Кольского полуострова в формировании кислотности и состава природных вод в условиях промышленного воздушного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1997. 25 с.
7. *Евтюгина З. А., Асминг В. Э.* Особенности формирования состава инфильтрационных вод в условиях аэротехногенного загрязнения // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 1. С. 73-80.
8. *Евтюгина З. А., Копылова Ю. Г., Гусева Н. В., Мазурова И. С., Русинова Т. А., Воробьева Д. А.* Химический состав природных вод окрестностей озера Имандра (Мурманская область) / Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2015. С. 699-704.
9. *Калабин Г. В.* Методологические подходы к оценке реабилитации нарушенных территорий горнопромышленных центров // Горный журнал. 2009. № 10. С. 90-93.
10. *Кашулина Г. М., Салтан Н. В.* Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель». Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2008.
11. *Лукина Н. В., Никонов В. В., Горбачёва Т. Т.* Формирование качества природных вод водораздельных территорий северной тайги // Водные ресурсы. 2001. № 4. С. 438-450.
12. *Никонов В. В., Лукина Н. В., Кашулина Г. М.* Запас подстилки ельников кустарничково-звеномошных в зоне влияния горно-металлургического производства / Изучение целинных и окультуренных почв Мурманской области. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР. 1987. С. 5-15.
13. *Pozniakov V. Ya.* The «Severonickel» smelter complex: History of development // Aerial pollution in Kola Peninsula. Eds. M.V. Kozlov., E. Haukioja, V.T. Yarmishko Proceedings of the International Workshop. Saint-Petersburg, April 14-16 1992 / Saint-Petersburg. 1993. P. 16-19.
14. *Reimann C., Caritat P., Halleraker J. H., Volden T., Åyräs M., Niskavaara H., Chekushin V.A., Pavlov V.A.* Rainwater composition in eight arctic catchments in northern Europe (Finland, Norway and Russia) // Atmospheric Environment. 1997. Vol. 31(2). P. 159-170.
15. URL: <http://www.kolagmk.ru/news/2016-03-17/kolskaya-gmk-prodolzhaet-kologicheskii-dialog.html>

И. В. Зенкова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
zenkova@inep.ksc.ru*

ГЕРПЕТОБИОНТНАЯ МЕЗОФАУНА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ»

Проведено сравнительное исследование фауны герпетобионтных беспозвоночных – обитателей верхнего слоя подстилки и яруса напочвенной растительности на 7 лесных площадках, удаленных от предприятия цветной металлургии «Североникель» на расстояние 7, 10, 28, 31, 63, 167 и 177 км. Площадки являются объектами многолетнего комплексного мониторинга, проводимого сотрудниками Лаборатории наземных экосистем ИППЭС КНЦ РАН, и включающего оценку качества атмосферных осадков и лизимитрических вод, состояния растительности, почв и почвенной биоты в разных зонах загрязнения (Лукина, Никонов, 1996, 1998; Ганичева и др., 2004; Лукина и др., 2005,

2008; Копчик и др., 2007; Артемкина, Горбачева, 2009; Артемкина и др., 2011; Химич, Исаева, 2011; Исаева, Сухарева, 2013; Исаева, 2014; Сухарева, Лукина, 2014; Ершов и др., 2014). Первые две площадки – заболоченный ельник Е-7 и сухостойный сосняк С-10 входят в зону техногенных редколесий. Редкостойные ельники Е-28, Е-63 и сосняк С-31 находятся в пределах зоны дефолирующих лесов. Наиболее удаленные от предприятия лесные площадки в окрестностях пос. Алакуртти (сосняк С-177 и ельник Е-167) рассматриваются как фоновые.

Беспозвоночные отловлены почвенными ловушками с формалином (по 20 ловушек/площадку) в вегетационный сезон 2015 г. Учет содержимого ловушек проведен в 2 срока: через месяц их экспозиции в почве на протяжении июня и, затем, через два месяца экспозиции на протяжении июля и августа. Объем работы на каждой площадке составил в первый срок 650 ловушко-суток, во второй срок – 1281 лов.-сут.

За период исследований учтены представители 36 таксонов ранга семейств и отрядов: в первый срок – 25 (от 9 до 16 таксонов на разных площадках), за второй срок – 33 таксона (от 9 до 25 на разных площадках). Увеличение числа таксонов в наиболее теплые месяцы вегетационного сезона – июль и август по сравнению с июнем закономерно для большинства площадок (ANOVA: $F = 5.23$ при $p = 0.04$ и $F_{табл.} = 4.75$) (рис.1).

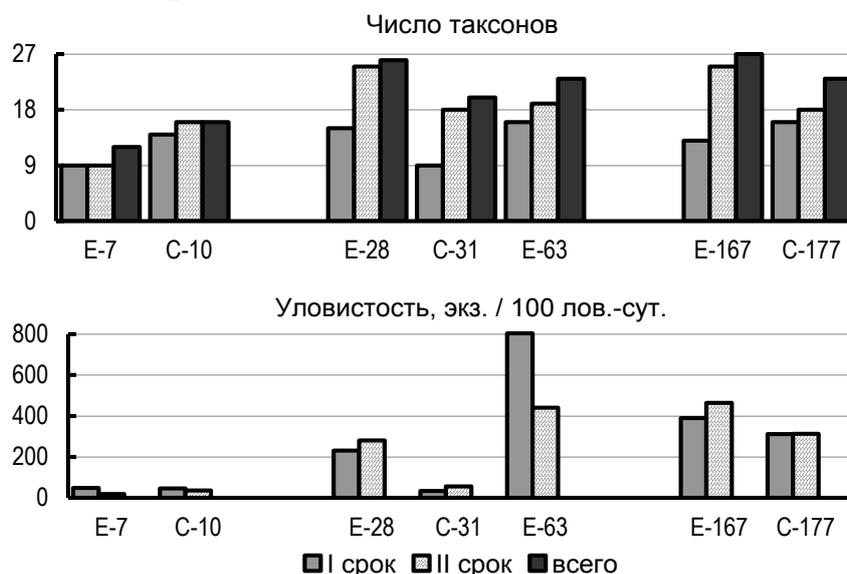


Рис.1. Число таксонов и уловистость (динамическая плотность) беспозвоночных на исследованных площадках в разные сроки вегетационного сезона 2015 г. Е – ельники, С – сосняки. 7, 10, 28, 31, 63, 167 и 177 – расстояние до комбината, км

На всех площадках выявлены типичные представители северотаежной герпетофауны: хищные пауки, муравьи и жесткокрылые (жужелицы, стафилиниды, мягкотелки), растительноядные клопы и цикадки. Ключевые для северотаежных подзолов гигрофильные сапрофаги – дождевые черви, раковинные моллюски, энхитреиды, личинки комаров-типулид отмечены в ловушках только в фоновом ельнике Е-167. Зона техногенных редколесий обеднена насекомыми – сапро- и фитофагами; в заболоченном еловом редколесье Е-7 по сравнению с сухостойным сосняком С-10 не выявлены многоножки-костянки и щелкуны, развитие которых в подстилке занимает нескольких лет. Представители остальных таксонов встречены эпизодически (таблица). Общими для четырех, расположенных вдоль градиента, ельников были 3 таксономические группы беспозвоночных (ксилофаги долгоносики, гигрофильные клещи-красотелки и перепончатокрылые), общими для трех сосняков – 4 таксона (хищные многоножки-литобиды, сапрофильные тараканы, личинки двукрылых и щелкунов).

Число отловленных беспозвоночных достигло 11780 экз. в первый срок действия почвенных ловушек и 18640 экз. во второй срок, из них 83 и 75% экземпляров в эти сроки соответственно было учтено на трех площадках (С-177, Е-167, Е-63), наиболее удаленных от источника загрязнения (рис.1, табл.). Эти площадки с наиболее старовозрастными древостоями и хорошо развитым слоем подстилки отличались высокой уловистостью лесных дендрофильных и подстилочных насекомых (муравьев, жесткокрылых) и паукообразных (пауков, сенокосцев). Дендрофильные муравьи были абсолютными доминантами в уловах на этих площадках, субдоминировали пауки и жесткокрылые (рис.2).

Таксономический состав и уловистость беспозвоночных на площадках

Беспозвоночные	Техногенные редколесья				Дефолирующие леса						Фоновые леса			
	Е-7		С-10		Е-28		С-31		Е-63		Е-167		С-177	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Энхитреиды <i>Enchytraeidae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	–
Дождевые черви <i>Lumbricidae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	<1	–	–
Моллюски <i>Gastropoda</i>	–	–	–	–	–	<1	–	<1	1	2	–	2	2	3
Многоножки <i>Lithobiidae</i>	–	–	<1	<1	<1	<1	–	<1	<1	–	–	<1	<1	<1
Пауки <i>Aranei</i>	28	1	16	12	46	22	14	20	40	21	14	27	33	44
Сенокосцы <i>Opiliones</i>	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	6	–	7	–	<1
Клещи-красотелки <i>Trombidiidae</i>	3	<1	14	7	8	5	9	14	1	<1	<1	<1	–	–
Тараканы <i>Blattoptera</i>	<1	<1	<1	<1	–	–	–	<1	<1	–	–	<1	–	<1
Равнокрылые <i>Homoptera</i> , всего	–	<1	<1	3	<1	4	1	2	<1	3	<1	4	<1	1
Тли <i>Aphididae</i>	–	–	<1	<1	–	<1	1	<1	–	<1	–	<1	–	–
Цикадки <i>Cicadellidae</i>	–	<1	<1	3	<1	4	–	<1	<1	2	<1	3	<1	1
Листоблшки <i>Psyllidae</i>	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	<1	–	<1	–	<1
Червецы <i>Coccoidea</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	–	–
Клопы <i>Hemiptera</i>	1	<1	1	<1	1	1	–	<1	3	<1	1	<1	1	2
Трипсы <i>Thysanoptera</i>	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	–	–	–
Сеноеды <i>Psocoptera</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	<1
Жуки <i>Coleoptera</i> , всего	5	4	3	6	11	30	3	6	50	22	10	16	12	7
Жужелицы <i>Carabidae</i>	4	2	1	2	3	2	1	1	3	2	5	3	2	–
Стафилиниды <i>Staphylinidae</i>	–	2	1	4	5	14	<1	3	45	17	3	9	<1	<1
Мягкотелки <i>Cantharidae</i>	–	<1	<1	<1	–	3	–	<1	<1	1	–	1	<1	1
Долгоносики <i>Curculionidae</i>	<1	–	–	–	1	3	1	<1	1	2	1	2	9	5
Щелкуны <i>Elateridae</i>	–	–	1	<1	<1	<1	–	–	<1	–	1	–	<1	<1
Пилюльщики <i>Byrridae</i>	–	–	–	–	<1	–	<1	–	<1	–	–	–	<1	–
Божьи коровки <i>Coccinellidae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	–
Листоеды <i>Crysmelidae</i>	<1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Усачи <i>Cerambycidae</i>	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	–	–	–	–	–
Короеды <i>Scolytidae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	–
Карапузики <i>Hisleridae</i>	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	–	–	–	–	–
Мертвоеды <i>Silphidae</i>	–	–	–	–	<1	<1	–	–	–	–	–	<1	–	<1
Прочие <i>Coleoptera</i>	–	–	<1	<1	<1	7	–	<1	1	<1	<1	<1	–	<1
Перепончатокрылые <i>Hymenoptera</i>	13	11	12	4	165	215	7	13	710	386	364	408	263	255
Муравьи <i>Formicidae</i>	12	11	12	6	162	211	7	10	709	384	364	404	262	251
Шмели <i>Aphididae</i>	–	–	–	<1	1	<1	–	–	–	–	–	–	<1	–
Пилильщики <i>Pamphilidae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	<1	–	<1
Прочие <i>Hymenoptera</i>	<1	–	–	1	2	4	–	3	<1	2	–	3	<1	3
Чешуекрылые <i>Lepidoptera</i>	–	–	–	–	–	<1	–	<1	–	<1	–	–	<1	–
Блохи <i>Siphonaptera</i>	–	–	–	–	–	<1	<1	–	–	–	–	<1	–	–
Двукрылые <i>Diptera</i> , larvae	–	–	–	<1	–	<1	–	<1	–	1	<1	<1	<1	–
Скорпионовые мухи <i>Mecoptera</i>	–	–	–	–	–	<1	–	–	–	–	–	–	–	–
Экз.	286	200	270	470	1356	3243	195	720	5234	3901	2413	4848	2026	3800
Экз. / 100 лов.-сут.	49	19	46	36	230	280	33	56	804	440	390	444	311	312
Всего: % от общей уловистости	2	1	2	3	12	17	2	4	45	29	21	26	17	20
Число таксонов	9	9	14	16	15	25	9	18	16	19	13	25	16	18
		12		16		26		20		23		27		22

Примечание: Обозначение площадок как на рис. 1. Прочерк – группа не выявлена. Наибольшие по площадкам показатели выделены жирным шрифтом.

Техногенные редколесья С-10 и Е-7 и дефолирующий сосняк С-31 в оба срока отличались наименьшей динамической плотностью беспозвоночных: менее 60 экз/100 лов.-сут. против 300-800 экз/100 лов.-сут. на площадках, удаленных от комбината на расстояние 60-180 км. Доля герпетобионтов на каждой из этих площадок составила лишь 1-4 % от общей уловистости по всем площадкам (рис.1, табл.). Достоверное снижение плотности герпетобионтов на этих площадках с нарушенным напочвенным покровом подтверждено результатами дисперсионного анализа ($F = 10.1$ при $p = 0.004$ и $F_{табл.} = 3.9$).

В зоне дефолиации в ельнике Е-28 соотношение доминирующих групп соответствовало фону, а в сосняке С-31 было смещено в пользу пауков (36-42 %), как и в техногенных редколесьях С-10 и Е-7 (33-57 %). Субдоминировали муравьи (17-26 %), хищные краснотелковые клещи (4-27 %) и жесткокрылые (5-23 %) (рис.2).

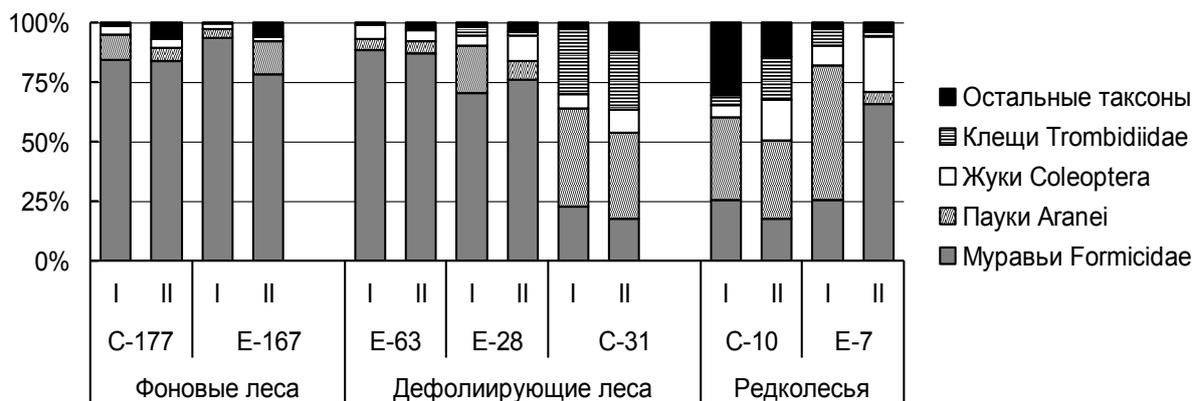


Рис.2. Соотношение доминирующих таксонов герпетобионтной фауны на мониторинговых площадках в разные сроки вегетационного сезона 2015 г. Обозначение площадок – как на рис. 1

Описанные различия таксономического состава и уловистости беспозвоночных между исследованными площадками определили их группировку при кластеризации методом взвешенного попарного среднего (рис.3). В первый срок независимые кластеры образовали: ельник Е-63 с наибольшими показателями числа таксонов и уловистости беспозвоночных; леса условно-фоновой территории в окрестностях пос. Алакуртти (Е-167 и С-177); площадки дефолирующих лесов и техногенных редколесий (Е-7, С-10, Е-28, С-31). Во второй срок, в результате сезонного повышения таксономического разнообразия беспозвоночных и их динамической плотности, дефолирующие ельники Е-63 и Е-28 примкнули к условно-фоновым лесам. Техногенные редколесья Е-7, С-10 и дефолирующий сосняк С-31 с более низкими значениями разнообразия и уловистости обитателей напочвенного покрова обособились в отдельный подкластер, как и в первый срок.

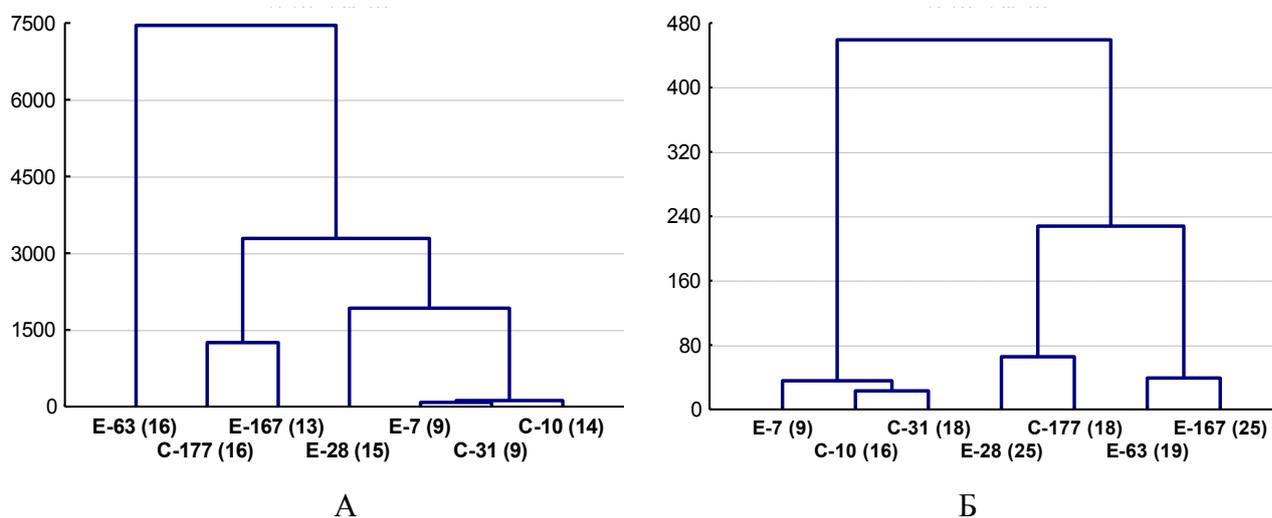


Рис.3. Кластеризация площадок фоновой зоны (С-177, Е-167), зоны дефолирующих лесов (Е-63, С-31, Е-28) и техногенных редколесий (С-10, Е-7) по таксономическому составу герпетобионтов и их динамической плотности в первый (А) и второй (Б) сроки учета (Weighted pair-group average method, Euclidean distances). В скобках указано число выявленных таксонов

Загрязнение лесных экосистем газо-воздушными выбросами металлургического комбината «Североникель» оказывает на обитателей подстилки как прямое воздействие в виде аккумуляции в ней тяжелых металлов и соединений серы, так и опосредованное, путем изменения площади проективного покрытия растительности, мощности и запасов обитаемого слоя подстилки, ее качественного состава и гидротермического режима. Сравнение разнообразия и обилия герпетобионтной фауны в пределах исследованного градиента показало, что существенное влияние комбината на ее структуру в виде снижения плотности, таксономического разнообразия и смены доминантов отмечается на расстоянии не менее 30 км. В зоне дефолиации на удалении 30-60 км состояние герпетобионтной фауны в лесных экосистемах определяется породой-эдикатором: еловые леса в большей степени, чем сосновые, способны поддерживать разнообразие и плотность герпетобионтов на уровне фоновых показателей, особенно во второй половине лета, в период активной вегетации напочвенной растительности. Этот вывод согласуется с результатами упомянутых выше исследований о большем разнообразии биоты в экосистемах еловых лесов Мурманской области по сравнению с сосновыми лесами.

Исследования выполнены в рамках темы НИР 9-13-2104 «Пространственно-временные закономерности функционирования северотаежных лесов: природные и техногенные аспекты».

Литература

1. *Артемкина Н. А., Горбачева Т. Т.* Содержание фенолов в коре ели на разных стадиях техногенной сукцессии биогеоценозов Кольского полуострова // *Химия растительного сырья*, 2009. № 2. С. 111-116.
2. *Артемкина Н. А., Горбачева Т. Т., Лукина Н. В.* Низкомолекулярные органические кислоты в почвенных водах лесов Кольского полуострова в условиях воздушного промышленного загрязнения // *Лесоведение*, 2011. № 4. С. 21-29.
3. *Ганичева С. Н., Лукина Н. В., Костина В. А., Никонов В. В.* Техногенная дигрессия и восстановительная сукцессия в хвойных лесах Кольского полуострова // *Лесоведение*, 2004. № 3. С. 57-67.
4. *Ершов В. В., Исаева Л. Г., Горбачева Т. Т.* Мониторинг состояния окружающей среды в лесных экосистемах Мурманской области // *Север и рынок: формирование экономического порядка*, 2014. Т.3, № 40. С. 133-137.
5. *Исаева Л. Г.* Содержание элементов в трутовых и съедобных грибах в условиях аэротехногенного загрязнения // *Грибные сообщества лесных экосистем*, 2014. С. 145.
6. *Исаева Л. Г., Сухарева Т. А.* Элементный состав дикорастущих кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель»: данные многолетнего мониторинга // *Цветные металлы*, 2013. № 10. С. 87-92.
7. *Копчик Г. Н., Лукина Н. В., Смирнова И. Е.* Влияние атмосферного промышленного загрязнения на состав почвенных растворов подзолов // *Почвоведение*, 2007. № 2. С. 223-234.
8. *Лукина Н. В., Никонов В. В.* Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2 ч. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с. Ч. 2 192 с.
9. *Лукина Н. В., Никонов В. В.* Питательный режим лесов северной тайги. Природные и техногенные аспекты. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 1998. 316 с.
10. *Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А.* Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
11. *Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
12. *Сухарева Т. А., Лукина Н. В.* Минеральный состав ассимилирующих органов хвойных деревьев после снижения уровня атмосферного загрязнения на Кольском полуострове // *Экология*, 2014. Т. 45. № 2. С. 95-102.
13. *Химич Ю. Р., Исаева Л. Г.* Химический состав трутовых грибов в зоне влияния медно-никелевого производства // *Вестник МГОУ. Естественные науки*, 2011. № 1. С. 72-76.

И.В. Зенкова¹, А.А. Колесникова²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
zenkova@inep.ksc.ru

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kolesnikova@ib.komisc.ru/

ВИДОВОЕ И ТРОФИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЖУКОВ-СТАФИЛИНИД (COLEOPTERA, STAPHYLINIDAE) В ЭКОСИСТЕМЕ СОСНОВОГО ЛЕСА НА ИЛЛЮВИАЛЬНО-ГУМУСОВОМ ПОДЗОЛЕ

Стафилиниды – крупнейшее по числу видов семейство жесткокрылых (Coleoptera). По последним оценкам мировая фауна стафилинид насчитывает 46-56 тыс. видов (Newton, Thayer, 2005; Grebennikov, Newton, 2009). В фауне России указывается 2318 видов (Атлас жуков России: ..., 2014). В Мурманской области, согласно литературным данным и результатам собственных исследований (Porrius, 1905; Фридолин, 1936; Бызова и др., 1986; Россолимо, 1994; Трушицина, 2007; Каталог биоты..., 2008; Зенкова и др., 2011; Камаев, 2012; Зенкова, Колесникова, 2015), обитает около 200 видов стафилинид. Это преимущественно бореальные и полизональные виды; незначительное число борео-монтанных, аркто-бореальных и арктических видов известно из горных экосистем Хибин и заповедника «Пасвик».

Высокому таксономическому разнообразию стафилинид соответствует экологическое разнообразие, что отражено в классификациях этих жуков по жизненным формам, биотопическим предпочтениям, зоогеографическим и трофическим группам (Потоцкая, 1971; Тихомирова, 1973; Богач, 1988; Кашеев, 1999; Нерман, 2001; Thayer, 2005). Основными способами питания стафилинид являются: хищничество, сапрофагия, мицетофагия и фитофагия. Преобладает зоофагия; фитофагия известна для небольшого числа видов. Мицетофагия отмечена у представителей разных подсемейств, но в целом менее характерна для семейства, чем зоофагия. Сапрофагию трудно отделить от мицетофагии, так как разлагающиеся органические остатки, как правило, колонизированы микроскопическими грибами, и остается не ясным, какой из этих компонентов более важен для питания стафилинид. Возможны сочетания пищевых режимов: зоомицетофагия и зоосапрофагия.

Приуроченность стафилинид к почвенной среде на всех стадиях жизненного цикла, их доминирующее положение в структуре почвенной фауны бореальной зоны и трофическое разнообразие, делает этих жесткокрылых неотъемлемым компонентом детритных пищевых сетей. В почвах Мурманской области стафилиниды – наиболее многовидовая и многочисленная группа беспозвоночных. Комплекс трофических связей может быть одним из ключевых факторов, определяющих успешное существование стафилинид в заполярных районах и высокогорных экосистемах, однако трофическая экология этих жуков на территории Мурманской области ранее не изучалась, и все оценки проводились лишь с использованием литературных данных.

Определение трофических ниш основных групп биоты, имеющих высокие показатели численности и встречаемости и формирующих трофические сети в почвах Мурманской области, является одной из задач нашего проекта с использованием метода изотопного анализа², а количественный и качественный учет биоты – начальным этапом его выполнения. Стационарные работы в рамках проекта проводятся на одном из лесных мониторинговых участков Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН (67°34' с. ш., 33°17' в. д.), на котором ранее были выполнены комплексные исследования почв, растительности, микробиоты и фауны беспозвоночных животных (Переверзев, Алексеева, 1960; Семко, Сергеев, 1974; Семко, 1982; Балаганская и др., 1983; Переверзев, 1987, 2004, 2006; Ушакова, 1997; Евдокимова, Мозгова, 2001; Евдокимова и др., 2002; Зенкова, 2003; Зенкова, Петрашова, 2008; Зенкова, Валькова, 2008; Zenkova, 2010).

Участок соснового леса с примесью осины, березы и можжевельника занимает автоморфную позицию ландшафта на высоте 158 ± 5 м над ур. м. Соотношение сосны, осины и березы составляет 10С:1О:1Б. Запасы фитомассы оцениваются в 776 ц/га. Кустарничково-травяной ярус хорошо развит, из кустарничков в нем преобладают черника (*Vaccinium myrtillus*, L.) и брусника (*V. vitis-idaea*, L.), из травянистых растений – луговик, золотарник, подмаренник, из мохообразных – зеленые мхи родов *Hilconium*, *Pleurosium*. Почва – типичный Al-Fe-гумусовый песчаный подзол, характеризуется укороченным генетическим профилем O-E-BHF-BC-C, легким механическим составом, четкой

²Работа проводится при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-04-01878-а.

элювиально-иллювиальной дифференциацией органического вещества и профилообразующих элементов – алюминия и железа. Мощность органогенного горизонта варьирует в пределах участка от 0.5 до 9.5 см, величина рН водной вытяжки – от 4.7 до 6.0. Почвообразующая порода – пески озерно-ледникового происхождения с высоким валовым содержанием кремния, фосфора, железа и алюминия. Детальная характеристика участка приведена в работах указанных выше авторов.

В результате количественных учетов методом отбора образцов подстилки, их ручного разбора и последующего электропрогрева в лабораторных условиях, в почвенном покрове сосняка выявлено 30 видов стафилинид из 16 родов, принадлежащих к 6 подсемействам: Aleocharinae – 15 видов, Staphylininae – 6, Tachyporinae – 4, Steninae и Omaliinae – по 2, Oxytelinae – 1 вид (табл.1). Виды *Anotylus sculpturatus*, *Acrotona aterrima*, *Stenus flavipalpis*, *Leptusa pulchella*, *Oxypoda brevicornis*, а также отловленные в единственном экземпляре *Stenus calacaratus*, *Philonthus cyanipennis*, *Atheta crassicornis*, *A. paracrassicornis* и *A. ripicola* впервые указываются для Мурманской области. Еще три вида известны для региона только из наших находок в горных экосистемах Хибин (*Quedius semiaeneus* и *Atheta islandica*) и заповедника «Пасвик» (*Lordithon trimaculatus*).

Таблица 1

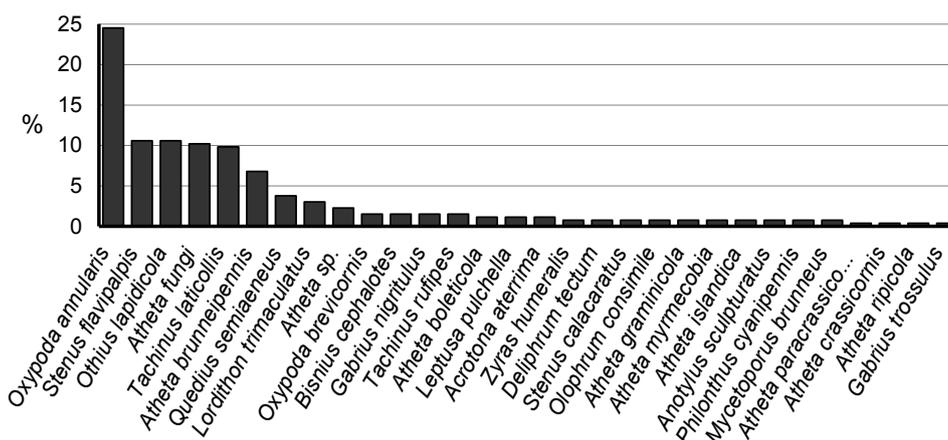
Стафилиниды, выявленные в подстилке сосняка, и их экологическая характеристика

Вид	Экологическая характеристика (присвоенный трофический статус)*
1	2
Подсемейство Staphylininae (6 видов)	
<i>Gabrius nigriritulus</i> (Gravenhorst 1802)	Лесной подстилочный гигрофильный вид. Хищник (зоофаг, з). Мирмекофил, встречается в гнездах муравьев из рода <i>Formica</i>
<i>Gabrius trossulus</i> (Nordmann 1837)	Лесной вид. В почве и подстилке сосновых и мелколиственных лесов. (з)
<i>Bisnius cephalotes</i> (Gravenhorst 1802)	Лесной подстилочный вид. Встречается в лесостепи (з)
<i>Philonthus cyanipennis</i> (Fabricius 1793)	Населяет хвойные, лиственные леса и лесостепные сообщества. Имаго обитают в подстилке, листовом опаде, экскрементах, плодовых телах напочвенных и ксилотрофных грибов. Зимует в разлагающейся древесине. Хищник, склонный к детрито- и мицетофагии (зоосапромицетофаг, зсм)
<i>Quedius semiaeneus</i> (Stephens 1833)	Лесной подстилочный вид. В подстилке и опаде хвойных и лиственных лесов (з)
<i>Othius lapidicola</i> Kiesenwetter 1848	Горно-таежный лесной вид. В подстилке и моховом покрове еловых и мелколиственных лесов (з)
Подсемейство Steninae (2 вида)	
<i>Stenus calcaratus</i> Scriba 1864	Стенотопный гигрофильный вид. Встречается по берегам рек (з)
<i>Stenus flavipalpis</i> Thomson 1860	Стенотопный гигрофильный вид. Обитает по берегам рек и ручьев, в растительном покрове, моховой подстилке. Фитодетритикол (фд)
Подсемейство Omaliinae (2 вида)	
<i>Deliphrum tectum</i> (Paykull 1789)	Эвритопный подстильно-почвенный вид. Населяет сухие и заболоченные хвойные и березовые леса, болота. Встречается в гименофоре пластинчатых грибов, экскрементах, на трупах. Хищник, склонный к сапрофагии (зс)
<i>Olophrum consimile</i> (Gyllenhal 1810)	Лесной подстилочный вид – обитатель хвойных и мелколиственных лесов (зс)
Подсемейство Oxytelinae (1 вид)	
<i>Anotylus sculpturatus</i> Gravenhorst 1806	Эвритопный вид. Обитает в скоплениях разлагающейся органики, навозе. Сапрофаг (с)
Подсемейство Tachyporinae (4 вида)	
<i>Mycetoporus brunneus</i> (Marsham 1802)	Эвритопный вид, тяготеет к открытым местообитаниям (сельскохозяйугодья, пахотные земли, пустоши), встречается в лесах. Обтает в листовом опаде, под корой старых деревьев и пней, в моховом покрове. Имаго посещают плодовые тела ксилотрофных грибов. Хищник, факультативный мицетофаг (зм)

1	2
Подсемейство Tachyroginae (4 вида)	
<i>Tachinus laticollis</i> (Gravenhorst 1802)	Эвритопный поверхностно-обитающий вид. Населяет хвойные и лиственные леса и открытые урбанизированные ландшафты. В подстилке, скоплениях растительных остатков, во мху, сене, соломе, экскрементах, гниющих плодовых телах грибов. Хищник, склонный к мицето-, некро- и детритофагии (зсм)
<i>Tachinus rufipes</i> (Linnaeus 1758)	Эвритопный вид – обитатель лесов, лугов, полей. Отмечен в скоплениях разлагающейся органики, опавшей листве, на забродившем березовом соке, в навозе. Поедает только очень мелких беспозвоночных с мягкими покровами; способен питаться растительной пищей и грибами (зсм). Мирмекофил, в гнездах муравьев из родов <i>Lasius</i> , <i>Formica</i>
<i>Lordithon trimaculatus</i> (Fabricius 1793)	Лесной вид. Населяет хвойные и смешанные леса. Обитает в плодовых телах, реже – в мицелии напочвенных и ксилотрофных грибов или под корой лиственных деревьев (зм)
Подсемейство Aleocharinae (15 видов)	
<i>Oxyroda annularis</i> Mannerheim 1830	Лесной подстилочный вид. Населяет влажные и заболоченные хвойные и березовые леса и луга. (з). Мирмекофил, в гнездах <i>Formica rufa</i>
<i>Oxyroda brevicornis</i> (Stephens 1832)	Лесной подстилочный вид. В сосновых лесах. Населяет гниющие растительные остатки и навоз (з)
<i>Atheta boleticola</i> J. Sahlberg 1876	Обитатель хвойных лесов. В подстилке и плодовых телах шляпочных грибов, тканями которых может питаться, несмотря на хищный образ жизни (зм)
<i>Atheta brunneipennis</i> (Thomson 1852)	Лесные подстилочные-почвенные виды. Отмечены в ксилотрофных грибах <i>Fomitopsis pinicola</i> . Хищники, склонные к мицетофагии (зм)
<i>Atheta crassicornis</i> (Fabricius 1792)	
<i>Atheta graminicola</i> (Gravenhorst 1806)	Эвритопный вид. Населяет подстилку сосновых и мелколиственных лесов, кустарничково-моховые тундры, берега старичных водоемов, заболоченные луга (зм)
<i>Atheta fungi</i> (Gravenhorst 1806)	Эвритопный вид. Многочислен в лесной подстилке, моховом покрове (в т.ч. на стволах деревьев), грибах, экскрементах. Встречается на лугах, открытых участках, поросших рудеральной растительностью. (зм). Мирмекофил, в гнездах муравьев из п/сем. <i>Formicidae</i>
<i>Atheta islandica</i> (Kraatz 1856)	Лесной подстилочный вид. Хищник, склонный к мицетофагии (зм)
<i>Atheta myrmecobia</i> (Kraatz 1856)	Лесной подстилочный гигрофильный вид. Отмечен в ксилотрофных грибах <i>Cerrena unicolor</i> . (зм). Мирмекофил, в гнездах муравьев из родов <i>Lasius</i> , <i>Formica rufa</i>
<i>Atheta nigritula</i> (Gravenhorst 1802)	Лесной подстилочный вид. Отмечен в напочвенных грибах р. <i>Russula</i> . Хищник, склонный к мицетофагии (зм)
<i>Atheta paracrassicornis</i> (Brundin 1954)	Лесной вид. Обитает в подстилке, на ксилотрофных и почвенных грибах, на вытекающем соке деревьев, в экскрементах (зм)
<i>Atheta ripicola</i> Hanssen 1932	Лесной подстилочный вид. Хищник, склонный к мицетофагии (зм)
<i>Acrotona aterrима</i> (Gravenhorst 1802)	Эвритопный вид. Населяет лиственные и хвойные леса, реже луга, приречные заросли. В гниющих растительных остатках, навозе, на падали (зм)
<i>Zyras humeralis</i> (Gravenhorst 1802)	Обитатель подстилки хвойных и лиственных лесов, встречается на болотах и лугах. Мирмекофил, в гнездах муравьев из родов <i>Myrmica</i> и <i>Lasius</i> . (зс). Может питаться трупами и ослабленными муравьями
<i>Leptusa pulchella</i> (Mannerheim 1830)	Лесной подстилочный вид, встречается на валежнике (з)

*Трофический статус видов указан на основе литературных данных: Szujеcki, 1987; Stuienberg, 1997; Paivinen et al, 2002; Воинков, 2007; Красуцкий, 2005; Бельская, Колесникова, 2011.

Половина видов стафилинид, выявленных в подстилке сосняка (15 видов из 30), относилась к п/сем. Aleocharinae. Жуки этого подсемейства также преобладали количественно (рис.).



Ранжирование видов стафилинид, отловленных в подстилке сосняка кустарничкового, по обилию (% от общего количества особей)

Трофические связи алеохарин изучены недостаточно. Виды этого подсемейства сочетают хищничество, мицетофагию и сапрофагию (Воинков, 2007). Для стафилинид из п/сем. Staphylininae, Steninae, Tachyroginae характерна зоофагия. При этом представители Staphylininae и Steninae – активные хищники, Tachyroginae – менее активные, охотятся на мелких, малоподвижных, слабо скелетированных насекомых и их личинок. В п/сем. Omaliinae и Oxytelinae преобладающим типом питания является сапрофагия. Однако облигатное сапротрофное питание разлагающейся органикой в наших сборах имеет только один вид – *Anotylus sculpturatus* (Oxytelinae). У омалиин *Deliphrum tectum* и *Olophrum consimile* сапрофагия факультативная и сочетается с хищничеством. Результаты наших предыдущих исследований показали, что с продвижением на север хищные виды стафилинид могут переключаться на питание мицелием почвенных грибов (все представители рода *Atheta*) и плодовыми телами напочвенных и ксилотрофных грибов (виды родов *Mycetoporus* и *Lordithon*, Tachyroginae). Для *Tachinus rufipes* (Tachyroginae) отмечены три типа питания: хищничество (Lipkow, 1966), облигатная сапрофагия (Sunderland, Stephen, 1980) и зоомицетофагия (Hanski, Koskela, 1997). Этот вид также является мирмекофилом, встречается в гнездах муравьев из родов *Lasius*, *Formica* (Päivinen et al, 2002). К числу мирмекофильных видов относится и *Zyras humeralis* (Aleocharinae) – абсолютный доминант в комплексах стафилинид в темнохвойных лесах Европы и Сибири, традиционно считающийся хищником. Установлено питание этого вида в гнездах муравьев их ослабленными особями и трупами, а также беспозвоночными – добычей муравьев (Бабенко, 1991). Мирмекофилия известна для 7 из 30 видов стафилинид, выявленных нами в подстилке сосняка (табл.1). В целом в Финноскандии ассоциированными с муравьями разных родов являются не менее 190 видов стафилинид (Päivinen et al, 2002).

Исходя из трофической характеристики видов, имеющейся в литературных источниках, можно заключить, что в модельном сосняке хищные виды стафилинид уступают по видовому и численному обилию зоофагам, склонным к мицетофагии. Это обусловлено преобладанием в подстилке сосняка мелких стафилинид подсемейства Aleocharinae (табл.2).

Таблица 2

Соотношение трофических групп стафилинид в подстилке сосняка

Трофическая группа	Виды		Экземпляры	
	n	Обилие, %	n	Обилие, %
Зоофаги	9	30	65	38.2
Зоофаги, склонные к мицетофагии	13	42	71	42
Зоофаги, склонные к сапрофагии и мицетофагии	3	10.5	16	9.4
Зоофаги, склонные к сапрофагии	3	10.5	3	1.8
Фитодетритиколы	1	3.5	14	8
Сапрофаги	1	3.5	1	0.6
Итого	30	100	170	100

Определение трофического статуса доминирующих видов этого экологически разнообразного семейства жесткокрылых в северотаежных подзолах Мурманской области по результатам изотопного анализа является задачей следующего этапа проекта.

Литература

1. Атлас жуков России: сайт ЗИН РАН www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/atl_sta.htm. Надсемейство Staphylinoidea. Список стафилинид (Staphylinidae) фауны России: http://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/staph_ru.htm [last updated 28.08.2014].
2. *Бабенко А. С.* Экология стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) Кузнецкого Алатау. Томск: Изд-во ТГУ, 1991. 191 с.
3. *Балаганская Е. Д., Кислых Е. Е., Маслокова Т. А.* Сравнение некоторых методов изучения кислотного- и щелочногидролизующих соединений азота подзолистых почв. В кн.: Почвоведение и Агрохимия в Мурманской области. Апатиты: КФ АН СССР, 1983. С. 62-74.
4. *Бельская Е. А., Колесникова А. А.* Видовой состав и экологическая характеристика стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) южной тайги Среднего Урала // Энтомол. обозр., 2011. Т. XC. № 1. С. 123-137.
5. *Богач Я.* Жуки-стафилиниды – биоиндикаторы антропогенных изменений среды. Автореф. дис. д-ра биол. наук. М.: ИЭМЭЖ, 1988. 40 с.
6. *Бызова Ю. Б., Уваров А. В., Губина В. Г. и др.* Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника. М.: Наука, 1986. 311 с.
7. *Воинков А. А.* Фауна и экология стафилинид Селенгинского среднегорья. Дисс. канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2007. 247 с.
8. *Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П.* Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 184 с.
9. *Евдокимова Г. А., Зенкова И. В., Переверзев В. Н.* Биодинамика процессов трансформации органического вещества в почвах Северной Фенноскандии. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 154 с.
10. *Зенкова И. В.* Динамика параметров мезофауны в природных подзолах Кольского полуострова // Кольский полуостров на пороге третьего тысячелетия: проблемы экологии. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. С. 107-118.
11. *Зенкова И. В., Валькова С. А.* Моллюски целинных и техногенно трансформированных подзолов Кольского Севера // Зоол. Журн., 2008. Т. 87, № 3. С. 259-267.
12. *Зенкова И. В., Колесникова А. А.* Стафилинидофауна заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Труды Тигирекского заповедника, 2015. Вып. 7. Стр. 245-252.
13. *Зенкова И. В., Петрашова Д. А.* Структура и динамика популяции *Monotarsobius curtipes* (Mugilopoda, Chilopoda) на северной периферии ареала // Экология, 2008. № 6. С. 449-455.
14. *Зенкова И. В., Пожарская В. В., Колесникова А. А., Филиппов Б. Ю., Середюк С. Д.* Высотная поясность и комплексы жесткокрылых в почвах Хибинского горного массива // Труды КарНЦ РАН, 2011. № 2. Сер. Биogeография. Вып. 12. С. 107-118.
15. *Камаев И. О.* Население почвенной мезофауны в экологических градиентах северной тайги Восточной Фенноскандии. Дисс. канд. биол. наук. Москва, 2012. 240 с.
16. Каталог биоты Беломорской биологической станции МГУ. М.: КМК, 2008. 384 с. <http://biota.wsbs-msu.ru/wiki/index.php>.
17. *Кащеев В. А.* Классификация морфоэкологических типов имаго стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) // TETHYS Entomological Research. Алматы: Ин-т зоологии АН РК, 1999. № 1. С. 157-170.
18. *Красуцкий Б. В.* Мицетофильные жесткокрылые Урала и Зауралья. Т. 2: Система «грибы-насекомые». Челябинск, 2005. 213 с.
19. *Переверзев В. Н.* Биохимия гумуса и азота почв Кольского полуострова. Л.: Наука, 1987. 303 с.
20. *Переверзев В. Н.* Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004. 232 с.
21. *Переверзев В. Н.* Современные почвенные процессы в биогеоценозах Кольского полуострова. М.: Наука, 2006. 154 с.
22. *Переверзев В. Н., Алексеева Н. С.* Органическое вещество в почвах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1960. 228 с.
23. *Потоцкая В. А.* Морфо-экологические типы личинок (Staphylinidae, Coleoptera) // Зоол. журн., 1971. Т. 50. Вып. 11. С. 1665-1675.
24. *Россолимо Т. Е.* Сравнительный анализ параметров холодостойкости некоторых жесткокрылых (Coleoptera) гипоарктических районов // Зоол. журн., 1994. Т. 73. № 7-8. С. 101-113.
25. *Семко А. П.* Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова. Апатиты: КФ АН СССР, 1982. 144 с.

26. Семко А. П., Сергеев Б. Ф. Температурный режим целинных и окультуренных почв в условиях Крайнего севера. В кн.: Биологические процессы и минеральный обмен в почвах Кольского полуострова. Апатиты: КФ АН СССР, 1974. С. 4-19.
27. Тихомирова А. Л. Морфо-экологические особенности и филогенез стафилинид (с каталогом фауны СССР). М.: Наука, 1973. 190 с.
28. Трушицына О. С. Фауна жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) заповедника «Пасвик» и прилегающих к нему территорий – аннотированный список видов // Экология, эволюция и систематика животных. Рязань: РГУ, 2007. С. 122-128.
29. Ушакова Г. И. Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 150 с.
30. Фридолин В. Ю. Животно-растительное сообщество горной страны Хибин. М.-Л.: АН СССР, 1936. 293 с.
31. Hanski I., Koskela H. Niche relations among dung-inhabiting beetles // Oecologia, 1977. V. 28. P. 203-231.
32. Herman L. H. Catalogue of the Staphylinidae (Insecta: Coleoptera). 1758 to the end of the Second Millennium // Bulletin of the American Museum of Natural History, 2001. V. I-VII, № 265. С. 1-4218.
33. Newton A. F., Thayer M. K. Catalog of higher taxa, genera and subgenera of Staphyliniformia. Chicago: Field Museum of Natural History, 2005. URL: http://www.fieldmuseum.org/peet_staph/db_1a.html [last updated August 2005].
34. Grebennikov V. V., Newton A. F. Good-bye Scydmaenidae: or why the ant-like stone beetles should become megadiverse Staphylinidae sensu latissimo (Coleoptera) // European Journal of Entomology, 2009. № 106. P. 275-301. <http://dx.doi.org/10.14411/eje.2009.035>.
35. Lipkow E. Biologischökologische Untersuchungen über Tachyporus-Arten und *Tachinus rufipes* (Coleoptera, Staphylinidae) // Pedobiologia, 1966. Bd. 6. S. 140-177.
36. Päävinen J., Ahlroth P., Kaitala V. Ant-associated beetles of Fennoscandia and Denmark // Entomologica Fennica, 2002. V. 13. № 1. Pp. 20-40.
37. Poppius B. Kola halföns och Enare Lappmarks Coleoptera // Festschrift Herrn Professor Dr. J. A. Palmén. Helsingfors: Aktiebolaget Handelstryckeriet, 1905. Bd. 2. Hf. 2. S. 1-200.
38. Stuijvenberg F. Tabel en verspreidingsatlas van de Nederlandse Steninae (Coleoptera: Staphylinidae) // Nederlandse faunistische medelingen. Leiden, 1997. V. 6. 60 p.
39. Sunderland K. D., Stephen L. S. A serological study of arthropod predation on woodlice in a dune grassland ecosystem // J. of Animal Ecology, 1980. V. 49. P. 987-1004.
40. Szujewski A. Ecology of forest insects. Warszawa, 1987. 600 p.
41. Thayer M. K. Staphylinidae. In Beutel R.G. & Leschen R.A.B. (eds): Handbook of Zoology. Vol. IV. Part 38. Coleoptera, Vol. 1: Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Staphyliniformia, Scarabaeiformia, Elateriformia). De Gruyter, Berlin, 2005. Pp. 296-344.
42. Zenkova I.V. Diversity of earthworms and ecology of the dominating species *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843 in the northern taiga podzols of the Murmansk region (Oligochaeta, Lumbricidae) // Zoology in the Middle East, 2010. Suppl. 2: 141-150

Э. В. Ивантер¹, Г. Д. Катаев², Н. М. Окулова³

¹ФГБОУ Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск
ivanter@petrsu.ru

²ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник»,
г. Мончегорск
kataev@laplandzap.ru

³Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва
natmichok@mail.ru

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА НАСЕЛЕНИЯ КРАСНОЙ ПОЛЁВКИ (*MYODES RUTILUS*) НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЕ АРЕАЛА

Рассматривая экологическую структуру ареала красной полёвки (Окулова, Хляп, 2015), мы отметили различия пессимальных и оптимальных участков ареала. В данном случае мы использовали дробное деление по уровню оптимальности: 1) приграничные участки ареала, многолетнее обилие ниже 1 на 100 ловушко-суток (Геро); 2) пессимальные участки, где многолетняя средняя численность

составляет до 5 экз. на 100 лс 3) субпессимальные участки (многолетний средний показатель обилия 5 - 9.9 на 100 лс). 4) оптимальные участки, обилие 10 и выше. В Европейской части России красная полёвка распространена широко, но её численность невелика. Северная приграничная полоса ареала у берегов северных морей узка (хотя зверёк распространён к северу дальше других лесных полёвок), относится к зонам лесотундры и тундры. Южнее численность красной полёвки относительно выше и устойчивее в северной половине ареала: на севере Мурманской области – заповедник «Пасвик» (Катаев, 2015), в Пинежском заповеднике – центр Архангельской области (Куприянова, Сивков, 2000; Окулова, Куприянова, Сивков, 2004 и др.). Многолетняя средняя численность красной полёвки в конце лета в числе особей на 100 ловушко-суток достигает на этих территориях 6-8 экз., тогда, как и севернее и южнее она постепенно изреживается до единичных встреч. Сравним многолетние данные по численности зверьков Лапландского (ЛГЗ), Пинежского заповедников (ПГЗ), заповедника «Пасвик» и южной Карелии, стац. Каркку, Питкеранский р-н, Приладожье (табл.1). Из этой таблицы видно, что в ЛГЗ численность вида составляет 0.30, на юге Карелии – 0.03.

Таблица 1

Характеристика многолетних средних показателей численности, константности и доминантности красной полёвки на западе ареала

Место	Лет наблюдений	Константность, %	Зверьков на 100 лс	Процент красной полёвки в отловах	
				грызунов	лесных полёвок
Карелия (Приладожье)	32	42.75	0.031	0.62	1.29
Лапландский гос. заповедник	80	36.4	0.31	1.25	1.29
Заповедник «Пасвик», стац. Калкупя	20	89.5	6.95	55.69	54.98
Там же, стац. Роввавара	20	84.2	2.1	13.44	14.52
В целом по заповеднику «Пасвик»	20	89.47	4.61	32.43	34.21
Пинежский гос. заповедник	15	86.67	5.9	66.49	67.30

В заповедниках «Пасвик» и Пинежском вид многочисленнее и составляет 2-7 и более на 100 лс. Последние два участка относятся к субпессимальным участкам, тогда как ЛГЗ и Карельское Приладожье – к приграничным участкам. Эти последние характеризуются неустойчивой во времени и пространстве картиной изменения численности. Константность (частота в % встреч лет, когда присутствие вида обнаружено) там не превышает 50 %. В заповеднике «Пасвик» и ПГЗ обнаружение вида выше, и составляет 80 %. Кратность колебаний численности в обеих группах территорий очень высока (до 2100). Если в субпессимальных участках ареала разрывы во встречаемости красных полёвок по годам составляют не более 2-3 лет, то в приграничной полосе (ЛГЗ, Карелия) они бывают очень велики. Так, в ЛГЗ с 1936 по 2015 г (80 лет) было три периода повышенной численности красной полёвки: 1936-1941, 1980-1982 и 2001-2015 гг. Между ними были периоды, когда красные полёвки не встречались много лет. Рассматривая пики численности вида во временном ряду по ЛГЗ, можно заметить, что численность раз от раза повышается; это говорит, возможно, о некоторой тенденции к росту численности вида на этой территории. В Карелии (Приладожье) в начале периода наблюдений (с 1957 до 1986 гг.) разрывы во времени встреч красной полёвки составляли не более трёх лет, а после 1986 до 1997 г. красные полёвки не встречались совсем. Сходная картина наблюдается по берегам Белого моря (Бойко, Истомин, 1984; Аниканова и др., 2006; Бойко, 2006). Если в начале периода наблюдений, в начале 1980-х гг. красная полёвка встречалась на облесённых островах и по берегам, то в 1998 г. и позже авторы, работавшие в этих краях, уже не упоминают этот вид среди пойманных зверьков.

Оценка цикличности в динамике численности красной полёвки также показала значительные различия в центральной и приграничной частях ареала, а также по сравнению с другими местообитаниями. Циклы рассчитывали, начиная с первого года депрессии до последнего года спада численности (Окулова, Катаев, 2014). Результаты расчётов по литературным и нашим данным представлены в таблице 2.

Для сравнения с другими частями ареала и близкими видами приводим таблицу 3, построенную на ранее опубликованных материалах (Окулова, Катаев, 2014); в этой таблице использовано несколько иное деление по оптимальности, но это не влияет на выводы.

Таблица 2

Структура циклов динамики численности красной полёвки в пределах ареала

Класс оптимальности	Место, авторы	Лет наблюдений	Число циклов	Длина фаз цикла, в числе лет на один цикл				Длина цикла, лет
				депрессия	рост	пик	спад	
1 приграничная полоса	Карелия (Приладожье) (Ивантер, 1975; Ивантер, соб.д.)	38	7	2.88	0.43	1.0	0.57	4.95
	ЛГЗ (Катаев, соб.д., Катаев, 2015)	71	13	3.77	0.46	1.0	0.31	5.46
	Всего	109	20	3.46	0.45	1.0	0.40	5.45
2 пессимум	Заповедник «Пасвик», стац. Ровваварра (Катаев, 2015)	18	4	1	1.5	1	1.0	4.5
	Шарья, Костромская обл. (Формозов, 1948)	8	2	1.5	1	1.5	-	4.0
	Приветлужье, Костромская обл. (Попов, 1998)	8	2	1	1.5	1	0.5	4.0
	Печоро-Ильчский заповедник (Бобрецов, 2000)	40	13	1.08	0.54	1.0	0.46	3.08
	Онега, Архангельская обл. (Корнеева и др., 1984)	6	1	1.0	4.0	1.0	-	6.0
	Бараба, Новосибирская обл. (Глотов и др., 1965)	7	2	1	1	1	0.5	3.5
	Р-н Тикси, Якутия (Меженный, 1975)	3	1	1	1	1	-	3.0
	Омолон, Чукотка (Чернявский, Лазуткин, 2009)	2	1	2	-	1	-	2.0
	Река Кулу, Магаданская обл. (Чернявский, Лазуткин, 2009)	5	2	1	0.5	1	-	2.5
	Колымская низменность (Кривошеев, 1981)	3	1	2	-	1	-	3.0
	Всего	100	29	1.38	0.90	1.28	0.45	4.0
3 суб-пессимум	Заповедник «Пасвик», стац. Калкуя (Катаев, 2015)	18	4	1	1.75	1	0.75	4.5
	ПГЗ (Куприянова, Сивков, 2000; Окулова, Куприянова, Сивков, 2004).	15	5	1.0	0.2	1.0	0.8	3.0
	Удмуртия (Бернштейн и др., 1996)	12	4	1.0	0.75	1.25	1.0	3.0
	Урал, Иремель (Садиков, Бененсон, 1992)	6	2	2	2	2	-	3.0
	Челомджа, Магаданская обл., (Чернявский, Лазуткин, 2009)	14	4	1	-	1.25	1.25	3.5
	Всего	65	19	1.11	0.58	1.21	0.84	3.47
4 оптимум	Юг Кемеровской обл. (Окулова, 1986; соб.д.)	21	7	1	0.57	1	0.43	3.0
	Заповедник «Столбы» (Vinogradov, 2009)	24	6	1	0.67	1.0	0.83	3,5
	Западные Саяны (Соколов, 1979)	6	2	1	-	1	1	3.0
	Всего	51	15	1.0	0.53	1.0	0.67	3.20
По всему ареалу		325	83	1.75	0.65	1.14	0.57	4.11

Примечание. Соб. д. – собственные данные.

Из таблицы 2 можно заключить, что в участках оптимума (4 класс оптимальности) у красной полёвки короче всего длина цикла динамики численности (3.2 года), тогда как в приграничной полосе протяжённость цикла максимальна: 5.30 лет при максимальной длине фазы депрессии (3.45 лет против 1-1.38 лет в других частях ареала); кроме того, в приграничной полосе короче фазы роста и спада. Таким образом, в экстремальных условиях у красной полёвки происходит упрощение структуры циклов динамики численности, сокращается доля промежуточных фаз цикла (рост и спад) и возрастает роль основных фаз – депрессии и пика.

По сравнению с близкими видами (табл.3) у красной полёвки длиннее цикл, длиннее протяжённость и выше доля лет депрессии, короче остальные фазы цикла. В оптимуме ареала у красной полёвки гораздо меньше доля лет депрессии, выше – доля лет пика и спада. У красной полёвки по сравнению с близкими видами короче фаза спада численности – 0.45 лет, у рыжей – 0.67, у красно-серой – 0.96. Также у красной полёвки длиннее всего фазы пика и депрессии. Периоды роста и спада у красной полёвки не превышают два года (14.3% от лет роста и 33.3% от лет спада). У европейской рыжей полёвки удлинена фаза спада численности до 4 лет, у красно-серой – спада до трёх лет.

Таблица 3

Сравнение структуры циклов красной полёвки на западе ареала с таковыми по ареалу в целом и в участках разной благоприятности для всех лесных полёвок (по Окулова, Катаев, 2014)

Часть ареала	Лет наблюдений	Число циклов	Длина фаз цикла, в % от протяжённости цикла				Длина цикла, лет
			депрессия	рост	пик	спад	
Красная полёвка							
Оптимум	44	15	30	20.0	30.0	20.0	3.33
Средние условия	165	49	23.33	42.92	21.25	12.50	3.36
Пессимум	101	20	65.09	8.49	18.87	7.55	5,3
По всему ареалу	310	84	29.44	5.11	16.22	12.66	3.82
Европейская рыжая полёвка							
Оптимум	141	48	34.75	20.56	34.73	11.35	2.94
Средние условия	113	34	31.86	18.58	30.97	18.58	3.32
Пессимум	180	46	45.0	13.89	25.6	15.56	3.91
По всему ареалу	434	138	38.56	17.41	28.60	15.42	3.14
Красно-серая полёвка							
Оптимум	67	15	28.36	29.85	22.39	19.40	4.47
Средние условия	17	6	35.29	29.41	35.29	-	2.83
Пессимум	61	21	37.70	14.75	34.43	13.11	2.90
По всему ареалу	145	42	28.97	33.10	28.97	14.48	3.45

Таким образом, по сравнению с другими лесными полёвками, у красной полёвки структура цикла упрощена, максимальную протяжённость имеют основные фазы цикла, как и внутри вида в суровых условиях структура цикла динамики численности у красной полёвки сокращается до основных фаз депрессии и пика.

Литература

1. Аниканова В. С., Бойко Н. С., Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. Паразиты мелких млекопитающих материковой части Кандалакшского государственного природного заповедника // Современные экологические проблемы Севера. К 100-летию со дня рождения О. И. Семёнова-Тян-Шанского. Мат. междунар. конф. Ч. 2. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2006. С. 126-127.
2. Бернштейн А. Д., Апекина Н. С., Коротков Ю. С., Дёмина В. Т., Хворенков А. В. Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом: экологические предпосылки активизации европейских лесных очагов // Изменения климата и здоровье населения России в XXI веке. М.: Товарищество «АдамантЪ», 2004. С. 105-113.
3. Бобрецов А. В. Динамика численности мелких млекопитающих // Закономерности полувековой динамики биоты девственной тайги Северного Приуралья. Сыктывкар, 2000. С. 69-90.
4. Бойко Н. С. Мышевидные грызуны островов и побережий Кандалакшского залива и динамика их численности // Мелкие млекопитающие заповедных территорий. М., 1984. С. 5-24.
5. Бойко Н. С. Кандалакшский заповедник. Млекопитающие. Видовые очерки // Науч. исслед. в заповедниках. Ч. 1. В. 3. М., 2006. С. 143-144.
6. Глотов Н. Н., Ермаков Л. Н., Кузякин В. А., Максимов А. А., Мерзлякова Е. П., Николаев А. С., Сергеев В. Е. Сообщества мелких млекопитающих Барабы. Новосибирск: Наука, 1978. 231 с.

7. *Ивантер Э. В.* Популяционная экология мелких млекопитающих таёжного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
8. *Катаев Г. Д.* Мониторинг населения мелких млекопитающих северной тайги Фенноскандии // Бюллетень МОИП, 2015. Отд. биолог. Т. 120. Вып. 3. С. 3-13.
9. *Корнеева Т. М., Быков А. В., Речан С. П.* Наземные позвоночные низовьев реки Онеги. М.: Наука, 1984. 88 с.
10. *Кривошеев В. Г.* Факторы регуляции численности мышевидных грызунов и хищных млекопитающих тайги Колымской низменности // Экология млекопитающих Северо-Востока Сибири. М.: Наука, 1981. С. 61-81.
11. *Куприянова И. Ф., Сивков А. В.* Сообщества мелких млекопитающих // Структура и динамика природных компонентов Пинежского заповедника (северная тайга ЕТР, Архангельская область). Архангельск, 2000. С. 168-178.
12. *Меженный А. А.* Материалы по экологии мелких грызунов тундры и лесотундры Северной Якутии // Матер. по экологии мелких млекопитающих Субарктики. Новосибирск: Наука, 1975. С. 53-118.
13. *Окулова Н. М.* Биологические взаимосвязи в лесных экосистемах (на примере природных очагов клещевого энцефалита). М.: Наука, 1986. 248 с.
14. *Окулова Н. М., Катаев Г. Д.* О структуре циклов многолетней динамики численности полёвок и леммингов лесов и тундр России // Творческое наследие Н. М. Пржевальского и современность. 4-ые междуна. чтения памяти Н. М. Пржевальского (Матер. конф.). Смоленск: Изд-во Маджента, 2014. С. 100-106.
15. *Окулова Н. М., Куприянова И. Ф., Сивков А. В.* Динамика численности мелких млекопитающих Пинежского заповедника. Сообщ. 2. Лесные полёвки // Териологические исследования. СПб., 2004. Т. 5. С. 33-47.
16. *Окулова Н. М., Хляп Л. А.* Экологические аспекты структуры ареала вида на примере красной полёвки (*Myodes rutilus*) // Териофауна России и сопредельных территорий. Матер. междуна. совещ. М., 2016. С. 297.
17. *Попов И. Ю.* Структура и динамика населения мелких млекопитающих в связи с сукцессиями растительности в Европейской южной тайге // Автореф. дисс. на соиск. канд. биол. наук. М., 1998. 20 с.
18. *Садыков О. Ф., Бененсон И. Я.* Динамика численности мелких млекопитающих: концепции, гипотезы, модели. М.: Наука, 1992. 191 с.
19. *Чернявский Ф. Б., Лазуткин А. Н.* Циклы леммингов и полёвок на Севере. Магадан: РАН ДВО Северо-Восточный НЦ, 2004. 150 с.
20. *Vinogradov V. V.* Long-terms dynamics of mouse-like rodents population size in dark coniferous forest of the East Sayan mountains // Russian Journal of Theriology, 2009. Vol. 8. N 2. P. 97-106.

В. А. Ильященко

ФГБОУВО «Тюменский государственный университет» НИИ экологии и РИПР ТюмГУ, г. Тюмень
 ecoins72@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ALIS В РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В СРЕДНЕМ ПРИОБЬЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Материалы космических съёмки используются для обнаружения и оценки последствий пожаров, контроля лесных вырубок, оценки точных размеров пахотных земель и их продуктивности, динамики сокращения сельскохозяйственных земель и вывода их из разряда сельхозугодий, выявления негативных почвенных процессов, определения уровня воды, обнаружения признаков поражения культур, проведения мониторинга чрезвычайных ситуаций, выявление нефтезагрязненных земель, прогнозирование урожайности [Алисов, 1974]. Важным направлением исследований является разработка систем мониторинга нефтезагрязненных земель для рекультивации. Работа стала возможна при активном сотрудничестве НИИ экологии и РИПР ТюмГУ с немецкой компанией EFTAS.

Актуальность работы заключается в том, что до настоящего времени определение объемов рекультивационных работ с помощью космических снимков не проводилось. *Цель работы* – оценить

эффективность применения программы ALIS и материалов космических снимков для решения задач в области экологии.

Одной из главных задач является правильная оценка и взвешенный прогноз ожидаемых показателей. Проект направлен на повышение эффективности и достоверности определения нефтезагрязненных земель в Тюменской области путем внедрения методов космического мониторинга. Это позволит на основе результатов автоматизированной обработки дистанционных данных и наземных наблюдений определять ключевые участки для рекультивации нефтезагрязненных земель.

Практическая значимость разработки данной тематики заключается в получении независимой и объективной информации об объемах рекультивации, проведение мониторинга нефтезагрязненных земель на территории области.

В рамках работы решались следующие задачи: 1. Проводилось определение характерных участков для проведения исследования. 2. Проводилось дешифрирование участков и их классификация с помощью программы ALIS. 3. Проводилось сравнение полученных данных с результатами полевых наблюдений.

В научной работе использовалась программа ALIS, разработанная немецкой компанией EFTAS, которая является партнером НИИ экологии и РИПР ТюмГУ в сфере дешифрирования и обработки космических снимков.

Огромным плюсом программы является совместимость с наиболее распространенными ГИС и системами обработки изображений, включая ArcGIS, ENVI, ERDAS, PCI и др. Оперативное управление файлами данных, создание и ведение электронных каталогов данных ДЗЗ, поиск и отображение снимков и атрибутивной информации. Визуализация изображений, масштабирование, контрастирование и навигация по снимку, анализ изображений, просмотр метаданных, измерение характеристик.

Результаты исследований. В период с мая по сентябрь 2013 г. на территории нефтяных месторождений Тюменской области проводилась топографическая съемка для определения площадей под рекультивацию. Классификация выбранных участков осуществлялась с помощью программы ALIS, разработанной компанией EFTAS.

По полученному результату классификации можно определить необходимые площади под рекультивацию (рис.1).

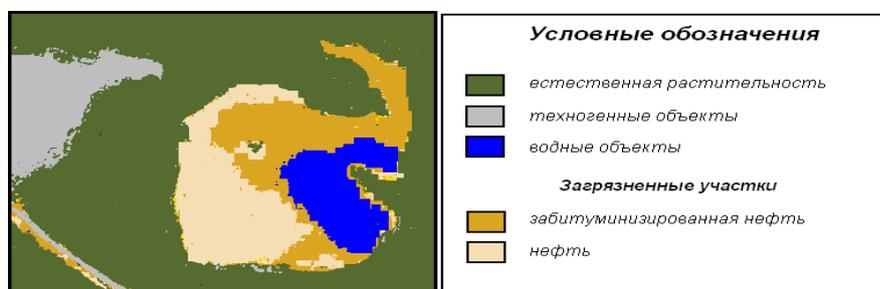


Рис.1. Результат классификации программы ALIS

С высокой точностью программа распознала участки с техногенной нагрузкой и водные объекты.

Сопоставление результатов полевых и дистанционных исследований дает нам данные об отклонении топографической съемки и результатов классификации в программе ALIS (рис.2).

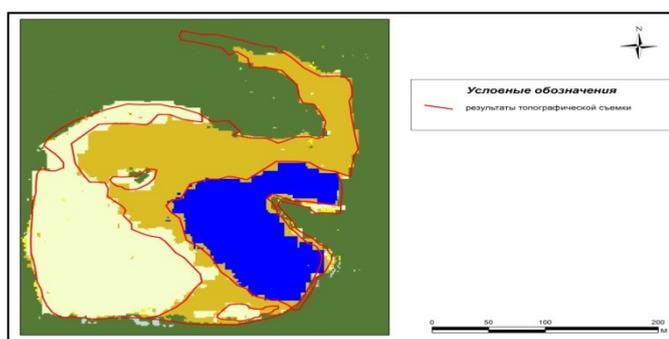


Рис.2. Результат сопоставления данных

В таблице приведены сопоставления результатов исследования фактических площадей, полученных при топографической съемке нефтезагрязненных участков и площадей после проведения классификации в программе ALIS.

Результаты обобщения фактических данных и результатов дистанционных исследований

№ п/п	Участок	Площадь, га		Отклонение фактических данных от результатов классификации, га (%)
		фактические данные	результат классификации	
11	нефть (битум)	2.37	2.59	0.22 (8.5)
	сырая нефть	2.79	2.72	-0.07 (2.5)
22	нефть (битум)	1.79	1.82	-0.03 (1.7)
	сырая нефть	1.56	1.49	0.07 (4.8)
33	сырая нефть	2.79	2.5	0.04 (1.4)
44	нефть (битум)	0.45	0.43	0.02 (4.4)
	сырая нефть	0.98	0.89	0.09 (9.0)
55	нефть (битум)	1.45	1.50	-0.05 (3.4)
66	нефть (битум)	1.23	1.30	-0.07 (5.6)
	сырая нефть	0.25	0.24	0.01 (4.0)
77	нефть (битум)	0.89	0.91	-0.02 (2.2)
	сырая нефть	0.78	0.78	0 (0)
88	сырая нефть	1.56	1.62	-0.06 (3.8)
99	сырая нефть	1.37	1.39	-0.02 (1.4)
110	нефть (битум)	1.69	1.78	-0.09 (5.3)
111	нефть (битум)	2.49	2.58	-0.09 (3.6)
	сырая нефть	2.58	2.62	-0.04 (1.5)
112	нефть (битум)	3.41	3.45	-0.04 (1.2)
131	нефть(битум)	2.71	2.65	0.06 (2.2)
	сырая нефть	1.98	2.01	-0.03 (1.5)
114	нефть(битум)	1.35	1.50	-0.15 (11.1)
	сырая нефть	1.89	1.99	-0.1 (5.2)
115	сырая нефть	2.67	2.58	0.09 (3.3)
116	нефть (битум)	1.56	1.68	-0.12 (7.6)
	сырая нефть	1.45	1.57	-0.12 (8.2)
117	нефть (битум)	2.89	3.01	-0.12 (4.1)
	сырая нефть	2.12	2.19	-0.07 (3.3)
118	сырая нефть	2.03	3.01	-0.98 (48.2)
119	сырая нефть	2.48	2.76	-0.28 (11.3)
120	нефть (битум)	1.45	1.46	-0.01 (0.6)
	сырая нефть	2.30	2.60	-0.3 (13.0)

В целом фактические данные совпадают с данными классификации, в среднем различия между данными достигают 5-7 %. Различия обусловлены тем, что топографическая съемка участка и космический снимок имеют разные даты съемки. И отклонение в 5-7 % свидетельствуют, что происходит частичное зарастание участка.

Выводы

Существующая система сбора информации с применением ДЗЗ очень эффективно развивается в настоящее время. Наблюдение за динамикой восстановления загрязненных территорий является необходимым элементом системы рационального использования природных ресурсов.

В ходе исследования были решены все поставленные задачи. Итоговый результат работы можно представить следующими выводами:

1. На основе материалов космических съёмок можно проводить мониторинг за состоянием нефтезагрязненных земель. Обработка материалов за несколько лет позволяет проследить зарастание и восстановление территорий, либо их дальнейшее загрязнение.

2. Для классификации участков по степени их загрязнения и выборов методов дальнейшей рекультивации можно применять программный продукт ALIS, разработанный компанией EFTAS.

4. В ходе проведенного исследования были успешно решены все поставленные задачи: проведено определение площади на основе космических снимков, в среднем отклонение от исходных данных составляет 5-10%.

5. Результаты обработки космических снимков позволят принимать более эффективные решения, экономя время и затраты на выезд в поле.

Результаты данной работы на практике могут быть применимы по следующим направлениям:

1. С использованием данных ДДЗ возможно проведение уточнения границ загрязнения по всей территории области по отработанной технологии.

2. По данной методике возможен космический мониторинг состояния загрязненных земель на всей территории Тюменской области.

3. К перспективным направлениям развития проекта относится определение дополнительных важных характеристик – наличие подъездных путей, определение количества восстановившихся земель и др.

Литература

Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология: Издание второе, перераб. и доп. М.: Изд-во Московского университета, 1974. 230 с.

Л. Г. Исаева,¹ Н. Г. Берлина²

¹*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
isaeva@iner.ksc.ru*

²*Лапландский государственный природный биосферный заповедник, г. Мончегорск
n_berlina@laplandzap.ru*

МОНИТОРИНГ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЫРУБКАХ

Мониторинг растительных сообществ особо охраняемых природных территорий – одна из задач по слежению за состоянием биоразнообразия и окружающей среды. Леса Лапландского государственного природного биосферного заповедника (Мурманская область) являются природной лабораторией по изучению естественного восстановления насаждений и растительности после различных нарушений.

Заповедник был создан в 1930 г. с целью сохранения дикого северного оленя и природы Крайнего Севера. В 1950-х гг. заповедник был временно упразднен, и на его территории велись лесозаготовительные работы. Вырубались высоковозрастные сосновые леса в долинах рек Чуна и Мавра. После восстановления заповедного режима в долине реки Чуна были заложены 30 стационаров (каждый по 400 м²) по рубкам 1954, 1958 и 1959 гг. (Пушкина, 1961). Стационары закладывались с целью изучения возобновления и роста хозяйственно-ценных пород растений и выяснения условий, влияющих на восстановительные процессы в местах наиболее нарушенного почвенного покрова, как при сплошных, так и при выборочных рубках в условиях зимней и летней заготовки. В 1960 г. при закладке стационаров, кроме геоботанического описания растительности, проводился количественный учет и измерение высоты подроста на 2-3 площадках площадью 25 м² в различных условиях обсеменения. Кроме того, отмечалось наличие семенников и их качество, степень и характер захламленности, степень нарушения почвенного покрова, способ рубки и очистки лесосек, выполнялся подсчет и измерение диаметра пней по породам. Для изучения роста молодняка сосны на стационарах выделено по 40 учетных экземпляров (20 сосенок предварительного возобновления и 20 – последующего), у которых измерялись высота, возраст и прирост (у крупного подроста за последние 10 лет; у мелкого – за последние 3 года). Все учетные растения были снабжены этикетками. Изучение состояния растительности на стационарах по рубкам проводилось в 1960, 1968 (Пушкина, 1961) и в 1974 (Сыроид, 1974). К сожалению, эти исследования не опубликованы и сохранены только в виде рукописей в архиве заповедника.

В 2004 г. было обследовано состояние растительного покрова на четырех стационарах по рубкам в сосняках лишайниковых (Исаева, Костина, 2006). Исследования по состоянию

растительности на стационарах были возобновлены в 2014-15 гг. (через 54-55 лет после их закладки). В настоящее время детальное описание растительности выполнено на 18 стационарах. На каждом стационаре проведен сплошной пересчет деревьев (с диаметра 5 см и более) и подроста по породам, высоте, диаметру, определены категории жизненного состояния, выполнены геоботанические описания по общепринятым методикам (Ипатов, Кирикова, 1997; Ярмишко, 1997 и др.).

Направление и темпы восстановительных послерубочных сукцессий определяются лесорастительными условиями типа вырубок и особенностями конкретного участка (Мелехов, Репневский, 1961), поэтому результаты сравнительного анализа состояния растительности на стационарах представляют интерес (табл. 1, 2, 3).

Результаты исследований показали, что при сплошной рубке деревьев, как при летней, так и при зимней заготовке леса, спустя 55-60 лет основной лесообразующей породой является сосна и сформировался сосняк кустарничково-лишайниковый (табл.3). Проведение выборочных рубок крупномерных или единичных деревьев не внесло значительных изменений в состав растительности, в 2014-2015 гг. на этих стационарах зафиксирован тип леса, который был до рубки.

Таблица 1

Распределение деревьев на стационарах по категориям жизненного состояния

№ ст-ра	Порода	Средние		Количество деревьев по категориям состояния						Кол-во живых деревьев на стационаре после рубки	Всего живых деревьев на стационаре в 2014/15 гг.
		Н, м	D, см	1	2	3	4	5	6		
1	Сосна	7.66	10.9	12	2	-	-	-	-	-	14
	Береза	5.95	6.9	4	-	-	-	-	-	-	4
2	Сосна	8.57	11.6	25	12					1	37
3	Сосна	9.82	13.0	4	3	-	-	-	-	-	7
	Береза	7.92	7.3	2	4	-	-	-	-	2	6
	Ель	5.40	8.4	4	5	1	-	-	-	1	10
4	Сосна	8.9	10.1	24	24	-	-	-	-	-	48
5	Сосна	10.0	13.2	8	1	-	-	-	-	1	9
6	Сосна	9.54	12.4	23	15	3	-	-	-	1	41
7	Сосна	9.13	11.8	18	17	1	-	-	2	-	36
	Ель	4.4	5.0	-	-	1	-	-	-	-	1
8	Сосна	8.76	9.5	43	17	8	-	-	-	-	68
9	Сосна	9.17	8.3	6	24	-	-	-	-	-	30
10	Сосна	9.21	8.3	59	40	2	-	-	-	-	101
	Береза	7.25	8.9	1	1	-	-	-	-	-	2
20	Береза	8.21	7.7	48	56	2	1	-	-	-	107
	Ель	8.92	14.0	6	-	-	-	-	-	-	6
21	Береза	8.43	8.9	25	8	1	-	-	-	13	34
	Ель	11.3	13.5	11	3	3	-	-	-	12	17
22	Сосна	9.12	8.8	58	71	10	-	-	2	-	139
23	Сосна	9.66	12.9	9	6	3	-	-	-	-	17
	Береза	5.8	7.2	-	1	-	-	-	-	-	1
	Ель	4.3	5.0	-	1	-	-	-	-	-	1
24	Сосна	8.25	10.7	19	20	-	-	-	-	-	39
	Береза	4.8	8.0	-	-	1	-	-	-	-	1
25	Сосна	7.61	11.1	7	16	1	-	-	-	-	24
	Береза	4.5	5.3	1	-	-	-	-	-	-	1
26	Сосна	6.7	8.8	1	3	-	-	-	-	-	4
	Ель	12.0	19.3	1	-	-	-	-	-	-	1
27	Сосна	14.3	21.0	6	3	1	-	-	1	11	10

Примечание. Н – высота деревьев, D – диаметр деревьев на высоте 1.3 м, 1 – здоровые, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – сухой текущий год, 6 – сухой прошлых лет.

Таблица 2

Распределение подроста по категориям жизненного состояния и высоте на стационарах

№ ст-ра	Порода	Количество подроста по категориям состояния, шт.						Всего подроста, шт.		Высота живого подроста на 2014/15 гг., м		
		1	2	3	4	5	6	2014 - 2015	после рубки	сред.	мин.	макс.
1	Сосна	229	101	56	43	9	19	457	24/46*	0.54	0.02	3.85
	Ель	3	7	2	-	-	-	12	-	1.65	0.12	5.3
	Береза	8	4	-	-	-	-	12	-	0.26	0.17	0.39
2	Сосна	303	81	30	7	6	17	444	67/-	0.23	0.01	4.2
	Береза	2	-	-	-	-	-	2	-	0.26	0.17	0.35
	Ель	7	15	2	-	-	-	24	-	0.29	0.09	1.05
3	Сосна	8	4	2	-	-	1	15	26/-	0.82	0.1	2.5
	Береза	20	18	2	-	-	-	40	8/-	1.41	0.3	6.0
	Ель	36	124	90	4	1	4	259	19/-	0.56	0.1	3.2
4	Сосна	17	6	5	2	-	24	54	1064/-	0.25	0.1	0.92
	Ель	2	2	-	-	-	-	4	-	1.34	0.18	2.5
5	Сосна	464	71	31	23	5	7	601	51/-	0.37	0.02	5.2
	Ель	1	-	-	-	-	-	1	-	0.18	0.18	0.18
6	Сосна	19	7	5	3	1	7	42	425/-	0.71	0.1	2.1
	Ель	-	-	1	-	-	-	1	6/-	1.25	1.25	1.25
7	Сосна	21	38	13	13	7	10	102	625/-	0.46	0.1	1.7
	Береза	-	5	2	-	-	-	7	-	1.65	0.72	3.0
	Ель	1	1	-	-	-	-	2	-	0.53	0.45	0.6
8	Сосна	70	54	22	14	4	13	177	1881/-	0.41	0.1	5.0
	Береза	1	-	-	-	-	-	1	-	0.2	0.2	0.2
	Ель	-	-	3	-	-	-	3	1/-	0.35	0.15	0.5
	Осина	6	4	2	1	-	-	13	-	0.27	0.12	0.75
9	Сосна	47	39	20	9	-	12	127	861/-	0.46	0.04	2.4
	Береза	16	6	-	-	-	-	22	27/-	1.17	0.07	4.0
	Ель	4	17	9	-	-	-	30	2/-	0.31	0.1	1.1
10	Сосна	40	35	11	10	-	24	120	1745/200	0.77	0.1	7.3
	Береза	60	29	10	-	-	-	99	-	1.13	0.12	3.1
	Ель	1	-	1	-	-	-	2	-	0.20	0.17	0.23
20	Береза	68	93	44	8	3	51	267	18/-	2.56	0.4	8.5
	Ель	39	10	3	-	-	-	52	10/-	1.82	0.63	4.3
21	Сосна	-	-	1	-	2	-	3	-	1.5	1.5	1.5
	Береза	39	24	6	1	-	8	78	37/-	2.91	0.7	6.0
	Ель	37	38	6	-	-	-	81	15/-	1.09	0.4	3.5
22	Сосна	2	8	12	6	-	42	70	508/254	3.89	0.2	7.5
	Береза	-	1	1	-	-	-	2	-	1.75	1.7	1.8
23	Сосна	45	20	16	4	1	6	92	541/157	0.52	0.14	2.4
	Береза	38	43	7	-	-	-	88	132/-	1.65	0.05	4.5
	Ель	7	14	5	-	-	-	26	3/-	0.34	0.1	1.9
24	Сосна	31	26	17	6	1	15	96	1540/325	0.79	0.12	6.0
	Береза	31	55	9	-	-	-	96	8/-	1.08	0.07	3.0
	Ель	4	23	10	-	-	-	37	8/-	0.54	0.12	2.6
25	Сосна	50	33	21	23	7	16	150	34/-	0.66	0.04	4.1
	Береза	16	24	1	-	-	-	41	13/-	1.15	0.12	4.3
	Ель	3	53	31	-	-	2	89	-	0.35	0.07	2.4
	Осина	-	2	-	-	-	-	2	-	0.46	0.31	0.6
26	Сосна	68	14	15	20	10	17	144	216/-	0.44	0.03	2.15
	Береза	3	16	8	-	-	-	27	-	1.38	0.25	3.95
	Ель	-	2	-	-	-	-	2	-	0.28	0.22	0.33
27	Сосна	162	72	43	25	11	33	346	65/16	0.46	0.07	2.5
	Ель	5	7	1	1	-	-	14	3/-	0.31	0.1	1.75

Примечание. Звездочка – количество сухого подроста, 1 – здоровый, 2 – ослабленный, 3 – сильно ослабленный, 4 – усыхающий, 5 – сухой текущего года, 6 – сухой прошлых лет.

Древесный полог в основном представлен сосной. Количество деревьев сосны на стационарах варьирует от 100 до 3475 шт/га, в среднем – 1025 деревьев на 1 га, подрост сосны – от 700 до 20425 шт/га. Максимальное количество учтенного подраста на стационарах имеет высоту до 0.5 м.

Сосновый подрост (чаще высотой до 1.0 м) имеет поражение болезнями типа «шютте» (до 44.5 %, в среднем на 17 % от общего количества подраста на стационаре). В исследованном районе деревья сосны (до 32%), подрост сосны (до 70 %) и березы (до 43 %) повреждены лосьями. В сухую солнечную погоду выявлено значительное количество семян сосны (высотой от 0.5 до 3-4 см) на обнажившейся почве между «куртинками» ссохшегося ягеля, т.е. прорастание семян сосны зависит от состояния лишайникового покрова.

Напочвенный покров почти полностью восстановился, на некоторых стационарах отмечается «потравленность» ягеля оленями.

Таблица 3

Динамика растительности на стационарах по вырубкам в сосновых лесах

№ ст-ра	Год и вид рубки, заготовка	Ассоциация до рубки	Ассоциация после рубки, год исследования стационара	
			1960 г.	2014-2015 гг.
4	1955 Сплошная, зимняя	Сосняк бруснично-лишайниковый	Бруснично-толокнян-ково-лишайниковая с подростом сосны	Сосняк кустарничково-лишайниковый + <i>Polytrichum piliferum</i>
5	1955 Сплошная, зимняя	Сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый	Политрихумово-брусничная	Сосняк кустарничково-лишайниковый
6	1954 Сплошная, зимняя	Сосняк вересково-брусничный	Воронично-бруснично-лишайниковая с подростом сосны	Сосняк кустарничково-лишайниковый с присутствием зел. мхов
7	1954 Сплошная, зимняя	Сосняк воронично-бруснично-лишайниковый	Воронично-верес-ково-лишайниковая с подростом сосны	Сосняк кустарничково-лишайниковый с присутствием зел. мхов
8	1954 Сплошная, зимняя	Сосняк воронично-бруснично-лишайниковый	Воронично-чернично-брусничная с подростом сосны	Сосняк кустарничково-лишайниковый с присутствием зел. мхов
9	1958 Сплошная, зимняя	Сосновое вересково-бруснично-лишайниковое редколесье	Сосновое толокнянково-лишайниковое редколесье	Сосняк кустарничково-лишайниковый с появлением зел. мхов
10	1958 Сплошная, зимняя	Сосновое вересково-лишайниковое редколесье	Вересково-лишайниковая с подростом сосны	Сосняк кустарничково-зеленомошно-лишайниковый
26	1958 Сплошная, зимняя	Сосновое толокнянково-лишайниковое редколесье	Толокнянково-лишайниково-вересковая	Сосновое кустарничково-лишайниковое редколесье
1	1954 Сплошная, летняя	Сосняк воронично-вересково-лишайниковый	Лишайниково-бруснично-вересковая	Сосняк кустарничково-лишайниковый с присутствием зел. мхов
2	1954 Сплошная, летняя	Сосновое воронично-лишайниковое редколесье	Бруснично-толокнянковая	Сосняк кустарничково-лишайниковый с присутствием зел. мхов
23	1958 Сплошная, летняя	Сосняк вересково-лишайниковый	Вересковая с подростом сосны	Сосняк зеленомошно-кустарничково-лишайниковый
24	1958 Сплошная, летняя	Сосняк вересково-лишайниковый	Вересково-лишайниковая с подростом сосны	Сосняк зеленомошно-кустарничково-лишайниковый
25	1958 Сплошная, летняя	Сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый	Вересковая с редким подростом сосны	Сосняк кустарничково-зеленомошно-лишайниковый

Таким образом, на лишайниковых вырубках лесовозобновление протекает успешно, что согласуется с данными других исследователей (Репневский, 1961; Крышень, 2005). Древесный ярус представлен основной лесобразующей породой – сосной, благонадежного состояния. Лишайниковый напочвенный покров восстановился, на местах вырубок сформировались сосняки лишайниковой группы типов.

Литература

1. *Ипатов В. С., Кирикова Л. А.* Фитоценология. СПб: Изд-во СПбГУ, 1997. 316 с.
2. *Исаева Л. Г., Костина В. А.* Восстановление лишайниковых сосняков Лапландского биосферного заповедника после рубок // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского) (10-12 октября 2006 г., г. Апатиты), Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2006. С. 71-73.
3. *Крышень А. М.* Растительные сообщества вырубок Карелии. М.: Наука, 2006. 262 с.
4. *Мелехов И. С., Репневский В. В.* Типы вырубок в сосняках Кольского полуострова // Леса Кольского полуострова и их возобновление. М.: АН СССР, 1961. С. 98-108.
5. *Пушкина Н. М.* Естественное возобновление вырубок Лапландского заповедника. 1961. 125 с. (Рукопись из архива Лапландского заповедника. Инв. № 180).
6. *Репневский В. В.* Лишайниковые вырубки // Леса Кольского полуострова и их возобновление. М.: АН СССР, 1961. С. 109-120.
7. *Сыроид Н. А.* Учет растительности на стационарах по вырубкам. 114 с. (Рукопись из архива Лапландского заповедника. Инв. № 283)
8. *Ярмишко В. Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.

Л. Г. Исаева, В. В. Ершов

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
isaeva@inep.ksc.ru, slavo90@gmail.com*

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ КОМБИНАТА «СЕВЕРНИКЕЛЬ» НА ДРЕВОСТОИ ЛАПЛАНДСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Лапландский государственный природный биосферный заповедник расположен в центральной части Мурманской области. Примерно в 20 км от восточной границы Лапландского заповедника находится к-т «Североникель» – источник промышленных выбросов в атмосферу. Воздушное загрязнение, представленное главным образом SO₂ с примесью тяжелых металлов (Ni, Cu, Co и др.), распространяясь на значительные расстояния, является причиной нарушений и повреждений лесов, произрастающих на этой территории. Загрязнение атмосферы привело к значительным нарушениям функционирования лесных экосистем в восточной и юго-восточной части заповедника.

Первые наблюдения о гибели лесов на территории заповедника в результате загрязнения отражены в книге «Летопись природы» за 1966 г., где говорится о гибели сосны до 17 км от источника промвыбросов в южном направлении, о массовом усыхании сосны и ели в районе р. Вите и в районе оз. Курка. В дальнейшем об ухудшении состояния лесов отмечалось в книгах «Летопись природы» за 1967, 1969 и 1972 годы. Усыхание лесов от промышленных выбросов на площади 578 га на территории Лапландского заповедника было выявлено в 1972 г. в результате проведенных лесоустроительных работ ГУП «Северо-западное государственное лесоустроительное предприятие» и составлена карта прогноза гибели лесов на территории заповедника до 2051 г. и далее. В 1977 г. сотрудником заповедника З.Х. Аблаевой по степени пораженности промвыбросами были выделены: зона полного уничтожения растительности – 2.2 тыс. га, зона сильного повреждения – 4.5 тыс. га и зона деградации лесных сообществ – 9.2 тыс. га, общая площадь поражения 15.9 тыс.га. В книге «Летопись природы» за 1979 г. выделено 4 зоны: 1 – охранный заповедника – полное разрушение фитоценозов; 2 – насаждения в районе реки Вите – сильное разрушение насаждений; 3 – часть территории заповедника до массива Чунатундры – зона устойчивости; 4 – юго-западная часть заповедника, район реки Мавра – зона слабозагрязненных фитоценозов. Лесопатологическим

обследованим, проведенным Московским специализированным лесоустроительным предприятием (МЛСУП) в 1990 г. на территории заповедника и его охранной зоне выявлено, что 10.5 тыс. га повреждены промвыбросами к-та «Североникель», из них ослабленные 3238 га, сильно ослабленные – 7065 га, усыхающие – 218 га и погибшие – 30 га. Площадь эта локальна и выделяется в зону активного влияния промышленными выбросами комбината и расположена в восточной части заповедника. С 1990 года лесоустроительные работы на территории заповедника не проводились и территория загрязнения промвыбросами не определялась.

В Лапландском заповеднике исследования по воздействию загрязнения на леса, их лесопатологическое состояние проводились в период с 1972 по 1979 г. сотрудниками Московского лесотехнического института (Отчет..., 1979). В начале 1980-х гг. на территории заповедника и его охранной зоне сотрудником заповедника Карпенко А. Д. были заложены постоянные пробные площади (ППП) в юго-западном направлении от комбината для оценки состояния еловых фитоценозов (Карпенко, 1984; Отчет..., 1984) и сотрудниками лаборатории растительных сообществ Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН – сосновых фитоценозов (Влияние..., 1990). Периодически на ППП осуществлялась оценка состояния древостоев.

Состояние растительности стало улучшаться с конца 1990-х гг. с переходом медно-никелевого производства на местную руду, а также в результате внедрения на к-те «Североникель» новой системы очистки промышленных газов и современной технологии производства меди значительно снизились выбросы сернистого газа и тяжелых металлов в атмосферу.

В данной работе при исследовании влияния промышленного загрязнения на еловые леса использовали постоянные пробные площади, расположенные в юго-западной части Лапландского заповедника, которые находятся на различном удалении от к-та «Североникель» (табл.1).

Таблица 1

Распределение деревьев на ППП и степень усыхания

ППП	Расстояние от комбината, км	Год	Порода	Количество деревьев на ППП, шт.			Степень усыхания, %
				5	6	7	
1	2	3	4	5	6	7	8
258	27	1981	Ель	56	87	16	64.8
			Береза	4	0	8	66.7
			Осина	2	0	0	0
		1983	Ель	60	77	21	62.0
			Береза	4	0	7	63.6
			Осина	2	0	0	0
		1990	Ель	108	9	38	30.3
			Береза	3	0	7	70.0
			Осина	2	0	0	0
		1996	Ель	91	14	50	41.3
			Береза	1	0	2	66.7
			Осина	2	0	0	0
		2010	Ель	85	3	31	26.9
			Береза	0	0	0	0
			Осина	2	0	0	0
261	28	1981	Ель	121	113	77	61.1
			Береза	21	8	32	65.6
			Сосна	1	0	0	0
		1983	Ель	76	139	92	75.3
			Береза	17	5	16	55.3
			Сосна	0	1	0	100.0
		1996	Ель	116	21	69	43.7
			Береза	16	3	13	50.0
			Сосна	1	0	0	0
		2010	Ель	107	11	49	35.9
			Береза	12	1	15	57.2
			Сосна	0	1	0	100.0

1	2	3	4	5	6	7	8
301	30	1996	Ель	56	10	47	50.5
			Береза	27	1	31	22.9
			Сосна	2	0	1	66.7
		2010	Ель	36	13	34	56.6
			Береза	24	0	1	4.0
			Сосна	2	0	1	33.3
363	50	1981	Ель	143	10	2	7.8
			Береза	24	7	1	25.0
			Сосна	14	1	4	26.3
		1991	Ель	145	3	3	4.0
			Береза	25	0	6	19.4
			Сосна	7	0	3	30.0
		2010	Ель	141	1	5	4.1
			Береза	25	4	0	13.8
			Сосна	13	0	0	0

Динамика состояния хвойных древостоев выявила, что фитоценозы заповедника за исследуемый период значительно пострадали от влияния аэротехногенных выбросов медно-никелевого производства. В настоящее время состояние хвойных фитоценозов незначительно улучшилось в основном за счет выросшего подроста и порослевой березы, но распад древостоев продолжается. В 27-28 км от источника загрязнения в еловых древостоях в 1980-е гг. степень усыхания ели была 60-75 %, в 90-е – 30-44 %, в 2010 г. – 27-36 %. Количество живых деревьев ели за 30 лет сократилось на 49-62 %. На исследуемых участках в настоящее время еловый древостой имеет слабое и среднее повреждение промвыбросами. На пробной площади, расположенной в 30 км от комбината, степень усыхания еловых деревьев в 1990-е гг. составила примерно 50 %, а в 2010 г. – 57 %. Еловые фитоценозы в 50 км от источника промвыбросов в 1980-е гг. характеризовались как фоновые. Степень усыхания еловых деревьев на исследуемой пробной площади в 1981 г. была 7.8%, в 1991 – 4 % и в 2010 г. осталась на таком же уровне.

Таким образом, проблема гибели лесов на территории заповедника от промзагрязнения весьма актуальна. В 1980-е гг. еловые фитоценозы в юго-восточной части заповедника (в 27-30 км от комбината на ЮЗ) характеризовались как средне и сильно поврежденные (гибнущие), в настоящее время имеют повреждение в слабой и средней степени, но усыхание древостоев продолжается. До 1983 г. мониторинг за состоянием лесов на ППП проводился ежегодно, затем исследования были возобновлены в период 1990-1998 гг. В настоящее время ППП утеряны, наблюдения за состоянием лесных экосистем не ведутся.

Литература

1. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: изд. Ботанического института АН СССР, 1990. 195 с.
2. Карпенко А. Д. Влияние промышленных выбросов на еловые фитоценозы северной тайги Кольского полуострова / Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тарту, 1984. 23 с.
3. Отчет «Влияние промышленного загрязнения на еловые леса Лапландского заповедника за период с 1981-1983 гг.» Отв. исполнитель А. Д. Карпенко. Мончегорск, 1984. 123 с.
4. Отчет по НИР «Исследование защиты леса». Науч. руководитель Мозолевская Е. Г. М.: МЛТИ, 1979. Архив Лапландского государственного природного биосферного заповедника.
5. Отчет по лесопатологическому обследованию Лапландского государственного заповедника. Том 1. М., 1990. 112 с. Архив Лапландского государственного природного биосферного заповедника.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ СТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ СЕВЕРО-ЗАПАДА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

С 1992 г. нами проводятся наблюдения за многолетней динамикой ландшафтов на сети из 20 постоянных пробных площадей (ППП), размещенных в Северо-Западном Приладожье (южная окраина Балтийского кристаллического щита, Ленинградская обл.). С 2006 г. к этой сети ППП добавились более 50 пробных площадей мониторинга изменений ландшафтов и растительности в пределах 11 особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга: в ландшафтах Северо-Приморском (Карельский перешеек), Приневской низины, Предглинтовым (южное побережье Финского залива) и Ижорской возвышенности (плато на известняках ордовика, перекрытых карбонатной мореной). ППП представляют 24 типа ландшафтных местоположений и около 50 многолетних состояний растительности (видов растительных сообществ), а именно:

1. Сильнорасчлененные вершины и привершинные склоны сельг (гряд, сложенных гранитоидами архея и нижнего протерозоя) с многочисленными скальными выходами и обрывами и маломощным прерывистым элювием; редкостойные сосняки («скальные комплексы»), в том числе подвергавшиеся верховым пожарам (3 ППП).

2. Выположенные вершины и пологие верхние склоны сельг, покрытые маломощным сплошным элювием; сосняки кустарничково-зеленомошные (2 ППП).

3. Склоны сельг средней крутизны с редкими скальными выходами и чехлом рыхлых отложений; мелколиственно-сосновые и мелколиственно-еловые травяно-кисличные и неморальнотравные леса (3 ППП).

4. Пологие нижние части склонов сельг, перекрытые озерными отложениями, с подтоком грунтовых вод; мелколиственные папоротниково-травяные леса (1 ППП).

5. Дренированные равнины на плотных валунных и щебнистых супесях и песках; ельники черничные и кисличные, в том числе пострадавшие от ветровалов (3 ППП).

6. Дренированные равнины на безвалунных и галечных песках; сосняки и сосново-еловые леса кустарничково-зеленомошные; ельники чернично-кисличные (4 ППП).

7. Окультуренные дренированные равнины на безвалунных песках и супесях, используемые в прошлом под сельскохозяйственные угодья; елово-мелколиственные и мелколиственные травяно-черничные и травяные леса (3 ППП).

8. Дренированные равнины на безвалунных суглинках и глинах; елово-мелколиственные чернично-богаторазнотравные леса (1 ППП).

9. Окультуренные дренированные равнины на безвалунных суглинках и глинах, используемые в прошлом под сельскохозяйственные угодья; разнотравно-злаковые луга и различные стадии их зарастания (мелколиственные и сосновые травяные леса) (4 ППП).

10. Заболоченные равнины на безвалунных песках и супесях с маломощным торфом; ельники чернично-сфагновые и мелколиственные влажнотравные леса (2 ППП).

11. Окультуренные заболоченные равнины на безвалунных песках и супесях, используемые в прошлом под сельскохозяйственные угодья; мелколиственные леса и ивняки травяные и влажнотравные (2 ППП).

12. Склоны камовых холмов, сложенных безвалунными песками; сосняки кустарничково-зеленомошные, в том числе подвергающиеся высокой рекреационной нагрузке (3 ППП).

13. Выположенные вершины холмов, сложенные сильнощебнистой карбонатной мореной; широколиственные неморальнотравные леса и разнотравно-злаковые луга (2 ППП).

14. Склоны разной крутизны, сложенные сильнощебнистой карбонатной мореной; широколиственные леса с лещиной неморальнотравные (5 ППП).

15. Склоны (уступы), сложенные безвалунными песками, в том числе с выходами грунтовых вод у подножий; сосняки и осинники травяные, елово-черноольховые влажнотравные леса (3 ППП).

16. Современные дюны и береговые валы побережья Финского залива, сложенные безвалунными песками; сосняки редкотравные; черноольшаники травяные, сообщества травянистых псаммофитов (3 ППП).

17. Олиготрофные и мезоолиготрофные (верховые) торфяники; кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества с болотной сосной; сосняки кустарничково-сфагновые (в том числе подвергшиеся верховым пожарам) (5 ППП).

18. Мезотрофные (переходные) торфяники; травяно-осоково-сфагновые сообщества, сосново-березовые и березово-еловые травяно-сфагновые леса (5 ППП).

19. Осушенные мезотрофные и мезоолиготрофные торфяники; березово-сосновые, березовые, сосново-еловые чернично-сфагновые, пушицево-сфагновые, влажнотравно-осоковые леса (4 ППП).

20. Евтрофные (низинные) торфяники; травяно-сфагновые сообщества, ивово-осоковые сообщества, березняки влажнотравные (3 ППП).

21. Бывшие торфоразработки с торфяными перемычками и вторичными водоемами; березняки с малиной травяные (1 ППП).

22. Речные поймы и периодически затапливаемые побережья морских заливов; сероольшаники, черемушники травяные, черноольшаники таволговые (1 ППП).

23. Крутосклонные эрозионные ложбины с выходами грунтовых вод на днищах; сероольшаники травяные (1 ППП).

24. Техногенные поверхности на намывных и насыпных грунтах; черноольшаники травяные, фрагменты сообществ с порослью древесных пород (2 ППП).

На основании анализа изменения характеристик древостоя и подроста, видового состава растительности (в том числе сосудистых растений по эколого-флористическим группам), других характеристик, зафиксированных при наблюдениях на ППП, были сделаны следующие основные выводы о тенденциях динамики основных типов ландшафтных местоположений, свойственных южной тайге Северо-Запада Европейской России.

Местоположения сильнорасчлененных вершин и привершинных склонов сельг отличаются экстремальными условиями (элювиальность, отсутствие мелкозема для образования полнопрофильных почв, постоянное воздействие ветра, частые пожары), где сосна не имеет конкурентов среди других древесных пород. В таких условиях при отсутствии катастрофических воздействий (пожары, ветровалы) происходит медленное нарастание запаса сосны при отсутствии каких-либо признаков смены ее другой породой. Сохраняется также постоянство состава весьма бедного видами напочвенного покрова при небольших межгодовых флуктуациях численности отдельных видов.

Относительной стабильностью состава древостоя и напочвенного покрова отличаются **местоположения выположенных вершин и пологих верхних склонов сельг, покрытых маломощным сплошным элювием**. Здесь в древостоях, имеющих более высокий бонитет по сравнению с расчлененными вершинами сельг, также господствует сосна, и при отсутствии пожаров происходит увеличение ее запаса либо относительная стабилизация запаса при некоторых флуктуациях мощности отдельных эколого-флористических групп в напочвенном покрове (преобладают бореальные лесные кустарнички).

Склоны сельг с чехлом рыхлых отложений (преимущественно морены) создают более благоприятные условия для лесной растительности, и леса здесь отличаются высокими бонитетами, разнообразием породного состава и богатством напочвенного покрова (включая неморальные виды). При отсутствии катастрофических воздействий в лесах склонов сельг происходит усиление роли хвойных пород (в основном сосны, а на склонах северной экспозиции – ели) за счет постепенного выпадения мелколиственных (береза, осина). В результате рубок и низовых пожаров напочвенный покров лесов обогащается луговыми и опушечными мезофитами, которые на некоторое время существенно ослабляют позиции бореальных кустарничков (черника, брусника) и зеленых мхов; в дальнейшем по мере смыкания крон древостоя суммарная мощность (характеристика, совмещающая обилие и покрытие) видов первых двух групп постепенно снижается.

Дренированные равнины на валунных и щебнистых супесях и песках характеризуются господством еловых лесов при условии длительного отсутствия сплошных рубок и пожаров. В первые десятилетия XXI в. значительные площади еловых лесов на моренных равнинах подверглись ветровалам. Последствия ветровалов исследуются на нескольких ППП с ельниками кислично-черничными и кислично-сфагновыми. На одной из ППП в результате ветровалов за 4 года (2008-2012) вывалилось 9 % деревьев; выпадение ели преимущественно старших поколений продолжается. За тот же период количество подроста ели на площадке увеличилось на треть, всходов ели – в 20 раз; однако на участках вывала активно возобновляется также береза. На другой ППП, где произошел массовый вывал ели в 2003-2004 г., развивается лесовозобновительная сукцессия

с абсолютным преобладанием рябины и березы; существенного увеличения доли ели в древостое в ближайшие десятилетия не произойдет.

Динамика рассматриваемых местоположений, а также местоположений **дренированных равнин на безвалунных суглинках и глинах**, после сплошных рубок, как правило, проходит со сменой древесных пород. Здесь наиболее обычен «сценарий» постепенного внедрения ели под полог быстрорастущих мелколиственных пород (березы и/или осины), формирования плотного второго яруса из ели и затем, по мере выпадения мелколиственных, приобретения елью господства в древостоях. Подобный процесс вытеснения елью осины и особенно березы наблюдается на ППП, заложенной на террасе на озерных суглинках в ландшафте Северо-Западного Приладожья; здесь выпадению перестойных берез и осин способствуют периодические ветровалы. На спектре распределения древостоя по градациям диаметра хорошо видно «левостороннее» распределение ели (соответствующее обилию деревьев молодого возраста) и сдвинутое вправо (в сторону преобладания деревьев старших возрастов) распределение березы и особенно осины.

Весьма распространенные в тайге Северо-Запада Европейской России **дренированные равнины на безвалунных и галечных песках** характеризуются господством лесов с преобладанием сосны. На нескольких ППП, заложенных в основном в ландшафтных местоположениях с сосняками, возраст которых не превышает 150 лет, происходит постепенное увеличение запаса древостоя сосны; при этом количество подроста доминантной породы далеко не всегда достаточно для ее возобновления. Состав напочвенного покрова (как правило, весьма бедного видами) испытывает небольшие межгодовые флуктуации при сохранении соотношений между основными эколого-флористическими группами (бореальные олиготрофные кустарнички и бореальное разнотравье). Сухие сосновые леса с различной частотой подвергаются пожарам и нередко несут следы низовых пожаров более чем 30-летней давности. В таких сообществах постепенно сокращается проективное покрытие вереска (на одной из ППП – в 3 раза за 7 лет) и увеличивается покрытие других бореальных кустарничков (черника, брусника); лишайники (как более светолюбивые виды) при смыкании крон постепенно уступают место олиготрофным зеленым мхам.

В сосново-еловых лесах рассматриваемых местоположений выражено усиление роли ели, которая обычно господствует во втором ярусе древостоя и подросте. В ельниках наблюдается стабилизация, сопровождаемая постепенным выпадением старшего поколения ели и замещением его новыми поколениями (дигрессионная фаза оконной динамики), с соответствующими изменениями в напочвенном покрове. Экспансии ели на сухих песчаных равнинах противостоят периодические пожары (как верховые, так и низовые).

Сосняки зеленомошники преобладают также в **местоположениях камовых холмов и озовых гряд**, где они подвергаются сильной, иногда чрезмерной рекреационной нагрузке, приводящей к нарушению или почти полной деградации напочвенного покрова. Для наблюдений за динамикой данных ландшафтов были заложены 3 ППП в южной части Карельского перешейка. Наблюдения за 3-4 года, прошедшие после снижения рекреационной нагрузки после введения режима ООПТ, зафиксировали активный прирост запаса древесины с характерной для молодых и средневозрастных (50-70 лет) древостоев внутривоупуляционной конкуренцией. На некоторых ППП возрастает фитоценотическая роль черники и зеленых мхов; вытопанные участки зарастают как лесными, так и пионерными видами растений, поселяющихся на обнаженном субстрате.

Процессы зарастания заброшенных сельскохозяйственных угодий развиваются в основном в **местоположениях террас на безвалунных песках и супесях** (южная часть Карельского перешейка) и **безвалунных суглинках и глинах** (Северо-Западное Приладожье). Использование угодий (в основном сенокосов и посевов многолетних трав) прекратилось здесь в разное время: от 1940-1945 г. до конца 1990-х гг. Согласно нашим исследованиям, в процессе зарастания заброшенных угодий выделяются 3 основных стадии: 1) несомкнутая поросль деревьев и/или кустарников (длительность до 15 лет); 2) смыкание подроста мелколиственных пород и/или кустарников с выходом в древостой серой ольхи, березы, осины, ивы козьей; смена доминирующих эколого-флористических групп видов напочвенного покрова (10-15 лет); 3) сомкнутый древостой мелколиственных пород, иногда с подростом хвойных (стадия наступает через 25-30 лет после начала зарастания). При ухудшении функционирования дренажной сети каждая стадия может сопровождаться процессами заболачивания (появление сфагновых мхов, травянистых гигрофитов, начало торфонакопления), вплоть до образования травяно-осоковых низинных болот.

По данным исследований на Карельском перешейке, первая стадия может растягиваться до десятков лет в случаях развития густого высокотравья (лабазник вязолистный, иван-чай и др.),

препятствующего поселению древесного подроста. На ППП с разнотравно-злаковым лугом, регулярное скашивание которого прекратилось в середине 1990-х гг., сразу же появилась поросль серой ольхи от произрастающих рядом деревьев. За 9 лет (1999-2008) густота подроста увеличилась более чем в 5 раз (до 5.5 тыс. шт/га), а проективное покрытие достигло 20-30 %; в 2008 г. первый экземпляр серой ольхи вышел в древостой, что можно рассматривать как начало 2-й стадии зарастания; в 2013 г. уже зафиксировано 4 дерева серой ольхи. За весь период зарастания существенно снизилась в сообществе роль луговых травянистых мезофитов и соответственно увеличилась доля опушечных травянистых мезофитов и мезогигрофитов (особенно лабазника вязолистного).

При наличии вблизи зарастающих угодий достаточного количества плодоносящих хвойных деревьев через 70-100 лет после прекращения использования сельскохозяйственного угодья может сформироваться мелколиственно-хвойный (еловый, реже сосновый) лес, близкий по флористическому составу к исходному таежному сообществу. В молодом сосняке, которым зарастает участок заброшенного злаково-разнотравного луга на террасе, сложенной безвалунными суглинками и глинами, уже за 10 лет существенно увеличилась доля бореального лесного разнотравья и опушечных мезогигрофитов и уменьшилась доля луговых мезофитов.

На ППП **окультуренной равнины на безвалунных песках**, где процесс зарастания длится не менее 60 лет, продолжается формирование черноольхово-елового кисличного леса; запас древесины увеличился за 3 года на 8 %. На другой ППП, заложенной на **заболоченной песчаной равнине**, за 40-50 лет сложился березняк травяной с обильным подлеском. За 3 года наблюдений здесь произошло некоторое увеличение доли ели в общем запасе древостоя, а также увеличилось количество елового подроста. Зафиксировано увеличение доли в напочвенном покрове черники, костяники, кислицы, зеленых олиготрофных мхов при снижении обилия лесолуговых (опушечных) трав, что свидетельствует о тенденции формирования бореального мелколиственно-елового леса. Однако, по данным наших исследований, далеко не всегда происходит внедрение хвойных пород в мелколиственные древостои, формирующиеся на бывших сельскохозяйственных угодьях: этому препятствует не только отсутствие хвойных деревьев-источников семян, но и развитие высокотравья под пологом мелколиственных молодняков. В таких случаях формируются длительно устойчивые сероольшаники, реже березняки с высокотравьем.

Наблюдения на ППП в **местоположениях верховых и переходных торфяников**, не нарушенных антропогенными воздействиями, не выявили существенных изменений за 4-5-летний период. На верховых болотах с болотной сосной наблюдается либо стабилизация ее численности, либо некоторое увеличение численности, возможно, связанное со снижением среднего уровня болотных вод. Значительное число ППП заложено в местоположениях **торфяников, испытывающих последствия осушения**. Эти последствия зависят от типов исходных болотных геокомплексов, формирования стока с них, мощности торфа, характера окружающего рельефа и гидрографической сети, длительности периода осушения, глубины и частоты дренажной сети и других факторов.

При успешном осушении, обусловленном, в частности, поддержанием работающей дренажной сети, на торфяниках (в особенности евтрофных и мезотрофных) формируются высокопродуктивные хвойные древостои. На одной из площадок так называемой литориновой террасы, примыкающей к побережью Финского залива, произрастает сосново-еловый чернично-сфагновый лес I-Ia бонитета, выросший после осушения мезотрофного торфяника, произведенного в первой половине XX в. Увеличение покрытия видов бореального мелкотравья (майник двулистный, седмичник европейский, ожика волосистая и др.) и олиготрофных зеленых мхов (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum sp.*) при уменьшении роли сфагновых мхов свидетельствуют о формировании бореального хвойного леса. За 3 года наблюдений (2006-2009) запас древесины увеличился здесь на 7%, с увеличением доли ели и уменьшением доли березы, однако в последующие 4 годы прирост древостоя замедлился, что может свидетельствовать об ухудшении работы дренажной сети. Долговременные последствия осушения исследуются также на ППП, заложенной в межсельговом понижении (Северо-Западное Приладожье) с мезотрофным торфяником, где под влиянием осушения в первой половине XX в. сформировался берёзово-сосновый кустарничково-чернично-сфагновый лес. Здесь идет постепенный прирост древостоя сосны и березы при сохранении преобладания бореальных олиготрофных кустарничков и травянистых мезогигрофитов над травянистыми гигрофитами и болотными кустарничками в напочвенном покрове.

Процессы вторичного заболачивания исследуются на ППП, заложенной в местоположении мезотрофного торфяника, осушаемого в первой половине XX в. и использовавшегося до середины прошлого столетия под сенокос (Северо-Западное Приладожье). После прекращения сельскохозяйственного использования здесь вырос древостой с преобладанием березы. За 16 лет наблюдений (1997-2013) здесь зафиксирована деградация древостоя березы при отсутствии хорошего возобновления и почти линейном снижении запаса стволовой древесины. В напочвенном покрове выражено уменьшение доли мезогигрофитов и лесных бореальных видов при увеличении доли травянистых гигрофитов.

Сравнительно небольшие периоды наблюдений на пробных площадях не позволяют считать сделанные выводы окончательными. Тем не менее, данные о тенденциях многолетней динамики ландшафтов, полученные при стационарных исследованиях, во многом верифицируются при анализе результатов маршрутных наблюдений, позволяющих собрать репрезентативные материалы для многих типов ландшафтных местоположений. Полученные данные используются при моделировании сценариев многолетних изменений ландшафтов при различных видах воздействий (либо при отсутствии таковых), создании ландшафтно-динамических карт. Дальнейшие стационарные и маршрутные исследования позволят выявить новые динамические тенденции и многолетние состояния ландшафтов, уточнить их характерное время (интенсивность процессов) и повысить обоснованность и информативность моделирования динамики таежных ландшафтов Северо-Запада Европейской России.

Исследования проводятся при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-05-04753.

Г. Д. Катаев¹, А. Д. Миронов²

¹ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник»,

г. Мончегорск

kataev105@yandex.ru

²Санкт-Петербургское общество естествоиспытателей, г. Санкт-Петербург

altam@am2030.spb.edu

СБОР МАТЕРИАЛА ПО РИТМАМ ФЛУКТУАЦИИ ЛЕММИНГОВ *LEMMUS*, *MYOPUS* НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

В современных исследованиях пространственной и временной экологии грызунов происходит внедрение все новых методов, в том числе инструментальных. Их поиск и внедрение актуально в отношении видов-эндемиков и редко встречающихся. В териофауне Кольского севера не регулярно присутствуют два вида леммингов – лесной *Myopus schisticolor* и норвежский *Lemmus lemmus*. При общем циркумполярном распространении арктических леммингов, ареал норвежского лемминга изолирован от остальных видов и ограничен Фенноскандией, в том числе Кольским полуостровом в России. Обнаружение леммингов в природе требует специфических приемов, особенно в периоды их низкой численности (Angerbjorn et al., 2001).

Систематический сбор полевого материала по численности леммингов Лапландский заповедник осуществляет с 1930-х гг. С 1993 г. учетными работами на постоянной основе был охвачен регион Пасвик-Инари. Кроме этого, были специальные экспедиции в северную Финляндию, Утйоки (1994 г.), в Хибины (2000 г.), в Ловозерские тундры (2007 г.), на Восточный Мурман (2008 и 2011 гг.). Для настоящего сообщения привлечены данные, полученные от респондентов Мурманской области за период 1980-2015 гг. Лемминги, особенно норвежский, хорошо заметны в природе во время своих массовых перемещений, приходящиеся на годы пика численности. Зверьки гибнут в озерах, частично съеденные трупки бросают хищники на лесных тропах, часты встречи погибших грызунов на дорогах и городских окраинах (Краснов, 2003).

Норвежские лемминги регистрируются ловушками Геро (капканы) на хлебную приманку очень редко и только в годы высокой своей численности. Тем не менее, лемминги отмечались на станциях «Ельнюн» и «Сылпуай» при проведении учётов численности мелких млекопитающих в 1946, 1977, 1978, 1982, 2002, 2007, 2008, 2011, 2012 и 2015 гг. В 2015 г. зафиксирована очередная вспышка численности норвежских леммингов. Нами апробированы разнообразные пищевые приманки при

отловах леммингов давилками Геро, в частности сырой картофель и свежий арбуз. Наибольшая эффективность получена при использовании арбузной корки с небольшим остатком мякоти. Причем, плотная корка позволяет надежно крепить данную наживку к сторожку. На эту приманку шли как лесные, так и норвежские лемминги. Надо отметить, что выбор приманок был не случаен. При содержании в неволе, мы наблюдали пищевую избирательность норвежских леммингов – спелая мякоть арбуза поедалась ими предпочтительнее при избыточном количестве в виварии свежих зеленых мхов из родов *Polytrichum*, *Dicranum*, *Pleurozium*.

С 1974 г. учёты леммингов проводили методом стандартных ловчих траншей (Кучерук, 1963). Ловчие канавки в Чунатундре оборудованы в подножии (предгорно-лесной пояс), в середине склона (горнолесной пояс) и близ вершины (горно-тундровый пояс). Нижняя канавка находится в ельнике зеленомошно-разнотравно-черничном (160 м абс.), средняя – в ельнике зеленомошно-чернично-вороничном (260 м абс.), и верхняя канавка – в горно-тундровом поясе лишайниково-воронично-черничном с *Betula nana*, *Juniperus communis*, *Salix glauca* (340 м абс.). Станция «Сылпуай» в Нявкатундре оборудована двумя канавками – в подножии (нижняя канавка, 330 м абс.) и выше берёзового криволесья (верхняя канавка, 490 м абс.). Станция «Пуспакенч» с тремя ловчими канавками расположена в Сальных тундрах, также на охраняемой территории.

Таким образом, три самые крупные горные образования Лапландского заповедника находились под регулярным зоологическим контролем.

Массовое размножение, приводящее к высокой численности норвежских леммингов, как правило, охватывает два смежных года: 1929-30, 1933-34, 1937-38, 1941-42, 1946, 1958-59, 1969-70, 1977-78, 1982-83 и 2011-12 гг. До середины 1940-х гг. норвежские лемминги имели циклические изменения численности с пиками каждые 4 года, но позже эта закономерность была полностью нарушена (Катаев, Окулова, 2010). Мониторинг на ежегодной основе и применение метода учёта с использованием ловчих траншей позволили регистрировать норвежских леммингов также вне периодов их массового размножения, например, в 1957, 1968, 1969, 1970, 1971, 1974, 1979, 1981, 1999 и 2007 гг. в ряде мест Кольского п-ова. Следует отметить редкие случаи, когда массовое размножение леммингов длилось не два, а три года подряд: 1957-59 и 1981-83 гг. Тогда начало их массового размножения пришлось на юг Кольского полуострова, а затем охватило его центральную и северную части. Обнаружено, тем не менее, что подъем численности грызунов в каждой отдельной местности ограничивался также двумя годами и не продлевался на третий год. Норвежские лемминги, случалось, отмечались единично и в течение одного года, например, в 1996 и в 1998 гг. локально на юге полуострова (Бойко, устное сообщение).

У лесных леммингов подъемы численности происходили в 1933-34, 1937-38, 1958-59, 1969-70, 2007-08 и 2011-12 гг. Кроме того, лесные лемминги отмечены на Кольском п-ове вне указанных периодов массового размножения: в его центральной части в 1971, 1998-1999, 2002, 2011 и 2015 гг. (Катаев, Катаева 1999) и только в южной части – в 1982-83, 1987-88, 1991 и 1996 гг. (Бойко, 2002). В 2002 лесных леммингов отметили в центре и на юге Кольского п-ова. В 2011 г. этот вид отмечен как в центральных, так и в северо-западных районах Мурманской области. Анализ полученных данных показывает, что использование метода ловчих траншей позволяет, во-первых, регистрировать факт присутствия леммингов в изучаемом регионе, во-вторых, сравнивать биотопическую плотность животных, в-третьих, определять многолетнюю численность вида и, в-четвёртых, получать достоверный количественный материал для сравнения уровней численности леммингов во всём их ареале.

Дополнительно к учетным работам при изучении экологических особенностей грызунов часто возникает необходимость определить присутствие или посещение того или иного места животным или эффективно провести регистрацию событий при любом уровне освещения и в полной темноте. Необходимо вести длительные детальные наблюдения за ритмом суточной активности. Важно также отмечать частоту посещений особью гнездовой норы, отдельных экологических атрибутов, устанавливать неочевидное присутствие в контрольных местообитаниях. Для достижения этих целей мы использовали новое поколение видеорегистраторов, что позволяет легко осуществить многие из перечисленных потребностей исследователей. Практика показала, что для полевого применения необходимо устройство, которое должно быть: компактным, легко настраиваемым с возможностью работы при любом световом режиме, с независимым и минимальным энергопотреблением, с максимальным информационным ресурсом, неуязвимым к метеоусловиям и, наконец, недорогим в приобретении и эксплуатации (Миронов и др., 2016).

Мы остановили свой выбор на модели DVR 127 (Eplutus). Приводим основные характеристики видеорегистраторов, необходимые для успешной работы в полевых условиях. Питание модуля DVR.

Устройство имеет встроенный литиево-ионный аккумулятор, рассчитанный на работу в течение 2 ч. Однако для более длительной работы необходимо иметь внешний источник питания на 5 Вольт. Использовали аккумуляторы Delta HR 6V 12Ah. Это компактный герметичный источник (масса 2 кг), обеспечивающий надежную запись в течение 24 ч. При невозможности подзарядки аккумулятора в полевых условиях удобно иметь несколько подобных источников.

Запись информации ведется на карту памяти формата SD емкостью 32 Гб, что позволяет писать порядка 10-12 ч. Устройство позволяет вести запись фрагментами на выбор по 2, по 5 или по 15 мин. Такая форма очень удобна для быстрого просмотра записанного материала прямо у объекта съёмки, чтобы при необходимости провести коррекцию. Для этого используется встроенный ЖК-дисплей.

Ночная подсветка на модели DVR 127 осуществляется 6 ИК-светодиодами. Включается автоматически датчиком освещённости. Для наблюдений мелких млекопитающих, когда запись событий проводится на ограниченном участке площадью порядка 1м², этого вполне достаточно. Для освещения большей территории потребуются дополнительный прожектор.

Датчик движения имеется почти на всех моделях DVR, причем, иногда отключить его невозможно! При съёмках грызунов эта функция не работает: скорости перемещений зверьков в поле зрения камеры велики, а объекты, как правило, малы, и не вызывают автоматического включения камеры. Для работы во влажных условиях (осадки, роса) необходима установка камеры в боксы или иная защита. Полевое применение видеорегистраторов апробировано при наблюдениях за норвежским леммингом в тундрах Кольского п-ова в 2011 и 2015 гг.

В 2011 году на Кольском п-ове произошел подъем численности леммингов. Массовое размножение норвежского лемминга длительное время не регистрировалось в регионе, поэтому внимание к изучению его экологии особое. Разнообразие методов учета, в том числе использование видеорегистраторов, позволяет представить общую картину динамики численности и популяционные особенности эндемичного вида.

Увеличение численности норвежских леммингов происходило с конца июля по декабрь включительно с постепенным нарастанием интенсивности миграционного периода в августе-сентябре, пиком в октябре и постепенным спадом в декабре. Анализ данных о распространении леммингов указывает на их массовое появление одновременно в разных точках наблюдаемого региона.

Первые очевидные появления леммингов отмечены в конце августа на станции Подпахта и в соседнем поселке Дальние Зеленцы (северное побережье Баренцева моря). Подвижность леммингов резко увеличивалась с наступлением темного времени суток. Они бегали по улицам, забегали в открытые двери домов, с причалов прыгали в лодки.

В крайней северо-западной части Кольского полуострова норвежские лемминги были зарегистрированы в заповеднике «Пасвик» на стационаре Калкупя. На территории Лапландского заповедника единичные особи отмечены в период июля-сентября только в его северо-западной части в Сальных тундрах. В южной части ареала массовой весенней миграции норвежских леммингов не отмечали. Первый зверек был обнаружен 10 июня в окрестностях Лувеньги (южный берег Кольского п-ова). В октябре на маршрутных учётах отмечено максимальное число погибших зверьков, до 6-7 особей на каждый км маршрута. Самая южная точка встреч норвежского лемминга отмечена на Белом море в районе Валас ручья (67°00'N; 32°10'E).

Ситуация с учётом численности грызунов в 2011 г. показала, что необходимо разрабатывать методические приемы учёта пространственного перемещения. Одно из предложений нового подхода к изучению сезонной подвижности норвежского лемминга – видеорегистрация.

Литература

1. *Бойко Н. С.* Видовое разнообразие и численность млекопитающих (*Mammalia* L., 1758) на территории и акватории Кандалакшского заповедника // IV-V Международные семинары «Рациональное использование прибрежной зоны северных морей». Кандалакша, 19 июля 1999 г., 18 июля 2000 г. Материалы докладов. СПб.: Изд. РГГМУ, 2002. С. 70-93.
2. *Катаев Г. Д., Катаева Р. И.* Лесной лемминг в фауне Кольского Севера // Проблемы охраны и изучения природной среды Русского Севера: материалы научно-практической конференции, посвященной 25-летию гос. природного заповедника «Пинежский» Архангельск, 1999. С. 100-102.
3. *Катаев Г. Д., Окулова Н. М.* Норвежский лемминг в период глобального потепления // Доклады академии наук, 2010. Т. 435. № 5. С. 711-713.
4. *Краснов Ю. В.* Многолетние колебания численности норвежских леммингов на острове Харлове (Семь островов, Восточный Мурман) // Птицы Арктики. М., 2003. № 5. С. 37-38.

5. Кучерук В. В. Новое в методике количественного учета вредных грызунов и землероек // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 159-183.
6. Миронов А. Д., Катаев Г. Д., Стасюк И. В. Разработка методов объективного контроля сезонной подвижности грызунов // Териофауна России и сопредельных территорий: мат-лы межд. совещ. (X Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. С. 266.
7. Angerbjorn A., Tannerfeld M., Lundberg H. Geographical and temporal patterns of lemming population dynamics in Fennoscandia. Copenhagen. Ecography, 2001. 24: 298-308.

Е. В. Комлева¹, В. Н. Самаров², В. З. Непомнящий²

¹Технический университет, г. Дортмунд, Германия

²Лаборатория новых технологий, г. Гарден Гров (Garden Grove), США

СИСТЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Скажите государю, что у англичан ружья кирпичом не чистят: пусть чтобы и у нас не чистили, а то, храни Бог войны, они стрелять не годятся
Н. С. Лесков. Сказ «Левша»

ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО») решает проблему захоронения радиоактивных отходов (РАО) в стране. Но качество конкретных решений сомнительно.

В части геологического/финального могильника для РАО 1 и 2 категории (высокой активности, ВАО) в Железногорске с обозначенной перспективой на статус международного сомнения давние и многими опубликованы. Созданный в СССР Красноярский горно-химический комбинат и создаваемый ныне конверсионный комплекс в Железногорске – гордость Росатома, во многом справедливо. Правда, гордиться могильником в таком комплексе излишне. Место могильника не выбрано из альтернатив, а назначено антинаучно около Енисея в угоду корпоративной целесообразности. Но дальнейший научный камуфляж и реклама к месту захоронения «пристегнуты» изобильно. Никто в мире не собирается /не имеет права нагружать производственную площадку конечного по историческим меркам объекта и ради краткой выгоды вечным опасным балластом в виде могильника. Могильник и остальные объекты в Железногорске – антагонисты по функциям и условиям существования. Рождение нового и захоронение старого, «родильный дом» и «кладбище» не должны быть за одним забором. Нарушен человеческий закон, социокультурный код. Не должны быть вместе, в том числе, и для формирования положительного образа ядерных технологий. Запланирована охрана. Уточнить бы: охрана и ремонтники будут деньги получать миллион лет? Напомним постулат МАГАТЭ: безопасность могильника долговременно не должна определяться присутствием/отсутствием при нем обслуживающего персонала.

Относительно «легких» (средней и низкой активности, САО и НАО) РАО в российском варианте наземных могильников вывод о слабости решений (по результатам, законодательная база их не рассматривается) также, видимо, возможен и впервые представлен в данной статье. Тем самым, относительно системы в России в целом. На это указывает, прежде всего, факт возврата ФГУП «НО РАО» к идее могильника на Новой Земле. Своевольного возврата к ранее признанной ошибкой идее без опровержения прежнего отрицательного заключения Горного института КНЦ РАН и международного консорциума, прежнего решения Минатома отказаться от этой идеи. Возврата к отвергнутой исключительно российской, безоговорочно и откровенно противостоящей разумному мировому опыту (и, уже, поэтому слабой) идее. Для одного из уральских (Новоуральск), на земной поверхности, могильников РАО 3 и 4 категории (САО и НАО) сами же его создатели признают, что он будет опасным многие тысячи лет. Да и для второго (Озерск) уральского их оценки аналогичны. Поэтому-де вскрывать могильники не планируется. Что, за тысячи лет не будет желающих вскрыть их? Можно было бы спросить и классическое: «А будут ли вечно могильники выдерживать «падения самолетов»? Или напомнить про принцип ответственности их создателей перед будущими поколениями! Или поинтересоваться планируемыми эксплуатационными расходами! Или задать вопрос по строительным материалам: сколько циклов замораживания-оттаивания выдержит гидроизоляция?

В России существуют нормы для САО и НАО при их захоронении, предусматривающие ограничения состава и активности отдельных изотопов. Эти ограничения позволяют принять за интегральную норму срок опасности могильника в 300 лет (что тоже немало). Но это же не тысячи лет и не вечность, о которых заявили создатели уральских приповерхностных могильников. Что это – произвол, пренебрежение теорией и нормами уже в начале пути? На каком основании считается, что можно на земной поверхности, в своей стране, размещать тысячелетней опасности объекты? Чего проще, с точки зрения условия «вечной» изоляции, учитывая нужную в нынешних условиях экономию средств, всю разработанную конструкцию могильника с ее достоинствами ДОПОЛНИТЕЛЬНО вписать в отработавший свое карьер. Всю снабдить еще одним бесплатным барьером. В принципе, любой карьер необходимого объема и приличной глубины улучшит ситуацию по сравнению с поверхностью. Оптимально, если вмещающие карьер породы (их отдельные участки) будут хорошего качества, на уровне норм для пород подземных могильников. На Урале нет проблем с наличием карьеров (да и подземных отработавших выработок). И поверх могильника в карьере предусмотреть мощную породную засыпку. Тогда можно избавиться от опасности несанкционированного вскрытия могильника подавляющим большинством возможных способов. Хоронили/хоронят же успешно немцы именно «легкие» РАО в бывших подземных рудниках!

Примеры для рассмотрения. Недалеко от Новоуральска расположены карьеры Баженовского месторождения асбеста. Вблизи ПО «Маяк» – карьер АО «Костанайские минералы». Гидрогеологические условия месторождений простые, горные породы имеют слабую водопроницаемость. Возможно, что вмещающие асбест серпентинитовые породы аналогичны по инженерно-геологическим и сорбционным характеристикам породам Печенги, которые давно рассматриваются как перспективные для размещения РАО в специально созданных либо в выведенных из эксплуатации горных выработках. Дело за малым: «скрестить» подходы Печенги и Новоуральска/Озерска применительно к площадкам месторождений асбеста. Ранее показано, что потенциал Печенги в проблеме захоронения РАО может быть адаптирован и к горно-геологическим условиям медно-никелевых месторождений Канады. Видимо, возможны в этом ракурсе аналогии и между месторождениями асбеста России и Канады. Наиболее привлекательным по экономии и экологии вариантом для асбестовых карьеров может быть создание (аналогично первоначальной врезке подземного рудника «Северный Глубокий» Кольской ГМК из карьера «Центральный») из доступных пока пространств карьеров в их бортах подземных камер/проработанных во множестве проектов модулей (РАО-модулей) со всем необходимым комплексом классических барьеров безопасности. Получится подземное хранилище со всеми преимуществами по безопасности, без непродуктивных затрат на вспомогательные выработки и с минимальными/нулевыми эксплуатационными расходами. Комбинированный способ разработки – достаточно распространен в горнодобывающей промышленности. Есть в истории человечества «комбинированный» город Petra. Почему бы не быть комбинированным размещению в геологической среде особо опасных отходов? И горные предприятия получают работу. Сокращение спроса на асбест привело к закрытию многих рудников. Есть еще вблизи Озерска выводимые из эксплуатации выработки на месторождениях медных и никелевых руд! Или схожие с Печенгой наземно-подземные комплексы Сибая и Учалы – Новые Учалы.

Часто употребляемое «доказательство» относительно российских наземных могильников, что «так делают за рубежом», требует проверки. Во-первых, все так «кружбя кирпичом не чистят». Германия так не делает принципиально. Хорошо, что Росатом показал журналистам для сравнения с «вечной» полиэтиленовой гидроизоляцией могильников Урала технологию реально вечного подземного захоронения НАО и САО этой страны. Швеция и Финляндия: сколько наработано РАО – все под землю, хотя и в разных вариантах соответственно опасности отходов. И Франция, меняя свой прежний подход, будет хоронить САО в подземном могильнике. Как и Великобритания – NIREX. США, классификация РАО которых отличается от европейской, под землей хоронят не только высокоактивные, но и трансурановые РАО условно средней активности. Чем обусловлено отсутствие такой отдельной категории отходов в России при схожести структур ядерных отраслей США и РФ – не желанием ли втихую избежать дополнительного подземного строительства? Где российский аналог американского подземного могильника WIPP для военных трансурановых отходов? Достигнут ли ядерный паритет применительно к РАО? В Канаде выбрали подземный вариант для САО и НАО. Против конкретной площадки, правда, общество активно протестует, но по причине ее расположения вблизи Великих Озёр, которые служат источником пресной воды для десятков миллионов жителей.

Во-вторых, те, кто делают - вполне вероятно, что так да не так. И вопрос не в том, будет ли в России обеспечено то же качество строительных работ, что и там, где «делают». Да, конструкция

российских наземных объектов заимствована, в основном, у зарубежных аналогов. Вопрос в схожести/различиях составов РАО (прежде всего, по изотопам; и есть ли в составе зарубежных РАО таких категорий трансураниевые изотопы, которые, например, планируются для могильника в Северске), если в российском варианте употребляют слово «вечный». Хотелось бы документальных доказательств, что за рубежом уже при общественном обсуждении и проектировании таких объектов они имеют статус «вечных». Многие страны долгоживущие отходы средней активности выделяют из общего объема САО для подземного захоронения. В-третьих, далеко не все страны обязательно хоронят РАО на промышленных площадках ядерных объектов. В России такое обязательство – канон, что, конечно, заставляет лукавить при доказательстве научности геологического выбора (которому по правилу «3 условий» отведено третьестепенное значение) площадок для могильников. Чаще площадки сразу назначают по месту. Но даже если сначала вроде бы ищут долго и «по науке», итог тот же: Копорье трансформировали в Сосновый Бор, Нижнеканский массив – промплощадку Красноярского ГХК. В-четвертых, зарубежные приповерхностные хранилища НАО и САО либо уже затратно реконструируются, либо вероятность этого со временем высока. Их удел, который вменяют и России, – перманентная (на много веков) реабилитация. Впрочем, в Росатоме, видимо, привыкли гордиться бесконечным финансированием проблемы отходов. Разве это требуемое экономической ситуацией в стране снижение бюджетных трат? В-пятых, основные приповерхностные хранилища (и только НАО) главного «идеолога» такого вынужденного захоронения первых лет атомной гонки – США находятся в более теплых, чем российские, регионах. Это не российские условия по атмосферным осадкам и фазовым переходам вода-лед. И, в-шестых, часть наземных могильников в России по первоначальному происхождению РАО уже сейчас фактически имеют статус международных.

Так что тезис «так делают за рубежом» очень сомнителен. В подавляющем большинстве случаев он глубоко ошибочен. Похоже, дружное устремление за рубежом к подземным могильникам – реакция на сложную мировую обстановку. Копирование чужих, старых и совсем не лидирующих технологических тенденций по захоронению РАО с собственного изобретения методологией геологического выбора площадок само по себе занятие не очень достойное. Если за рубежом вечную сохранность/безопасность (или, наоборот, вечную опасность) наземным могильникам не обещают, то сравнения с ними неуместны. Нужно ли плодить радиоактивные курганы, котлованы и болота подобно «могильнику» Карачай? А то они, доступные для зарубежных воздушно-космических сил, «храни Бог войны», как раз и могут «стрелять» как «грязные бомбы», тиражируя радиоактивные следы наподобие Восточно-Уральскому и Чернобыльским. Во время войны ядерные объекты станут целями. Около могильника в Ростовской области война уже рядом. Да и без войны трансформация споров о трудности решения проблемы РАО в конкретные и наглядные, опасные наземные «чудеса технологий» лучше всего убедит в том, что «Такой хоккей нам не нужен!» И прежние места штатного накопления РАО на поверхности оптимизма не внушают. Всегда находятся причины, чтобы такие места превратить в источник реальной опасности.

Государство взяло на себя и расходы по аварийным отходам. Есть мнение, что негативные следствия в денежном эквиваленте за тридцать лет только в связи с Чернобылем («чернобыльские отходы»), перекрыли весь положительный экономический эффект от ядерной энергетики в СССР. Россия пока не приступила к оценке в полном объеме и достоверно весьма затратного из-за отходов массового вывода ядерных объектов из эксплуатации. А это не за горами. Новые значительные объемы РАО еще более осложнят ситуацию. Что, и их размещать на поверхности? В Германии, которая уже на практике решает проблемы этой стадии, сразу возникли трудности с представлениями об экономике захоронения РАО и определением исполнителей. Как и во всем мире. Цена вопроса с трудом поддается исчислению. Относительно облученного графита вообще в мире нет даже начальных представлений о захоронении (разве что российское «высокотехнологичное» предложение засыпать их глиной на месте наработки).

Сильные решения по всем категориям РАО можно найти в кооперации с теми, кто более осведомлен в геологии и горном деле нежели ФГУП «НО РАО», а также имеет для реформирования под задачу отходов природно-техногенные объекты. Возможные партнеры – АЛРОСА, Норникель, Северсталь или гиганты нефтегазовой отрасли, которым в трудные времена разумно было бы позаботиться о диверсификации деятельности в сфере недропользования. Опыт заимствований Росатомом технологий нефтегазовой отрасли уже есть. В РФ в течение 45 лет было удалено в глубокие изолированные горизонты-коллекторы около 50 млн. м³ жидких РАО. Ситуация была более тяжелой – отходы в подвижной форме. Но геологические условия заблокировали им выход на поверхность аналогично локализации в недрах месторождений углеводородов. Геология и горное дело

несравнимо более зрелые отрасли с богатым и надежным опытом по сравнению с ядерной. Уже это является основанием для использования Росатомом их «мудрости» в пограничных технологиях.

Все дальше нагнетается ситуация вокруг и внутри страны. Например, современные «террористы», «против которых» воюют (или тренируются в боевых условиях для других дел?) по состоянию на февраль 2016г. минимум пять авианосцев, наземные армии двух стран и совершили 70 тыс. боевых вылетов самолеты США и России. При этом сложно понимать слабое и с небезупречными аргументами присутствие в публичном пространстве по поводу поднимаемых вопросов непосредственно специалистов Росатома, ФГУП «НО РАО» и рабочей группы Общественного совета Росатома по вопросам взаимодействия с общественными и экологическими организациями в части размещения объектов изоляции РАО.

Впервые на Кольском полуострове в самом общем виде мысль обратить внимание на потенциал существующих местных горных выработок была высказана в 1991 году на первом региональном техническом совете в Управлении капитального строительства Кольской АЭС-2 по проблеме захоронения РАО (представители КАЭС, Московского института «Атомэнергопроект», ВНИИАЭС, КНЦ РАН и Гидроспецгеологии) одним из гидрогеологов. Статья посвящается тому незнакомому авторам гидрогеологу, а также памяти горняка Гуцина Владимира Васильевича и геолога Баржицкого Всеволода Викторовича, соучаствовавших тогда на техсовете КАЭС в защите первого крупного и кольской «выпечки» отчета по проблеме, геолога Гавриленко Бориса Викторовича, первым (1999г.) поддержавшего идею перспективности Печенгской структуры для захоронения РАО.

Выводы

1. Реализуемая в России система захоронения основных категорий отходов во многом противоречит передовому зарубежному опыту, опасна, дорога с учетом времени опасности, подлежит объективной ревизии преимущественно вне рамок разработавших ее организаций и модернизации. Создаваемые могильники, как не соответствующие эволюционировавшим базовым понятиям, реальной практике многих стран и международной обстановке, трудно назвать захоронениями (скорее, «внутризаводскими складами» долговременного хранения на объектах Росатома), системой зарубежного образца или примером техногенной безопасности.

2. Зарубежный опыт лучше перенимать у Германии, Финляндии, Швеции, Норвегии. Совершенствуя приоритетное подземное захоронение по пути сочетания отработавших и вновь создаваемых, а также упрощения специализированных горных выработок как следствия применения ГИП-кондиционирования ВАО и САО. Иными словами, необходимо к опыту передовых стран «прививать» элементы комбинированной системы разработок горнорудной отрасли и новых технологий кондиционирования, а все вместе – адаптировать к существующим природно-техногенным объектам с целью повышения безопасности и снижения капитальных/эксплуатационных затрат.

P.S. Дело захоронения РАО будет, видимо, поправлено, если за него берется Курчатовский институт, характерными для которого являются конвергенция разных наук и технологий (Соглашение с Росатомом от 08.02.2016).

М. В. Корнейкова, Н. П. Мозгова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
korneykova@inep.ksc.ru, mozgova@inep.ksc.ru*

МИКРОМИЦЕТЫ ВОЗДУХА И ПОЧВ ПОЛУОСТРОВА РЫБАЧИЙ

Полуостров Рыбачий расположен на севере России. По геологическому строению и формам рельефа он резко отличается от материковой части региона. Полуостров сложен древнепалеозойскими осадочными породами (сланцы, кварциты, доломиты, песчаники, известняки) (Рихтер, 1936). П-ов Рыбачий относится к району с типично морским муссонным климатом, формирующимся под воздействием Баренцева моря. Средняя температура летнего сезона на Мурманском побережье не более +9°C. Минимальная температура в июне может опускаться до -3°C при вторжении арктических воздушных масс. Относительная влажность воздуха >80%. Часты туманы (Яковлев, 1961).

На п-ове Рыбачий доминируют Al-Fe-гумусовые подзолы, сформировавшиеся на элювии шиферных сланцев (Переверзев, 2001). Формирующиеся, в тундровой зоне Al-Fe-гумусовые подзолы могут иметь ряд особенностей. В условиях затрудненного внутреннего дренажа или при наличии специфических литогенных факторов (богатые по химическому составу почвообразующие породы) формируются подбурь– почвы, в которых отсутствует подзолистый горизонт. Они являются компонентами почвенного покрова в равнинных тундрах и в структуре почвенного покрова горных экосистем могут создавать значительные ареалы. Пониженные элементы рельефа полуострова заняты гидроморфными торфяными и болотными почвами, сформировавшимися из растительных остатков, в разной степени разложившихся. На территории Северной Фенноскандии отсутствует многолетняя мерзлота, что обусловлено не только климатическими условиями, но и особенностями геологического строения и рельефа. Криогенные процессы в этих условиях носят локальный характер. Они проявляются в виде отдельных пятен морозного выпучивания при переувлажнении почво-грунтов. Минеральная масса выталкивается на поверхность, образуя гомогенные почвы в виде отдельных “медальонов”, как правило, лишенных растительности.

Грибы имеют важное значение в функционировании арктических экосистем, осуществляя процесс деструкции растительных остатков. Численность микромицетов арктических экосистем очень низкая: до 1 тыс. КОЕ/г – в почвах и грунтах архипелага Шпицберген (Кирцидели, 2010), до 0.5 тыс. КОЕ/г – в почвах каменистых тундр плато Путорана и Полярного Урала, при появлении мохово-лишайниковой растительности численность увеличивается до 1.2 тыс. КОЕ/г, кустарничковой – до 6.7 тыс. КОЕ/г (Кирцидели, 2001). Среди доминирующих видов Арктики – представители родов *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mortierella*. Часто встречаются грибы родов *Phoma*, *Phialophora*, *Acremonium*, *Mucor*, *Paecilomyces* (Евдокимова, Мозгова, 2001; Кирцидели, 2001, 2010; Flanagan, Scarborough, 1974). Однако имеется ряд особенностей, выражающихся прежде всего в доминировании форм стерильного мицелия в тундровых почвах (Евдокимова, 1992; Паринкина, 1989; Holding, 1981). Кроме того, значительная часть грибов тундры характеризуется свойствами психрофилии (Flanagan, Scarborough, 1974; Кирцидели, 2010).

Цель работы – изучить численность, биомассу и разнообразие микроскопических грибов в воздухе и почве полуострова Рыбачий.

Объекты и методы

Отбор образцов почвы и воздуха был проведен в июле 2015 года по маршруту от губы Большая Волоковая Баренцева моря на запад к мысу Немецкий. Были обследованы почвы: подбур, торфяная, Al-Fe-гумусовая подзолистая, примитивная (каменисто-щебнистый субстрат в приливно-отливной зоне), криогенная, болотная. Для микологического анализа отбирали почвенные образцы из органогенного горизонта или из 0-5 см слоя криогенной почвы в 3-х повторностях. Численность микромицетов определяли методом посева на сусло-агар с добавлением молочной кислоты из расчета 4 мл на 1 л среды для ингибирования роста бактерий. Анализ биологического разнообразия грибов выполнен на основе культурально-морфологических признаков с использованием определителей (Raper, Thom, 1968; Егорова, 1986; Domshetal., 2007; Seifertetal., 2011). Видовые названия уточняли по пополняемым спискам видов в базе данных “Speciesfungorum” (www.indexfungorum.org). Длину грибного мицелия и его биомассу определяли прямыми методами флуоресцентной микроскопии в свежих почвенных образцах. Использовали темноокрашенные поликарбонатные мембранные фильтры Nucleopore Black с диаметром пор 0.8 мкм. Фильтры для учета грибов окрашивали акридином оранжевым и красителем FITC (флуоресцинизиотиоцианата) (Olsen, Novland, 1985).

Отбор проб воздуха над площадками осуществляли на высоте 1.1 м автоматическим переносным пробоотборником ПУ-1Б, с принудительным осаждением микробов из воздуха на поверхность питательной среды – сусло-агар. Пропускали по 350 л воздуха на каждой площадке в 3 повторностях. Инкубацию проводили при 27 °С.

Для характеристики структуры комплекса грибов использовали два экологических показателя – пространственную частоту встречаемости вида для определения степени однородности распространения вида в почве и индекс обилия видов для определения значимости видов в данном комплексе (Мирчинк и др., 1982).

Для статистической обработки материалов использовали пакет программ Microsoft Excel 5.0 и Statistica 6.0.

Результаты и обсуждения

Воздух. Численность микромицетов воздушной среды над полуостровом Рыбачий изменялась от 11 до 105 КОЕ/м³. Наименьшая численность микроскопических грибов была отмечена на побережье Баренцева моря. В целом воздух на п-ове отличается относительной чистотой в связи с отсутствием объектов промышленности и цивилизации.

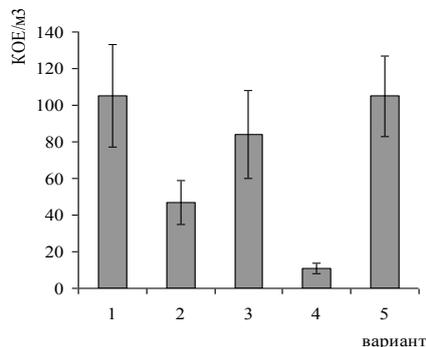


Рис. 1. Численность микроскопических грибов в воздухе п-ова Рыбачий, КОЕ/м³
 1 – над подбурами; 2 – над торфяными почвами; 3 – над подзолами;
 4 – над примитивными почвами; 5 – над болотными почвами

Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов воздуха п-ова Рыбачий представлено 12 видами, относящимися к 7 родам, 6 семействам, 6 порядкам, 5 классам, 2 отделам (табл.1).

Таблица 1

Видовое разнообразие комплексов микромицетов-аэриобионтов п-ова Рыбачий

Вид	Почва				
	подбур	торфяная почва	подзол	примитивная почва	болотная почва
Отдел <i>Zygomycota</i> Класс <i>Incertaesedis</i> Порядок <i>Mucorales</i> Семейство <i>Umbelopsidaceae</i>					
<i>Umbelopsis abellina</i> (Oudem.) W. Gams	–	–	–	–	1/33
Отдел <i>Ascomycota</i> Класс <i>Eurotiomycetes</i> Порядок <i>Eurotiales</i> Семейство <i>Trichocomaceae</i>					
<i>Penicillium decumbens</i> Thom	58/78	57/100	39/100	9/33	20/100
<i>P. godlewskii</i> K.M.Zaleski	0.4/11	–	–	–	–
<i>P. raistrickii</i> G.Sm.	13/78	2.9/33	34.4/83	91/100	64/100
<i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom	3.3/22	17.1/33	11.7/67	–	–
<i>P. spinulosum</i> Thom	0.7/11	–	–	–	–
<i>P. thomii</i> Maire	4/33	–	–	–	–
Класс <i>Sordariomycetes</i> Порядок <i>Hypocreales</i> Семейство <i>Incertaesedis</i>					
<i>Gliomastix roseogrisea</i> (S.B. Saksena) Summerb.	–	–	0.6/17	–	3.3/67
Класс <i>Leotiomycetes</i> , Порядок <i>Helotiales</i> , Семейство <i>Sclerotiniaceae</i>					
<i>Botrytis terrestris</i> C.N. Jensen	9.5/56	11.4/33	4/17	–	3.3/33
Класс <i>Dothideomycetes</i> Порядок <i>Dothideales</i> Семейство <i>Incertaesedis</i>					
<i>Phoma eupyrena</i> Sacc.	–	–	2/33	–	2/33
Порядок <i>Pleosporales</i> Семейство <i>Incertaesedis</i>					
<i>Acremonium felinum</i> (Marchal) Kiyuno, K.D.An, Kigawa et Sugiy	1.8/22	–	–	–	–
<i>Periconia macrospinoso</i> Lefebvre et Aar. G. Johnson	3.7/67	11.4/100	2/33	–	6.6/67
Класс <i>Incertaesedis</i> Порядок <i>Incertaesedis</i> Семейство <i>Incertaesedis</i>					
<i>Sterilia mycelia</i> dark	6/56	–	2/17	–	–

Наименьшее видовое разнообразие микромицетов-аэробиионтов отмечалось на побережье Баренцева моря над примитивными почвами (2 вида), наибольшее – над подбурами (9 видов). Над остальными типами почв (подзолы, болотные и торфяные почвы) было выделено по 5-7 видов микромицетов. Виды *Penicilliumdecumbens*, *P. raistrickii* встречались в воздухе всех участков и относились к доминирующим как по обилию, так и по пространственной частоте встречаемости. Вид *Periconiamacrospinosa* доминировал по пространственной частоте встречаемости над подбурами, болотными и торфяными почвами; *Gliomastixroseogrisea* – только над болотными, *P. simplicissimum* – только над подзолами. Грибы *P. godlewskii*, *P. Spinulosum* были выделены только над подбурами, *Umbelopsisisabellina* - только над болотными почвами, они относились к редким видам.

Почва. Численность микроскопических грибов по методу посева в почвах п-ова Рыбачий изменялась от 9 до 70 тыс. КОЕ/г (рис.2). Наименьшая численность микромицетов была отмечена в криогенных почвах («медальоны»), что вполне закономерно, поскольку на данных участках отсутствует растительность. В подбурах, подзолах и торфяных почвах численность микроскопических грибов была примерно одинакова и составляла 50-70 тыс. КОЕ/г почвы. Эти значения находятся на нижней границе величин численности фоновых тундровых почв Кольского п-ова (Корнейкова, 2015.)

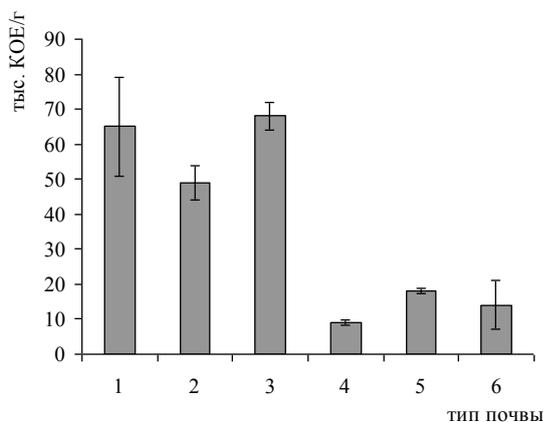


Рис.2. Численность микроскопических грибов в почве п-ова Рыбачий, тыс. КОЕ/г
1 – подбуры; 2 – торфяные почвы; 3 – подзолы; 4 – криогенные почвы;
5 – примитивные почвы; 6 – болотные почвы

Длина грибного мицелия и его биомасса в подзоле была несколько ниже, чем в подбуре, торфяной и болотной почвах, но во всех этих почвах она значительна – более 1000 м в 1 г почвы и более 200 м в 1 см³ (табл.2). Грибная биомасса достигала 1.7 мг/г почвы. В сотни раз ниже длина мицелия в примитивной почве, что вполне понятно, т. к. гетеротрофная грибная флора весьма требовательна к источникам питания.

Таблица 2

Длина и биомасса грибного мицелия в органогенных горизонтах почв п-ова Рыбачий
(на абс. сух. почву)

Почва	Длина		Биомасса		
	м/г	м/см ³	мг/г	мг/см ³	г/м ²
Al-Fe-гумусовый подзол	1137±110	227	1.25	0.25	25.0
Подбур	1413±238	283	1.55	0.31	31.1
Торфяная	1538±334	308	1.69	0.34	33.8
Болотная низинная	1482±230	296	1.63	0.33	32.6
Криогенная	5.4±0.5	1.1	0.01	0.001	0.1

При сравнении данных, полученных по методу посева и прямого счета, видно, что существенная разница в результатах отмечается для болотной почвы, в которой по методу посева численность сопоставима с таковой в криогенных и примитивных почвах, а по методу прямого счета – с подзолами, подбурами и торфяной почвой. По-видимому, в болотных почвах большое количество микроскопических грибов находится в форме нежизнеспособного мицелия.

Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов п-ва Рыбачий представлено 12 видами, относящимися к 7 семействам, 6 порядкам, 5 классам и 2 отделам (табл.3). Наибольшее разнообразие микромицетов было выделено в подбурях, торфяных и подзолистых почвах (по 7-10 видов), наименьшее - в криогенных, примитивных и болотных почвах (по 3-4 вида).

Вид *Penicilliumdecumbens* доминировал по обилию и частоте встречаемости в подбурях, торфяных, подзолистых и болотных почвах. По структуре комплексов почвенных микромицетов криогенные и примитивные почвы отличались от остальных. В примитивных почвах по пространственной частоте встречаемости доминировал *P. raistrickii*, по обилию, как и в подбурях – *P. glabrum*. В криогенных почвах по обилию доминировал *Mortierellastylospora*, по частоте встречаемости – *P. decumbens*.

Степень сходства видового состава комплексов микроскопических грибов воздуха и почвы составила 33 %. Такой низкий процент общих видов можно объяснить практически полным отсутствием растительности в тундровой зоне, а, следовательно, уменьшением количества спор грибов, поступающих с поверхности растений на почву.

Таблица 3

Видовое разнообразие комплексов почвенных микромицетов п-ова Рыбачий

Вид	Почва					
	подбуры	торф	подзолы	криогенные	примитивные	болотные
Отдел <i>Zygomycota</i> Класс <i>Incertaesedis</i> Порядок <i>Mortierellales</i> Семейство <i>Mortierellaceae</i>						
<i>Mortierellastylospora</i> Dixon-Stew.	0.3/22	0.8/33	0.4/17	45/33	–	6/100
Порядок <i>Mucorales</i> Семейство <i>Mucoraceae</i>						
<i>Mucorplumbeus</i> Bonord.	–	0.4/11	–	–	1.7/33	–
<i>M.hiemalis</i> Wehmer	0.1/11	0.1/11	–	–	0.5/33	0.8/33
Отдел <i>Ascomycota</i> Класс <i>Eurotiomycetes</i> Порядок <i>Eurotiales</i> Семейство <i>Trichocomaceae</i>						
<i>Penicilliumdecumbens</i> Thom	37.2/100	71/100	49.2/100	27/100	–	91/100
<i>P. glabrum</i>	44/100	16/67	15.6/83	27/33	61/33	–
<i>P.raistrickii</i> Smith.	6.5/44	0.4/22	12.6/33	–	37/100	–
<i>P.spinulosum</i> Thom	0.1/11	9/22	0.7/17	–	–	–
<i>P. nigricans</i> K.M. Zaleski	0.6/11	–	–	–	–	–
Класс <i>Sordariomycetes</i> Порядок <i>Hypocreales</i> Семейство <i>Hypocreaceae</i>						
<i>Trichoderma polysporum</i> (Link.)	9.5/33	2/33	15.3/50	–	–	2.6/33
Семейство <i>Incertaesedis</i>						
<i>Gliomastixroseogrisea</i> (S. B. Saksena) Summerb.	–	–	0.4/33	–	–	–
Класс <i>Dothideomycetes</i> Порядок <i>Dothideales</i> Семейство <i>Dothioraceae</i>						
<i>Aureobasidium pullulans</i> (De Bary) Arnaud	0.5/11	–	–	–	–	–
Класс <i>Leotiomycetes</i> Порядок <i>Helotiales</i> Семейство <i>Sclerotiniaceae</i>						
<i>Trichosporium macrosporum</i> Kamyshko	0.1/11	–	–	–	–	–
Класс <i>Incertaesedis</i> Порядок <i>Incertaesedis</i> Семейство <i>Incertaesedis</i>						
<i>Sterilia mycelia</i>	0.3/11	–	–	–	–	–

Таким образом, численность микроскопических грибов воздуха и почвы п-ова Рыбачий изменялась от 11 до 105 КОЕ/м³ и от 9 до 70 тыс. КОЕ/г соответственно. Наименьшее количество микромицетов было выделено в воздушной среде побережья Баренцева моря и в почве, подверженной криогенным процессам. Длина грибного мицелия и его биомасса были значительными

во всех почвах, за исключением криогенной, и составляли более 1000 м в 1 г почвы и 1.7 мг/г почвы соответственно. В воздухе и почве п-ова Рыбачий формируется специфический комплекс микромицетов, представленный 12 видами в каждой среде обитания, но имеющий низкую степень сходства – 33 %. Криогенные и примитивные почвы п-ва Рыбачий отличаются видовым составом и структурой комплексов микромицетов от других почв полуострова. В воздухе и почве п-ова Рыбачий доминировал как по обилию, так и по частоте встречаемости вид *Penicilliumdecumbens*, тогда как в примитивных почвах *P. raistrickii* *P. glabrum*, в криогенных – *Mortierellastylospora*.

Автор выражает благодарность с.н.с. Мозговой Н. П. за определение длины и биомассы микроскопических грибов.

Литература

1. Евдокимова Г. А. Оценка структурно-функционального состояния микробных систем почв тундровой и лесной зоны Кольского полуострова. Апатиты: Фонды ИППЭС КНЦ РАН, 1992. 48 с.
2. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты, Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. 184 с.
3. Егорова Л. Н. Почвенные грибы Дальнего Востока. Л.: Наука, 1986. 192 с.
4. Кирицели И. Ю. Почвенные микромицеты горных тундр (Полярный Урал и плато Путорана) // Микология и фитопатология. Т. 35. Вып. 5. 2001. С. 48-53.
5. Кирицели И. Ю. Микромицеты из почв и грунтов Северо-восточной Земли (Архипелаг Шпицберген) // Микология и фитопатология. Т. 44. Вып. 2. 2010. С. 116-125.
6. Корнейкова М. В. Почвенная микобиота естественных экосистем Кольского Севера // Материалы докладов VI Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с межд. участием. Сыктывкар, 2015. С. 147-149.
7. Мирчинк Т. Г., Озерская С. М., Марфенина О. Е. Выявление комплекса микроскопических почвенных грибов по их структуре // Н. докл. высшей школы. Биологические науки, 1982. № 11. С. 61-66.
8. Паринкина О. М. Микрофлора тундровых почв. Л.: Наука, 1989. 159 с.
9. Переверзев В. Н. Почвы тундр Северной Фенноскандии. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. 127 с.
10. Рихтер Г. Д. Орографические районы Кольского полуострова. Тр. Ин-та физ. географии АН СССР, 1936. Вып. 19. С. 5-48.
11. Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманск: Книжное изд-во, 1961. 183 с.
12. Domsh K. H., Gams W., Anderson T. H. Compendium of soil fungi. 2nd ed. IHWVerlagEhing, 2007. 672 p.
13. Flanagan P., Scarborough A. Physiological groups of decomposer fungi on tundra plant remains / Soil organisms and decomposition in tundra / Ed. A.J. Holding et al. / Stockholm, 1974. P. 159-182.
14. Holding A. J. The microflora of tundra / Tundra ecosystems: a comparative analysis / Ed. L.C. Bliss et al. / 1981. P. 561-585.
15. Olsen R. A., Hovland J. Fungal flora and activity in Norway spruce needle litter // Report. Department of Microbiology, Agricultural University of Norway. 1985. 41 p.
16. Raper B., Thom C. A Manual of the Penicillia. New York; London: Hafner Publishing Co., 1949. 875 p.
17. Seifert K., Morgan-Jones G., Gams W., Kendrick B. The genera of Hyphomycetes. Utrecht: CBS; Spain: Reus, 2011. 997 p.

И. Н. Кутявин, А. Ф. Осипов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
osipov@ib.komisc.ru, kutjavin-ivan@rambler.ru

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ДРЕВЕСНОМ ДЕБРИСЕ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В лесных сообществах вторым по величине после живой фитомассы ценоза, является древесный дебрис (ДД), образованный сухостоем, валежом и сухими ветвями в кроне живых деревьев (Пулы и потоки..., 2007). С целью уточнения их роли в долговременной аккумуляции углерода в лесных экосистемах и в формировании его потока в атмосферу необходима оценка запаса

и состава ДД (Russel et. al., 2015). Недооценка его запасов создает неопределенности при характеристике бюджета углерода таежных экосистем. Сведений, характеризующих запасы ДД в сосняках лесной зоны, крайне недостаточно. Поэтому необходима оценка органического вещества в ДД насаждениях сосняков, произрастающих в различных лесорастительных условиях и находящихся на разных этапах развития. Цель работы – оценка запасов углерода в древесном дебрисе среднетаежных сосняков Республики Коми.

Объектами исследования послужили сосновые насаждения лишайникового, бруснично-лишайникового, черничного и чернично-сфагнового типов. Изученные сосняки находились на разных стадиях развития. Они представлены тремя перестойными сосняками на этапе распада материнского древостоя, тремя спелыми сосняками, двумя приспевающими и тремя средневозрастными насаждениями (табл.1).

Таблица 1

Характеристика древостоев среднетаежных сосняков

Тип леса (возраст лет)	Состав древостоя	Количество деревьев, экз. га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Площадь сечения, м ² га ⁻¹	Полнота
		живых	сухих	живых	сухих		
Лишайниковый (180)	10С ед. Б	411	63	163	11	22.5	0.79
Бруснично- лишайниковый (80)	10С ед. Б	2533	150	246	4	32.0	1.11
То же (70-320)	10С	908	56	177	28	21.6	0.80
Черничный свежий (101-320)	9С1Е ед. Б	723	120	286	114	28.6	0.8
Черничный влажный (60)	9С1Б ед. Е	1730	55	205	4	24.9	0.85
То же (95)	9С1Б+Е	1195	100	220	11	27.8	1.00
Чернично- сфагновый (45)	9С1Б+Е	2153	27	95	1	15.0	0.69
То же (60)	10С+Б ед.Е	2040	100	109	4	15.7	0.67
--/ (84)	10С ед.Е	2266	327	141	8	24.0	0.98
--/ (120)	10С+Е,Б,Ос	1210	30	169	2	20.2	0.74
--/ (124)	8С1Е1Б+К	1020	149	109	17	18.7	0.8

Работа проведена на постоянных пробных площадях. Учитывали диаметр, высоту и стадию гниения валежа. Запас древесины в валеже и сухостое определяли по региональным таблицам для оценки объема ствола в зависимости от морфометрических характеристик (Лесотаксационный справочник..., 2012). Объем остолопов и пней рассчитывали по формуле объема цилиндра. Запасы сухих ветвей в кронах живых деревьев определяли по регрессионным уравнениям зависимости их массы от диаметра ствола, выведенных нами ранее при анализе модельных деревьев. Пересчет запаса древесины, сконцентрированного в ДД, на массу органического вещества (ОВ) проводили по данным базисной плотности гниющей древесины в зависимости от породы и стадии гниения (Бобкова и др., 2015). Для определения запасов углерода применяли коэффициент 0.5.

Запасы органического вещества ДД в сосняках изменяются в широких пределах от 1.7 до 66.0 т га⁻¹ или 0.7-31.5 тСга⁻¹ (табл.2). Ранее отмечено, что масса ДД тесно связана с динамикой развития насаждений и процессами естественного изреживания в ходе онтогенетического развития лесных сообществ. Более высокие концентрации его отмечены в перестойном сосняке черничном свежем, где происходит распад и отмирание древостоя. Небольшие запасы ДД наблюдаются в 45-летнем сосняке чернично-сфагновом. Также относительно низкие (2.1-3.9 т га⁻¹ или 1.0-1.8 тСга⁻¹) величины массы ДД характерны для средневозрастных сосняков черничных и чернично-сфагновых, а также для приспевающего сосняка бруснично-лишайникового, которые характеризуется большой густотой и полнотой древостоя, а интенсивная дифференциация деревьев по состоянию выражена слабо. Для данных насаждений можно прогнозировать увеличение массы ДД в ближайшие 10-15 лет, связанный с естественным самоизреживанием. Относительно высокими значениями запасов ДД (10.0-15.2 т га⁻¹ или 4.9-7.4 тСга⁻¹) характеризуются спелые сосняки разных типов. Корреляционный

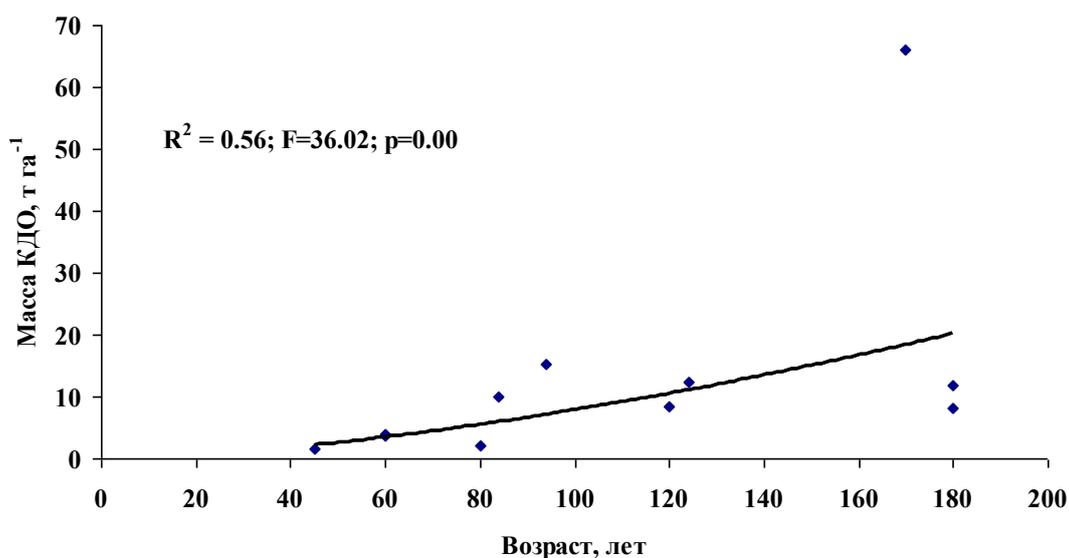
анализ (рис.) показал, что связь между массой ДД и возрастом древостоя довольно тесная и положительная ($R^2=0.56$), что также подтверждается факторным анализом ANOVA ($F=36.02$; $p=0.00$).

Таблица 2

Запасы органического вещества (в числителе) и углерода (в знаменателе)
в древесном дебрисе сосняков, $t\text{ га}^{-1}$

Тип леса (возраст, лет)	Сухостой	Валеж	Сухие ветви	Пни и остолопы	Итого
Лишайниковый (180)	<u>5.20</u> 2.49	<u>5.42</u> 2.60	<u>1.15</u> 0.54	<u>0.01</u> 0.00	<u>11.78</u> 5.63
Бруснично- лишайниковый (80)	<u>1.31</u> 0.63	<u>0.83</u> 0.40	–* –	<u>0.01</u> 0.00	<u>2.14</u> 1.03
Бруснично- лишайниковый (180)	<u>4.01</u> 1.92	<u>1.08</u> 0.51	<u>3.13</u> 1.48	<u>0.01</u> 0.00	<u>8.23</u> 3.91
Черничный свежий (170)	<u>56.38</u> 27.00	<u>6.35</u> 3.02	<u>3.18</u> 1.47	<u>0.11</u> 0.05	<u>66.02</u> 31.54
Черничный влажный (60)	<u>1.76</u> 0.85	– –	<u>1.83</u> 0.86	– –	<u>3.59</u> 1.71
То же (94)	<u>7.26</u> 3.50	<u>4.81</u> 2.40	<u>2.25</u> 1.06	<u>1.45</u> 0.68	<u>15.15</u> 7.37
Чернично-сфагновый (45)	<u>0.50</u> 0.20	– –	<u>1.20</u> 0.50	– –	<u>1.70</u> 0.70
То же (60)	<u>2.60</u> 1.20	– –	<u>1.30</u> 0.60	– –	<u>3.90</u> 1.80
То же (84)	<u>6.00</u> 2.90	<u>1.60</u> 0.80	<u>2.00</u> 1.00	<u>0.44</u> 0.22	<u>10.04</u> 4.92
То же (120)	<u>1.30</u> 0.60	<u>2.10</u> 1.00	<u>2.60</u> 1.20	<u>2.39</u> 1.10	<u>8.39</u> 3.90
То же (124)	<u>8.51</u> 4.07	<u>1.30</u> 0.62	<u>2.41</u> 1.13	<u>0.04</u> 0.02	<u>12.26</u> 5.84

*Нет данных или не выявлено.



Взаимосвязь массы ДД от возраста насаждения

В концентрации углерода органического вещества в ДД значима роль лесорастительных условий. В сосняках близких по этапу развития масса ДД выше в более продуктивных типах сообществ. Так, в перестойных 170-180-летних сосняках более высокие величины ДД выявлены в

сосняке черничном свежем, произрастающем на более плодородных почвах. Аналогичный вывод можно сделать в отношении спелых сосняков, где запасы ДД выше в сосняке черничном влажном по сравнению с чернично-сфагновыми.

Вклад отдельных компонентов в запасы углерода органического вещества в ДД зависит от стадии развития сосняка. Так, сухостойные деревья присутствуют во всех насаждениях, а их участие в общей массе ДД изменяется от 15 до 69 %. В средневозрастных сосняках, где процессы дифференциации деревьев по состоянию выражены слабо, валеж не выявлен, а его доля в общих запасах ДД остальных исследованных экосистем варьирует от 11 до 46 %. В свою очередь средневозрастные насаждения характеризуются значительным (33-71 %) вкладом прикрепленного ДД, представленного сухими ветвями. В остальных насаждениях сухие ветви составляют от 5 до 38 % от общей массы ДД. Участие остолопов и пней значительно в спелом сосняке чернично-сфагновом, в других экосистемах его роль незначительна.

Таким образом, среднетаежные сосняки характеризуются незначительными запасами углерода органического вещества, сосредоточенного в древесном дебрисе по сравнению с живой фитомассой. Большие концентрации отмечены в насаждении, находящимся на стадии распада древостоя. На массу ДД значительную роль оказывает стадия развития насаждения и лесорастительные условия.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук МК-6670.2016.5

Литература

1. Бобкова К. С., Кузнецов М. А., Осипов А. Ф. Запасы крупных древесных остатков в ельниках средней тайги Европейского Северо-Востока // ИВУЗ Лесной журнал, 2015. № 2. С. 9-20.
2. Кудеяров В. Н., Заварзин Г. А., Благодатский С. А., Борисов А. В., Воронин П. Ю., Демкин В. А., Демкина Т. С., Евдокимов И. В., Замолотчиков Д. Г., Карелин Д. В., Комаров А. С., Курганова И. Н., Ларионова А. А., Лопес де Гереню В. О., Уткин А. И., Чертов О. Г. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Изд-во Наука, 2007. 315 с.
3. Лесотаксационный справочник по Северо-Востоку европейской части Российской Федерации. Архангельск.: ОАО ИПП «Правда Севера», 2012. 358 с.
4. Russell M. B., Fraver S., Aakala T., Gove J. H., Woodall C. W., D'Amato A. W., Ducey M. J. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review // Forest Ecology and Management. 2015. V. 350. P. 107-128.

Н. В. Лиханова^{1,2}, К. С. Бобкова²

¹ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина»,

г. Сыктывкар

²ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

lihanad@mail.ru; bobkova@ib.komisc.ru

ПОТОКИ УГЛЕРОДА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-ФИТОЦЕНОЗ НА ВЫРУБКЕ ЕЛЬНИКОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

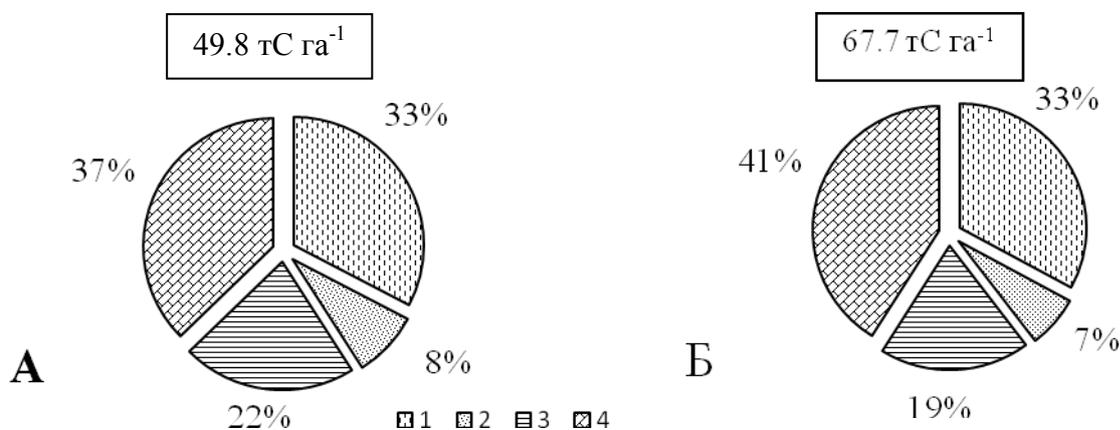
Исследования ориентированы на получение сведений о запасах углерода в системе почва-фитоценоз на вырубке еловых сообществ, а также об интенсивности процессов, обеспечивающих их современное функционирование в подзоне средней тайги Республики Коми. Количественная оценка современного состояния взаимодействия основных процессов углеродного цикла послужит основой для развития теории биопродукционного процесса и почвообразования в производных биогеоценозах представляют интерес для объективной оценки экологических последствий хозяйственной деятельности человека.

Исследования проводили в подзоне средней тайги на территории Чернамского стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН, (62°01' с. ш., 52°28' в. д.). В 1978 г. сотрудниками отдела лесобиологических проблем Севера под руководством К.С. Бобковой были заложены постоянные пробные площади в ельниках черничном влажном и долгомошно-сфагновом (Коренные еловые., 2006). В 2006 г. в этих ельниках в зимний период произведена сплошнолесосечная рубка с хлыстовой трелевкой древесины.

В ельнике черничном влажном количество растущих деревьев, оставленных в недорубе и семенниках, составляет 400, сухостойных – 30 экз. га⁻¹. Запасы не срубленных деревьев равны 42, сухостойных – 1.1 м³ га⁻¹. Валеж 185 и остолоп 65 экз. га⁻¹, заключают 18 м³ га⁻¹ древесины. Самосев и подрост 8315 экз га⁻¹ имеют состав БЕЗБ1РбедСОс. На вырубке ельника черничного влажного травяно-кустарничковый ярус (ТКЯ) пасечных участков с общим проективным покрытием (ОПП) 60 % образован черникой (*Vaccinium myrtillus* L.), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.), линнеей северной (*Linnaea borealis* sL.), майником двулистным (*Maiáanthemumbifólium* L.), осокой шаровидной (*Carex globularis* L.), хвощом лесным (*Equisetum sylvaticum* L.), луговиком извилистым (*Deschampsia flexuosa* L. Trin.). Мохово-лишайниковый ярус (МЛЯ) с ОПП 80-90 % формируют *Pleurozium schreberi* и *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowi*, пятнами встречаются *Polytrichum commune* и *Hylocomium splendens*, редко *Dicranum polysetum*. ТК Яволока с ОПП 50-60 % сформирован брусникой, линнеей северной, майником, ожикой волосистой (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), хвощом, луговиком извилистым, кипреем узколистым, иван-чаем (*Chamerionan gustifólium* L.). МЛЯ с ОПП 20-30 % образуют *Polytrichum commune*, *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowi*, *Pleurozium schreberi* и пятнами *Dicranum polysetum*.

В ельнике долгомошно-сфагновом при рубке оставлены тонкомерные деревья ели, сосны, березы и семенники в количестве 588 экз. га⁻¹, в которых заключено 38 м³ объема древесины. Сухостойные деревья (212 экз. га⁻¹) представлены елью и березой, валеж (223 экз. га⁻¹) с объемом древесины 5.9 и остолоп 81 экз. га⁻¹ с объемом древесины 2.1 м³ га⁻¹. Самосев и подрост в количестве 6770 экз. га⁻¹ удовлетворительного состояния формируют состав 7БЗЕ. Как на вырубке ельника черничного влажного, так и долгомошно-сфагнового имеется сухой подрост, который составляет, соответственно 6 и 3 % от общего количества подроста. На вырубке ельника долгомошно-сфагнового на пасечных участках ТКЯ с ОПП 70 %, произрастают черника, брусника, линнея северная, осока шаровидная, хвощ, луговик извилистый и иван-чай. Моховый ярус почти сплошной, доминирующее положение занимают *Polytrichum commune* и *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowi*, пятнами *Dicranum polysetum*. ТК Яволока с ОПП около 70 % состоит из брусники, линнеи северной, хвоща, луговика извилистого и иван-чая. МЛЯ с ОПП 60 % состоит из *Polytrichum commune* в сочетании *Sphagnum angustifolium*, *S. russowi*, *S. girgensohnii* и редко зелеными мхами.

Согласно методологии Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), оценку бюджета углерода необходимо проводить по 4 пулам: фитомассы, мертвой древесине, почве и подстилке (Руководящие указания по ..., 2003). Пул углерода на 4-летней вырубке ельников, составляет 96-106 т га⁻¹, большая часть (64-68%), которого концентрируется в почве (рис.). Углерод фитомассы на ранних стадиях формирования лесных насаждений образуют растения древостоя (недоруб, семенники), самосева, подроста и напочвенного покрова. Так, запасы углерода фитомассы древесных растений на вырубке ельника черничного влажного равны 16.3, а на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 22.3 т га⁻¹. Растения напочвенного покрова на вырубке ельника черничного влажного накапливают 8.8 т га⁻¹ органической массы или 4.1 тС га⁻¹, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового соответственно 9.6 т га⁻¹ или 4.6 тС га⁻¹.



Запасы углерода органического вещества растений, крупных древесных остатков и почвы на вырубке ельника черничного влажного (А), ельника долгомошно-сфагнового (Б):
1 – древесные растения; 2 – растения напочвенного покрова; 3 – КДО; 4 – почва

Крупные древесные остатки (КДО) включают сухостойные деревья, сухие ветви, растущих деревьев, валеж, обломки стволов и вершин срубленных деревьев. Как отмечалось ранее (Бобкова, Лиханова, 2012), в КДО на вырубке ельника черничного влажного концентрируется 22.6 т га⁻¹ фитомассы или 10.8 т С га⁻¹. Запасы фитомассы КДО на вырубке ельника долгомошно-сфагнового составляют 29.3 т га⁻¹ или 12.9 т С га⁻¹.

На вырубке ельников почва торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусовая (Gleyic Podzols). В почве данной вырубки аккумулируется 64.6-66.0 т С га⁻¹. В верхней части почвенного профиля четко выражена оторфованная подстилка АО мощностью 9-12 см на вырубке ельника черничного влажного и 9-15 см на вырубке ельника долгомошно-сфагнового. Общее количество углерода в органогенном горизонте вырубки ельника черничного влажного равно 18.6, ельника долгомошно-сфагнового – 27.8 т га⁻¹.

В продукции органического вещества (3.9 т га⁻¹) на вырубке ельника черничного влажного ежегодно накапливается 1.8 т га⁻¹ углерода. Прирост массы органического углерода хвои и листьев составляет 37.3%, ветвей – 17.2, древесины стволовой – 25.9, коры стволовой – 6.2, корней – 13.4 %. На вырубке ельника долгомошно-сфагнового годичный прирост растений составляет 4.6 т га⁻¹ или 2.2 т С га⁻¹. Соотношение отдельных органов, образующих продукцию углерода фитомассы растущих деревьев, следующее: на долю стволовой древесины приходится – 20.2 %, ветвей – 14.1, корней – 32.5, листьев (хвои) – 46.0, стволовой коры – 5.2 %. На вырубке ельников на переувлажненных почвах в формировании нетто-продукции и годичного входного потока углерода в почву основной вклад вносят растения напочвенного покрова. На вырубке обоих типов ельников основную часть продукции углерода фитомассы нижних ярусов формируют мхи (23-28 %) и корни кустарничков (39-44%).

Нами (Лиханова, 2014), выявлено, что масса углерода органического вещества, поступающего в почву с растительным опадом фитоценозов, на вырубке ельника черничного влажного составляет 1.5, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 1.7 т га⁻¹, что соответствует 4.3-4.8 % от запасов органического углерода фитоценозов, или 57.7-77.7 % от ежегодной его продукции. На вырубке рассматриваемых типов ельников на опад надземных органов приходится 55...60 %. Основную массу опада (89 %) образуют растения напочвенного покрова – мхи и травянистые растения.

Интенсивность разложения отдельных компонентов растительных остатков опада за год колеблется от 2.2 до 69.5 %. Отношение C/N в растительных остатках органогенного горизонта на вырубке фитоценозов составляет 32.7-35.0. Скорость минерализации растительных остатков опада на вырубке ельников невысокая – убыль в весе органического вещества в течение 1 года на вырубке ельника черничного влажного составила 35.6, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 36.0 %. В течение второго года разложения на вырубке ельника черничного масса органического вещества уменьшилась на 40.4, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – на 39.5 %. Причиной низкой способности разложения растительных остатков лесной подстилки являются как увеличение влажности почвы после рубки древостоя, так и значительное участие в составе органического вещества подстилки кукушкина льна и сфагновых мхов. В тканях, которых содержатся полифенольные комплексы, которые ослабляют минерализацию клетчатки (Аристовская, 1965). Переувлажнение и низкие температуры почвы замедляют процессы разложения растительных остатков, что приводит к формированию на вырубке ельников мощной подстилки.

Литература

1. Аристовская Т. В. Микробиология подзолистых почв. М.-Л.: Наука, 1965. 183 с.
2. Бобкова К. С., Лиханова Н. В. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках древостоев ельников средней тайги // Лесоведение, 2012. № 6. С. 44-54.
3. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв. Ред. К. С. Бобкова, Э. П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
4. Лиханова Н. В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», 2014. Вып. 3. С. 52-66.
5. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.

С. Н. Лябзина¹, Н. С. Сиккиля², О. А. Толстогузова¹, О. Э. Омарова¹

¹ФГБУЗ ВО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск slyabzina@petrsu.ru

²ГПЗ «Костомукшский», г. Петрозаводск

zamber.nat@mail.ru

К ИЗУЧЕНИЮ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ, ОБИТАЮЩИХ В ОРГАНИЧЕСКИХ СУБСТРАТАХ ЗАПОВЕДНИКА «КОСТОМУКШСКИЙ»

Заповедник «Костомукшский» располагается на северо-западе Республики Карелия и входит в состав международного российско-финляндского заповедника «Дружба». Заповедник расположен в северной подзоне тайги в пределах Кемского флористического района. Район исследования характеризуется доминированием грядового и холмисто-грядового рельефа с преобладанием соснового леса (83.7 %). Еловые леса (16 %) приурочены к подножьям склонов и долинам рек и ручьев. В приручейных понижениях встречаются березово-еловые и березовые заболоченные леса. Луга имеют органичное распространение, встречаются по берегу озера Каменного в местах бывших поселений. Они занимают 88 га или 0.2 % от площади заповедника. Здесь проходит северная граница ареала распространения для большинства видов растений и животных.

Изучение энтомофауны в заповеднике «Костомукшский» проводится российскими и зарубежными исследователями. Население почвенных беспозвоночных изучается с момента основания заповедника (1986 г.) основными наблюдениями (Летопись природы 1986–2014 гг.) и специальными методами почвенной зоологии (Рыбалов, Камаев, 2008 и 2011; Камаев, Рыбалов, 2015; Рыбалов, 2015). Часть работ направлена на выявление видового состава и динамики численности жужелиц в заповеднике (Кашеваров, 1999; Кашеваров, 2006). В период с 1995 по 2010 гг. финскими и российскими исследователями изучалась фауна Lepidoptera, Diptera и Hymenoptera (Leinonen, Itäemies, 2003, 2015; Горбач, Резниченко, 2009). Материалы инвентаризации энтомофауны свидетельствуют о том, что на обследованной территории сохранен естественный набор видов насекомых.

В данной работе впервые представлен состав жесткокрылых эфемерных субстратов. Целью исследования являлось изучение видового состава жуков, обитающих в органических субстратах (грибы, трупы животных) на территории заповедника.

Методы сбора

Исследования проводили в заповеднике «Костомукшский» (N64°30 E30°30) в июле – августе 2015 г. в двух типах биотопов – ельник черничный и сосняк лишайниковый. В работе применяли общепринятую методику сбора жуков-некробионтов. Приманки в опытах выкладывали либо на поверхность почвы, предварительно очищенной от растительности и дёрна, либо помещали в почвенную ловушку – пол-литровую банку, вкопанную по горлышко в землю. Приманки располагали на расстоянии более 100 м друг от друга, чтобы снизить аттрактивность. Наличие насекомых тщательно проверяли непосредственно на трупе и под ним. В качестве приманок использовали позвоночных животных рыба (плотва), птицы (куриные), млекопитающие (грызуны). Масса приманок – 30–300 г. Было разложено 15 приманок.

Кроме того, обследовано 20 грибов следующих видов: подберёзовик *Leccinum scabrum* (сем. Болетовые); сыроежка (*Russula*), серушка *Lactarius flexuosus*, козляк *Suillus bovinus* (сем. Suillaceae). Для сбора жуков гриб срезали на газету и собирали 20–25 % встреченных особей.

Сбор производили общепринятыми энтомологическими методами с использованием пинцета, энтомологического сачка. Обследование и сбор материала осуществляли ежедневно в течение всего периода разложения каждого трупа и роста грибов. В результате работы всего проанализировано 406 особей.

Результаты

В заповеднике «Костомукшский» на эфемерных субстратах отмечено 32 вида жуков, относящихся к 6 семействам (табл.). В комплексе наибольшее число видов представлено из семейства коротконадкрылые жуки (Staphylinidae) – 22, из них, большая часть принадлежит роду *Atheta* (6). Доминирующими видами на трупах и грибах являются *Atheta aenneipennis*, *At. paracrassicornis* *Tachinus proximus*, *Proteinus brachypterus*, *Sciodrepoides watsoni* и *Nicrophorus vespilloides*.

На трупах отмечено 27 видов из них доминирующие *S. watsoni*, *At. aenneipennis* и *N. vespilloides*. В процессе разложения происходит смена состава. Приманки обнаруживают на второй день разложения – это жуки рр. *Sciodrepoides* и *Nicrophorus*. По мере гниения и заселения некрофильными личинками двукрылых (на четвёртый-десятый день наблюдений) видовой состав значительно расширяется. Появляются представители родов *Megarathrus*, *Philonthus*, *Aleochara*. На поздних стадиях разложения, когда ткани сильно разжижены, встречаются представители *Omalium*, *Atheta gagatina*. В течение всего разложения на приманках встречаются *At. aenneipennis*, *T. proximus*, *P. brachypterus*, *S. watsoni*,

Из всех 11 видов жуков, встреченных на грибах, и 27 видов, обнаруженных на трупах животных, только шесть оказались общими между этими субстратами (табл.). Это паразитоид *Aleochara moerens*, сапрофаги *At. aenneipennis*, *At. gagatina*, *Atheta boleticola*, *At. paracrassicornis*, *T. proximus*,

Видовой состав жуков отмеченных на эфемерных субстратах
в заповеднике «Костомукшский»

Семейство	Вид	Субстрат	Абсолютное количество в сборах
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i> * (Linnaeus, 1758)	Т	2
Geotrupidae	<i>Anoplotrupes stercorosus</i> (Scriba, 1791)	Т	6
Leiodidae	<i>Catops alpinus</i> (Gyllenhal, 1827)	Т	7
	<i>Catops tristis</i> (Panzer, 1794)	Т	1
	<i>Sciodrepoides watsoni</i> * (Spence, 1815)	Т	34
Nitidulidae	<i>Nitidula bipunctata</i> * (Linnaeus, 1758)	Т	6
Silphidae	<i>Nicrophorus vespilloides</i> (Herbst, 1783)	Т	57
	<i>Oiceoptoma thoracica</i> (Linnaeus, 1758)	Т	16
Staphylinidae	<i>Aleochara fumata</i> * (Gravenhorst, 1802)	Г	2
	<i>Aleochara moerens</i> (Gyllenhaal, 1827)	Т, Г	7
	<i>Atheta aenneipennis</i> (Waterhouse 1877)	Т, Г	161
	<i>Atheta boleticola</i> (Sahlberg, 1876)	Т, Г	7
	<i>Atheta crassicornis</i> (Fabricius, 1792)	Т	5
	<i>Atheta gagatina</i> (Baudi, 1848)	Т, Г	3
	<i>Atheta nigritula</i> (Gravenhorst, 1802)	Г	1
	<i>Atheta paracrassicornis</i> (Brundin, 1954)	Т, Г	17
	<i>Atheta sodalis</i> * (Erichson, 1837)	Т	1
	<i>Atheta strandiella</i> * (Brundin, 1954)	Т	4
	<i>Atheta subtilis</i> * (Scriba, 1866)	Т	1
	<i>Lordithon lunulatus</i> (Linnaeus, 1761)	Г	2
	<i>Lordithon thoracicus</i> (Fabricius, 1777)	Г	5
	<i>Megarathrus proseni</i> * (Schatzmayr, 1904)	Т	1
	<i>Omalium rivulare</i> (Paykull, 1789)	Т	1
	<i>Omalium septentrionis</i> (Thomson, 1857)	Т	1
	<i>Creophilus maxillosus</i> * (Linnaeus, 1758)	Т	2
	<i>Ontholestes murinus</i> * (Linnaeus, 1758)	Т	5
	<i>Ontholestes tessulatus</i> * (Geoffroy, 1785)	Т	5
	<i>Philonthus politus</i> (Linnaeus, 1758)	Т	2
<i>Philonthus succicola</i> (Thomson, 1860)	Т	10	
<i>Proteinus brachypterus</i> (Fabricius, 1792)	Т	16	
<i>Tachinus pallipes</i> (Gravenhorst, 1806)	Г	1	
<i>Tachinus proximus</i> (Kraatz, 1855)	Т, Г	17	

* Вид, впервые отмеченный на территории заповедника «Костомукшский».

Примечание. Т – труп, Г – гриб.

В результате работы выявлены новые виды для фауны заповедника (табл.). Все отмеченные виды входят в комплекс некробинтного состава. Такие виды как *Necrobia violacea*, *Nitidula bipunctata* в своем развитии связаны исключительно с трупами.

Авторы выражают искреннюю признательность за помощь в определении материала и ценные советы ведущим специалистам В. Б. Семёнову (Институт медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е. И. Марциновского, ПМГМУ им. И. М. Сеченова, г. Москва) и В. К. Зинченко (Институт систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск)).

Литература

1. Горбач В. В., Резниченко Е. С. Видовой состав и распределение дневных бабочек (Lepidoptera, Diurna) в Юго-Восточной Фенноскандии // Уч. записки Петрозаводского государственного университета, 2009. № 7 (101). С. 31-39.
2. Камаев И. О., Рыбалов Л. Б. Население почвенной мезофауны катены бассейна реки Каменной заповедника «Костомукшский» // Труды Государственного природного заповедника «Костомукшский». Вып. 1. 30-летние научные исследования в заповеднике «Костомукшский» Ред. Сиккиля Н.С., Варкони Г., Кравченко А.В. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 104-113.
3. Кашевараев Б. Н. Видовой состав и многолетняя динамика жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в основных биотопах заповедника. Научные исследования в заповедниках и национальных парках России за 1998-2005 годы. (Отв. ред. Д. М. Очагов). М.: ВНИИприроды, 2006. Выпуск 3. Ч. 1. С. 184-185.
4. Летопись природы 1986-2014 гг., книги 1-29. На правах рукописи.
5. Рыбалов Л. Б. Насекомые почвенных беспозвоночных в старовозрастных лесах заповедника «Костомукшский» // Труды Государственного природного заповедника «Костомукшский». Вып. 1. 30-летние научные исследования в заповеднике «Костомукшский» Ред. Сиккиля Н. С., Варкони Г., Кравченко А. В. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 93-104.
6. Рыбалов Л. Б., Камаев И. О. Влияние гидротермического режима на структуру населения мезофауны в заболоченных почвах подзоны северной тайги Карелии (Костомукшский заповедник) // Материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В. В. Докучаева. Ростов-на Дону. 2008. 127 с.
7. Рыбалов Л. Б., Камаев И. О. Разнообразие почвенной мезофауны в северотаежных биогеоценозах бассейна реки Каменная (Карелия) // Известия РАН, серия Биологическая, 2011. N 4. С. 403-412.
8. Leinonen R., Itämies J. Butterflies and Moths (Lepidoptera) and insect pollinators (Hymenoptera and Diptera) in the Kostomuksha Nature Reserve (Russian Karelia) // Труды Государственного природного заповедника «Костомукшский». Вып. 1. 30-летние научные исследования в заповеднике «Костомукшский». Ред. Сиккиля Н. С., Варкони Г., Кравченко А. В. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 113-126.
9. Leinonen R., Itämies J. The Lepidopterous fauna of Nature Reserve Friendship. In: Heikkilä R., Lindholm T. (eds.). Biodiversity and conservation of boreal nature. Proceedings of the 10-years anniversary symposium of the Nature Reserve Friendship. The Finnish Environment, Nature and natural resources 485, Kainuu Regional Environment Centre. Vantaa. 2003. P. 187-192.

О. А. Макарова

ФБГУ «Государственный природный заповедник «Пасвик», пос. Раякоски
makarova5137@mail.ru; pasvik.zapovednik@yandex.ru

К ПРОГРАММЕ ВЕДЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА РЕДКИХ ВИДОВ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Первая Красная книга Мурманской области (ККМО) была опубликована в 2003 г., второе издание появилось спустя 10 лет – в 2014 г. (Красная..., 2003; 2014). Как известно, списки редких видов должны подновляться через каждые 10 лет. Считается, что за это время специалисты должны собрать сведения для нового списка видов, ранее включенных в ККМО, подтвердить их статус и внести соответствующие изменения. В связи с тем, что на изучение редких видов требуется время и значительное финансирование, 10 лет для сбора сведений по каждому виду, внесенных в региональную Красную книгу недостаточно (Макарова, Поликарпова, 2014).

Поэтому после публикации каждого нового списка, следует немедленно создавать Программу мониторинга на следующий ревизионный период. Она должна быть обеспечена специалистами и финансами. Для исследований нужно довольно жестко выбрать те виды, исследование которых крайне важно и явно приоритетно на предстоящий период. Остальные виды могут наблюдаться пассивно, в рамках утвержденной программы. Без такого мониторинга исследования будут носить «расплывчатый» характер и некоторые редкие виды, находящиеся на грани исчезновения, могут вообще выпасть из внимания специалистов. Поясним это на примере летяги.

Летяга (*Pteromys volans* L., 1758) относится к отряду Грызунов (Rodentia), семейству Летяги (*Pteromyidae*). Распространена довольно широко, занимая почти всю лесную зону Евразии от Финляндии до Сахалина. Но везде довольно редка. Летяга, как редкий вид, была включена в группу видов, подлежащих особому вниманию (бионадзор) и очерк был помещен в Красную книгу Мурманской области (Катаев, 2003). По мнению Семенова-Тян-Шанского О. И. (1982) из-за особенностей биологии летяга более тесно связана со старовозрастными и перестойными смешанными и лиственными лесами, и потому ее распространение на север весьма спорно. Сведений о встречах зверьков и тем более о численности вида в регионе отсутствуют. Северная граница ареала по-видимому не доходит до Мурманской области, хотя встречи ее в регионе возможны. Это было учтено при подготовке второго издания ККМО (2014), и летяга сохранила свое положение, осталась в группе бионадзора, т. е. в группе видов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской области.

Бойко Н. С. (2008), описывая наземных млекопитающих на юге Мурманской области по результатам многолетних наблюдений Кандалакшского заповедника, не упоминает в списке видов летягу. Катаев Г. Д. (2012) в список редких и исчезающих видов на Кольском полуострове внес 9 видов (норвежского и лесного леммингов, водяную и обыкновенную полевку, речного бобра, крошечную бурозубку, летучую мышь – северного кожанка, косулю и выдру). Т. е. за большой период наблюдений в Лапландском заповеднике и его окрестностях встреч с летягой не было зарегистрировано.

В Карелии летяга внесена в список видов со статусом 3 – редкий вид с сокращающейся численностью, встречи с ней отмечены в более южных районах этого региона (Данилов, 2007). В Архангельской области вид включен в список редких с категорией 4 – т.е. вид с неопределенным статусом, по которому нет достаточных данных (Мамонтов, 2008).

В Финляндии летяга в 1990-е гг. имела статус 4; отмечено, что численность ее стала сокращаться с 1930-1940-х гг. (Hokkanen, Fokin, 1998). В Красной книге Финляндии в 2010 г. у нее был статус VU-уязвимый вид, с сокращающейся численностью, как и в 2000 г., а в 2015 г. – NT – редкий вид, находящийся в состоянии, близком к угрожаемому (Suomen lajien uhanalaisuus, 2010; 2015). В Красных книгах Норвегии (Norsk rødliste for arter, 2010; 2015) и Швеции (Rödlistade arter i Sverig, 2010; 2015) летяга не указывается.

В связи с таким положением исключительный интерес представляет случай обнаружения летяги в Мурманске. В телевизионном сюжете 14.08.2015 г. прошла информация об одном из зеленых уголков г. Мурманска в районе Ледокольного проезда, где обитают белки и была замечена летяга. После выезда на место и подробных расспросов местного жителя Лихошапки А. Б. было установлено следующее. Много лет Лихошапка А. Б. ухаживает за этой площадкой, разводит цветы, подкармливает белок и птиц. Здесь богатая древесно-кустарниковая растительность. На другой стороне улицы прилегает зеленый массив. Это – заросли березы, различных ив, рябины и осины. Хвойных деревьев практически нет. Отсюда начинается подъем в тундру. На деревьях довольно высоко (около 3 м) развешены 3-4 дуплянки (домика), где поселились белки, которых он постоянно подкармливает и наблюдает за ними. В настоящее время обитает 3-5 белок. В самом конце февраля – начале марта 2015 г. была замечена необычная белка. Она отличалась от основных обитателей этого «живого» уголка – была заметно мельче, с маленькими ушками, крупными выпуклыми глазами. Окраска меха более светлого, чем у белки цвета, с желтоватым оттенком, отмечено светлое брюшко. При передвижении была неуклюжа, и сбоку были заметны какие-то складки. Держалась она в беличьей группе недолго, так как они ее встретили довольно агрессивно. Около недели она находилась в этом месте, заняв одну из дуплянок, а потом исчезла. Она также съедала подкормку (смесь разных кормов), особенно предпочитала семечки. Наблюдатель определил, что это – летяга и позднее подтвердил это, рассмотрев ее на фото. Зверька в полете ему не довелось увидеть, да и прыгать здесь было негде, так как заросли представляют собой густую сеть веток. Предположение, что летяга сбежала из домашнего зооуголка крайне маловероятно, хотя исключить этого нельзя.

Сфотографировать ее было трудно, так как светлого времени было мало, да и появлялась она в сумерках, находилась довольно высоко, вела себя осторожно. Все эти признаки действительно свидетельствуют о том, что эта – летяга, по-видимому, типичного для европейского подвида окраски зимнего меха – пепельно-серой с легким палевым оттенком. По внешнему виду и поведению она хорошо отличается от белки, и при внимательном рассмотрении определить вид не представляет особого труда.

Этот случай свидетельствует о том, что вполне вероятно летяга обитает в Мурманской области в подходящих для нее лесных станциях с преобладанием лиственных пород. Из-за малочисленности, скрытного образа жизни ее никто не наблюдал. Указывается, что летяги могут образовывать небольшие скопления на пригодных участках, которые могут находиться на некотором расстоянии друг от друга. Т. е. распространение летяги спорадично, что суживает возможности ее нахождения. В связи с изменением климата, заметным потеплением, вероятным изменением структуры лесов по разным причинам такие виды могут более активно продвигаться на север. Поэтому необходимо при составлении программы мониторинга видов, включенных в Красную книгу региона, на предстоящий ревизионный период включить в нее пункт по изучению летяги. По крайней мере, это нужно сделать в заповедниках Мурманской области. На этом примере мы должны сделать вывод о необходимости пересмотра списка наиболее важных для длительного мониторинга видов. Выбор группы видов – индикаторов одна из главных задач комиссии по ведению Красной книги Мурманской области. Постоянное внимание к редким видам является гарантом сохранения биоразнообразия региона.

Литература

1. *Бойко Н. С.* Наземные млекопитающие Кандалакши и ее окрестностей // Флора и фауна северных городов. Мурманск, 2008. С. 103-106.
2. *Данилов П. И.* Летяга // Красная книга Карелии. Петрозаводск, 2007. С. 140-141.
3. *Катаев Г. Д.* Летяга // Красная книга Мурманской области. Мурманск, 2003. С. 350-351.
4. *Катаев Г. Д.* Численность редких и исчезающих видов млекопитающих на Кольском полуострове // Труды Лапландского государственного заповедника. Вып. VI. М: Издательство «Перо», 2012. С. 328-331.
5. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Отв. ред. Н. А. Константинова, А. С. Корякин, О. А. Макарова, В. В. Бианки. Кемерово: «Азия-принт», 2014. 582 с.
6. *Макарова О. А., Поликарпова Н. В.* Региональные красные книги – основа Красной книги Баренцева региона // Матер. межд. рабочего совещания «Методы оценки угрозы исчезновения видов ...». Сыктывкар, 2014. Электронная версия. С. 11.
7. *Мамонтов В. Н.* Летяга // Красная книга Архангельской области. Архангельск, 2008. С. 311-312.
8. *Семенов-Тянь-Шанский О. И.* Звери Мурманской области. Мурманск, 1982. 175 с.
9. *Hokkanen H., Fokin I.* Pteromys volans. Red Data book of East Fennoscandia. Helsinki, 1998. P. 203-205.
10. The 2010 Red List of Swedish Species - Rödlistade arter i Sverig. Ulf. Gärdenfors ed. Uppsala, 2010. 590 pp.
11. The 2010 Norwegian Red List for Species - Norsk rødliste for arter 2010. Ed. by J.A. Kålås, Å.Viken, S. Henriksen, S. Skjelseth. Norwegian Biodiversity Information Centre, Norway. Trondheim, Artsdatabanken, 2010. 480 pp.
12. The 2010 Red List of Finnish Species. Ed. by P. Rassi, E. Hyvärinen, A. Juslén, I. Mannerkoski. Helsinki: Ministry of the Environment, Finnish Environment Institute, 2010. 685 pp.
13. <http://data.artsdatabanken.no/Rodliste/Artsgruppene/Pattedyr> 05.03.2016 (Norsk rødliste for arter 2015)
14. http://www.artdatabanken.se/media/2226/rodlistan_2015.pdf . 06.03.2016 (Rödlistade arter i Sverige 2015 - ArtDatabanken)
15. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/159434> 07.03.2016. Suomen nisäkkäiden uhanalaisuus 2015. Helsinki, 2016. 34 p.

О. А. Макарова, Н. В. Поликарпова

ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик», пос. Раякоски
pasvik.zapovednik@yandex.ru

ГАРМОНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВДОЛЬ ЗЕЛЁНОГО ПОЯСА ФЕННОСКАНДИИ

Концепция Зелёного пояса Фенноскандии (ЗПФ) уже более 20 лет обсуждается на разных совещаниях и рабочих встречах. Несмотря на большую заинтересованность России и Финляндии утвердить ЗПФ решением ЮНЕСКО как объект Всемирного Наследия, до настоящего времени эта идея находится в стадии обсуждения (Титов и др., 2009).

Впервые на российско-финляндском семинаре 25-29.01.1994 г. в Сыктывкаре представителем Мурманской области (О. А. Макарова, заповедник «Пасвик») было озвучено предложение под названием «Зелёная граница». Вдоль государственной границы России с Финляндией и Норвегией благодаря строгому пограничному режиму сохранились старовозрастные леса. Вопрос сохранения и изучения этой лесной ленты обсуждался в 1994-1995 гг. уже в Финляндии. Результатами работы этих совещаний был посвящен шестой номер Трудов биологической станции Оуланка от Университета Оулу. Проект получил название Зелёный пояс Фенноскандии (ЗПФ). Т. е. по обе стороны государственной границы паритетно создается сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Основная задача – сохранение старовозрастных лесов (Ruuhijarvi, Vasander, 1996). По мере развития проекта цели становилось больше, он стал обрастать более сложными задачами (Макарова, Khokhlov, 1996; Sazonov, Kravchenko, 1996; Юрковская, 2014; Крышень и др., 2014).

В 1995 г. только что созданная Ассоциация заповедников и национальных парков Северо-Запада России совместно с российским представительством Гринпис провела совещание в Петрозаводске по обсуждению проекта. Все ООПТ Северо-Запада, протянувшиеся в меридиональном направлении от Балтийского до Баренцева морей, подготовили материалы для отправки общего документа в штаб-квартиру ЮНЕСКО. Но проект продвигался медленно, проводились совещания, последние – в Рошино, Ленинградской области (2004), Петрозаводске (2008; 2015), Кухмо (2010), Котке (2012), Йозенсуу (2014), Хельсинки (2016), и практически на всех участниках были авторы статьи. В состав ЗПФ первоначально вошли ООПТ, расположенные непосредственно вдоль государственной границы России с Финляндией и Норвегией: в Карелии – Костомукшский заповедник и национальный парк «Паанаярви», на финляндской стороне – национальный парк Urho Kekkonen, парк «Дружба» и национальный парк Oulanka, в Мурманской области заповедники «Пасвик» и Лапландский, а в Норвегии «Pasvik naturreservat». Позже в состав ЗПФ вошел НП «Калевальский», и в ближайшее время могут быть включены проектируемые НП «Ладожские шхеры», Ингерманландский заповедник и соответственно финляндские приграничные территории. Предполагается также участие региональных ООПТ. До сих пор не решено, какова ширина ЗПФ, которая ограничивает вхождение в его состав, но условно она составляет около 50 км (Титов и др., 2009).

Сеть пограничных ООПТ идет за счет создания новых, а также преобразования существующих природных территорий. На основе союза трёх стран в 2008 г. был создан необычный по своему статусу Трёхсторонний парк «Пасвик-Инари», получивший сертификат Федерации EUROPARC (Макарова, Поликарпова, 2008; Поликарпова, Макарова, 2009) и повторно подтвердивший его в 2013 г. Каждая сторона внесла свой вклад в общую ООПТ: Норвегия – национальный парк «Øvre Pasvik», природный резерват «Pasvik» и одноименный ландшафтный заказник, Россия – заповедник «Пасвик», Финляндия – территорию дикой местности «Vätsäri», прилегающую к северо-восточному берегу оз. Инари. Площадь непрерывной трансграничной ООПТ на севере ЗПФ, равна 2 037 тыс. га.

За прошедшее время учеными, работающими вдоль ЗПФ, проведено немало совместных исследований, материалы опубликованы, составлены списки видов, разработаны базы данных (Разнообразие..., 2003; Биоразнообразие..., 2005; Зеленый пояс..., 2009). Отметим, что идея ЗПФ нашла понимание в Карелии и Финляндии, и в этом сыграли большую роль различные университеты Финляндии (в первую очередь Хельсинки), Карельский научный центр РАН, Санкт-Петербургский госуниверситет, Ботанический институт им. В. Л. Комарова. Многие исследования были совместными и выполнялись в рамках межправительственных программ в сфере охраны окружающей среды.

В Мурманской области целенаправленных проектов по реализации идеи ЗПФ было мало. В основном сотрудничество сводится к эпизодической инвентаризации видов, а фундаментальных работ по изучению местообитаний, старовозрастных лесов, болотных комплексов и т. д. на

территориях трех заповедников (Лапландский, Кандалакшский, Пасвик) крайне мало. Нужны совместные проекты и программы исследований по ЗПФ. Очевидно, заповедники служат эталонными стационарными площадками, где необходимо вести многолетние исследования и мониторинг (Поликарпова, Макарова, 2010), а не только проводить инвентаризационные мероприятия и работать по краткосрочным проектам.

ООПТ, расположенные вдоль ЗПФ, чаще работают автономно. Хотя заповедники используют единые подходы по ведению «Летописи природы» (Филонов, Нухимовская, 1985), но неохотно идут на тесное и конкретное сотрудничество для общего мониторинга. У заповедников Мурманской области есть опыт продуктивного взаимодействия: опубликованы данные календарей природы, урожайности ягод и грибов, фенологии растений и животных, делаются попытки сравнения других данных «Летописей природы» (Макарова и др., 2001, 2010; Shutova et al., 2004; Катаев, Макарова, 2007; Берлина и др., 2009; Макарова, Поликарпова, 2012; 2015). Есть опыт сравнения флор сосудистых растений и фауны позвоночных животных «Пасвика» и парка «Дружба» (Makarova et al., 2000).

В международном плане более активно сотрудничают между собой Парк «Дружба» – Костомушский заповедник, парк Oulanka – НП «Паанаярви», Urho-Kekkonen – Лапландский заповедник, Трёхсторонний парк «Пасвик-Инари». Опыт сотрудничества ООПТ разного статуса в Трёхстороннем парке «Пасвик-Инари» свидетельствует о необходимости использования методик, применяющиеся в трёх странах, разработке общих подходов, т. н. гармонизации методов исследований (Макарова, 2008а; 2008б; Поликарпова, Макарова, 2009). Такой опыт есть и между Карелией и Финляндией.

В настоящее время назрела необходимость выработки единых подходов к управлению, исследованию и сохранению всего Зелёного пояса. Для этого специалистами трёх стран в области природоохранного менеджмента была проделана значительная работа по подготовке важного межправительственного документа. Итогом стало подписание Меморандума о взаимопонимании между Министерством окружающей среды Королевства Норвегия, Министерством окружающей среды Финляндской Республики и Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации о сотрудничестве в области развития Зеленого пояса Фенноскандии, подписанный 17.02.2010 г. в г. Тромсё, Норвегия. Документ официально закрепляет трансграничное сотрудничество по ЗПФ, рекомендуя его развивать в этих странах на разных уровнях.

Совместная программа научных исследований

В настоящее время ведется разработка путей реализации намерений Меморандума, обсуждаются вопросы и механизмы организации совместной работы по изучению ЗПФ. Программа научной работы должна быть многосторонней, и иметь несколько направлений – естественно-научное, этнокультурное и социально-экономическое. Поэтому предлагаем наше видение общей программы.

Естественно-научный блок:

1. Инвентаризация биологического разнообразия флоры и фауны, изучение чужеродных видов, редкие виды и сотрудничество по подготовке Красных книг (Красная..., 2007: Красная..., 2014).

2. Инвентаризация и мониторинг состояния местообитаний/природных комплексов/биотопов (леса, болота, озерно-речная сеть), гармонизация терминологии и методов исследований, динамика ПТК, картографирование растительности, ландшафтов и почв, состояние животного мира (крупные млекопитающие, птицы, рыбы, беспозвоночные). Особое внимание следует обратить на установление широтных рубежей из-за разницы подходов в России и Финляндии и выделение экологических коридоров в пределах ЗПФ (Юрковская, 2014; Крышень и др., 2014).

3. Мониторинг состояния окружающей среды: изучение влияния предприятий (горно-металлургические и обогатительные предприятия, гидроэнергетика) на природные комплексы, оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха, вод, почв, биоты.

4. Исследования процессов изменения климата и их влияния на биоразнообразие: сезонная динамика природных комплексов, фенология растений и животных, составление календарей природы, анализ метеорологических показателей, прогнозирование и моделирование.

Этнокультурный блок (Макарова, Поликарпова, 2008; Титов и др. 2009):

5. Изучение историко-культурного наследия ООПТ.

6. Изучение и сохранение культурных ландшафтов.

7. Археологические исследования.

8. Изучение языков, обычаев и традиций коренных малочисленных народов, топонимика.

Социально-экономический блок:

9. Социологические исследования, опросы местного населения по развитию ЗПФ, созданию новых ООПТ и взаимодействию с существующими, исследование потенциальных конфликтов (социальных, экономических, политических, военных).

10. Развитие экологического просвещения и устойчивого природного туризма, изучение влияния туризма на природу ООПТ, расчеты уровней допустимой нагрузки.

11. Изучение и поддержка традиционных способов природопользования.

12. Расчет экономической ценности ООПТ.

По нашему мнению, контроль состояния лесных экосистем должен стоять во главе угла проекта. Важно проследить изменение северной границы леса; особенно важно в связи с изменением климата наладить мониторинг функционирования лесов вдоль всего пояса с севера на юг, для чего использовать имеющиеся стационары и оборудовать новые (Макарова, 2008а). Международная программа мониторинга лесов ICP-Forests может быть основой, тем более что вдоль ЗПФ уже имеется несколько стационаров, в том числе, в заповедниках «Пасвик» и Лапландском. В заповедниках традиционно проводится оценка семеношения хвойных пород, которую можно использовать для анализа процесса естественного возобновления лесов (Макарова и др., 2010). Интересно оценить состояние ягодных угодий вдоль всего пояса, и здесь могли бы использоваться материалы, собранные сотрудниками ООПТ в течение многих лет (Поликарпова, Макарова, 2010).

Актуальными остаются вопросы взаимоотношения сосны и ели в лесах ЗПФ (Макарова, Поликарпова, 2011), лесопатологическое состояние ЗПФ, выявление динамики фитопатологических процессов, вспышек численности насекомых-вредителей и другие. Опыт работы трех заповедников Мурманской области, Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН и норвежского Экологического центра (Сванховд) по фенологическим наблюдениям (Макарова и др., 2001) может быть использован и в рамках ЗПФ. Это важно не только для понимания механизмов функционирования лесных экосистем, но и развития исследований тенденций изменения климата, их влияния на природные процессы (Shutova et al., 2004; Макарова, Поликарпова, 2012, 2015).

Вопрос состояния объектов животного мира требует внимательного подхода. Необходимо продумать, как можно использовать материалы ООПТ вдоль ЗПФ для оценки состояния популяций видов с севера на юг. Например, в заповедниках и нацпарках России ежегодно проводится зимний маршрутный учет следов зверей и встреч птиц (ЗМУ), и эти материалы могут лечь в основу мониторинга млекопитающих вдоль ЗПФ. В этой связи целесообразно начать разработку общей схемы учетных маршрутов, сверку методик, в первую очередь для ЗМУ, а также учета тетеревиных и водоплавающих птиц.

В единую программу мониторинга могут быть включены исследования экологии отдельных видов животных. Список видов будет обсуждаться при составлении программы в будущем. Но уже сейчас общим видом для мониторинга несколько лет служит бурый медведь, как объект генетического изучения пограничной популяции (Макарова 2008б; Kopatz et al., 2012). Крайне важно проследить динамику численности и плотности популяции лося и северного оленя, косули, пути миграций вдоль ЗПФ. Изучение численности и популяционных циклов мелких млекопитающих позволит глубже понять развитие животного мира в целом, и в лесах на пограничных территориях (Катаев, Макарова, 2007). Перспективным видом для целей состояния водных экосистем является пресноводная жемчужница и другие редкие виды, включенные в Красные книги (Polikarpova et al., 2010; Красная., 2007; Красная., 2014; Suomen lajien uhanalaisuus, 2015; Norsk rødliste, 2015).

Особое внимание стоит уделить миграциям птиц, некоторым охотничьим и редким видам (Макарова, 2006; Хлебосолов и др., 2007; Ханс Сконнинг, 2014). Можно предложить изучение гоголя – как вида-индикатора, т. к. это один из самых распространенных видов (Бианки, 1999). Используя искусственные гнездовья, мы получим сравнимый материал по численности вида, особенностям питания, размножения и другим экологическим характеристикам. Сравнительный аспект представляет большой интерес для ООПТ ЗПФ

Сбор и использование научной информации

Одной из первоочередных и труднейших задач становится анализ материалов «Летописей природы», собираемых ООПТ, проведение гармонизации, отбор наиболее важных и общих направлений. Гармонизация методов становится наиважнейшим аспектом сотрудничества. Площадки и маршруты мониторинга стоит оценить на предмет их репрезентативности, стационары обозначить в натуре и описать по единому формату. Эти установочные сведения являются опорой в дальнейшей работе.

Информация баз данных юридически должна быть защищена, доступ к ней для членов ЗПФ необходимо сделать открытым. Результаты исследований важно оперативно публиковать и доводить их до сведения общественности, вырабатывать рекомендации для структур власти разного ранга. Для этого возможно использовать уже имеющийся формат – выпуски трудов Карельского научного центра

академии наук под названием «Зеленый пояс Фенноскандии». Продвижение концепции ЗПФ в общество даст дополнительную поддержку на местах, будет способствовать формированию экологического сознания, что позволит не только сохранить природу, но и улучшить развитие регионов, укрепить международное сотрудничество, в том числе и в рамках Зелёного пояса Европы.

Литература

1. Берлина Н. Г., Макарова О. А., Поликарпова Н. В., Москвичева Л. А. К мониторингу грибов на Кольском полуострове // Макромицеты бореальной зоны: сборник материалов научно-практич. конференции. Красноярск, 2009. С. 28-31.
2. Бианки В. В. Кологии утиных птиц реки Паз (Северная Фенноскандия) // Русский орнитологический журнал, 1999. Экспресс-выпуск. № 65. С. 3-20.
3. Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Труды Карельского научного центра РАН, 2005. Вып. 8. 152 с.
4. Зеленый пояс Фенноскандии. Труды Карельского научного центра РАН, 2009 № 2. 152 с.
5. Катаев Г. Д., Макарова О. А. Мониторинг населения мелких млекопитающих в горных районах северо-запада России и Фенноскандии // Млекопитающие горных территорий. Матер. междунаучн. конф. Нальчик, 2007. С. 147-151.
6. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е. Кемерово: Изд-во «Азия-Принт», 2014. 582 с.
7. Красная книга Республики Карелия / Ред. Ивантер Э. В., Кузнецов О. Л. Петрозаводск, 2007. 368 с.
8. Крышень А. М., Литинский П. Ю., Геникова Н. В., Костина Е. Э., Преснухин Ю. В., Ткаченко Ю. Н. О выделении экологических коридоров в пределах Зеленого пояса Фенноскандии // Труды Карельского научн. центра РАН, 2014. № 6. С.157-161.
9. Макарова О. А. Значение заповедников Мурманской области для мониторинга глобальных и климатических изменений // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы Всерос. научн. конф. с международ. участием. Часть 2. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008а. С. 152-155.
10. Макарова О. А. Изучение популяции бурого медведя в регионе Пасвик- Инари // Труды гос. природного заповедника «Пасвик». Вып. 1. Рязань, 2008б. С. 7-19.
11. Макарова О. А. Использование ООПТ для целей мониторинга за миграциями птиц // Миграционные пути и стоянки птиц в Восточной Фенноскандии. СПб., 2006. С. 37-38.
12. Макарова О.А., Поликарпова Н. В. Еловые рефугиумы на севере Зеленого пояса Фенноскандии // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. Материалы Всерос. науч. конф. с междунауч. участием. Т. 1. СПб, 2011. С. 155-158.
13. Макарова О. А., Поликарпова Н. В. Календарь природы заповедника «Пасвик»: анализ за 20 лет // Материалы междунауч. науч.-практ. конф., посвящ. 115-летию со дня рожд. выдающ. советского фенолога В.А. Батманова. Екатеринбург, 2015. С. 139-154.
14. Макарова О. А., Поликарпова Н. В. Календарь природы заповедника, как основа для изучения изменений в природе // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. IV Всерос. науч. конф. с междунауч. участием. Ч. 2. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2012. С. 130-135.
15. Макарова О. А., Поликарпова Н. В. Результаты международного сотрудничества заповедника «Пасвик» в сохранении природного и культурного наследия // Особо охраняемые природные территории. СПб, 2008. С. 475-480.
16. Макарова О. А., Поликарпова Н. В., Берлина Н. В., Исаева Л. Г., Зануздаева Н. В., Москвичева Л. А. О семеношении хвойных пород в заповедниках Мурманской области // Первые междунауч. Беккеровские чтения. Ч. 1. Волгоград, 2010. С. 133-136.
17. Макарова О. А., Похилько А. А., Кушель Ю. А. Сезонная жизнь природы Кольского Севера. Мурманск, 2001. 68 с.
18. Поликарпова Н. В., Макарова О. А. Мониторинг урожайности ягодников в заповеднике «Пасвик» // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы III Всерос. науч. конф. с междунауч. участием. Ч. 1. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. С. 123-126.
19. Поликарпова Н. В., Макарова О. А. Трехсторонний парк «Пасвик-Инари» // Сохранение биоразнообразия наземных и морских экосистем. Мурманск, 2009. С. 215-219.
20. Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск, 2003. 262 с.
21. Титов А. Ф., Буторин А. А., Громцев А. Н., Иешко Е. П., Крышень А. М., Савельев Ю. В. Зеленый пояс Фенноскандии: состояние и перспективы развития // Труды Карельского научного центра РАН, 2009. № 2. С. 3-11.
22. Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР. М., 1985. 143 с.

23. Ханс Сконнинг Первый орнитолог Пасвика / Сборник. Сост. О. Макарова, Н. Поликарпова, И. Зацаринный, Р. Э. Сконнинг-Кольстрём, М. Трусова. Рязань, 2014. 272 с.
24. Хлебосолов Е.И., Макарова О.А., Хлебосолова О.А., Поликарпова Н.В., Зацаринный И.В. Птицы Пасвика. Рязань, 2007. 175 с.
25. Юрковская Т. К. Широкие рубежи растительного покрова и экотоны вдоль Зеленого пояса Фенноскандии // Труды Карельского научного центра РАН, 2014. № 6. С. 53-63.
26. <http://data.artsdatabanken.no/Rodliste/Artsgruppene/Pattedyr> 05.02.2016 (Norsk rødliste for arter 2015).
27. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/159434> 07.02.2016. Suomen nisäkkäiden uhanalaisuus 2015. Helsinki, 2016. 34 p.
28. Kopatz A, Eiken H.G, Hagen S.B, Ruokonen M., Esparza-Salas R., Schregel J, Kojola I, Smith ME, Warttainen I, Aspholm PE, Wikan S, Rykov A, Makarova O, Polikarpova N, Tirronen KF, Danilov PI, Aspi J. 2012. Connectivity and population subdivision at the fringe of a large brown bear (*Ursus arctos*) population in North Western Europe // Conservation Genetics 13(3): 681-692. DOI: 10.1007/s10592-012-0317-2. Springer Netherlands.
29. Makarova O. A., Khlebosolov Ye. I., Kashevarov B. N., Heikkilä R. 2000. Species diversity of plants and animals in the Friendship and Pasvik Nature Reserves // Biodiversity and conservation of boreal nature (Nature Reserve Friendship 10 years anniversary symposium). Kuhmo. P. 30.
30. Makarova O. A., Khokhlov A. M. 1996. Prospect of cooperation on the conservation, study and management of nature in the common boundary region (Inari-Paaz basin). Oulanka reports 16. Oulu. P. 89-91.
31. Polikarpova N. V., Makarova O. A., Golubev B. F., Golubeva E. B. Pearl mussel in the Nautsijoki river, Pasvik – Inari area (Kola Peninsula, border between Russia, Norway and Finland) // Conservation of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* populations in Northern Europe. Petrozavodsk, 2010. P. 69-75.
32. Ruuhijarvi R., Vasander H. 1996: Russian-Finnish cooperation in nature conservation in the bordering regions of North-West Russia. Oulanka reports 16. Oulu. P. 7-10.
33. Sazonov S. V., Kravchenko A. V. 1996: Establishment of a network of protected nature territories in the border zone of Karelia and Finland. Oulanka reports 16. Oulu. P. 115-120.
34. Shutova E., Makarova O., Haraldsson E., Berlina N., Filimonova T., Aspholm P. E., Karlsen S. R., Hogda K. A., Wielgolaski F. E. 2004. Autumn yellowing of the Nordic mountain birch in relation to climate at Kola peninsula (Russia) and along the Pasvik river west Kola / Proceeding of conference "Climate change in high latitudes". Bjerknes centerary, Bergen, Norway. P: 166-167.

В. А. Мязин, В. В. Редькина

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
myazin@inep.ksc.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЛАКОВ *PHALAROIDES ARUNDINACEA* И *FESTUCA PRATENSIS* ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Фиторемедиация – посев устойчивых к загрязнению растений – является одним из приемов восстановления нефтезагрязненных почв. За счёт благоприятных условий, создаваемых в ризосфере, интенсифицируется процесс биологической деструкции углеводов. Так, например, сапонин, присутствующий в составе корневых экссудатов, увеличивает биодоступность углеводов для микроорганизмов, а оксидоредуктазы участвуют в разложении углеводов (Новоселова, Киреева, 2009).

Для проведения этапа фиторемедиации в различных природно-климатических зонах России рекомендованы следующие виды растений: овсяница красная и луговая, тимофеевка луговая, мятлик луговой, костер безостый, райграсс пастбищный, крестовник скученный, лисохвост луговой, рожь озимая, овес, овсюг, донник, рапс, сурепица, люцерна, свербига, козлятник, кукуруза, подсолнечник, вика, клевер, суданская трава (Салангинас, 2003; Надыкта, Негри, 2006; Григориади, 2010; Попов, 2010; Шарапова и др., 2011).

В результате полевых исследований на территории Мурманской области установлено, что наибольшей устойчивостью к загрязнению нефтепродуктами отличались рожь многолетняя, овсяница луговая, двукосточник тростниковидный, волоснец песчаный (Евдокимова и др., 2007; Евдокимова и др., 2009).

Целью работы была оценка возможности применения двукисточника тростниковидного (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch) и овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.) на этапе фиторемедиации при восстановлении почвы, загрязненной нефтепродуктами, в почвенно-климатических условиях Мурманской области.

Объекты и методы

Полевые исследования проводили на территории Полярной опытной станции Всероссийского института растениеводства. Почва на участке проведения полевого опыта – агрозём Al-Fe-гумусовый на песчаных озёрно-ледниковых отложениях. Пахотный горизонт 0-20 (25) см. Почва характеризуется слабокислой или нейтральной реакцией среды ($pH_{вод} = 6.3-6.6$), содержание С – 3.38 %, N – 0.3 %, Ca – 2.26 мг-экв/100 г, Mg – 0.41 мг-экв/100 г. Для экспериментальной площадки был выбран участок, ранее выведенный из севооборота и оставленный под паром. В процессе подготовки почву перекапывали на глубину до 20 см после чего вносили смесь дизельного топлива марки Л-0.2-62 (ГОСТ 305-82) и топочного мазута марки М-100 (ГОСТ 10585-99) в пропорции 1.5:1 в количестве 10 л/м². Через 1 сут после загрязнения для очистки и восстановления в почву вносили мелиоранты – минеральные и органические удобрения, а также минеральные удобрения и бактериальный препарат (Мязин, 2014). Один загрязненный участок оставили без обработки. В качестве контрольного варианта был участок с незагрязненной почвой. Площадь каждого варианта 1 м², повторность вариантов – трехкратная.

На второй год после загрязнения на все участки произвели посев двукисточника тростниковидного и овсяницы луговой (норма высева семян – 3 г/м²). Перед посевом, а также в начале каждого последующего вегетационного периода, в почву вносили минеральное удобрение «Азофоска» в количестве 60 г/м².

В конце каждого вегетационного периода в течение 4-х лет после загрязнения определяли биомассу и высоту надземной части растений, а также содержание углеводов в почве методом ИК-спектрометрии (Методика выполнения..., 1998).

Результаты и обсуждение

Исходное содержание углеводов в слое почвы 0-10 см через сутки после загрязнения – 57.94 ± 1.08 г/кг. В результате просачивания вглубь почвенного профиля, испарения и фотоокисления летучих фракций, а также благодаря работам по очистке почвы, проведенным за первый вегетационный период, удалось добиться снижения содержания углеводов на 80-83 %. Таким образом, перед посевом растений содержание нефтепродуктов составляло 9.67 ± 0.26 г/кг. В почве, оставленной без обработки, содержание НП снизилось на 68% и составляло 18.53 ± 1.37 г/кг (рис.1).

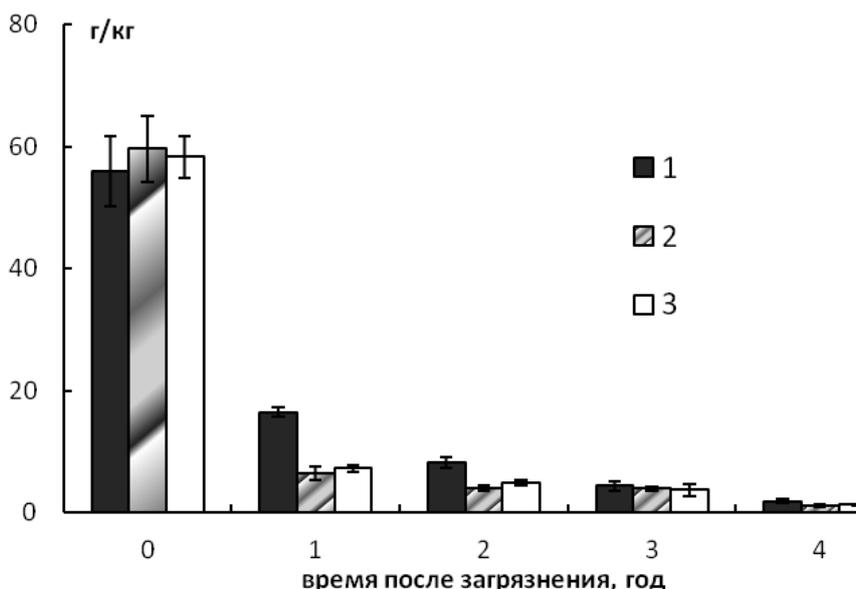


Рис.1. Содержание углеводов в слое почвы 0-10 см.

1 – без внесения мелиорантов; 2 – с внесением минеральных и органических удобрений;
3 – с внесением минеральных удобрений и бактериального препарата

Через 4 года после загрязнения содержание нефтепродуктов в слое почвы 0-10 см снизилось до уровня ОДК как для светлых, так и для темных нефтепродуктов, применительно к подзолистым почвам таежно-лесных районов (Пиковский и др., 2003), и не превышало 2 г/кг.

Учет морфологических показателей растений в конце первого вегетационного периода после посева показал, что биомасса двукисточника в вариантах с внесением удобрений и бактериального препарата была на 42-61 % ниже, а высота растений – на 30-46 % ниже, чем в чистой почве. Биомасса и высота овсяницы отличались от контрольных значений на 42-55 % и 23-43 % соответственно. На участке без проведения восстановительных работ были отмечены единичные всходы двукисточника, растения были сильно угнетены и в дальнейшем погибали (рис.2).

В конце второго вегетационного периода биомасса двукисточника в вариантах с внесением удобрений и бактериального препарата была на 27-59 % выше, чем в чистой почве, а высота растений достоверно не отличалась от контрольных значений (рис.3). Биомасса овсяницы превышала контрольные значения в среднем на 15 %, а высота растений была ниже на 10-21 %. На участке без проведения восстановительных работ были отмечены единичные всходы двукисточника и овсяницы, растения были сильно угнетены, но сохранили способность к росту. Биомасса двукисточника и овсяницы в этом варианте составляла не более 10-15 % от контрольных значений, в то время как высота отдельных растений достигала контрольных показателей в чистой почве.

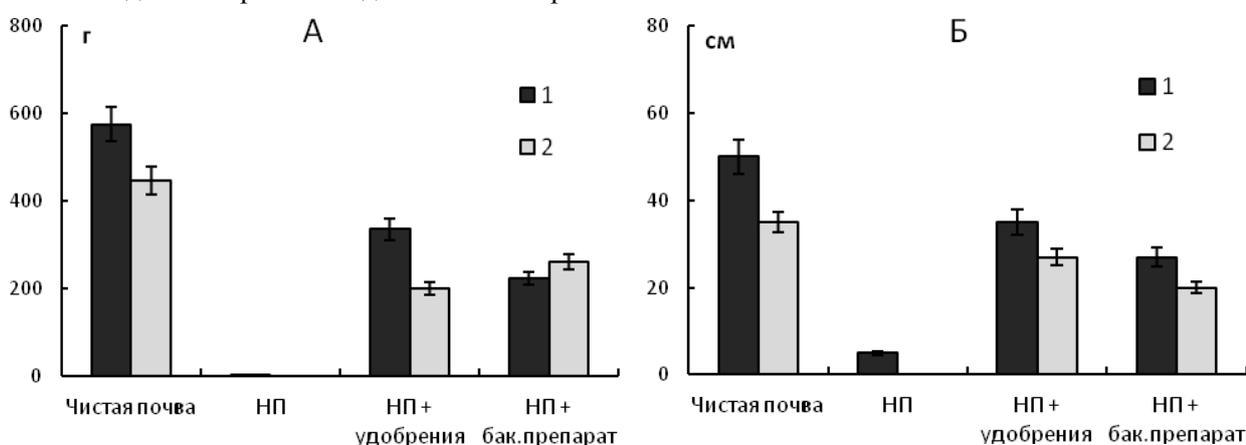


Рис.2. Биомасса (А) и высота (Б) растений в конце первого сезона фиторемедиации.

1 – *Phalaroides arundinacea*; 2 – *Festuca pratensis*.

Здесь и далее: НП – загрязненная почва без мелиорантов, НП+удобрения – загрязненная почва с внесением минеральных и органических удобрений, НП+бак.препарат – загрязненная почва с внесением минеральных удобрений и бактериального препарата

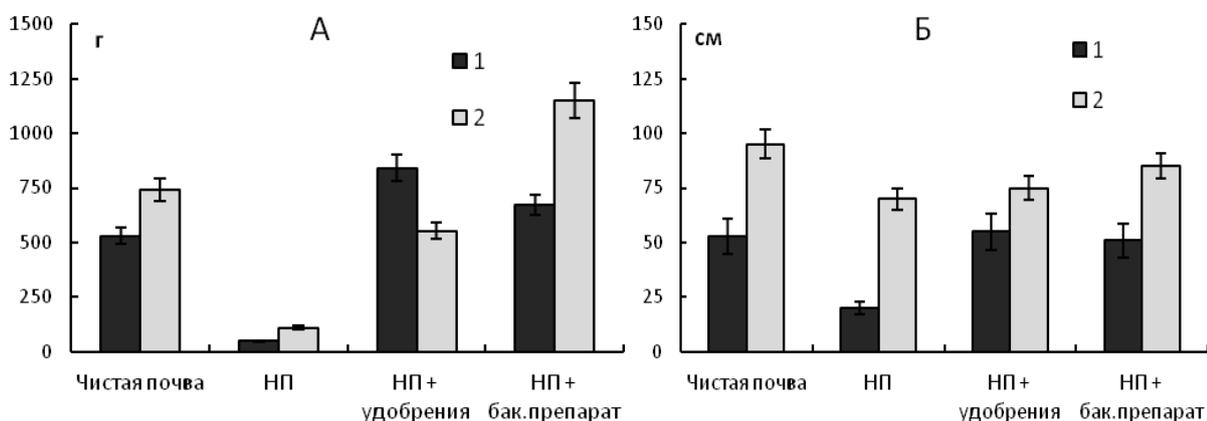


Рис.3. Биомасса (А) и высота (Б) растений в конце второго сезона фиторемедиации.

1 – *Phalaroides arundinacea*; 2 – *Festuca pratensis*

В конце третьего сезона фиторемедиации биомасса двукисточника в вариантах с внесением мелиорантов превышала контрольные значения на незагрязненной площадке на 46-51 %. Высота растений достоверно не отличалась от контрольного варианта (рис.4). Биомасса и высота овсяницы

была немного ниже, чем в чистой почве (на 6-31 % и 7-25 % соответственно). На участке без проведения восстановительных работ биомасса двукисточника и овсяницы была в 3 раза меньше контрольных значений, в то время как высота растений была сопоставима с контрольными.

Учет исследуемых показателей в конце четвертого года наблюдений показал, что биомасса двукисточника превышала значения контрольного варианта в 2.2-2.6 раз, в то время как разница в высоте растений статистически не достоверна (рис.5). Биомасса овсяницы была выше контрольных значений на 18-33 %, а высота растений также достоверно не отличалась от контрольных. На участке без проведения мероприятий по очистке почвы к концу четвертого вегетационного периода биомасса и высота двукисточника достигли контрольных значений. Биомасса овсяницы была в 2 раза ниже контрольных показателей, а высота растений – сопоставима с их высотой на незагрязненном участке.

Анализ данных показал, что разница между биомассой двукисточника и овсяницы в контрольных условиях чистой почвы не превышала 40 % в течение всего периода наблюдений. На загрязненных участках с внесением мелиорантов разница между значениями биомассы этих растений в течение первых двух лет составляла 12-18 %, а на 3-й и 4-й сезоны мы наблюдали увеличение биомассы двукисточника в 2.1-2.6 раз, в то время как биомасса овсяницы оставалась на уровне значений, характерных для чистой почвы.

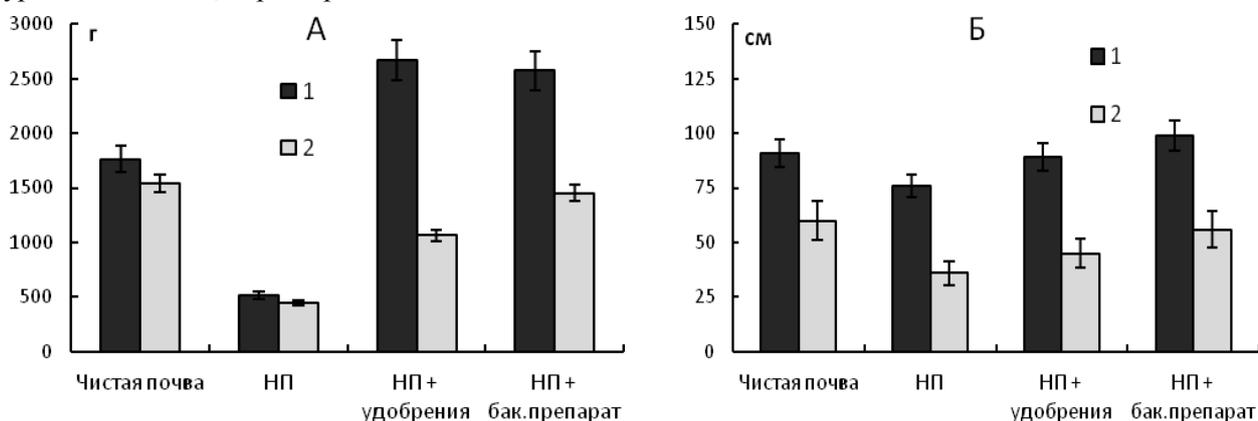


Рис.4. Биомасса (А) и высота (Б) растений в конце третьего сезона фиторемедиации.
1 – *Phalaroides arundinacea*; 2 – *Festuca pratensis*

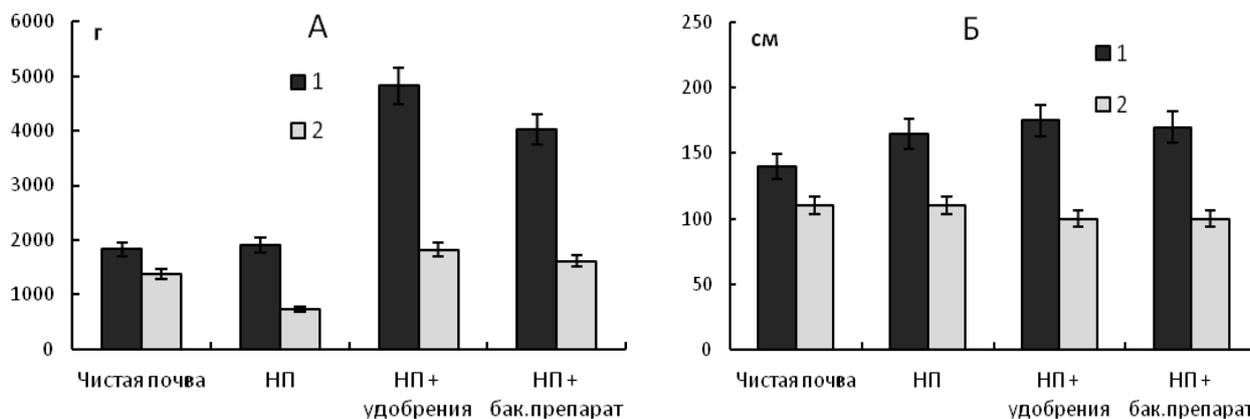


Рис.5. Биомасса (А) и высота (Б) растений в конце четвертого сезона фиторемедиации.
1 – *Phalaroides arundinacea*; 2 – *Festuca pratensis*

Стоит отметить, что остаточное содержание углеводов в почве более 10 г/кг привело к существенному снижению эффективности проведения фиторемедиации. Большинство всходов двукисточника и овсяницы погибли к концу первого вегетационного периода. Появление жизнеспособных растений на загрязненном участке без предварительной обработки мелиорантами было отмечено на второй год проведения фиторемедиации. Через год биомасса растений на этом участке достигла трети от контрольных значений, а в конце четвертого года биомасса двукисточника достоверно не отличалась от показателей для чистой почвы. В то же время биомасса овсяницы все еще была в 2 раза ниже контрольных значений.

Заключение

В результате проведенного исследования можно сказать, что *Phalaroides arundinacea* и *Festuca pratensis* показали высокую устойчивость к загрязнению почвы нефтепродуктами. При этом двукисточник оказался менее чувствительным к загрязнению и в данных условиях обладал в 2 раза большей биомассой и высотой растений, по сравнению с овсяницей, что дает ему преимущество при проведении этапов фиторемедиации.

Целесообразно проводить фиторемедиацию с посевом вышеупомянутых злаков при остаточном содержании углеводов в почве не более 10 г/кг, а также использовать минеральные удобрения для снижения дефицита питательных элементов.

Литература

1. Григориади А. С. Оценка эффективности применения биопрепаратов и фитомелиорантов в биоремедиации нефтезагрязненных почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.06, 03.02.08. Уфа, 2010. 24 с.
2. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П., Корнейкова М. В., Ахтулова Е. М., Михайлова И. В. Воздействие загрязнения почв дизельным топливом на растения и ризосферную микробиоту // *Агрехимия*, 2007. № 12. С. 49-55.
3. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П., Михайлова И. В. Способы биоремедиации почв Кольского Севера при загрязнении дизельным топливом // *Агрехимия*, 2009. № 6. С. 61-66.
4. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. М., 1998. 15 с.
5. Мязин В. А. Разработка способов повышения эффективности биоремедиации почв Кольского Севера при загрязнении нефтепродуктами (в условиях модельного эксперимента): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Апатиты, 2014. 167 с.
6. Надыкта В., Негри К. Ремедиация почв, загрязненных углеводородами нефти // III Международная конференция «Международное сотрудничество в биотехнологии: Ожидания и реальность»: тезисы докладов. Пущино, 2006. С. 103.
7. Новоселова Е. И., Киреева Н. А. Экологически безопасный метод ускорения трансформации нефти в почвах // *Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований*. Том IV: Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития; под ред. проф. Латыповой В. З. и доц. Яковлевой О. Г. Казань: Изд-во «Отечество», 2009. С. 189-191.
8. Пиковский Ю. И., Геннадиев А. Н., Чернянский С. С., Сахаров Г. Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // *Почвоведение*. 2003. № 9. С. 1132-1140.
9. Попов А. И. Биологическая рекультивация буровых площадок в Ненецком АО // *Антропогенная трансформация природной среды: материалы международной конференции*. Т. 3. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2010. С. 245-247.
10. Салангина Л. А. Оценка эффективности применения сидеральных культур в биорекультивации загрязненных нефтью земель // *Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы международного совещания*. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 193-195.
11. Шарипова И. Э., Маслова С. П., Табаленкова Г. И., Лантева Е. М. Биоремедиация нефтезагрязненной почвы при выращивании корневищного злака двукисточника тростниковидного // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2011. № 11. С. 42-47.

Е. А. Пинаевская

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск
aviatorov8@mail.ru*

ФОРМОВАЯ СТРУКТУРА И РОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Среди многих народохозяйственных проблем Европейского Севера России особое место занимают проблемы сохранения и рационального использования лесов, в том числе притундровых, расположенных на обширных территориях по северной границе ареала лесной растительности.

До сих пор это своеобразное природное образование слабо изучено, хотя давно вовлечено в хозяйственный оборот, и темпы использования биологических ресурсов притундровых лесных экосистем постоянно возрастают. Весьма различны представления о структуре и свойствах лесных экосистем Крайнего Севера. Народохозяйственное и планетарное экологическое значение лесов Крайнего Севера исключительно велико. Несомненна их определяющая роль в формировании климата Восточно-Европейской равнины. Притундровые леса выполняют важнейшую средообразующую функцию.

Исследования проведены в притундровых популяциях низовья р. Мезени. Лесоводственно-геоботаническое описание, таксационную характеристику древостоев давали общепринятыми методами (Анучин, 1982; ОСТ 56-69-83). Изучено формовое разнообразие сосны обыкновенной (частота встречаемости деревьев с разным типом апофиза, шириной кроны, интенсивностью роста), определены морфометрические показатели вегетативной сферы (размеры ствола и кроны, макроструктурные показатели древесины) у форм, выделенных по типу апофиза семенных чешуй шишек (*f. gibba* Christ – «выпуклый»; *f. plana* Christ – «плоский») (Правдин, 1964). Для изучения изменчивости радиального прироста сосны был проведен отбор кернов древесины ствола. Измерения ширины годичных слоев проводили методом световой микроскопии с помощью окуляр-микрометра с точностью ± 0.05 мм (Cook, 1985). По средним значениям радиального прироста разных форм выстраивались дендрохронологические ряды. Выявление закономерностей во временных рядах радиального прироста осуществляли методом скользящего осреднения (Битвинскас, 1974). Для количественной характеристики колебаний прироста и оценки силы стресса применяли различные коэффициенты и индексы (Матвеев, 1999; Шиятов, 1986; Fritts, 1976). Синхронизацию рядов осуществляли посредством автокорреляции, а перекрестную датировку – с использованием указательных дат.

Известны сведения (Мамаев, 1972; Старова, 1995; Ростова, 2000), что в экстремальных условиях у древесных наблюдается повышение внутривидового разнообразия. Наши данные по частоте встречаемости разных форм *Pinus sylvestris* в сосняках кустарничково-сфагновых на болотных верховых торфяных почвах (в усть-мезенской и усть-двинской популяциях) выявили сходство в их формовой структуре по типу апофиза семенных чешуй (70-80 % – «выпуклый» и 20-30% – «плоский») и соотношению «обычной» (70-80%) и «болотной» (20-30 %) сосны. Однако в усть-мезенской популяции по численности доминирует ширококронная форма (60 %), а в более южной усть-двинской популяции – больше долевое участие узкокронной (75 %) сосны. Соотношение и динамика компонент изменчивости в общей структуре служит основой для определения направлений и особенностей процесса приспособления популяций к меняющимся факторам среды (Драгавцев, 1974). В притундровых популяциях сосны обыкновенной на болотных верховых почвах (в устье р. Мезени) по численности доминирует ширококронная форма (60 %) и форма с выпуклым типом апофиза семенных чешуй (70 %). Форма с выпуклым типом апофиза в возрасте 65-85 лет превосходит по высоте дерева с плоским типом апофиза семенных чешуй на 10 %.

Характер морфоструктуры популяций сосны по форме апофиза семенных чешуй шишек в устье р. Мезень отражается вариационными кривыми. Типы кривых распределения признаков в выборках деревьев сосны с разной формой апофиза семенных чешуй и в целом по усть-мезенской популяции схожи.

Можно отметить различия в модах распределения частот высоты ствола и абсолютной протяженности (длины) кроны, в меньшей степени – протяженности грубой коры. Различия мод в распределении численностей деревьев у сосны с «выпуклой» и «плоской» формой апофиза составляют 20 лет (65-85 лет), т.е. не превышают величину одного класса возраста для хвойных, что позволяет довольно корректно проводить сравнительную оценку их морфоструктурных признаков. Наблюдается довольно существенно выраженные положительные асимметрия и эксцесс в распределении численности деревьев обеих форм и популяции в целом в отношении таких признаков, как высота до первой мертвой ветви, характеризующей очищаемость стволов деревьев от сучьев. Для выборок деревьев с «выпуклой» формой апофиза характерны кривые распределения частот с левой асимметрией ствола и положительной величиной эксцесса в отношении такого признака как высота до первой живой ветви и высота поднятия (протяженности) грубой коры по стволу. В выборках деревьев с «выпуклой» формой апофиза такой тип кривой распределения у диаметра ствола.

Уровни индивидуальной изменчивости морфометрических показателей в выборках деревьев с разной формой апофиза схожи. В целом в усть-мезенской популяции сосны очень высокий уровень вариабельности присущ параметрам, характеризующим очищаемость ствола от сучьев ($C.V. > 40$ %), высокий – высоте до первой живой ветви ($C.V. > 30$ %), повышенный – протяженности кроны и грубой коры ($C.V. > 20$ %), средний – размерам ствола, диаметру кроны, величине угла ветвления,

возрасту деревьев ($C.V. = 12-20\%$). Достоверные различия дисперсий их вариационных рядов на принятых уровнях значимости отсутствуют, за исключением таких признаков как высота до первой живой ветви и высота поднятия по стволу грубой коры (соответственно $F = 2.27$ и $F = 1.97$; $F_{0.05} = 1.8$). Отсутствие достоверных зависимостей морфометрических признаков от принадлежности деревьев к этим формам подтверждается результатами анализа однофакторного дисперсионного анализа (ОДА). Доказано влияние фактора «форма» в отношении высоты ствола (ОДА, $F = 4.65$; $F_{0.05} = 4.00$; $p = 0.04$). Различия средних величин высоты ствола достоверны при критических значениях t -критерия ($t = 2.16$; $t_{0.05} = 2.0$).

Для сосны с «плоским» и «выпуклым» типом апофиза семенных чешуй установлены сходные статистические характеристики радиального прироста (0.23 ± 0.02 мм – «выпуклый»; 0.21 ± 0.02 мм – «плоский»), но во временных рядах в отдельные периоды наблюдается доминирование по величине ширины годичного слоя у сосны с «выпуклым» типом апофиза семенных чешуй шишек. Средние значения годичного прироста у отдельных деревьев сосны с «выпуклым» типом колеблются от 0.07 до 0.48 мм, а с «плоским» типом от 0.06 до 0.49 мм.

Графики динамики средних значений радиального годичного прироста позволяют получить общее представление об интервале изменчивости радиального прироста. Для форм усть-мезенской популяции сосны максимумы приходятся на 1924, 1949, 1954, 1965, 1983 года, минимумы на 1968, 2001 года. Совпадения в экстремальных значениях прироста показывают сходство в реакциях разных морфологических форм на изменения климатических условий.

Коэффициенты вариации ширины годичного слоя (в пределах кольцевой хронологии индивидуального дерева) характеризуется очень высоким уровнем (Мамаев, 1970) ($C.V. = 45-49\%$). Показатель чувствительности деревьев к воздействию факторов внешней среды сосны у данных форм невысокий (9-11%). Изменчивость прироста незначительная, что указывает на сходство в реакции разных форм на условия внешней среды.

Для исключения влияния фактора возраста на динамику радиального прироста производился расчет индексов прироста. Анализ характера колебаний индексов прироста выделенных морфологических форм сосны показал схожие значения, в среднем 101%. В целом амплитуда индексов прироста разных форм высокая и в колебаниях индексов прироста определяется сходное распределение.

Цикличность в колебаниях ширины годичных колец форм сосны по типу апофиза изучена по кривым «нормы прироста». Средние значения циклов для сосны с «выпуклым» типом апофиза составили 11.1 лет между максимальными значениями прироста и 9.1 лет между минимальными показателями прироста, а средние значения для сосны с «плоским» типом апофиза составили 10.3 лет между максимальными значениями прироста и 10.1 лет между минимальными показателями прироста. В целом в цикличности колебаний ширины годичных колец разных форм усть-мезенской популяций сосны показатели соответствуют солнечному циклу (11-летнему) (Матвеев, 1999).

Изучение формового разнообразия сосны обыкновенной в притундровых популяциях и определение морфометрических показателей вегетативной сферы (размеры ствола и кроны, макроструктурные показатели древесины) у форм, выделенных по типу апофиза семенных чешуй шишек, позволяет выявить в популяциях наиболее продуктивные формы.

Работа выполнена при поддержке Комплексной Программы УрО РАН, проект № 15-12-5-24 «Видовое и популяционное разнообразие притундровых сообществ таежной зоны Европейского Севера России».

Литература

1. Ануцин Н. П. Лесная таксация. 5-е изд. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
2. Битвинская Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
3. Драгавцев В. А. Методы популяционного эксперимента с растениями // Успехи современной генетики. М., 1974. Вып. 5. С. 221–228.
4. Мамаев С. А. Уровни изменчивости анатомо-морфологических признаков сосны // Ботанич. исслед. на Урале // Зап. Свердловск. отд-я Всес. бот. общ-ва. Вып. 5. Свердловск, 1970. С. 58-67.
5. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
6. Матвеев С. М. Методика дендрохронологического анализа. Воронеж, 1999. 31 с.
7. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки. ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 14 с.

8. *Правдин Л. Ф.* Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 172 с.
9. *Ростова Н. С.* Изменчивость системы корреляций морфологических признаков. Популяции видов *Leucanthemum* (Asteraceae) природе и в условиях культивирования // Ботанический журнал, 2000. № 1. С. 46.
10. *Старова Н. В.* Генетическое разнообразие, адаптивность и надежность популяционных систем хвойных // Биологическое разнообразие лесных экосистем: Тез. докл. конф. М., 1995. С. 112.
11. *Шиятов С. Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
12. *Cook E. R.* A time series analysis approach to tree-ring standardization. University of Arizona, Tucson. 1985. 171 p.
13. *Fritts H. S.* Tree rings and climate. London, N.Y.; San Francisco: Acad. Press. (Tree-rings), 1976. 567 p.

Н. В. Поликарпова¹, Е. А. Боровичев^{2,3}, О. А. Белкина³, Н. Г. Берлина¹, Л. Г. Исаева², Г. П. Урбанавичюс², С. С. Шалыгин^{3,4}, В. А. Костина³, И. Н. Урбанавичене⁵, А. В. Мелехин³, Е. Н. Андреева

¹ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник», г. Мончегорск

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

³Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН, г. Кировск

⁴John Carroll University, Ohio, USA

⁵Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

РОЛЬ ЛАПЛАНДСКОГО ЗАПОВЕДНИКА В СОХРАНЕНИИ ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Лапландский государственный природный биосферный заповедник – один из крупнейших и старейших заповедников в Европейской части России. Его территория площадью 278 тыс. га представляет собой типичный участок среднегорного района, характеризующийся чередованием всхолмленных равнин, речных долин и озерных котловин с небольшими по площади горными поднятиями. Границы заповедника проходят по лесным кварталам, а не по естественным природным рубежам, поэтому мы его рассматриваем лишь как достаточно репрезентативную территорию, отражающую закономерности растительного покрова горных территорий. В состав заповедника входят четыре крупных горных массива – Нявка-тундра, Чуна-тундра, Монче-тундра и Сальные тундры. Разнообразие геологических, геоморфологических и климатических условий способствовало формированию богатой фитобиоты.

В 2015 г. заповеднику исполнилось 85 лет со дня создания. На протяжении всего этого времени инвентаризация растений, грибов и лишайников остается одним из главнейших приоритетов его научной работы. В последние 15 лет достигнуты наиболее выдающиеся результаты по изучению фиторазнообразия заповедника, и по степени изученности в этом плане он лидирует среди российских ООПТ. К изучению фиторазнообразия заповедника помимо его сотрудников широко привлекаются специалисты из других научных учреждений – Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. Характерной чертой полевых работ последних лет является комплексное изучение биоразнообразия в пределах отдельных ландшафтных единиц (часто в очень труднодоступных условиях). При обследованиях особое внимание уделяется биотопической приуроченности, встречаемости и обилию видов, местам концентрации редких представителей различных систематических групп.

Ниже представлены краткие обзоры по разнообразию основных групп растений и грибов Лапландского заповедника.

Цианопрокариоты. Планомерные исследования по изучению разнообразия цианопрокариот заповедника были начаты в 2008 г. До этого времени имелись лишь некоторые отрывочные сведения о встречаемости самых тривиальных видов, приведенные в отчетах. В течение 4 лет было проведено несколько экспедиций, в результате которых было собрано около 2000 образцов цианобактерий, сделаны описания местообитаний и микроместообитаний. В результате наших исследований,

в Лапландском заповеднике выявлено 140 видов цианопрокариот, что свидетельствует о высокой степени изученности территории. Флора цианопрокариот заповедника составляет примерно 45 % от известного состава наземных сине-зеленых водорослей Мурманской области (275 видов) (Давыдов, 2010; Шалыгин, 2012). Шестьдесят четыре вида являются новыми для Мурманской области. Причем двадцать шесть из них впервые выявлены в России (*Aphanocapsa fonticola* Hansg., *A. hyalina* Hansg., *Calothrix breviararticulata* W. West et G. S. West, *Chroococcus prescottii* Drouet, *C. spelaeus* Erceg., *Fischerella mirabilis* (Beck-Mannag.) Elenk., *F. thermalis* (Schwabe) Gom., *Gloeocapsa novacekii* Kom. et Anagn., *G. tornensis* Skuja, *Gloeotheca cyanochroa* Kom., *G. fuscolutea* Näg., *Jaaginema neglectum* (Lemm.) Anagn. et Kom., *Myxosarcina tatrica* (Starm.) Kom. et Anagn., *Petalonema densum* [A. Braun] ex Migula, *Phormidiochaete nordstedtii* (Born. et Flah.) Kom., *Porphyrosiphon notarisii* Kütz. ex Gom., *Pseudoscytonema subclavatum* (Starm.) Anagn. et Kom., *Schizothrix facilis* (Skuja) Anagn., *S. simplicior* Skuja, *Scytonema stuposum* Kütz., *Stigonema multipartitum* Gardn., *S. robustum* Gardn., *Symplocastrum penicillatum* (Kütz. ex Gom.) Anagn., *Synechococcus brunneolus* Rabenh., *S. sciophilus* Skuja, *Tapinothrix fusca* (Starm.) Bohunická et Johansen.). Все эти виды в настоящее время в России известны лишь с территории заповедника. В заключение следует отметить, что в сфере молекулярной систематики цианопрокариот за последние 10 лет достигнут большой прогресс. В частности, описано около 50 новых родов и 100 новых видов. Учитывая это, а также то, что альгологи в своих исследованиях все больше предпочитают использовать филогенетическую концепцию вида, можно предположить, что флора цианобактерий заповедника недооценена и составляет менее 1/3 от возможного разнообразия.

Грибы. Изучение микобиоты Лапландского заповедника начато Н. М. Пушкиной, список выявленных видов грибов насчитывал 230 видов шляпочных макромицетов, который сохранился только в виде рукописей. Первый список возбудителей болезней леса по заповедной территории был составлен по результатам исследований сотрудниками кафедры лесозащиты Московского лесотехнического института, состоящий из 27 видов дереворазрушающих грибов (Летопись природы, 1979). С 1970-х гг. в заповеднике проводятся лесопатологические исследования по оценке состояния лесов, в процессе которых также отмечаются ксилотрофы (Карпенко, 1983; Отчет..., 1990 и др.). Работа по инвентаризации и стационарным исследованиям микобиоты заповедника с середины 1980-х гг. ведется Н. Г. Берлиной. Все доступные сведения по афиллофороидным грибам на территории заповедника (включая архивные и собственные) были обобщены недавно (Исаева и др., 2012; Крутов и др., 2012). К настоящему времени на территории Лапландского заповедника известно более 310 видов макромицетов, из них 25 видов аскомицетов, 168 видов агарикоидных, примерно 120 видов афиллофороидных грибов и 91 вид миксомицетов. Во второе издание Красной книги Мурманской области (2014) из микобиоты заповедника включены 8 видов грибов с категорией 3 – «редкий вид»: *Cortinarius violaceus* (L.) Gray, *Clavariadelphus pistillaris* (L.: Fr.) Donk, *Clavariadelphus truncates* (Quél.) Donk, *Cantharellus cibarius* Fr., *Dichomitus squalens* (P. Karst.) D.A. Reid, *Hericium coralloides* (Scop.) Pers., *Laccaria amethystina* Cooke, *Clavicornia taxophila* (Thom) Doty. Последнее время активизировались исследования по афиллофороидным грибам, возбудителям болезней леса (Химич и др., 2014; Isaeva et al., 2015) и миксомицетам (Новожилов Ю. К., БИН РАН, не опубликованные данные). Выявление видового состава грибов на территории Лапландского заповедника далеко от завершения ввиду слабой изученности микобиоты. Перспективными группами по выявлению редких видов являются слабо исследованные группы: агарикомицеты, гастеромицеты, аскомицеты и грибоподобные организмы, в частности миксомицеты.

Лишайники и систематически близкие нелихенизированные грибы. Изучение лишайников Лапландского заповедника началось практически с его основания, но долгое время осуществлялось не специалистами-лихенологами. Первый список из 106 видов был опубликован по материалам геоботанических исследований (Пушкина, 1960). В последующие 40 лет незначительные сборы лишайников были сделаны сотрудниками ПАБСИ КНЦ РАН. В 2003 г. Н. Г. Берлиной был подготовлен список из 140 видов лишайников, известных для территории заповедника по всевозможным источникам, хранившимся в архивах заповедника. С 2003 г. к исследованию лишайников с целью инвентаризации лишайнофлоры Лапландского заповедника приступили Г. П. Урбанавичюс и И. Н. Урбанавичене, к которым в 2005 г. присоединился А. В. Мелехин. В результате обследования значительной части территории заповедника к концу 2012 г. было выявлено 613 видов лишайников и систематически близких нелихенизированных лишайнофильных и сапротрофных грибов, традиционно учитываемых в лишайнофлористических сводках (Урбанавичюс и др., 2013). В последующие годы в результате обработки части ранее неразобранных коллекций,

главным образом, А. В. Мелехиным были обнаружены еще около 30 видов лишайников, новых для лихенофлоры заповедника (Мелехин, 2013, 2015; Урбанавичюс, 2013; Melechins, 2016 и др.). В настоящее время лихенофлора заповедника насчитывает 633 вида, что составляет примерно 50 % от общего числа известных видов лихенофлоры области. В заповеднике выявлено 22 вида из 84, занесенных в Красную книгу региона (2014), из которых три вида *Bryoria fremontii* (Tuck.) Brodo & D. Hawksw., *Lichenomphalia hudsoniana* (H.S. Jenn.) Redhead & al. и *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. включены в Красную книгу России (2008). Еще 9 видов внесены в список нуждающихся в особом внимании в природной среде Мурманской области. Несмотря на значительный объем проделанной работы, видовой состав лишайников и лихенофильных грибов заповедника выявлен далеко не полно. Оценочно, исходя из разнообразия местообитаний этой территории и соотношения числа известных видов макролишайников и микролишайников, лихенофлора выявлена на 70-75% от потенциально возможного видового состава. Но даже имеющиеся данные показывают, что в настоящее время Лапландский заповедник играет наибольшую роль в сохранении биологического разнообразия лишайников области в сети существующих ООПТ.

Печеночники. Исследования печеночников заповедника ведутся с самого его основания. Так, в гербарии мохообразных ПАБСИ (КРАВГ) хранится образец *Metzgeria furcata* (L.) Dumort. с территории Монче-тундры, собранный в 1932 г. Л.М. Бобровой, М.Х. Качуриным, пропущенный в первой специальной работе, посвященной лишайникам и мохообразным Лапландского заповедника (Пушкина, 1960), где для территории заповедника указывается 29 видов. Позже на территории заповедника работы проводились Е. Н. Андреевой, Н. А. Константиновой, В. А. Бакалиным. В результате, известное число видов для резервата, к началу нашей работы, составило 116 видов (Konstantinova, 2002; Бакалин, 2004; Андреева, 2005). Исследования проводились на территории заповедника в полевые сезоны 2004-2012 гг. маршрутным методом. Детально изучены гепатикофлоры четырех крупных горных массивов заповедника, всего собрано 2500 образцов. В настоящее время флора печеночников Лапландского заповедника в целом изучена довольно полно и насчитывает 173 вида. Необходимо особо подчеркнуть, что для данной территории это довольно высокая цифра, и мы можем охарактеризовать флору как богатую. Так, гепатикофлора заповедника составляет 63 % от всей флоры печеночников Европейской части России, 66.5 % от флоры печеночников Северо-Запада России (Konstantinova, Bakalin et al., 2009) и 88 % от флоры Мурманской области, при этом площадь, занимаемая заповедником, составляет менее 2 % от площади региона. Локальные флоры четырех крупных горных массивов заповедника варьируют по уровню видового богатства. Флоры печеночников Чуна-тундры (132) и Сальных тундр (139 видов) характеризуются высоким видовым разнообразием, уступая лишь гепатикофлоре Хибинских гор (147 видов) (при том, что площади массивов значительно меньше, чем площадь Хибин). Наименьшее число видов найдено на территории Нявка-тундры (108 видов), что объясняется как ее небольшими абсолютными высотами, так и меньшей степенью изученности по сравнению с другими локальными флорами Лапландского заповедника. Тем не менее, даже эта небогатая флора составляет 55 % от флоры области. Пятнадцать печеночников включены в Красную книгу мохообразных Европы (Red Data Book..., 1995). Пять видов, включены в Красную книгу Российской Федерации (2008). Два вида – *Haplomitrium hookeri* (Sm.) Nees и *Protolophozia elongata* (Steph.) Schljakov относятся к категории 2а – виды с сокращающейся численностью. Еще два вида – *Oleolophozia perssonii* (H. Buch & S.W. Arnell) L. Söderstr., De Roo & Hedd. и *Isopaches decolorans* (Limpr.) H. Buch – редкие на всей территории России, а *Nardia breidleri* (Limpr.) Lindb. имеет неопределенный статус (категория 4). Тридцать три вида занесены в Красную книгу Мурманской области (2014) и еще одиннадцать нуждаются в особом внимании к их состоянию в природной среде.

Мхи. Первые опубликованные данные о мхах с территории, относящейся в настоящее время к Лапландскому заповеднику, содержатся в работах Т. Sælan и V. F. Brotherus (Brotherus, Sælan, 1890; Brotherus, 1923). В них указано несколько видов из Чуна-тундры. В конце 1930-х гг. изучением мхов в заповеднике начала заниматься Н. М. Пушкина, и в 1960 г. вышел в свет первый и остававшийся долгие годы единственным список мхов заповедника (Пушкина, 1960) в границах того времени. В перечень было включено 153 вида мхов, а с учетом современной трактовки объема видов – 151. Более поздние сборы нашли отражение в «Конспекте флоры мохообразных Мурманской области» (Шляков, Константинова, 1982). При этом список мхов заповедника был дополнен 11 видами. При проведении геоботанических описаний Н. Е. Королевой (Koroleva, 1999) в Сальных тундрах было выявлено еще 5 новых для заповедника видов мхов. В 1982-1988 гг. в Сальных тундрах, Чуна-тундре, окрестностях Чунозерской усадьбы и кордона Мавра работала Е. Н. Андреева. В последние годы

флорой мхов заповедника занималась О. А. Белкина, исследовавшая в 2001-2004 гг. Сальные тундры, в 2010-2012 гг. – урочище Сейднотлаг (Чуна-тундра) и Волчьи Тундры. К настоящему времени на территории Лапландского заповедника известно 285 видов мхов. Для сравнения для беломорской части Кандалакшского заповедника указывается 279 видов (Кожин, 2015), заказника «Кутса» с ближайшими окрестностями – 295, для Хибин – 313 (Белкина и др., 2009). Бриофлора заповедника составляет приблизительно 60 % известного видового разнообразия мхов Мурманской области. Наиболее изученными являются Сальные тундры и Чуна-тундра. В значительной степени именно поэтому, но также и в силу большой площади и разнообразных горных условий, эти два массива являются наиболее богатыми бриофлористически. Наименее обследованными остаются западная и центральная части заповедника, включая Нявка-тундру, а также Монче-тундра. Четырнадцать видов мхов занесено в Красную книгу Мурманской области (2014): 3 вида с категорией 2 – уязвимые (*Rhabdoweisia fugax* (Hedw.) Bruch et al., *Sphagnum denticulatum* Brid., *Weissia wimmeriana* (Sendtn.) Bruch et al.) и 11 видов с категорией 3 (редкие) – *Andreaea blyttii* Bruch et al., *A. nivalis* Hook., *A. obovata* Thed., *Buxbaumia aphylla* Hedw., *Encalypta streptocarpa* Hedw., *Fissidens bryoides* Hedw., *Grimmia anomala* Hampe ex Schimp., *Mnium hornum* Hedw., *Neckera complanata* (Hedw.) Huebener, *Sphagnum subnitens* Warnst., *Herzogiella turfacea* (Lindb.) Iwats.). Пятнадцать видов включены в Красную книгу мохообразных Европы (Red Data Book..., 1995): *Grimmia reflexidens* Müll.Hal., *Pseudoleskeella papillosa* (Lindb.) Kindb., *Schistidium papillosum* Culm., *Buxbaumia aphylla* Hedw. и другие.

Сосудистые растения. До момента создания заповедника представления о флоре и растительности территории были весьма скудными (Некрасова, 1935, 1960). Систематическое изучение растительного покрова началось с 1930 г. Однако первая флористическая сводка, объединившая материалы, полученные до 1939 г. (с незначительными более поздними дополнениями), была опубликована Т. П. Некрасовой лишь в 1960 г. Для заповедника было указано 360 видов сосудистых растений (Некрасова, 1960). Существенный вклад в исследование флоры внесли Н. А. Сыроид (1980) и З. Х. Аблаева (1981), пополнившие список сведениями о 195 видах. В 1983 г. в состав заповедника вошли новые участки, обследование которых позволило расширить конспект флоры. На сегодняшний день список сосудистых растений насчитывает 621 вид из 272 родов и 78 семейств. Аборигенную часть флоры составляют 432 вида из 181 рода и 68 семейств; к адвентивным относятся 189 видов из 128 родов и 34 семейств (Берлина, Костина, 2012; наши данные). Из 432 видов аборигенных растений к редким видам, т.е. известным в одной – двух точках, относится 87 видов. Обследование ранее почти не посещавшихся специфических по условиям и очень ограниченных по площади участков (например, крупных скальных обрывов в долине оз. Вайкис) позволило пополнить реестр чрезвычайно редкими видами – *Arnica alpina* (L.) Olin, *Potentilla chamissonis* Hult., *Draba norvegica* Gunn., *Saxifraga hieracifolia* Waldst. & Kit., а папоротник *Asplenium trichomanes* L. стал новинкой для флоры Мурманской области (Костина, Боровичев, 2010). Кроме того, реинвентаризация гербария ПАБСИ КНЦ РАН (КРАВГ) позволила выявить редкий вид *Isoetes setacea* Lam. Во флоре заповедника 42 вида занесено в Красную книгу Мурманской области (2014), в том числе 4 вида, включенных в Красную книгу Российской Федерации (2008): два вида с категорией 2 (уязвимый) – *Isoetes setacea* и *Arnica fennoscandica*, два вида с категорией 3 (редкий) – *Isoetes lacustris* L. и *Calypso bulbosa* (L.) Oakes. Тридцать семь видов сосудистых растений включены в приложение Красной книги (2014) как нуждающиеся в особом внимании к их состоянию. По одному местонахождению известно для *Equisetum scirpoides* Michx., *Carex livida* (Wahlenb.) Willd., *Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl и *Pyrola chlorantha* Sw. Четыре вида из флоры сосудистых растений Лапландского заповедника включены в Красную книгу Российской Федерации (2008): два вида с категорией 2 – *Isoetes setacea* и *Arnica fennoscandica*, два вида с категорией 3 – *Isoetes lacustris* L. и *Calypso bulbosa*.

Результаты комплексного изучения фиторазнообразия Лапландского заповедника продемонстрировали, что его территория характеризуется высокой репрезентативностью для сохранения биологического разнообразия Мурманской области и стабильного существования редких и угрожаемых видов растений, грибов и лишайников, флористические списки репрезентативны и отражают довольно полно современную ситуацию. По результатам инвентаризации видового состава биоты заповедника выделены две ключевые ботанические территории (КБТ): горный массив Сальные тундры и северная оконечность хребта Монче-тундра (Боровичев и др., 2011). Их необходимо учитывать при планировании возможной рекреационной и хозяйственной деятельности.

Работа выполнена при финансовой поддержке администрации Лапландского заповедника, Российского фонда фундаментальных исследований (14-04-98810, 15-29-02662) и гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук (МК-2926.2015.4).

Литература

1. *Аблаева З. Х.* Дополнительный конспект видов флоры Лапландского заповедника // Флористические исследования в заповедниках РСФСР. М., 1981. С. 5-19.
2. *Андреева Е. Н.* Структура мохового покрова в условиях атмосферного загрязнения // Проблемы экологии растительных сообществ. С.-Пб., 2005. С. 105-129.
3. *Бакалин В. А.* Печеночники Лапландского биосферного заповедника // Константинова Н. А. Печеночники и антоцеротовые заповедников России: Современное состояние биологического разнообразия на заповедных территориях России. Вып. 3. Лишайники и мохообразные. М., 2004. С. 236-273.
4. *Белкина О. А., Другова Т. П., Лихачев А. Ю.* Листостебельные мхи // Разнообразие растений, лишайников и цианопрокариот Мурманской области: итоги изучения и перспективы охраны. С.-Пб., 2009. С. 25-39.
5. *Берлина Н. Г., Костина В. А.* Флора сосудистых растений Лапландского заповедника // Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Выпуск VI. М., 2012. С. 112-198.
6. *Боровичев Е. А., Костина В. А., Шалыгин С. С.* Некоторые ключевые ботанические территории Лапландского заповедника (Мурманская область) // Труды КарНЦ РАН. N 2. Сер. Биогеография. Вып. 12. Петрозаводск, 2011. С. 48-55.
7. *Давыдов Д.А.* Цианопрокариоты и их роль в процессе азотфиксации в наземных экосистемах Мурманской области. М., 2010. 184 с.
8. *Исаева Л. Г., Берлина Н. Г., Химич Ю. Р.* Афиллофороидные грибы Лапландского заповедника // Труды Лапландского государственного заповедника. Вып. VI. М., 2012. С. 215-237.
9. *Карпенко А. Д.* Влияние промышленного загрязнения на еловые фитоценозы Кольского полуострова. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. наук. Тарту, 1984. 23 с.
10. *Кожин М. Н.* История изучения и новые данные о флоре листостебельных мхов беломорской части Кандалакшского заповедника // Тезисы междунар. бриологической конф., посвященной 100-летию со дня рождения А. Л. Абрамовой (Санкт-Петербург, 12-16 октября 2015 г.). С.-Пб., 2015. С. 67-71.
11. *Костина В. А., Боровичев Е. А.* Новые виды сосудистых растений для флоры Лапландского заповедника (Мурманская область) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2010. Т. 115, вып. 6. С. 68.
12. Красная книга Мурманской области / Ответ. ред. Н. А. Константинова, А. С. Корякин, О. А. Макарова, В. В. Бианки. Изд. 2-е. Кемерово: «Азия-Принт», 2014. 584 с.
13. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М., 2008. 855 с.
14. *Крутов В. И., Руоколайнен А., Коткова В. М., Исаева Л. Г., Химич Ю. Р.* Афиллофоровые грибы ООПТ Российской части Зеленого пояса Фенноскандии // Грибные сообщества в лесных экосистемах / Под ред. В. И. Крутова, В. Г. Стороженко. Т. 3. М., Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2012. С. 117-146.
15. Летопись природы. Книга XV. Мончегорск, 1979. С. 52-55. (Рукопись фонда Лапландского государственного природного биосферного заповедника).
16. *Мелехин А. В.* Дополнения к лишенобиоте Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013. № 4 (15). С. 105-107.
17. *Мелехин А. В.* Новые для Мурманской области и ее биогеографических районов виды лишайников // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 73-81.
18. *Некрасова Т. П.* Очерк растительности Лапландского заповедника // Тр. Ленинградского общества естествоиспытателей. 1935. Т. 64. Вып. 2. С. 239-272.
19. *Некрасова Т. П.* Видовой состав флоры цветковых и высших споровых Лапландского заповедника // Труды Лапландск. гос. запов. М., 1960. Вып. 4. С. 127-188.
20. Отчет по лесопатологическому обследованию Лапландского государственного заповедника. Т. 1. Москва, 1990. 154 с.
21. *Пушкина Н. М.* Лишайники и мхи Лапландского заповедника // Тр. Лапландского государственного заповедника. М., 1960. Вып. 4. С. 189-248.

22. Сыроид Н. А. Новые данные о флоре Чуна-тундры // Биолого-флористические исследования в связи с охраной природы в Заполярье. Апатиты, 1980. С. 83-86.
23. Химич Ю. Р., Исаева Л. Г., Берлина Н. Г. Грибы во втором издании Красной книги Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН, 2014. № 1. С. 10-14.
24. Урбанавичюс Г. П. Семейство Verrucariaceae Zenker в России. I. Род *Agonimia* Zahlbr. // Новости систематики низших растений. Т. 47. С.-Пб., 2013. С. 279-296.
25. Урбанавичюс Г. П., Урбанавичене И. Н., Мелехин А. В. Лихенофлора Лапландского государственного природного биосферного заповедника (аннотированный список). Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2013. 158 с.
26. Шалыгин С. С. Группировки эпилитных и эпифитных цианпрокариот Лапландского заповедника. Автореф. дисс. уч. ст. канд. биол. наук. Уфа, 2012. 17 с.
27. Шляков Р. Н., Константинова Н. А. Конспект флоры мохообразных Мурманской области. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1982. 227 с.
28. Brotherus V. F. Laubmoose Fennoscandias. Helsingfors. 1923. 635 p.
29. Brotherus V. F., Sælan T. Musci Lapponiæ Kolaënsis // Acta Soc. Fauna Fl. Fenn. 1890. Vol. 6. № 4. P. 1-100
30. Isaeva L. G., Khimich I. R., Zmitrovich I. V. & Berlina N. G. Towards an inventory of the mycobiota of the Lapland State Nature Biosphere Reserve (Murmansk Region, North-West Russia) // Folia Cryptogamica Estonica, 2015. Fasc. 52. P. 29-33.
31. Konstantinova N. A., Bakalin V. A., Andreeva E. N., Bezgodov A. G., Borovichev E. A., Dulin M. V., Mamontov Yu. S. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa. 2009. Vol. 18. P. 1-63.
32. Konstantinova N.A. Hepatics in Strict Nature Reserves of European part of Russia // Novit. Bot. Univ. Carol., Praha, 2001. Vol. 15. P. 77-93.
33. Koroleva N. E. Snow-bed plant communities of Lapland Nature reserve (Murmansk Region, Russia) // Chemosphere: Global Change Science. 1999. № 1. P. 429-437.
34. Melech A. *Gyalecta biformis* and *Gyalidea diaphana* new to Russia // Graphis Scripta. 2016. Vol. 28(1-2). P. 11-13.
35. Red Data Book of European Bryophytes Trondheim, 1995. 290 p.

**Н. В. Поликарпова¹, О. А. Макарова¹, Н. Г. Берлина², Н. В. Зануздаева², Е. Л. Толмачева³,
И. П. Татаринкова³, Р. Г. Чемякин³**

¹ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик», пос. Раякоски
pasvik.zapovednik@yandex.ru

²ФГБУ «Лапландский государственный заповедник», г. Мончегорск
n_berlina@laplandzap.ru

³ФГБУ «Кандалакшский государственный заповедник», г. Кандалакша
kand_reserve@mail.ru

КАЛЕНДАРЬ ПРИРОДЫ ЗАПОВЕДНИКОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Календари природы заповедников - это перечни сезонных природных процессов и явлений, ежегодно наблюдаемых в границах особо охраняемых природных территорий или их окрестностях. Многолетние фенологические данные обобщаются по каждому явлению и включаются в «Летопись природы» – ежегодный научный отчет о состоянии природы и объектов на территории заповедника.

Несмотря на наличие методических рекомендаций (Филонов, Нухимовская, 1985; Минин, 2000), список регистрируемых явлений в каждом заповеднике свой (Летописи природы заповедников). Расположенные в единой растительно-географической зоне, тем не менее, каждый из заповедников Мурманской области имеет свою природную специфику, а также историю развития научных исследований и мониторинга. Так, Кандалакшский заповедник расположен на морских островах в Белом и Баренцевом морях, и, потому, основное внимание в наблюдениях сфокусировано на птицах (Татаринкова, Чемякин, 2004). Первый заповедник на Кольском п-ове – Лапландский – отмечает, в основном, явления, характерные для северной тайги (Берлина, Зануздаева, 2008). Созданный почти 25 лет назад заповедник «Пасвик», расположенный в зоне притундровых лесов, во многом учел при планировании фенологического мониторинга календарь природы Лапландского

заповедника (Поликарпова, Макарова, 2010) и добавил некоторые другие явления. Эти причины, в основном, и обуславливают сходство и различия в регистрации явлений между заповедниками нашего края.

Первый календарь природы опубликовал О.И. Семенов-Тянь-Шанский по Лапландскому заповеднику (1966). Позже Кандалакшский заповедник впервые опубликовал многолетний календарь природы Айновых островов (Татаринкова, Чемякин, 2004). Календарь природы конкретного года публиковался в рамках «Летописей природы заповедника «Пасвик» с 1997 года, а в виде отдельных статей вышел в свет позже (Поликарпова, Макарова, 2010, 2015; Макарова, Поликарпова, 2012). Лапландский заповедник спустя много лет вернулся к идее регулярно публиковать список наблюдаемых явлений и дат их регистрации (Берлина, Зануздаева, 2008, 2015).

Первые попытки обобщить фенологические данные пришлись на середину 1990-х гг. после создания третьего заповедника в регионе. Тогда совместно с норвежскими коллегами происходила серия встреч, которая увенчалась рядом публикаций, налаженными контактами и опытом подготовки совместных работ (Макарова и др., 2001; Shutovaetal., 2004). Тесная научная работа по фенологии между тремя заповедниками, ПАБСИ КНЦ РАН и норвежским экологическим центром «Сванховд» вылилась в итоге в многолетний и до сих пор активно работающий школьный проект «Фенология Северного Калотта» со своим списком наблюдений (Макарова и др., 2010). В нем большую методическую роль играют заповедники Кандалакшский и «Пасвик».

Ниже представлена первая попытка свести воедино некоторые природные явления, сходные для трех заповедников, выбранные из многолетних календарей природы за разные периоды (табл.). Не во всех случаях удалось это сделать полностью, поэтому перечень рассматриваемых в данной статье явлений довольно краток: список сокращен до 93 явлений, и лишь 28 (менее 30 %) из них наблюдаются во всех трех заповедниках.

Средние многолетние даты наступлений сезонных природных явлений
в заповедниках Мурманской области

Феноявления	Лапландский (1930-2014)	Кандалакшский (1963-1996)*	Пасвик (1993-2014)
1	2	3	
Проталины у стволов деревьев	18.04	-	28.03
Прилёт лебедя-кликунa	12.04	-	30.03
Прилёт пуночки	31.03	-	01.04
Переход максимальных температур выше 0°C	08.04	-	08.04
Первая встреча медведя (выход медведя из берлоги)	19.04	-	14.04
Появление на снегу веснянок	25.04	-	16.04
Прилёт чаек (сизой, серебристой, клуши)	05.05	19.04	23.04
Переход среднесуточных температур выше 0°C	19.04	26.04	24.04
Появление воды поверх льда на озерах	28.04	-	24.04
«Барашки» на иве козьей	26.04	-	27.04
Прилёт юрков	08.05	27.05	29.04
Снегом покрыто ½ поверхности земли	20.05	-	02.05
Прилёт гусей	29.04	-	02.05
Первая встреча гоголя	30.04	09.06	03.05
Пробуждение муравейников	30.04	-	03.05
Появление комаров	19.05	15.06	07.05
Песня (прилёт) белобровика	07.05	12.05	09.05
Сокодвижение у березы пушистой	04.05	-	11.05
Первое появление бабочек (крапивницы, брюквенницы)	13.05	05.06	12.05
Вскрытие больших озер (Каскамаярви, Чунозера)	31.05	-	14.05
Последний снежный покров в лесу (исчезновение снежных пятен)	30.05	28.05	15.05

1	2	3	
Прилёт белой трясогузки	03.05	07.05	15.05
Начало урчания травяной лягушки	24.05	-	16.05
Зацветание мать-и-мачехи	25.05	-	18.05
Начало цветения пушицы влагалищной	21.05	-	18.05
Начало цветения вороники	21.05	18.05	20.05
Переход минимальных температур выше 0°C	06.05	-	20.05
Появление (первая встреча) шмелей	22.05	29.05	20.05
Зацветание ольхи серой	13.05	-	21.05
Начало цветения ив (козьей, сизой)	25.05	28.05	21.05
Очищение озер ото льда (Каскамаярви, Чунозера и др.)	05.06	23.05	23.05
Прилёт ласточек (полет деревенской ласточки)	-	25.05	24.05
Последнее выпадение снега	27.05	-	25.05
Зеленение (начало разворачивания листьев) у берез (пушистой, извилистой)	03.06	28.05	27.05
Прилёт варакушки	23.05	25.05	29.05
Первое кукование кукушки	26.05	-	29.05
Последний заморозок / иней на почве	08.06	04.05	31.05
Начало цветения берёзы пушистой	07.06	-	03.06
Начало цветения морошки	11.06	11.06	07.06
Появление мошки	15.06	-	10.06
Начало цветения подбела многолистного	17.06	-	10.06
Начало цветения черники	11.06	-	10.06
Начало цветения одуванчика (лекарственного, лапландского)	-	22.06	10.06
Первая гроза	05.06	-	11.06
Первая встреча ящерицы живородящей	27.05	-	11.06
Начало цветения черёмухи птичьей	22.06	-	12.06
Переход среднесуточных температур выше 10°C	13.06	-	14.06
Массовый вылет комаров	19.06	30.06	14.06
Зацветание купальницы европейской	20.06	16.06	15.06
Первые сморчки	21.06	-	18.06
Начало цветения багульника болотного	21.06	-	18.06
Зацветание герани лесной	25.06	23.06	21.06
Зацветание дёрена шведского	25.06	-	22.06
Начало цветения брусники	27.06	18.06	23.06
Начало цветения («пыления») сосны обыкновенной	27.06	-	24.06
Первый выводок гоголя	24.06	-	24.06
Начало цветения вахты трёхлистной	25.06	29.06	25.06
Появление слепней	26.06	-	26.06
Начало цветения рябины (Городкова, обыкновенной)	30.06	21.07	26.06
Начало рассеивания семян ивы козьей	04.07	-	29.06
Первый берёзовик	07.07	-	03.07
Начало цветения линнеи северной	04.07	-	03.07
Начало цветения тысячелистника обыкновенного	08.07	-	05.07
Первый осиновик	12.07	-	06.07
Начало цветения иван-чая узколистного	14.07	31.08	11.07
Начало цветения золотарника лапландского	13.07	21.07	12.07
Начало поспевания ягод морошки	26.07	31.07	17.07
Появление первых сыроежек	25.07	-	18.07

1	2	3	
Начало поспевания ягод вороники (водяники обыкновенной, черной)	25.07	26.07	23.07
Появление белых грибов	19.07	-	26.07
Начало поспевания семян берёзы пушистой	03.08	-	27.07
Начало поспевания ягод черники	30.07	-	27.07
Начало цветения вереска	30.07	-	29.07
Появление волнушек розовых	31.07	-	30.07
Появление моховиков жёлто-бурых	01.08	-	30.07
Первые «жёлтые флаги» на березах	09.08	-	06.08
Появление красных мухоморов	14.08	-	08.08
Появление груздей белых	16.08	-	09.08
Начало рассеивания семян иван-чая узколистного	20.08	-	18.08
Начало поспевания ягод брусники	28.08	31.08	22.08
Начало листопада у берёз	09.09	-	23.08
Начало созревания рябины (Городкова, обыкновенной)	05.09	-	27.08
Первый осенний заморозок (в воздухе)	31.08	-	30.08
Переход среднесуточных температур ниже 10°C	01.09	-	31.08
Массовое (полное) пожелтение берёз	15.09	-	02.09
Первый иней (заморозок) на почве	-	05.09	10.09
Переход среднесуточных температур ниже 0°C	26.10	-	19.10
Установление устойчивого снежного покрова	26.10	-	25.10
Первый ледостав на реках (Паз, Верхняя Чуна)	13.10	-	30.10
Последняя встреча лебедя	18.10	-	30.10
Переход максимальных температур ниже 0°C	26.10	-	01.11
Переход среднесуточных температур ниже -5°C	12.11	-	09.11
Замерзание озер (Каскамаярви, Чунозера)	08.11	-	11.11

*Татаринкова, Чемякин, 2004.

Примечание. Прочерк – нет данных, либо не наблюдается явление.

Безусловно, это лишь малая доля огромного массива наблюдений, которые отмечаются в каждом из заповедников. Настоящий обзор подготовлен по уже опубликованным материалам. Так, календарь природы Лапландского заповедника насчитывает 216 явлений, но опубликовано чуть более 80 (Берлина, Зануздаева, 2008, 2015). В Кандалакшском заповеднике (Айновы острова) перечень наблюдаемых показателей значительно больше, только опубликованных явлений свыше 300. Заповедник «Пасвик» регистрирует более 120 явлений в рамках календаря, однако имеется ряд иных многолетних данных, традиционно помещаемых в другие разделы «Летописи природы», которые здесь не приводятся.

В обзоре мы намеренно не приводим рассчитанные средние многолетние показатели для Мурманской области, поскольку считаем первоочередной задачей включить сведения Кандалакшского заповедника за большой период и по разным кластерам. Эта работа потребует много времени, но актуализация календаря природы Кандалакшского заповедника - одна из насущных задач в деле обобщения фенологических данных нашего региона, которая позволит представить точные даты наступления тех или иных феноявлений.

Отметим важность периодической публикации такого рода наблюдений, собираемых с конкретной территории, тем более, что эту совершенно особую работу ведут только в заповедниках, не считая отдельных энтузиастов. Мы единодушны во мнении о важности регулярных публикаций подобного рода, например, раз в 5 лет нарастающим итогом. Эти сведения также играют эколого-просветительскую роль.

В настоящее время наблюдается рост интереса к фенологии в России, это направление получило поддержку у Русского Географического общества (<http://fenolog.rgo.ru/>). Одной из задач проекта является развитие и поддержка Российской фенологической контактной сети (Минин, 2000,

2015), а также внедрение единой методики ведения фенологических наблюдений и календарей природы, обмен данными и их обнародование. К сожалению, большинство ООПТ нашей страны, собирая и бережно храня огромные массивы феноданных, неактивны в обмене информацией, не всегда готовы ее публиковать, заполнять единые базы данных и выкладывать их в сети Интернет. Надеемся, что наш опыт обобщения календарей природы окажется позитивным примером, послужит развитию фенологии в России, будет способствовать укреплению научных исследований и мониторинга в заповедниках в целом и развитию фенологической сети на региональном уровне. Очередным этапом сотрудничества трех заповедников Мурманской области становится формирование в ближайшем будущем общего календаря природы региона.

Последние годы большое внимание уделяется вопросу использования фенологических данных в изучении наземных экосистем дистанционными методами. Пока еще не разработаны механизмы уточнения спектральных характеристик растительных сообществ с применением фенологических показателей. Любое обнародование сроков наступления природных явлений Арктики и Субарктики считаем чрезвычайно важным. Для Кольского полуострова и севера Фенноскандии материалы наших заповедников со временем будут всё более востребованы.

Литература

1. Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В. Календарь природы Лапландского биосферного заповедника // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В.А. Батманова. Екатеринбург, 2015. С. 88-99.
2. Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В. Календарь сезонных явлений в Лапландском заповеднике // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Матер. Всерос. научн. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. С. 134-138.
3. Летопись природы заповедника «Пасвик» (2000-2015 гг.). Отчет. Архив заповедника «Пасвик».
4. Летопись природы Кандалакшского заповедника (2000-2015 гг.). Отчет. Архив Кандалакшского заповедника.
5. Летопись природы Лапландского заповедника (2000-2015 гг.). Отчет. Архив Лапландского заповедника.
6. Макарова О., Поликарпова Н., Зацаринный И., Сконнинг-Колльстрём Э., Трусова М. Ханс Сконнинг Первый орнитолог Пасвика. Рязань, 2014. 271 с.
7. Макарова О. А., Поликарпова Н.В. Календарь природы заповедника «Пасвик»: анализ за 20 лет // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В.А. Батманова. Екатеринбург, 2015. С. 139-154.
8. Макарова О. А., Поликарпова Н.В. Календарь природы заповедника как основа для изучения изменений в природе // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием Ч. 2. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2012. С. 130-135.
9. Макарова О. А., Поликарпова Н.В., Кротова О. В. Международный школьный проект «Фенология Северного Калотта» // Современное состояние фенологии и перспективы ее развития. Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В. А. Батманова. Екатеринбург, 2010. С. 64-72.
10. Макарова О. А., Похилько А. А., Кушель Ю. А. Сезонная жизнь природы Кольского Севера. Мурманск, 2001. 68 с.
11. Минин А. А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. М., 2000. 159 с.
12. Минин А. А. Добровольная фенологическая сеть РГО: состояние, перспективы, материалы // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В. А. Батманова. Екатеринбург, 2015. С. 260-268.
13. Поликарпова Н. В., Макарова О. А. Календарь природы заповедника «Пасвик» и перспективы фенологических наблюдений в России // Современное состояние фенологии и перспективы ее развития. Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В. А. Батманова. Екатеринбург, 2010. С. 99-111.
14. Семенов-Тянь-Шанский О. И. Лапландский государственный заповедник (Календарь природы) // Календари природы Северо-Запада СССР, 1939-1960 гг. Л., 1965. С. 22-23.
15. Татаринкова И. П., Чемякин Р. Г. Фенологический календарь животных и растений Айновых островов (западный Мурман) // VI-VII Международные семинары «Рациональное использование прибрежной зоны северных морей». Ч. 1. Комплексное управление прибрежными зонами. Роль

- заповедников в обеспечении устойчивого развития прибрежной зоны северных морей. Материалы докладов. С.-Пб.: Изд. РГГМУ, 2004. С. 112-129.
16. Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР: методическое пособие. М., 1985. 143 с.
 17. Shutova E., Makarova O., Haraldsson E., Berlina N., Filimonova T., Aspholm P.E., Karlsen S.-R., Hogda K. A., Wielgolaski F. E. Autumn yellowing of the Nordic mountain birch in relation to climate at Kola peninsula (Russia) and along the Pasvik river west Kola / Climate change in high latitudes. Proceeding of conference. Bjerknescenterary. Bergen, Norway, 2004. P. 166-167.
 18. Режим доступа: <http://fenolog.rgo.ru/>. Дата обращения: 10.03.2016 г.

В. В. Редькина, Р. Р. Шалыгина

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Анапиты
kalmukova@inper.ksc.ru*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНО-ВОДОРОСЛЕВЫХ ЦЕНОЗОВ В ПОЧВАХ ПОЛУОСТРОВА РЫБАЧИЙ

Полуостров Рыбачий расположен в северо-западной части побережья Баренцева моря. На основании результатов классификации растительности этот район относится к субарктическим тундрам (Королева, 2006). В почвенном покрове тундровой зоны Кольского полуострова доминируют Al-Fe-гумусовые подзолы отдела альфегумусовых почв (Переверзев, 2001, Классификация почв..., 1997). В условиях затрудненного внутреннего дренажа формируется самостоятельный тип альфегумусовых почв, в которых отсутствует подзолистый горизонт, – подбуры. Пониженные элементы рельефа полуострова заняты гидроморфными торфяными и болотными почвами. При отсутствии многолетней мерзлоты криогенные процессы носят локальный характер и проявляются в виде отдельных пятен морозного выпучивания – излияний на поверхность почвы переувлажненных почво-грунтов.

Как известно, микроскопические водоросли и цианобактерии являются одной из важных составляющих микробоценоза почвы. Особенно значительна их роль в тундровых и горных экосистемах с экстремальными условиями среды (Штина, Голлербах, 1976; Гецен и др., 1994; Hoffmann, 1989). Первые исследования альгофлоры почв тундровой зоны Мурманской области были проведены Эмилией Адриановной Штиной в 1980-х гг. совместно с сотрудниками лаборатории охраны природы Кольского научного центра. На территории п-ва Рыбачий и примыкающего к нему с юга п-ова Средний было обнаружено 36 видов водорослей и цианобактерий, большую часть из которых составляли одноклеточные зеленые водоросли (23 вида). Гораздо меньшим разнообразием отличались желтозеленые водоросли (6), харовые (3), синезеленые (3). Диатомовые водоросли не были обнаружены. К часто встречающимся были отнесены водоросли родов *Chlamydomonas*, *Choricystis*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Coccomyxa*, *Desmococcus*, *Stichococcus*, к редко встречающимся представители родов *Chloromonas* и *Anabaena*. Результаты вошли в общий список водорослей тундровой зоны Кольского п-ова (113 видов), включая прилегающий хребет Мустатунтури, Дальнезеленецкую, Титовскую и Западную Озерную катены (Евдокимова, Мозгова, 2001).

Целью нашей работы стало продолжение исследований, начатых Э. А. Штиной, по выявлению видового разнообразия почвенных цианопрокариот и водорослей в разных типах почв тундровой зоны п-ова Рыбачий.

Почвенные пробы отбирали в июле 2015 г., следуя по маршруту от губы Большая Волоковая Баренцева моря на запад к мысу Немецкий. Образцы:

№ 1. 69°49'17"N, 32°01'58"E, 20 н.у.м. Подбур. Побережье моря. Воронично-ерниковая тундра.

№ 2. 69°49'31"N, 32°02'10"E, 73 н.у.м. Подбур. Воронично-ерниковая тундра.

№ 3. 69°18'53" N, 32°03'13" E, 73 н.у.м. Торфяная почва. Склон горы. Воронично-ерниковая тундра, с обилием хвоща лесного.

№ 4. 69°48'5"N, 32°03'30"E, 100 н.у.м. Al-Fe-гумусовый подзол. Воронично-ерниковая тундра, очень пятнистая из-за выхода коренных пород.

№ 5. 69°48'55"N, 32°03'30"E, 100 н.у.м. Криогенная почва. Криогенное пятно диаметром 70 см, лишено растительности, профиль не дифференцирован.

№ 6. 69°46'02"N, 32°06'03" E, 51 н.у.м. Торфяная почва. Березовое криволесье с разнотравьем из злаков, герани лесной, дерна шведского, вороники, папоротников, марьянника лесного, бодяка разнолистного.

№ 7. 69°46'03"N, 32°06'10"E, 66 н.у.м. Подбур. Воронично-лишайниковая тундра.

№ 8. 69°45'59"N, 32°05'18"E, 0 н.у.м. Прimitивная почва. Каменисто-щебнистый субстрат в приливно-отливной зоне. Прибрежная полоса лебеды голостебельной. (*Atriplex nudicalis* Bogusl.).

№ 9. 69°44'17"N, 32°10'44"E, 116 н.у.м. Al-Fe-гумусовый подзол. Равнинная воронично-лишайниковая тундра.

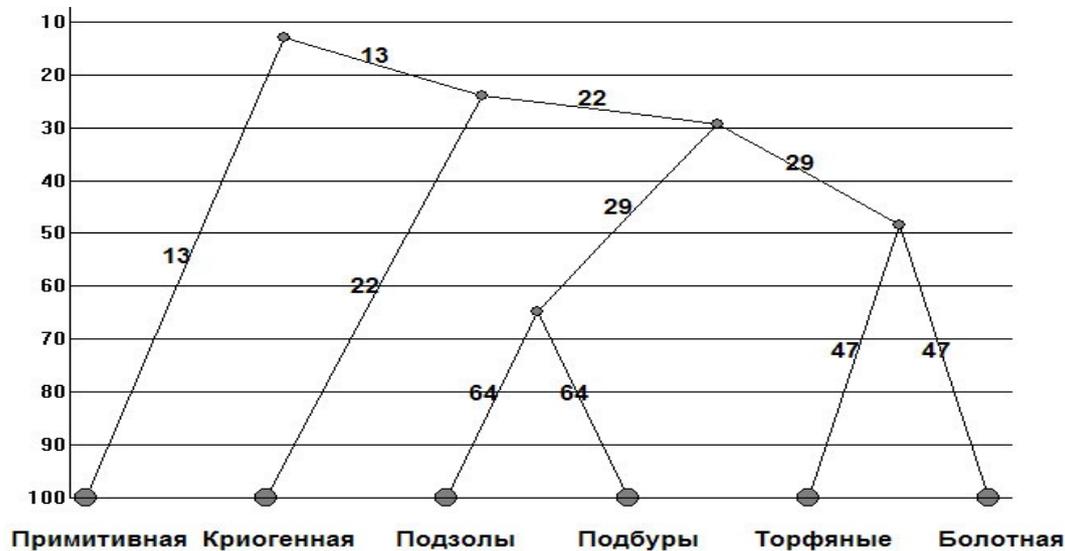
№ 10. 69°44'16"N, 32°11'15"E, 107 н.у.м. Болотная низинная почва. Болото. Растительность: пушица, осоки, ива травянистая.

№ 11. 69°44'39"N, 32°05'25"E, 15 н.у.м. Торфяная почва. Равнинная воронично-зеленомошная тундра с примесью морошки, жирянки обыкновенной, подбела многолистного.

Для исследования таксономического состава цианобактериально-водорослевых ценозов использовали метод посева песчаной суспензии на агаризованную среду, а также культивирование в жидких питательных средах 3N-BBM и Z8 (Гайсина и др., 2008; Kótai, 1972). Определение видов проводили по морфологическим признакам с использованием микроскопа Olympus CX41 с камерой Jenoptik ProgRes при увеличении $\times 1000$ с масляной иммерсией. Видовую идентификацию проводили по классическим определителям (Андреева, 1998; Ettl, Gärtner, 2014; Komárek, Anagnostidis, 2005). Для уточнения названий видов водорослей и их систематической принадлежности использовали электронную базу данных Algaebase (Guiry, 2016).

Всего нами было обнаружено 80 видов водорослей и цианобактерий, принадлежащих к 5 отделам: Chlorophyta (31), Ochrophyta (25), Cryptophyta (1), Charophyta (5), Cyanobacteria (18). Почвенный ряд по возрастанию в них видового разнообразия: криогенные и примитивные почвы (по 6 видов) – Al-Fe-гумусовые подзолы (13) – подбуры (18) – торфяные почвы (39) – болотные низинные почвы (53).

Коэффициент сходства флористического состава Сьеренсена–Чекановского показал, что наиболее сходны между собой цианобактериально-водорослевые ценозы Al-Fe-гумусовых подзолов и подбуров (рис.).



Граф сходства видового состава цианобактериально-водорослевых ценозов в почвах п-ова Рыбачий на основе коэффициента Сьеренсена-Чекановского (среднее расстояние)

Всего в них обнаружено 21 вид водорослей. По видовому разнообразию преобладали зеленые водоросли классов Chlorophyceae и Trebouxiophyceae. Часто встречались *Borodinellopsis cf. oleifera* Schwarz, *Coccomyxa cf. confluens* (Kützing) Fott., *Elliptochloris bilobata* Tschermak-Woess, *Leptosira* sp., *Parietochloris* sp., *Pseudococcomyxa simplex* (Mainx) Fott, *Stichococcus bacillaris* Nägeli. Единственным представителем отдела охрофитовых стал *Eustigmator magnus* (J. B. Petersen) D. J. Hibberd, желтозеленые и диатомовые водоросли не были обнаружены. Из цианобактерий встречалась лишь *Aphanocapsa* sp. При сравнении наших данных с результатами, полученными Э. А. Штиной, следует

учитывать, что наибольшее видовое разнообразие, включая 4 вида желтозеленых, было обнаружено ею в почве под моховой подушкой. Мы же отбирали почвы под кустарничковой растительностью.

В торфяных почвах ведущая роль также принадлежала зеленым водорослям. При этом заметно большим, чем в предыдущих типах почв, разнообразием отличались цианобактерии (18 % от общего числа видов). Наконец, здесь выявлены диатомовые водоросли (26 %), в основном представители родов *Eunotia* и *Pinnularia*: *Eunotia praerupta* Ehrenberg, *Eunotia cf. bilunaris* (Ehrenberg) Schaarschmid, *Pinnularia cf. borealis* Ehrenberg, *Pinnularia subcapitata* W.Gregory, *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, *Pinnularia cf. lata* (Brébisson) W. Smith.

Самое высокое обилие видов отмечено в болотной низинной почве. Своеобразие флоры определяется длительным избыточным увлажнением, накоплением органического вещества, восстановительными процессами. Представители трех основных групп (зеленые, диатомовые, синезеленые водоросли) вносят равный вклад в общее биоразнообразие (25, 28, 30 % от общего числа видов соответственно). Список зеленых водорослей дополняется характерными для сильно увлажненных и водных местообитаний видами из класса Conjugatophyceae: *Cosmarium cf. impressulum* Elfving, *Cosmarium quadratum* Ralfs ex Ralfs, *Mougeotia* sp. Во всех образцах болотной почвы встречались цианопрокариоты *Microcoleus vaginatus* Gomont ex Gomont, *Geitlerinema cf. splendidum* (Greville ex Gomont) Anagnostidis, *Leptolyngbya* sp., *Pseudoanabaena* sp. Кроме того, были обнаружены представители родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Nostoc*, *Anabaena*. Среди диатомовых водорослей встречались как мелкие формы, определение которых затруднено в живых смешанных культурах без приготовления специальных препаратов, так и достаточно крупные представители диатомей: *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, *Pinnularia cf. divergens* W. Smith, *Pinnularia cf. brebissonii* (Kützing) Rabenhorst, *Pinnularia cf. macilenta* Ehrenberg, *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) Otto Müller, *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni. В болотной почве обнаружены и желтозеленые водоросли: *Characiopsis* sp. и *Xanthonema cf. exile* (Klebs) P.C. Silva. Большое видовое разнообразие основных групп водорослей, присутствие десмидиевых, находки крупных диатомей – характерные черты альгофлоры болотных почв (Штина и др., 1998).

В настоящее время продолжаются работы по выделению монокультур водорослей и цианобактерий и их определению, уточняются списки видов.

Литература

1. Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М.: Наука, 1998. 348 с.
2. Гайсина Л. А., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 152 с.
3. Гецен М. В., Стенина А. С., Патова Е. Н. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия. Екатеринбург, 1994. 148 с.
4. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. 184 с.
5. Классификация почв России. М., 1997. 235 с.
6. Королева Н. Е. Зональная тундра на Кольском полуострове – реальность или ошибка? // Вестник МГТУ, 2006. Том 9, № 5. С. 747-756.
7. Переверзев В. Н. Почвы тундр Северной Фенноскандии. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. 127 с.
8. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М., 1976. 144 с.
9. Штина Э. А., Зенова Г. М., Манучарова Н. А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение, 1998. № 12. С. 1449-1461.
10. Ettl H. & Gärtner, G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage. Springer Berlin Heidelberg, 2014. 773 p.
11. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. 2016. <http://www.algaebase.org>.
12. Hoffmann L. Algae of terrestrial habitats // Bot. Rev. 1989. Vol. 55. N 2. P. 77.
13. Komárek J. et Anagnostidis, K. 2005. Cyanoprokaryota, 1. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel, B., Gärtner, G., Krienitz, L. et Schlager, M. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2. Elsevier, München, 759 pp.
14. Kótai J. Instructions for Preparation of Modified Nutrient Solution Z8 for Algae. Norwegian Institute for Water Research, Publ. B-11/69, Blindern, Oslo, Norway, 1972. *Xanthonema cf. exile* (Klebs) P.C.Silva.

МИКРОБНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЧВЫ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ (СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)

Почвенные микроорганизмы играют ключевую роль в функционировании наземных экосистем и весьма «чувствительны» к изменениям окружающей среды, в том числе и антропогенным воздействиям (Ананьева, 2003). Исследователи широко используют микробиологические показатели, среди которых обилие и дыхательная активность, для оценки разных воздействий на почву. Имеется обширная информация о влиянии воздушных выбросов промышленных предприятий, содержащих тяжелые металлы, фтор, алюминий, серу и другие загрязнители, на наземные, в том числе и лесные, экосистемы (Евдокимова и др., 1984; Загуральская, Зябченко, 1994; Евдокимова и др., 2013). Однако оценке влияния аэротехногенного загрязнения на почву при добыче и переработке нерудных полезных ископаемых уделено недостаточное внимание. Основным компонентом выбросов таких горнодобывающих предприятий является неорганическая пыль (SiO_2). Так, добыча гранита на карьере «Кузнечное» (северо-западное Приладожье) сопровождается выбросами пыли в атмосферу, достигающей примерно 111 т год^{-1} (Ковшов и др., 2008). При этом отмечено поступление в атмосферу сажи, окислов углерода, азота и серы ($0.04\text{-}13 \text{ т год}^{-1}$). Следует отметить, что в Ленинградской области в настоящее время имеется 13 предприятий по добыче гранита и гранито-гнейсов (Выписка ... , 2016).

Поэтому наша работа была нацелена на изучение микробиологических показателей почвы хвойных лесов северо-западного Приладожья и оценку возможного влияния горнодобывающего предприятия на почвенный микробный компонент, связанного с положением почвы в ландшафте, ее экспозиции, типа растительной ассоциации и удаленности от источника загрязнения.

Объекты и методы исследования

Локализация, отбор образцов. В окрестности горнодобывающего предприятия (ОАО «Гранит-Кузнечное», северо-восток Ленинградской обл.) были выбраны четыре катены (северная и южная экспозиция; санитарно-защитная и фоновая зоны) сельгового ландшафта (табл.1). Доминирующая растительность – сосновые (светлохвойные), реже – еловые (темнохвойные) леса (возраст 65 и 95 лет соответственно). В каждой точке отбора (всего 11) диагностировали автономную, транзитную и аккумулятивную части ландшафта (катены), почву и растительную ассоциацию (табл.2). Отбирали образцы (всего 28) растительной подстилки и почвы (верхние 0-5 и 5-10 см минеральные слои, преимущественно в транзитной и аккумулятивной частях, методом «конверта», $5 \times 10 \text{ м}$), в том числе и по горизонтам (стенки разреза, 5 и 10-ая локализации). В автономной части катены сформированы маломощные почвы, торфяной и перегнойный горизонты (мощность 3-4 см) которых лежат на монолите породы.

Таблица 1

Локализация, экспозиция, протяженность и разность высот исследуемых катен

Катена ^a , №	Координаты, °с.ш. / °в.д.	Экспозиция	Расстояние ^б , м		
			ПР	РВ	Р
1	61°07'50" / 29°52'45"	Северная	45	10	300
2	61°07'20" / 29°53'54"	Южная	30	10	500
3	61°08'20" / 29°55'10"	Северная	30	20	2000
4	61°08'12" / 29°55'15"	Южная	55	20	2000

Примечание. ^a 1 – зона: санитарно-защитная, 2 – граница санитарно-защитной, 3 и 4 – фоновая (восточнее предприятия); ^б ПР, протяженность; РВ, разность высот; Р, расстояние от карьера.

Положение в ландшафте, растительная ассоциация и почва
(Классификация и диагностика почв РФ, 2004) северо-западного Приладожья

Катена	ЧЛ ^а	Л ^б	Растительная ассоциация	Почва ^в
1	А	1	Подрост березы с редким разнотравьем (после пожара) (Б _р)	Л _п
	Т	2	Сосняк чернично-папоротниковый (С _{чп})	Подбур
2	А	3	Сосняк зеленомошный (С _{зм})	Л _п
	Т	4	Сосняк чернично-вересковый зеленомошный (С _{чвзм})	Подбур
	АК	5	Сосняк чернично-разнотравный (С _{чр})	ДП _г
3	А	6	Сосняк мохово-лишайниковый (С _{мл})	Л _п
	АК	7	Ельник кисличный (Е _к)	Подбур
4	А	8	Сосняк сфагновый (С _{сф})	ТЛ _{пт}
	Т	9	Сосняк чернично-зеленомошный (С _{чзм})	Подбур
	АК	10	Сосняк разнотравно-злаковый (С _{рз})	Дпг
		11	Луг (таволга вязолистная, гравилат речной, осока)	Г _{сг}

Примечание. Здесь и далее: ^а ЧЛ, часть ландшафта: А, автономная; Т, транзитная; АК, аккумулятивная; ^б Л, локализация; ^в Л_п, литозем перегнойный; ДП_г, дерново-подбур глееватый; ТЛ_{пт}, торфяно-литозем перегнойно-торфяный; Г_{сг}, глеезем серогумусовый.

Методы

Микробиологические. Содержание углерода микробной биомассы (С_{мик}) почвы и растительного субстрата определяли методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД), основанного на измерении начальной максимальной скорости дыхания (образование СО₂) почвенных микроорганизмов после обогащения почвы дополнительным источником углерода и энергии – глюкоза (Anderson, Domsch, 1978; Ананьева и др., 2011). Навеску почвы и растительного субстрата (2 и 1 г соответственно) помещали во флакон (объем 15 мл), добавляли раствор глюкозы (0.1 мл г⁻¹), концентрация которой составляла 10 мг г⁻¹ образца, герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный образец инкубировали 3-5 ч (22°C), отбирали пробу воздуха из флакона и анализировали на газовом хроматографе (Кристаллюкс 4000М). Время отбора газовой пробы также фиксировали. Величину С_{мик} (мкг С г⁻¹ почвы) рассчитывали по формуле: СИД (мкл СО₂ г⁻¹ почвы ч⁻¹) × 40.04 + 0.37 (Anderson, Domsch, 1978). Базальное (микробное) дыхание (БД, мкг СО₂-С г⁻¹ почвы ч⁻¹) почвы определяли также как СИД, только вместо раствора глюкозы добавляли воду (0.1 мл г⁻¹), продолжительность инкубации составляла 24 ч. Рассчитывали отношение БД / С_{мик} = qCO₂ (мкг СО₂-С мг⁻¹С_{мик} ч⁻¹) и долю С_{мик} в С_{орг} почвы (%). До начала микробиологических измерений почву просеивали через сито (2 мм), увлажняли до 55% полной влагоемкости (ПВ, что составляет примерно 25 % содержания воды в почве) и помещали в полиэтиленовый пакет с воздухообменом для прединкубации (22°C, 7 сут.). Растительную подстилку освобождали от крупных включений (ветки), измельчали ножницами и увлажняли водой (3 мл г⁻¹ субстрата, около 250% ПВ).

Химические. Содержание С_{орг} почвы определяли бихроматным окислением, значение pH (почва : вода = 1 : 2.5) – потенциометрически, подвижных форм тяжелых металлов (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) – атомно-абсорбционной спектрометрией (аммонийно-ацетатный раствор, pH 4.8).

Статистика. Измерение С_{мик} и БД проводили в 4-х повторностях, расчет выполнен на вес сухой почвы (105°C, 8 ч), результаты выражены как среднее ± стандартное отклонение (Excel). Соответствие данных закону нормального распределения проверяли критерием Шапиро-Уилка (Shapiro-Wilk's W-test), гомогенность дисперсий нескольких независимых групп – критерием Левина (Levene's test). Распределение данных (медиана, межквартильный размах) визуализировали диаграммой box-and-whisker plot. Сравнение нескольких независимых групп осуществляли однофакторным дисперсионным (ANOVA) и апостериорным (критерий Тьюки) анализами.

Результаты

В лесах мощность растительной подстилки составила 1-5 см, наибольшая – в сосняке сфагновом и мохово-лишайниковом (табл.3). Высокие величины С_{мик} и БД отмечены в подстилке ельника кисличного и сосняка разнотравно-злакового, меньшие – сосняка (зеленомошный и мохово-лишайниковый) и подростка березы (различие 12-18 и 17-36 раз для С_{мик} и БД соответственно). Кроме того, эти показатели подстилки в автономной части катены были значимо меньше, чем транзитной и

аккумулятивной. Удельное дыхание микробной биомассы (qCO_2) составило 1.4-4.3 мкг CO_2 -С мг⁻¹ С_{мик}·ч⁻¹, причем в сосняке мохово-лишайниковом (автономная часть ландшафта) оно наименьшее.

В верхнем минеральном 5-ти см слое почвы содержание С_{мик} и скорость БД были в 7-25 и 12-51 раз меньше соответственно, чем растительного аналога (табл.3 и 4). В сосняках С_{мик} и БД были в среднем в 1.6 и 2 раза больше, чем таковые ельника и луга (табл.4). Удельное микробное дыхание (qCO_2) верхнего минерального слоя почвы существенно меньше (в среднем в 2 раза), чем растительной подстилки, что может свидетельствовать о меньшей «напряженности» функционирования его микробного сообщества. Следует отметить, что высокая биологическая активность изученных почв (содержание и дыхание микробной биомассы) сосредоточена в растительной подстилке. Показатель С_{мик} / С_{орг} (индикатор «качества» органического вещества) был выше ($\geq 2\%$) в почве под травяной растительностью.

Таблица 3

Содержание углерода микробной биомассы (С_{мик}), базальное дыхание (БД, мкг CO_2 -С г⁻¹ ч⁻¹) и микробный метаболический коэффициент (qCO_2 , мкг CO_2 -С мг⁻¹ С_{мик}·ч⁻¹) растительной подстилки светлохвойного (сосняк) и темнохвойного (ельник) лесов.

Величины с разными буквами значимо ($p \leq 0.05$) различаются для каждого показателя отдельно

Лес (подстилка, см)	ЧЛ	С _{мик} , мкг С г ⁻¹	БД	qCO_2
Бр (3)	А*	1603±72 d	5.1±0.4 f	3.2±0.3 ab
СЗМ (3)	А*	2419±73 d	6.2±0.4 f	2.6±0.2 b
СМЛ (4)	А*	2122±107 d	2.9±0.1 e	1.4±0.1 c
ССФ (5)	А**	8584±660 c	26.3±3.4 d	3.1±0.5 ab
СЧЗМ (2)	Т**	15341±1468 b	60.3±5.7 c	3.9±0.5 a
СЧР (1)	АК**	14299±535 b	61.3±3.0 c	4.3±0.3 a
ЕК (1)	АК**	29026±2310 a	86.0±4.7 b	3.0±0.3 b
СРЗ (1)	АК**	27797±1488 a	105.5±3.0 a	3.8±0.2 a

* Гор. Н.

** Гор. О.

Выявлено, что на разном удалении от источника загрязнения показатели С_{мик} и БД (0-10 см) сосняков и ельника почти не различались. Однако почва южной экспозиции была обогащена С_{мик} и имела высокое БД по сравнению с таковой северной (данные не показаны). Влияние аэротехногенного загрязнения на микробный компонент дерново-подбуря глееватого изучали в двух схожих растительных ассоциациях (сосняк чернично-разнотравный и разнотравно-злаковый), локализованных в аккумулятивной части катены южной экспозиции (табл.5). Оказалось, что запасы С_{мик} и БД в профиле почвы близ предприятия (500 м) были почти в 1.8 и 1.7 раза меньше соответственно, чем вдали (2 км). Причем, различие между измеряемыми показателями почвы двух катен было наибольшим для растительной подстилки по сравнению с минеральными горизонтами. Поэтому можно полагать, что именно верхний горизонт профиля (подстилка) будет подвергаться большему загрязнению, чем соответствующие нижележащие.

Таблица 4

Значение рН, содержание органического углерода (С_{орг}) и углерода микробной биомассы (С_{мик}), скорость базального дыхания (БД, мкг CO_2 -С г⁻¹ ч⁻¹) и микробного метаболического коэффициента (qCO_2 , мкг CO_2 -С мг⁻¹ С_{мик}·ч⁻¹) почвы (0-5 см) хвойных лесов и разнотравного луга северо-западного Приладожья

ДР ^а	РА ^б	рН _{Н2О}	С _{орг} , %	С _{мик} , мкг С г ⁻¹	С _{мик} /С _{орг} , %	БД	qCO_2
Сосна	СЧП	4.38	12.0	1351±42	1.1	2.4±0.1	1.8±0.1
	СЧВЗМ	4.10	13.5	2347±119	1.7	4.3±0.2	1.8±0.1
	СЧР	4.50	7.6	1693±12	2.2	2.6±0.1	1.6±0.1
	СЧЗМ	4.34	12.5	2264±207	1.8	5.0±0.6	2.2±0.3
	СРЗ	4.73	8.8	2165±128	2.5	3.3±0.3	1.5±0.2
Ель	ЕК	4.52	5.8	1129±29	2.0	1.7±0.7	1.5±0.1
Травы	Луг	5.39	4.5	1269±61	2.8	1.7±0.0	1.3±0.1

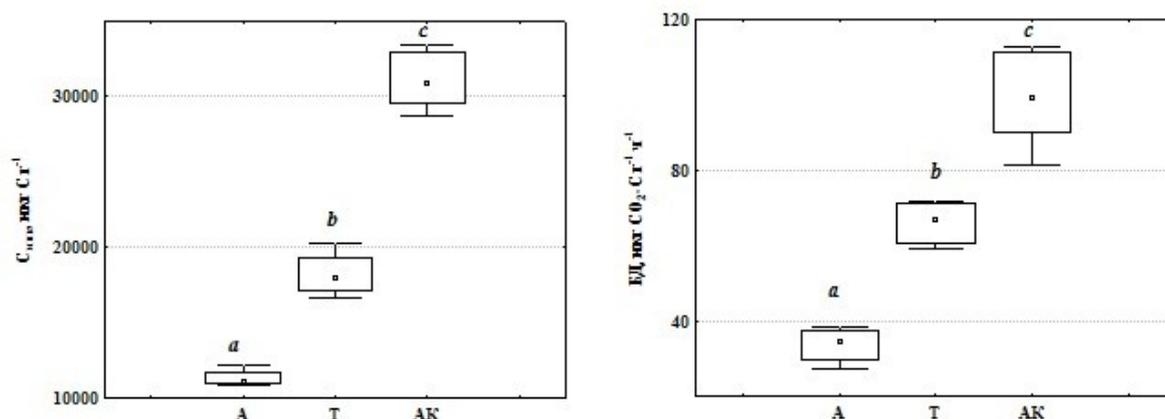
Примечание. ^а ДР, доминирующая растительность; ^б РА, растительная ассоциация.

Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), базальное дыхание (БД) и микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$, $\text{мкг CO}_2\text{-C мг}^{-1}\text{C}_{\text{мик}} \text{ч}^{-1}$) дерново-подбуря глееватого (аккумулятивный ландшафт, южная экспозиция) при разном удалении (P) от карьера

Сосняк	P, м	Горизонт (мощность, см)	$C_{\text{мик}}$, мкг C г^{-1}	БД, $\text{мкг CO}_2\text{-C г}^{-1}\text{ч}^{-1}$	$q\text{CO}_2$
Чернично-разнотравный	500	О (0-1)	14299±535	61.3±3.0	4.3±0.3
		AY (1-20)	789±14	1.2±0.1	1.5±0.1
		BF (20-32)	431±2	0.4±0.03	1.0±0.1
		BFg (32-43)	95±12	0.2±0.02	1.2±0.3
		Сумма	15614	63.2	
Разнотравно-злаковый	2000	О (0-1)	27797±1488	105.5±2.9	3.8±0.2
		AY (1-25)	685±23	1.0±0.1	1.4±0.1
		BF (25-43)	141±19	0.1±0.04	0.6±0.3
		BFg (43-67)	18±5	0.01±0.01	0.6±0.6
		Сумма	28641	106.5	

Вдоль градиента изученных катен (от автономной к транзитной и аккумулятивной части) показано существенное увеличение содержания микробного компонента и его дыхательной активности (рис.).

В почве (0-5 см) изученных катен содержание подвижной формы Fe и Mn составило 127-353 и 2-108 мг кг^{-1} , Zn и Pb – меньше на 1-2 порядка (0.6-5.7 и 0.4-9.3 мг кг^{-1} соответственно), а Co, Cr, Cu, Ni и Cd – не превышало 1 мг кг^{-1} . Содержание этих металлов в почве не превышало в основном их предельно-допустимые концентрации (ГН 2.1.7.2041-06). Однако в подбуре близ карьера (500 м) содержание Pb было в 3.7 и 1.6 раза больше такового на удалении (2000 м) и его ПДК соответственно. В дерново-подзолистой почве аккумулятивного ландшафта на разном расстоянии от карьера обнаружено превышение ПДК для Mn (на 20-80%). Следует отметить, что содержание изученных металлов в почве разных катен, минеральных слоев и частей ландшафта значимо не различалось. Между содержанием ТМ (Pb, Zn, Cu и Cd) в почве (гор. Н, 0-5, 5-10 см, $n = 17$) и показателями ($C_{\text{орг}}$, $C_{\text{мик}}$, БД, $q\text{CO}_2$) выявлена значимая положительная взаимосвязь ($r = 0.49-0.88$), а между Cr, Fe и $C_{\text{мик}}$, БД – отрицательная ($r = -0.55-0.66$). Тесная корреляция обнаружена между Mn, Co и $C_{\text{мик}} / C_{\text{орг}}$ ($r = 0.72$ и 0.70 соответственно).



Запасы микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) и базального дыхания (БД) в профиле почв (подстилка + 0-10 см) автономной (А, $C_{\text{СФ}}$), транзитной (Т, $C_{\text{ЧЗМ}}$) и аккумулятивной (АК, среднее для $E_{\text{К}}$ и $C_{\text{РЗ}}$) частей ландшафта северо-западного Приладожья

Таким образом, для растительной подстилки хвойных лесов в окрестностях гранитного карьера показано высокое обилие и дыхательной активности микробного компонента по сравнению с соответствующими минеральными слоями почвы, что может свидетельствовать об ее экологической «хрупкости». В автономной и транзитной частях лесных ландшафтов профиль почвы

развит слабее, чем аккумулятивной (меньшая и большая биогенность соответственно). Под влиянием аэротехногенного загрязнения показано уменьшение $S_{\text{мик}}$ и БД (преимущественно в растительной подстилке), однако существенного увеличения ТМ в почве не выявлено.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-04-00915 и 16-34-00398.

Литература

1. *Ананьева Н. Д.* Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
2. *Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение, 2011. № 11. С. 1327-1333.
3. Выписка из государственного реестра участков недр, предоставленных для добычи полезных ископаемых, а также в целях, не связанных с их добычей, и лицензий на пользование недрами по территории Ленинградской области (по состоянию на 01.01.2016 г.) URL: <http://nature.lenobl.ru/>
4. *Евдокимова Г. А., Кислых Е. Е., Мозгова Н. П.* Биологическая активность почв в условиях аэротехногенного загрязнения на Крайнем Севере. Л.: Наука, 1984. 120 с.
5. *Евдокимова Г. А., Переверзев В. Н., Мозгова Н. П.* Трансформация растительных остатков в почве в зоне воздействия аэротехногенных выбросов алюминиевого завода // Почвоведение, 2013. № 8. С. 1005-1015.
6. *Загуральская Л. М., Зябченко С. С.* Воздействие промышленных загрязнений на микробиологические процессы в почвах бореальных лесов района Костомукши // Почвоведение, 1994. № 5. С. 105-110.
7. *Ковшов С. В., Шувалов Ю. В., Ковшов В. П.* Исследование влияния природных и техногенных факторов на запыленность рабочих мест в карьерах // Актуальные проблемы географии и геоэкологии, 2008. № 2 (6).
8. *Anderson J. P. E., Domsch K. H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. No. 3. P. 215-221.

Н. В. Салтан^{1,2}, Е. П. Шлапак¹

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского НЦ РАН,
г. Апатиты

saltan.natalya@mail.ru; evgeniashl@mail.ru

²Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, г. Апатиты

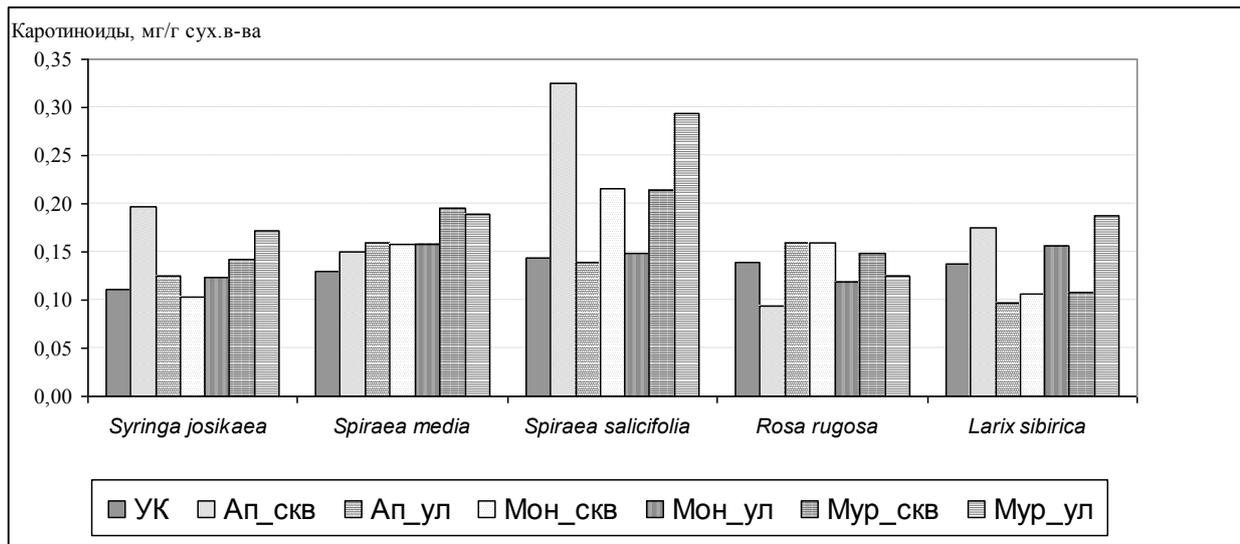
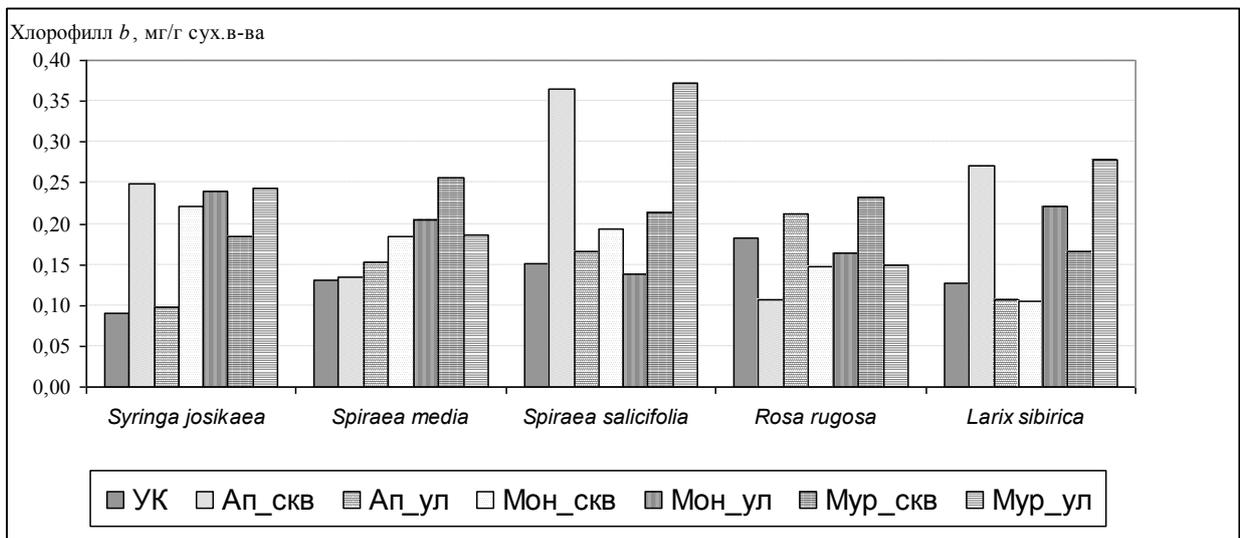
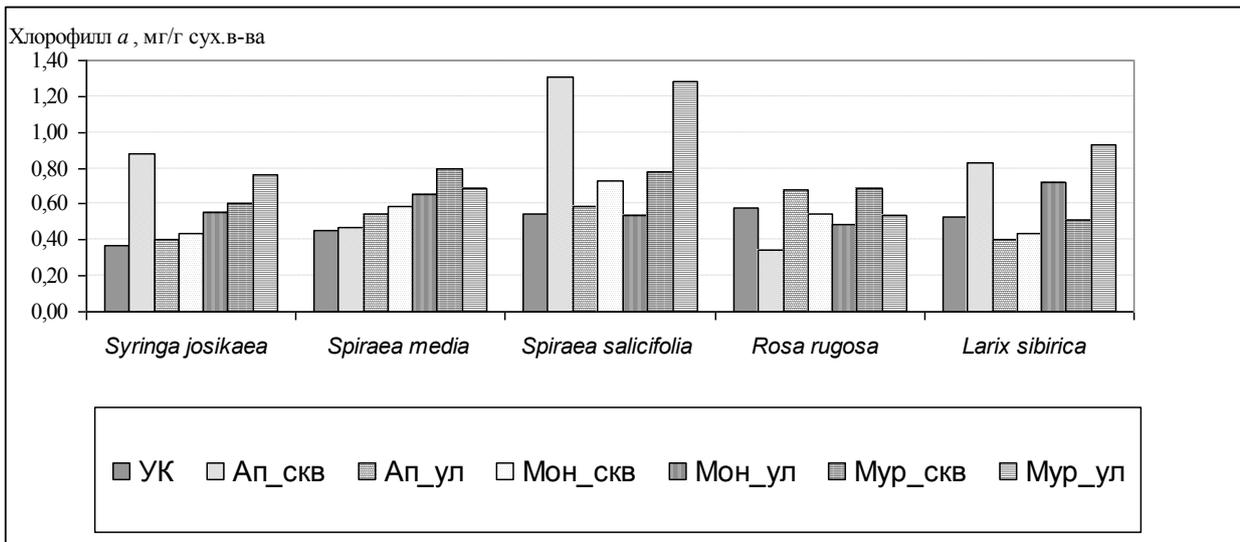
СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ряд проведенных исследований показывает, что на процессы роста и развития, на формирование адаптивных реакций растений в городской среде значительное влияние оказывает целый комплекс природных и антропогенных факторов.

Целью нашей работы стало выявление изменений в пигментном комплексе листьев древесных интродуцентов, вызванных воздействием условий техногенной среды (на примере городов Мурманской области).

Мурманская область представляет собой один из наиболее урбанизированных регионов Крайнего Севера России. Основной вклад в существующее загрязнение вносят предприятия цветной металлургии. Характеристика степени загрязнения атмосферного воздуха в местах произрастания древесных растений представлена на основе материалов доклада о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области за 2014 г. (<http://mpr.gov-murman.ru/activities/00.condition>). Исследования проводились в городах, подверженных различной техногенной нагрузке: Апатиты (ИЗА<0.5), Мончегорск (ИЗА=1.37) и Мурманск (ИЗА=0.64).

Объектом исследования послужили наиболее распространенные в озеленении городов Кольского севера дендроинтродуценты: лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), сирень венгерская (*Syringa josikaea* Jacq. fil.), спирея средняя (*Spiraea media* Franz Schmidt), спирея иволистная (*Spiraea salicifolia* L.) и шиповник морщинистый (*Rosa rugosa* Thunb.). Изучаемые виды растений произрастают в городах в составе разных типов озелененных территорий категории общегородского пользования: улицы и скверы. В качестве условного контроля (УК) был выбран экспериментальный участок ПАБСИ.



Содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений разных типов озелененных территорий гг. Апатиты, Мончегорск, Мурманск и экспериментального участка ПАБСИ, мг/г сухого вещества

Отбор листьев растений проводили в июне и августе 2015 г. В лабораторных условиях определяли содержание хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов в листьях/хвое древесных растений спектрофотометрическим методом (спектрофотометр ПЭ-5400 ВИ, Россия) в спиртовых экстрактах и рассчитывали по формулам Н.К. Lichtenthaler и А.Р. Wellburn (1983).

Анализ полученных данных продемонстрировал пеструю картину распределения содержания фотосинтетических пигментов в листьях обследованных растений (рис. 1). Показано, что у растений, произрастающих в зоне условного контроля, содержание пигментов преимущественно ниже, чем в обследованных городах. При этом в некоторых случаях этот показатель самый высокий у растений г. Мурманска.

В работе Костюка (2009), выполненной для различных видов растений по градиенту загрязнения от комбината «Североникель», также выявлено увеличение общего содержания хлорофиллов и каротиноидов при некотором приближении к источнику выбросов сравнительно зоны условного контроля. Объясняется это стимулированием процессов биосинтеза пигментов пластид под воздействием тяжелых металлов.

Зависимости содержания пигментов в листьях растений от условий произрастания (скверы или улицы) обнаружено не было. Можно только констатировать, что в некотором большинстве для обследованных городов характерно более высокое содержание фотосинтетических пигментов в ассимилирующих органах растений улиц. Также следует отметить, что распределение хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов было одинаковым по видам растений в городах. Отношение хлорофилла *a/b* может характеризовать потенциальную фотохимическую активность листьев. Высокая величина отношения может, по заключению Николаевского (1979), служить признаком высокой потенциальной интенсивности фотосинтеза. Данные, полученные в результате исследования, показали, что наиболее высокая величина отношения свойственна растениям, произрастающим в зоне условного контроля, минимальная – для растений г. Мончегорска (табл.). Таким образом, отношение хлорофилла *a/b* служит информативным показателем при биоиндикации качества окружающей среды.

Величина отношения хлорофиллов *a/b* в листьях древесных интродуцентов, произрастающих в городских условиях

	<i>Syringa</i>		<i>Spiraea</i>		<i>Spiraea</i>		<i>Rosa</i>		<i>Larix</i>		Ср. знач.
	<i>josikaea</i>		<i>media</i>		<i>salicifolia</i>		<i>rugosa</i>		<i>sibirica</i>		
	сквер	улица	сквер	улица	сквер	улица	сквер	улица	сквер	улица	
<i>Весенний период</i>											
Апатиты	3.43	3.74	3.41	3.55		3.66	3.66	3.51	3.33	3.67	3.54
Мончегорск			3.26	3.37	3.47	3.55	3.66	3.35	3.65	3.23	3.47
Мурманск	3.72	3.69	3.73		1.98	3.56	4.05	3.95	3.70	3.30	3.55
<i>Осенний период</i>											
Экспер. уч.		4.16		3.46		3.59		3.16		4.17	3.59
Апатиты	3.52	4.12	3.50	3.58	3.57	3.55	3.23	3.18	3.06	3.76	3.48
Мончегорск	1.96	2.31	3.17	3.21	3.78	3.89	3.73	2.99	4.15	3.25	3.24
Мурманск	3.25	3.15	3.10	3.69	3.66	3.44	2.96	3.57	3.07	3.33	3.32

Примечание. Жирным выделено максимальная величина среднего значения, курсивом минимальное.

В ряде других работ (Бухарина и др., 2013) было установлено, что характер изменений пигментного аппарата листьев видов растений в насаждениях с разной степенью техногенной нагрузки видоспецифичен. В нашей работе также показано, что видовая принадлежность растений предопределяет распределение содержания пигментного комплекса зеленых пластид. Так, видом, характеризующимся одним из самых высоких значений содержания хлорофиллов и каротиноидов стала *Spiraea salicifolia* L., самых низких – *Rosa rugosa* Thunb..

Вследствие влияния на фотосинтетическую активность растений целого комплекса факторов (погодные условия года, степень антропогенного загрязнения окружающей среды и мн.др.) необходим длительный ряд наблюдений, включающий изучение многих параметров.

Литература

1. Бухарина И. Л., Кузьмин П. А., Гибадулина И. И. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) // Вестник Удмуртского университета. 2013. Вып. 1. С. 20-24.

2. Костюк В. И., Мельник Н. А., Шмакова Н. Ю. Состояние ассимилирующих органов растений в условиях техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2009. 82 с.
3. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 213 с.
4. Lichtenthaler H. K., Wellburn A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // Biochem. Soc. Trans. 1983. Vol. 11. No.5. P. 591-592.

Т. А. Сухарева

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
sukhareva@inep.ksc.ru

ЛИХЕНОИНДИКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В таежных экосистемах лишайниковый покров выполняет важную функцию биологического барьера на пути потоков химических элементов, в том числе элементов-загрязнителей (Власова, 2011). С учётом медленного роста и гидролабильности лишайников полагают, что атмосферные источники выбросов играют доминирующую роль в химическом составе талломов (Вайнштейн, 1982; Бязров, 2009). Другим источником поступления элементов в лишайники является субстрат. Эпигейные лишайники тесно контактируют с литосферными источниками минеральных элементов, и концентрация минеральных элементов в них может довольно точно отражать геохимические особенности условий произрастания (Erdman, Gough, 1977; Рассеянные..., 2004). Концентрации ионов металлов в слоевищах лишайников в значительной степени зависят от интенсивности выпадения пылевых и аэрозольных частиц (Seaward, 1992).

Цель исследования – изучение пространственно-временных закономерностей изменения элементного состава напочвенного лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения северотаежных лесов соединениями серы и тяжёлыми металлами в районе действия горно-металлургических предприятий – комбинатов «Североникель» (г. Мончегорск) и «Печенганикель» (г. Никель), включая территории государственных природных заповедников.

Исследования проводили на постоянных мониторинговых площадях на различном удалении от медно-никелевых комбинатов «Североникель» (центральная часть Мурманской области, Мончегорский градиент – 31, 48, 175 (фон) км) и «Печенганикель» (северо-западная часть Мурманской области на границе с Норвегией, Никельский градиент – 5, 10, 15, 44, 73 км), включая территории Лапландского государственного природного биосферного заповедника и государственного природного заповедника «Пасвик». Фоновая территория расположена в юго-западной части Мурманской области на значительном расстоянии от источников загрязнения.

В последние два десятилетия произошло снижение объёмов выбросов и в несколько раз сократилось количество поступающих в атмосферу приоритетных поллютантов.

Сбор образцов напочвенного лишайника *Cl. stellaris* проводили на одних и тех же пробных площадях в 1991, 2004, 2007 и 2011 гг. в трех–пяти-кратной повторности в конце периода вегетации (август). В фоновых условиях пробы отобраны в 5–10-кратной повторности.

Концентрации химических элементов определяли в вытяжке после мокрого озоления концентрированной азотной кислотой. Проведено изучение доступных для биоты соединений элементов в органогенном горизонте иллювиально-гумусовых подзолов межкрупных пространств, отобранных в пятикратной повторности на пробных площадях в 2011 г. В почвенных образцах экстракцию металлов проводили 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH=4.65). Металлы (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Sr, Co, Cd, Pb, Cr, As) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, К – атомно-эмиссионной спектрометрии; Р – фотокolorиметрическим методом по интенсивности окраски фосфорно-молибденового комплекса (метод Лоури-Лопеса); S – турбидиметрическим методом. В работе использованы количественные показатели интенсивности биологического поглощения элементов – коэффициент концентрации (Кс), коэффициент биологического поглощения Перельмана, (Кб) коэффициент биогеохимической подвижности (Вх).

Математическую обработку данных проводили с помощью общепринятых статистических методов с использованием пакета программ Microsoft Excel 6.0. Проведена оценка достоверности различия средних значений с использованием непараметрических статистических критериев: U-критерия Манна-Уитни и **Н-критерия Краскела-Уоллиса**.

В талломах лишайников на территории заповедника «Пасвик», несмотря на его значительную удаленность от источников выбросов, концентрации Ni и Cu превышают фоновые значения в 4-5 раз, S – в 1.5 раза. Концентрация остальных элементов минерального питания в лишайниках на территории заповедника сопоставима с фоновым содержанием.

Химический состав лишайников существенно трансформируется в условиях атмосферного загрязнения. Лишайники в большом количестве накапливают тяжёлые металлы (Cu, Ni), никель аккумулируется наиболее интенсивно. Данная особенность в условиях атмосферного загрязнения была нами отмечена и для хвойных деревьев (Сухарева, Лукина, 2014), что объясняется тем, что в выбросах за периоды наблюдений с 1991 по 2002 гг. (Мончегорский градиент) и с 1991 по 2011 гг. (Никельский градиент) существенно преобладал Ni, что может являться причиной его преобладания над Cu в растениях и лишайниках, поскольку значительная доля частиц осаждается на поверхности листьев (талломах) в результате процессов седиментации вблизи источников выбросов или в форме аэрозольных частиц на удалении от комбината.

Аномально высокие уровни накопления тяжёлых металлов в лишайниках отмечаются как в непосредственной близости от медно-никелевых комбинатов (5-10 км от источника загрязнения), так на значительном удалении от источников выбросов (30-70 км от комбината). Высокие уровни накопления в лишайниках отмечаются также для рассеянных элементов – Co, Cd, Pb, As, Cr.

При сравнении результатов анализов разных периодов исследования (1991, 2004, 2007, 2011 гг.) обнаружилось, что на современном этапе в талломах лишайника *Cladonia stellaris* снизились концентрации Al, Fe, Zn, Ni, Cu в зоне воздействия комбината «Североникель», содержание Fe – комбината «Печенганикель». Одновременно в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (на расстоянии 15 км) концентрация Ni в лишайниках возросла более чем в 2 раза.

Произошло увеличение концентраций Ca, K и P в лишайниках в зоне воздействия горно-металлургических предприятий региона, но связано оно не с оптимизацией минерального состава почвы, а с атмосферным поглощением данных элементов лишайниками.

Высокие уровни накопления тяжёлых металлов отмечены в лишайниках на территориях Лапландского государственного природного биосферного заповедника и государственного природного заповедника «Пасвик», несмотря на значительную удаленность последнего от источника выбросов, что свидетельствует о дальности переноса загрязняющих веществ. В лишайниках на территории Лапландского государственного природного биосферного заповедника за период 2007-2011 гг. в талломах лишайников снизилась только концентрация никеля.

Установлены парцеллярные различия в химическом составе лишайников подкроновых и межкroновых пространств. Под кроной ненарушенных фитоценозов в талломах лишайников возрастает концентрация K, Zn, Cu, в условиях атмосферного загрязнения – K, P, Fe, Zn, Cu, т.е. дополнительным источником элементов минерального питания становятся элементы, вымываемые осадками из кроны деревьев и растений напочвенного покрова.

Анализ величин коэффициента биогеохимической подвижности (Vх) показывает высокую биогеохимическую активность Fe как в ненарушенных, так и подверженных атмосферному воздействию фитоценозах северотаежных лесов. Значительную биогеохимическую подвижность демонстрируют также K, P, S, Al, Cu, Ni. Данный коэффициент оказывается более информативным по сравнению с коэффициентом биологического поглощения (Кб) при оценке геохимических особенностей условий произрастания (табл.).

Коэффициенты концентрации (Кс) позволяют определить уровень загрязнения в результате атмосферного переноса поллютантов от источников выбросов. Аномальными считаются концентрации, Кс которых равен или больше 1.5 (Геохимия..., 1990). Наиболее высокие значения Кс отмечены для никеля, меди, железа – приоритетных элементов-загрязнителей района исследования (рис.). Самая интенсивная аккумуляция тяжелых металлов отмечена в 5–15-километровой зоне от комбината «Печенганикель». Рассчитанные Кс для никеля и меди являются аномальными для всех обследованных пробных площадей обоих градиентов, в том числе находящихся на значительном расстоянии, что свидетельствует о дальности переноса загрязняющих веществ.

Способность лишайников к аккумуляции загрязняющих веществ гораздо выше, чем у хвойных деревьев и кустарничков, что позволяет использовать их элементный состав в качестве критерия оценки загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и соединениями серы в условиях атмосферного загрязнения, в том числе на значительном расстоянии от источников выбросов.

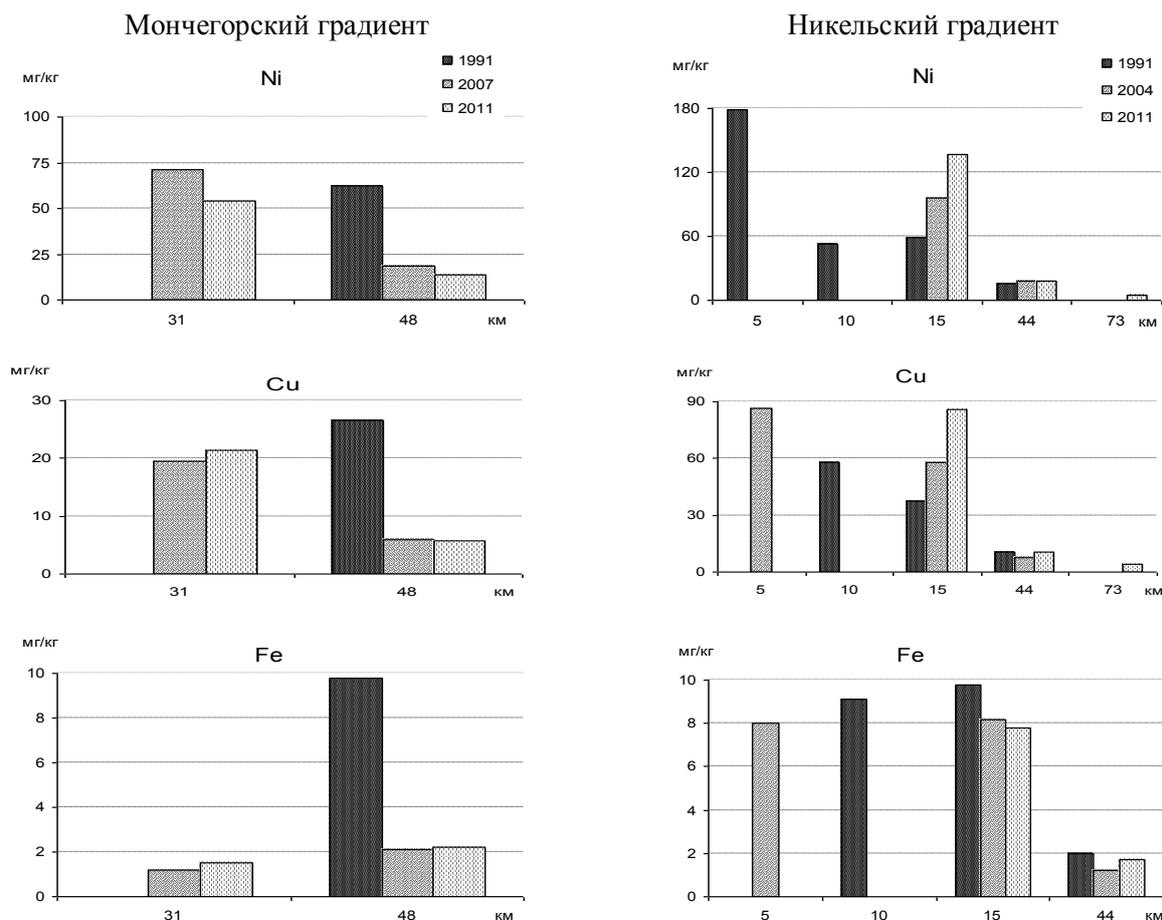
Валовый состав и содержание подвижных форм элементов в органогенном горизонте иллювиально-гумусовых подзолов межкروновых пространств (лишайниковые парцеллы) сосновых лесов в зоне воздействия комбината «Североникель» и значения коэффициентов биологического поглощения (Кб) и биогеохимической подвижности (Вх)

Расстояние от комбината, км	Ca	K	P	Mg	Mn	S	Al	Fe	Zn	Cu	Ni
Валовое содержание элементов в почве, мг кг ⁻¹											
175 (260)*	3599±2	2782±554	1600±242	980±126	266±34	500±15	12828±767	11838±226	75±1	65±4	164±30
31**	3425±480	2041±382	1685±307	1001±150	275±59	620±177	5105±1093	6025±415	54±1	121±38	258±89
Коэффициент биологического поглощения (Кб)											
48	0.2	0.5	0.4	0.2	0.1	0.6	0.02	0.02	0.1	0.2	0.1
31**	0.2	0.7	0.3	0.2	0.1	0.7	0.04	0.03	0.3	0.3	0.3
Содержание подвижных форм элементов в почве, мг кг ⁻¹											
175 (260)*	1812±215	751±78	161±24	237±23	42±14	106±7	81±16	9±2	18±1	0.1±0.0	0.5±0.1
48	1030±82	503±103	113±10	129±28	43±3	121±9	211±63	27±6	20±3	10.7±1.8	19.3±0.3
31**	1312±78	508±97	93±26	187±31	20±5	84±8	143±23	12±2	20±4	14.2±4.8	41.7±4.6
Коэффициент биогеохимической подвижности (Вх)											
175 (260)*	0.2	1.6	2.4	0.8	1.8	2.1	1.4	14.6	0.6	17.1	2.8
48	0.8	2.1	2.8	1.3	0.8	2.6	1.4	10.0	0.6	0.9	0.9
31**	0.6	2.6	5.9	0.9	1.7	4.8	1.4	16.1	0.7	2.6	1.7

*Фоновая территория, расстояние указано от медно-никелевых комбинатов «Североникель» («Печенганикель»).

**Лапландский государственный природный биосферный заповедник.

Примечание. В таблице приведены средние значения (± стандартная ошибка).



Коэффициенты концентрации (Кс) химических элементов в лишайниках в зоне воздействия комбинатов «Североникель» (Мончегорский градиент) и «Печенганикель» (Никельский градиент)

Литература

1. Бязров Л. Г. Эпифитные лишайники г. Москвы: современная динамика видового разнообразия / М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 146 с.
2. Вайнштейн Е. А. Некоторые вопросы физиологии лишайников. III. Минеральное питание // Ботанический журнал, 1982. Т. 67, № 5. С. 561-571.
3. Власова Н. В. Ландшафтно-геохимическое состояние таежных экосистем в бассейне Нижней Тунгуски // География и природные ресурсы, 2011. № 2. С. 100-107.
4. Геохимия окружающей среды / Под ред. Ю. Е. Саг, Б. А. Ревич, Е. П. Янина и др. М.: Недра, 1990. 334 с.
5. Рассеянные элементы в бореальных лесах / Под ред. А. С. Исаева. М.: Наука, 2004. 616 с.
6. Сухарева Т. А., Лукина Н. В. Минеральный состав ассимилирующих органов хвойных деревьев после снижения уровня атмосферного загрязнения на Кольском полуострове // Экология, 2014. № 2. С. 1-8.
7. Erdman J. A., Gough L. P. Variation in the element content of *Parmelia chlorochroa* from the Powder River Basin of Wyoming and Montana // *Borilologist*. 1977. Vol.80, no 2. P. 292-303.
8. Seaward M. R. D. Large-scale air pollution monitoring using lichens // *GeoJourn*. 1992. no 4. P. 403-411.

Н. В. Фокина, Г. А. Евдокимова, М. В. Корнейкова, Н. П. Мозгова, В. В. Редькина
Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
voronina@inep.ksc.ru

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Заповедник «Пасвик» расположен на северо-западе России в Печенгском районе Мурманской области по обе стороны государственной границы России и Норвегии и является уникальной особо охраняемой природной территорией. Заповедник создан с целью сохранения и изучения самых северных в Европе сосновых лесов, обширных водно-болотных угодий мирового значения, фауны водоплавающих птиц и ведения комплексного мониторинга северных экосистем.

В растительном покрове заповедника преобладают леса, занимающие более 50 % его площади. Основная лесообразующая порода – северная форма сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – сосна Фриза, или лапландская (*P. friesiana* Wichura (*P. lapponica* (Fries ex C. Hartm.) Holmb.). Леса редкостойные, низкого бонитета, отнесены к числу наиболее ценных в Мурманской области.

Объекты и методы исследований

Объект исследования – почвенная биота заповедника (гора Калкупя, мониторинговые площадки ICP-Forest лаборатории наземных экосистем на острове Варлама и под поселком Янискоски, гора Кораблекк как прилегающая территория).

На северо-западных склонах гор достаточно четко проявляется вертикальная поясность растительного покрова. Лесной пояс представлен мохово-кустарничковым сосновым лесом, который выше по склону меняется на пояс березового редколесья. Вершины гор заняты воронично-лишайниковой тундрой. В лесотундровом и лесном поясах гор сформировались типичные Al-Fe-гумусовые подзолы с хорошо развитым подзолистым горизонтом мощностью до 7-10 см. Почвообразующей породой служит элюво-делювий коренных пород песчаного гранулометрического состава (Исследование состояния почвенного покрова..., 2010). Почвы мониторинговых площадок ICP-Forest– Al-Fe-гумусовые подзолы с мощностью органогенного горизонта 5-10 см.

Образцы для микробиологического анализа брали из органогенного горизонта с каждой площадки в трех точках со всеми мерами, предупреждающими их контаминацию. Изучение численности и разнообразия микробиоты проводили методом посева на селективные питательные среды. Численность сапротрофных аэробных бактерий определяли на мясо-пептонном агаре (МПА), количество олиготрофных бактерий определяли на слабоминерализованной среде Аристовской. Численность грибов определяли методом посева на среду Чапека и сусло-агар с добавлением молочной кислоты из расчета 4 мл на 1 л среды для ингибирования роста бактерий. Выделение грибов для их идентификации проводили с этой среды. Расчеты численности микроорганизмов выполнены на 1 г абс. сухой почвы.

Анализ биологического разнообразия грибов выполнен на основе культурально-морфологических признаков с использованием определителей (Domsh et al., 2007). Видовые названия уточняли по пополняемым спискам видов в базе данных “Speciesfungorum” (База данных “Speciesfungorum”).

Общую численность и биомассу бактерий определяли методом флуоресцентной микроскопии с использованием поликарбонатных мембранных фильтров Cycloporo Black с диаметром пор 0.2 мкм (Евдокимова, Мозгова, 2001).

Для определения численности и разнообразия микроскопических водорослей брали образцы из верхнего слоя органогенного горизонта (подстилки) в 3-5 кратной повторности. Численность живых клеток водорослей определяли методом прямого счета под люминесцентным микроскопом на сухих мазках почвенной суспензии (Кондакова, Домрачева, 1968).

Для исследования таксономического состава водорослевых ценозов использовали метод чашечных культур с покровными стеклами, метод посева почвенного мелкозема на агаризованную среду, а также водные культуры водорослей на среде Болда. Родовую и видовую принадлежность водорослей определяли по морфологическим признакам, следуя отечественным и зарубежным определителям (Андреева, 2011; Ettl, Gärtner, 2014).

Результаты и обсуждение

В почвах горных экосистем численность сапротрофных бактерий, требовательных к источникам питания, ниже числа олиготрофных бактерий (табл.1). Очень низкая численность бактерий была в почве горной тундры горы Кораблекк, что в целом характерно для горных тундр Кольского Севера (Евдокимова, Мозгова, 2001). Численность бактерий и грибов в почвах г. Калкупя превосходила их число в почвах г. Кораблекк.

Таблица 1

Численность бактерий (тыс./ г) и грибов (тыс. КОЕ/г) в почвах гор

Место отбора проб	Бактерии		Грибы
	сапротрофные	олиготрофные	
г. Кораблекк, горная тундра	0	7±3	9.6±1.5
г. Кораблекк, березовое редколесье	311±62	260±66	8.2±1.0
г. Кораблекк, сосняк мохово-кустарничковый	75±6	95±23	6.4±1.0
г. Калкупя, горная тундра	310±47	732±48	38.7±8.5
г. Калкупя, березовое редколесье	1844±287	8797±1819	66.4±8.0
г. Калкупя, сосняк мохово-кустарничковый	1727±704	5830±1589	43.5±5.7

В сосняке лишайниково-брусничном участков ICP-Forest (пос. Янискоски) наибольшая общая численность и биомасса почвенных бактерий, включающая как жизнеспособные, так и мертвые клетки, выявлена под брусникой (0.71 мг/г почвы), наименьшая – под багульником и лишайниками (0.42-0.44 мг/г). Известно, что усниновая кислота лишайников является антибиотиком широкого спектра действия. Багульник также вырабатывает ряд метаболитов, обладающих асептическим действием. В березняке участков ICP-Forest (о. Варлама) биомасса бактерий под различными растительными ассоциациями выровнена.

Длина грибного мицелия в почве мониторинговых площадок достигала значительных величин – более 1000 м в 1 г почвы, его биомасса изменялась от 1.5 до 3.0 мг/г почвы. Грибная биомасса в органогенных горизонтах значительно, в 2-4 раза, превосходит бактериальную. Максимальная длина грибного мицелия и его биомасса выявлена в горных экосистемах. Однако, сопоставляя данные по прямому счету с данными, полученными методом посева, мы пришли к выводу, что в горных почвах много нежизнеспособных грибных пропагул.

Биоразнообразие грибов. На горе Калкупя было выделено 8 видов микроскопических грибов, относящихся к 3 родам, 3 семействам, 2 порядкам, 2 классам и 2 отделам. Наименьшее разнообразие микромицетов (3 вида) было отмечено в сосняке. В березняке выделено 8 видов, в горной тундре – 7. Преобладают виды рода *Penicillium* – 67 % от общего количества выделенных видов. На горе Кораблекк выделено 8 видов микромицетов, относящихся к 5 родам, 5 семействам, 4 порядкам, 4 классам и 2 отделам.

На г. Калкупя по обилию видов во всех исследованных зонах доминировали грибы *Penicillium spinulosum*, *P. trzebinskii*, а в горной тундре и березняке к ним еще добавился вид *P. implicatum*. По частоте встречаемости в горной тундре и сосняке доминировали виды *P. spinulosum* и *P. trzebinskii*, в березняке – *P. thomii* (100 % встречаемость).

На г. Кораблекк по обилию видов доминировали *Penicillium lividum* и *P. glabrum*, по частоте встречаемости – *P. lividum* и *Umbelopsis isabellina*.

На участках ICP-Forest в почве соснового леса было выделено 10 видов микромицетов и грибы со стерильным мицелием, в почве березняка – 12 видов. Они относились к 8 родам, 6 семействам, 5 порядкам, 5 классам, 2 отделам. Степень сходства видового состава комплексов микромицетов соснового и березового лесов составила 67%. Разнообразию грибов в почве березняка было более богатым (pp. *Aspergillus*, *Gliocladium*, *Mucor*, *Acremonium*, *Penicillium*, *Torula*, *Trichoderma* и *Umbelopsis*), чем в почве под сосняком (pp. *Gliocladium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma* и *Umbelopsis*).

В сосновом лесу по обилию видов на всех участках доминировал *Penicillium glabrum*, под кустарничками и мхами – *P. glabrum* и *P. trzebinskii*, под лишайниками и багульником – *P. nigricans*. В березняке виды-доминанты изменялись в зависимости от компонента растительного покрова: под группировкой хвощей доминировали *P. glabrum* и *Umbelopsis isabellina*, под бобовыми – *Mucor sp.* и *P. nigricans*, под злаками – *Aspergillus ustus* и *Trichoderma viride*. По пространственной частоте встречаемости в почвах соснового леса под всеми типами растительности преобладал *P. nigricans*, под кустарничками и мхами – *P. glabrum* и *P. trzebinskii*, под лишайниками и мхами – *T. viride*. В почве березового леса под хвощами доминировал *T. koningii*, под бобовыми – *U. isabellina*, под злаками – *A. ustus*, *Mucor sp.*, *T. viride*. Таким образом, в ризосфере различных растений формируется довольно специфичный грибной комплекс, отличающийся доминантными видами.

Виды *Aspergillus ustus*, *Acremonium egyptiacum*, *Muxotrichum deflexum* были выделены в почвах Кольского полуострова впервые.

Численность и разнообразие водорослей. Данные по исследованию численности и разнообразия почвенной альгофлоры в заповеднике «Пасвик» – пионерные. Численность жизнеспособных клеток водорослей в подстилке березняка превосходила их число в подстилке соснового леса, где она была наименьшей под багульником и лишайниками (153-199 тыс./г), что характерно и для бактерий (табл.2). Максимальное число водорослей выявлено в березняке под хвощом – более 1 млн клеток.

Таблица 2

Численность водорослей (тыс./г) в подстилке мониторинговых площадок ICP-Forest

Место отбора проб	Численность
Сосняк лишайниково-брусничный. Почва под лишайниками	199
Сосняк лишайниково-брусничный. Почва под брусникой	739
Сосняк лишайниково-брусничный. Почва под мхами	533
Сосняк лишайниково-брусничный. Почва под багульником	153
Березняк разнотравный. Почва под хвощом	1258
Березняк разнотравный. Почва под бобовыми	992
Березняк разнотравный. Почва под злаками	641

В исследованных почвах обнаружен 51 вид водорослей и цианобактерий, относящихся к 4 отделам, 8 классам, 14 порядкам, 29 семействам. По 29 видов выделено под бобовыми, хвощами и злаками; всего 4 вида водорослей выделено под багульником. По числу видов преобладали водоросли из отдела Chlorophyta (*Chlorophyceae* – 17 видов, *Trebouxiophyceae* – 11, *Ulvophyceae* – 3) (табл.3). В меньшей степени представлены *Cyanobacteria* (7 видов), *Charophyta* (*Klebsormidiophyceae* – 1), *Ochrophyta* (*Xanthophyceae* – 3, *Bacillariophyceae* – 2, *Eustigmatophyceae* – 2). Водоросли и цианобактерии с наибольшей частотой встречаемости: *Chlamydomonas* spp., *Pseudococcomyxa simplex*, *Fottea stichococcoides*, *Stichococcus bacillaris*, *Halochlorella rubescens*, *Aphanocapsa* sp. Большинство из них характерны для лесных подзолов Кольского Севера (Евдокимова, Мозгова, 2001), в то время как *Fottea stichococcoides* является новым видом для почв Мурманской обл.

Таксономический состав водорослевых ценозов в постилке мониторинговых площадок

Таксон	Типы растительности						
	бобовые	хвощи	злаки	багуль- ник	брус- ника	мхи	лишай- ники
Phylum Chlorophyta, Class Chlorophyceae							
<i>Borodinellopsis cf. oleifera</i> Schwarz						+	+
<i>Bracteacoccus cf. minor</i> (Chodat) Petrová	+	+	+				
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chloromonas</i> sp.			+			+	+
<i>Chlorosarcina</i> sp.1		+	+				
<i>Chlorosarcina</i> sp.2	+		+				
Chlorosarcinaceae gen. sp.	+						
<i>Coelastrellaterrestris</i> (Reisigl) Hegewald & N.Hanagata			+				+
<i>Desmotetra</i> sp.			+				
<i>Dictyochloris fragrans</i> Vischer	+		+				
<i>Halochlorella rubescens</i> P.J.L.Dangeard	+	+	+			+	
<i>Neocystis</i> sp.		+	+				
Palmellopsidaceae gen. sp.1	+	+	+			+	+
Palmellopsidaceae gen. sp.2	+	+	+				
<i>Sphaeroneocystis cf. apyrenoidosa</i> (Hindák) I.Kostikov, T.Darienko, A.Lukesová, & L.Hoffmann	+	+					
<i>Tetracystis</i> sp.1	+	+	+				
<i>Tetracystis</i> sp.2		+	+				
Class Trebouxiophyceae							
<i>Chlorella</i> sp.		+	+				
<i>Chloroidium</i> sp.						+	
<i>Elliptochloris</i> sp.		+				+	+
<i>Muriella</i> sp.	+						
<i>Myrmecia</i> sp.		+	+			+	
<i>Parietochloris</i> sp.					+		+
<i>Pseudococcomyxa cf. ellipsoidea</i> Hindák	+	+		+	+	+	
<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	+	+	+	+	+		+
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	+	+	+		+		+
<i>Stichococcus cf. exiguus</i> Gerneck	+						
<i>Stichococcus cf. minutus</i> Grintzesco & Peterfi	+	+					
Class Ulvophyceae							
<i>Fottea stichococcoides</i> Hindák	+	+	+		+	+	
<i>Trebouxia</i> sp.				+		+	+
<i>Ulothrix variabilis</i> Kützing		+					
Phylum Charophyta, Class Klebsormidiophyceae							
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kützing) P.C.Silva, K.R.Mattox & W.H.Blackwell	+	+	+				
Phylum Ochrophyta, Class Xanthophyceae							
<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi			+				
<i>Botrydiopsis cf. eriensis</i> Snow	+	+					
<i>Heterococcus</i> sp.		+					
Class Eustigmatophyceae							
<i>Eustigmator cf. magnus</i> (J.B.Petersen) D.J.Hibberd		+	+				
<i>Monodopsis subterranea</i> (J.B.Petersen) D.J.Hibberd	+	+					+
Class Bacillariophyceae							
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	+	+	+				
<i>Pinnularia cf. borealis</i> Ehrenberg	+	+	+				
Phylum Cyanobacteria							
<i>Aphanocapsa</i> sp.	+	+	+			+	+
<i>Trichormus</i> sp.	+						
<i>Chroococcus</i> sp.	+						
<i>Leptolyngbya</i> sp.			+				
<i>Microcoleus vaginatus</i> Gom. ex Gom.	+	+	+				
<i>Nostoc</i> sp.		+	+				
<i>Coleofasciculus</i> sp.	+						
Всего видов	29	29	29	4	6	14	12

Таким образом, бактериальная масса под сосняками превосходила ее размеры под березняками, причем в сосняке лишайниково-брусничном наибольшая численность и биомасса почвенных бактерий была под брусничкой, наименьшая – под багульником и лишайниками. Длина грибного мицелия в почве мониторинговых площадок достигала значительных величин – более 1000 м в 1 г почвы, его биомасса изменялась от 1.5 до 3.0 мг/г почвы. Грибная биомасса в органогенных горизонтах значительно, в 2-4 раза, превосходит бактериальную. Степень сходства видового состава комплексов микромицетов соснового и березового лесов составила 67%. Виды *Aspergillus ustus*, *Acremonium egyptiacum*, *Muxotrichum deflexum* были выделены в почвах Кольского полуострова впервые. Разнообразие грибов в почве березового леса было более богатым, чем в почве под сосняком. В ризосфере различных растений формируется довольно специфичный грибной комплекс, отличающийся доминантными видами. Численность жизнеспособных клеток водорослей в подстилке березняка превосходила их численность в подстилке соснового леса, где она была наименьшей под багульником и лишайниками, что характерно и для бактерий. Максимальное число водорослей выявлено в березняке под хвощом – более 1 млн. клеток. В исследованных почвах обнаружен 51 вид водорослей и цианобактерий, наибольшее их разнообразие выявлено под бобовыми, хвощами и злаками, наименьшее – под багульником.

Литература

1. Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М., 1998. 348 с.
2. База данных “Species fungorum”. Режим доступа: www.indexfungorum.org.
3. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2001. 184 с.
4. Исследование состояния почвенного покрова в долине р. Паз, в том числе на территории заповедника «Пасвик» / Отчет по договору о научном и научно-практическом сотрудничестве между ИППЭС КНЦ РАН и Государственным природным заповедником «Пасвик». Архив «Пасвик». 2010. 34 с.
5. Кондакова Л. В., Домрачева Л. И. Флора Вятского края. Ч. 2. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: ОАО «Кировская областная типография». 2007. 192 с. 1. Raper, B.; Thom, C. A. Manual of the Penicillia. 1968. 1-875.
6. Domsh K. H.; Gams, W.; Anderson T. H. Compendium of soil fungi. 2007. 1-672.
7. Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage. Springer Berlin Heidelberg. 2014. 773 p.

А. А. Чапоргина, М. В. Корнейкова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
chaporgina@inep.ksc.ru; korneykova@inep.ksc.ru*

НЕФТЕОКИСЛЯЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ

В условиях активной антропогенной деятельности человека нефть и продукты ее переработки являются одними из основных загрязнителей окружающей среды в мире. В результате аварийных ситуаций при добыче, перевозке и хранении, а также неправильной эксплуатации оборудования происходят утечки нефти, которые наносят значительный урон всей почвенной экосистеме (Водопьянов и др., 2009). Среди мер, предпринимаемых в ликвидации нефтяных загрязнений, важное место занимает биоремедиация почв, основанная на способности некоторых микроорганизмов к деградации углеводородов нефти (УН) (Del Panno et al., 2005).

Значительную роль в процессах самоочищения почв от УН играют микроскопические грибы (микромицеты). Популяции данной группы микроорганизмов обладают уникальной адаптационной способностью к неблагоприятным условиям окружающей среды, т. к. имеют мощную ферментативную систему и обильное спорообразование (Жукова, Морозов, 2007). Как отечественными, так и зарубежными исследователями показано, что микромицеты могут быть использованы в качестве биологических индикаторов загрязнения почвы различными поллютантами, в том числе и нефтью (Киреева и др., 2005; Nordgren et al., 1985).

Эффективность процесса очистки нефтезагрязнений зависит от ряда факторов, в том числе от правильного выбора микроорганизма деструктора. Для ликвидации региональных нефтезагрязнений предпочтительнее использование адаптированных к конкретным условиям микроорганизмов-нефедеструкторов (Бабаев и др., 2009).

Деградация нефти в Al-Fe гумусовых почвах Кольского п-ова и влияние на этот процесс микобиоты мало изучены. В настоящее время на побережье Баренцева моря находится большое количество объектов, которые являются потенциальным источником загрязнения. Природа Крайнего Севера характеризуется относительно низкой самоочищающей способностью в силу замедленности процессов энерго- и массообмена, а потому восстановление почв здесь проходит очень медленно.

Цель работы – выявить наиболее активные штаммы почвенных углеводородокисляющих микроскопических грибов, выделенных из нефтезагрязненных почв Кольского полуострова.

Сотрудниками лаборатории экологии микроорганизмов с 2006 по 2012 гг. на территории филиала Всероссийского института растениеводства "Полярная опытная станция", проводились полевые модельные опыты по изучению влияния нефтепродуктов с разными концентрациями на почву и почвенную биоту. Также исследования проводили в период 2009-2014 гг. в тундровом поясе горы Каскама, которая находится вблизи заповедника Пасвик и имеет места длительного загрязнения нефтепродуктами (НП).

Из почв Кольского п-ова, загрязненных нефтью, были выделены чистые культуры углеводородокисляющих микроскопических грибов. В лабораторных условиях была исследована их способность к деструкции УН.

В опыте был испытан 81 штамм микроскопических грибов. Культивирование микромицетов проводили в колбах Эрленмейера, содержащих 50 мл жидкой питательной среды Чапека, в которые добавляли 1 % нефти и вносили грибную суспензию. Повторность опыта 3-кратная. В качестве контроля использовали колбы со средой и нефтью без инокуляции микроорганизмами. Содержание остаточной концентрации нефти в среде определяли на анализаторе АН-2 методом инфракрасной спектрофотометрии. Методика определения НП в жидкой среде основана на их экстракции из изучаемого материала четыреххлористым углеродом (CCl₄), отделении НП от полярных углеводородов и воды в колонке с оксидом алюминия и дальнейшем спектрофотометрическом определении содержания УН по интенсивности поглощения инфракрасного излучения на заданных длинах волн.

Одним из основных показателей самоочищения почв от нефтяных углеводородов является химический анализ остаточного содержания поллютанта, результаты которого представлены в таблице.

Нефедеструктивная активность исследованных штаммов микромицетов

Виды	Деструкция нефти, %	Активность поглощения, г/г	Вес сухой биомассы, г
1	2	3	4
<i>Penicillium lanosoviride</i>	98	0.414	0.596
<i>Penicillium canescens (st.1)</i>	98	0.372	0.867
<i>Penicillium janthinellum</i>	96	0.353	0.687
<i>Penicillium canescens(st.2)</i>	95	0.335	0.758
<i>Penicillium restrictum</i>	95	0.330	0.738
<i>Penicillium ochrochloron</i>	94	0.337	0.615
<i>Penicillium fuscum</i>	93	0.253	0.335
<i>Ulocadium consortiale</i>	92	0.343	0.518
<i>Penicillium implicatum</i>	92	0.327	0.530
<i>Penicillium decumbens</i>	92	0.266	0.810
<i>Penicillium raciborskii</i>	88	0.229	0.651
<i>Penicillium simplicissimum</i>	87	0.311	0.519
<i>Penicillium miczynskii</i>	85	0.294	0.573
<i>Penicillium nigricans</i>	84	0.245	0.847
<i>Penicillium jensenii</i>	84	0.312	0.667
<i>Fusarium solani</i>	84	0.310	0.251

1	2	3	4
<i>Alternaria alternata</i>	83	0.304	0.515
<i>Fusarium orthoceras</i>	80	0.311	0.268
<i>Penicillium martensii</i>	79	0.269	0.620
<i>Rhizopus nigricans</i>	76	0.285	0.485
<i>Penicillium adametzii</i>	75	0.267	0.716
<i>Penicillium glabrum</i>	74	0.248	0.406
<i>Penicillium trzebinskii</i>	74	0.281	0.463
<i>Penicillium soppi</i>	73	0.265	0.525
<i>Lecanicillium lecanii</i>	72	0.298	0.352
<i>Memnoniella echinata</i>	70	0.239	0.406
<i>Penicillium kapuscinskii</i>	70	0.295	0.466
<i>Trichoderma viride</i>	67	0.233	0.283
<i>Penicillium lanosocoeruleum</i>	67	0.247	0.418
<i>Penicillium nalgiovense</i>	66	0.266	0.628
<i>Umbelopsis isabellina</i>	63	0.294	0.415
<i>Doratomyces stemonitis</i>	62	0.257	0.563
<i>Talaromyces stipitatus</i>	62	0.270	0.361
<i>Chaetomium bostrychodes</i>	60	0.294	0.365
<i>Oospora egyptiaca</i>	57	0.215	0.391
<i>Fusarium merismoides</i>	57	0.218	0.224
<i>Wallrothiella subiculosa</i>	55	0.241	0.300
<i>Penicillium multicolor</i>	50	0.231	0.407
<i>Lecanicillium psalliotae</i>	46	0.233	0.369
<i>Gliocladium catenulatum</i>	44	0.281	0.402
<i>Mortierella longicollis</i>	41	0.230	0.391
<i>Cephalosporium bonordenii</i>	37	0.204	0.191
<i>Geomyces pannorum</i>	33	0.233	0.185
<i>Scopulariopsis communis</i>	33	0.195	0.168
<i>Penicillium thomii</i>	31	0.196	0.444
<i>Aspergillus fumigatus</i>	30	0.287	0.438
<i>Penicillium godlewskii</i>	30	0.241	0.332
<i>Trichoderma koningii</i>	29	0.162	0.116
<i>Penicillium melinii</i>	29	0.274	0.419
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	28	0.245	0.461
<i>Phoma eupyrena</i>	28	0.236	0.513
<i>Torula herbarum</i>	27	0.180	0.186
<i>Mucor hiemalis</i>	25	0.149	0.104
<i>Phoma herbarum</i>	25	0.205	0.236
<i>Acremonium charticola</i>	24	0.213	0.234
<i>Trichoderma polysporum</i>	23	0.136	0.044
<i>Cladosporium resinae</i>	20	0.170	0.174
<i>Fusarium moniliforme</i>	20	0.170	0.293
<i>Acremonium rutilum</i>	20	0.117	0.123
<i>Trichoderma aureoviride</i>	19	0.162	0.165
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	19	0.160	0.071
<i>Verticillium nigrescens</i>	17	0.222	0.183
<i>Penicillium viridicatum</i>	17	0.122	0.327
<i>Aureobasidium microstictum</i>	17	0.110	0.095
<i>Scopulariopsis communis</i>	15	0.109	0.165
<i>Gongronella butleri</i>	13	0.107	0.109

1	2	3	4
<i>Phoma glomerata</i>	13	0.029	0.279
<i>Mucor griseo-cyanus</i>	10	0.116	0.163
<i>Rodotorula sp.</i>	10	0.087	0.128
<i>Aureobasidium pullulans</i>	9	0.054	0.097
<i>Doratomyces nanus</i>	9	0.050	0.090
<i>Penicillium corylophilum</i>	9	0.091	0.501
<i>Oospora lutea</i>	8	0.107	0.311
<i>Penicillium vermiculatum</i>	8	0.126	0.289
<i>Penicillium raistrickii</i>	7	0.084	0.423
<i>Aspergillus repens</i>	6	0.074	0.100
<i>Torula allii</i>	5	0.083	0.141
<i>Botrytis cinerea</i>	5	0.065	0.164
<i>Fusarium oxisporum</i>	4	0.053	0.178
<i>Penicillium spinulosum</i>	4	0.033	0.119
<i>Humicola grisea</i>	3	0.020	0.280

Лабораторные исследования показали, что основная часть нефти, которую составляют легкие фракции (27 %), в растворе разложилась за счет испарения. По данным Мак Джилла (McGill, 1977) путем испарения из почвы удаляется от 20 до 40 % легких фракций УВ.

Наиболее активными деструкторами нефти, снижающими её содержание в среде на 80-98 %, являются: *Alternaria alternata*, *Fusarium orthoceras*, *F.solani*, *Penicillium canescens (st.1)*, *P.canescens (st.2)*, *P.decumbens*, *P.fusum*, *P.implicitum*, *P.janthinellum*, *P.jensenii*, *P.lanosoviride*, *P.miczynskii*, *P.nigricans*, *P.ochrochloron*, *P.raciborskii*, *P.restrictum*, *P.simplicissimum*, *Ulocadium consortiale*. Максимальной степенью деструкции УН обладали виды: *Penicillium lanosoviride* (98 %), *P. canescens (st.1)* (98 %), *P. janthinellum* (96 %).

Виды со средней деструктивной активностью, снижающие содержание нефти в среде на 50-79 %: *Chaetomium bostrychodes*, *Doratomyces stemonitis*, *Fusarium merismoides*, *Lecanicillium lecanii*, *Memnoniella echinata*, *Oosporae gyptiaca*, *Penicillium adametzii*, *P.glabrum*, *P.kapuscinskii*, *P.lanosocoeruleum*, *P.martensii*, *P.multicolor*, *P.nalgiovense*, *P.soppi*, *P.trzebinskii*, *Rhizopus nigricans*, *Talaromyces stipitatus*, *Trichoderma viride*, *Umbelopsis isabellina*, *Wallrothiella subiculosa*.

Таким образом, у микроскопических грибов проявляется избирательное отношение к деструкции УН. Результаты лабораторного опыта свидетельствуют о высокой нефтеокисляющей активности отдельных штаммов микромицетов. Наиболее интенсивно процесс деструкции нефти (до 95%) протекал у грибов: *Penicillium canescens (st.1)*, *P. canescens (st.2)*, *P. janthinellum*, *P. restrictum*, *P. lanosoviride*. Микроскопические грибы играют значительную роль в трансформации углеводов нефти и нефтепродуктов в почве, чем больше их численность и разнообразие, тем значительнее их вклад в поддержание динамического равновесия в биосфере. Изученные штаммы могут быть использованы для создания биопрепаратов и их дальнейшего применения для биоремедиации от нефтезагрязнений.

Литература

1. Бабаев Э. Р., Мамедова П. Ш., Кулиева Д. М., Мовсумзаде М. Э. Выбор активного микроорганизма – деструктора углеводов для очистки нефтезагрязненных почв Балаханского месторождения // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16. № 1. С. 103-107.
2. Водопьянов В. В., Киреева Н. А., Григориади А. С., Якупова А. Б. Влияние нефтяного загрязнения почвы на ризосферную микробиоту и моделирование процессов биодеградации // Вестник ОГУ. 2009. № 6. С. 545-547.
3. Жукова О. В., Морозов Н. В. Исследование взаимоотношений углеводородокисляющих микроорганизмов в ассоциациях, используемых для управляемой очистки природных и сточных вод от нефтяных загрязнений // Вестник ТГГПУ, 2007. № 2-3 (9-10). С. 100-107.
4. Киреева Н. А., Мифтахова А. М., Бакаева М. Д., Водопьянов В. В. Комплексы почвенных микромицетов в условиях техногенеза. Уфа: Гилем, 2005. 358 с.

5. *Del Panno M. T., Morelli I. S., Engelen B., Berthe-Corti L.* Effect of petrochemical sludge concentrations on microbial communities during soil bioremediation // *FEMS Microbiology Ecology*. 2005. V. 53. P. 305.
6. *McGill W. W.* Soil restoration following oil spills – a review // *J. Canad. Petrol. Technol.* 1977. V. 16. № 2. P. 60-67.
7. *Nordgren A., Baath E., Soderstrom B.* Soil microfungi in area polluted by heavy metals // *Can. J. Bot.* 1985. № 3. P. 448-455.

Р. Р. Шальгина, В. В. Редькина

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
shalygina@inep.ksc.ru*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТАКСОНОМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ХВОСТАХ ОБОГАЩЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД АНОФ-2

Хвостохранилище АНОФ-2 введено в эксплуатацию в 1969 году и предназначено для складирования отвальных хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд, а также тонкодисперсных золошлаковых отходов Апатитской теплоэлектростанции. Оно расположено в губе Белой озера Имандра в 9 км к северо-западу от города Апатиты. Общая площадь хвостохранилища составляет 7.8 км², его намывная дамба на конец 2014 года достигла высоты 73.4 м, объем хвостов, уложенных с начала эксплуатации АНОФ-2, составляет 637.3 млн м³ (Стриженок, 2015).

Хвостохранилище оказывает значительную техногенную нагрузку на природную среду и здоровье населения прилегающих территорий в основном за счет пыления открытых пляжей и откосов дамбы намывного массива. Для снижения техногенной нагрузки предприятие проводит закрепление пляжей хвостохранилища анионной битумной эмульсией. Закрепление откосов дамбы производится биолого-химическим методом – посевом многолетних трав (в частности волоснеца песчаного – *Leymus arenarius* (L) Hochst.) с последующим созданием полимерного покрытия (латекс, битумная эмульсия), в результате чего со временем формируется злаково-разнотравное луговое сообщество с примесью кустарничков и кустарников и возрастающим участием мохообразных и лишайников. В более ранних исследованиях было показано, что многие параметры биологической активности (численность и биомасса бактерий и микроскопических грибов, ферментативная активность) в песчаном субстрате под растительностью значительно выше, чем в незакрепленных песках (Евдокимова и др., 2010), что указывает на активизацию процессов первичного почвообразования.

Микроскопические водоросли и цианобактерии являются одной из важных составляющих микробоценоза почвы. Они участвуют в процессах накопления органического вещества и азота, разрушения минералов, перераспределения и аккумуляции элементов (Голлербах, Штина, 1969). Цианобактерии и водоросли принимают непосредственное участие в формировании биологических почвенных корочек, способствующих структурированию субстрата, регулирующих водный режим, влияющих на прорастание семян высших растений, препятствующих эрозионным процессам (Evans, Johansen, 1999). Таким образом, исследование цианобактериально-водорослевого компонента биоты нефелиновых песков представляется важным для более глубокой оценки интенсивности протекающих в них первичных почвообразовательных процессов, а также для изучения возможности создания биопрепаратов и биодобровений на основе водорослей и цианобактерий.

В 2015 году были взяты образцы песков из поверхностного слоя в 3-х точках хвостохранилища апатито-нефелиновой обогатительной фабрики АНОФ-2 – свеженамытые пески 3-месячной давности, пески с закрепленных склонов хвостохранилища, намытые примерно 20 лет назад (67°38'59.1"N 33°14'49.5"E) и 30 лет назад (67°38'57.7"N 33°14'57.6"E).

Для исследования таксономического состава цианобактериально-водорослевых ценозов использовали метод посева песчаной суспензии на агаризованную среду, а также культивирование в жидких питательных средах 3N-BBM и Z8 (Гайсина и др., 2008; Kótai, 1972). Для получения альгологически чистых культур водорослей и цианобактерий применяли метод многократного пересева. Определение видов проводили по морфологическим признакам с использованием микроскопа Olympus CX41 с камерой Jenoptik ProgRes при увеличении ×1000 с масляной иммерсией.

Видовую идентификацию проводили по классическим определителям (Андреева, 1998; Ettl, Gärtner, 2014). Для уточнения названий видов водорослей и их систематической принадлежности использовали электронную базу данных Algaebase (Guiry, 2016).

В целом, таксономическое разнообразие водорослей и цианобактерий в техногенном субстрате оказалось очень невелико, что объясняется комплексом неблагоприятных факторов – низкой влажностью песков и недостатком в них питательных элементов, в первую очередь азота и фосфора (фосфор, содержащийся в нефелиновых песках, растениям недоступен, так как представлен в них только одним соединением – трехкальциевым фосфатом (апатитом) (Переверзев, Подлесная, 1986).

В ходе проведенного исследования всего было выявлено 21 вид водорослей и цианобактерий, принадлежащих к 4 отделам: 11 видов Chlorophyta (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae), 5 видов Ochrophyta (Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Xanthophyceae), 4 вида Cyanobacteria, 1 вид Charophyta (Klebsormidiophyceae) (таблица).

Систематический список водорослей, обнаруженных в нефелиновых песках АНОФ-2

Таксон	Свеже-намытые пески	Пески, намытые 20 лет назад	Пески, намытые 30 лет назад
Phylum Chlorophyta, Class Chlorophyceae			
<i>Bracteacoccus cf. minor</i> (Chodat) Petrová	+		
<i>Dictyochloris</i> sp.			+
<i>Neocystis</i> sp.			+
<i>Planophyla</i> sp.		+	+
<i>Scenedesmus cf. armatus</i> (Chodat) Chodat	+		
<i>Scenedesmus</i> sp.1	+		
<i>Scenedesmus</i> sp.2	+		
<i>Tetracystis</i> sp.	+		
Phylum Chlorophyta, Class Trebouxiophyceae			
<i>Chloroidium</i> sp.			+
<i>Leptosira cf. vischeri</i> Reisinger			+
<i>Myrmecia</i> sp.			+
Phylum Charophyta, Class Klebsormidiophyceae			
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kützing) P.C.Silva, K.R.Mattox & W.H.Blackwell			+
Phylum Ochrophyta, Class Bacillariophyceae			
<i>Bacillariophyceae</i> sp.	+	+	
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow		+	
<i>Nitzschia cf. palea</i> (Kützing) W.Smith		+	
Phylum Ochrophyta, Class Chrysophyceae			
<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B.Petersen) D.J.Hibberd		+	
Phylum Ochrophyta, Class Xanthophyceae			
<i>Xanthonema cf. exile</i> (Klebs) P.C.Silva		+	
Phylum Cyanobacteria			
Cyanophyceae sp.		+	
<i>Leptolyngbya</i> sp.		+	+
<i>Nostoc</i> sp.		+	
<i>Phormidium</i> sp.		+	
Всего таксонов	6	10	8

Данные в таблице свидетельствуют об очень низком сходстве между собой альгоценозов исследованных участков.

В свеженамытых песках обнаружены преимущественно одноклеточные зеленые водоросли. Доминирующие водоросли рода *Scenedesmus*, типично планктонные организмы, появляются здесь вместе с водой из технологического цикла, оборот которой составляет около 80%, а потери восполняются из водозабора поверхностных вод озера Имандра.

В «20-летних» песках с закрепленных склонов из 10 обнаруженных видов 3 принадлежат к диатомовым водорослям, 4 – к нитчатым цианобактериям. Представители обеих групп организмов предпочитают нейтральную или слабощелочную реакцию среды. Кроме того, цианобактерии способны к фиксации атмосферного азота, что важно в условиях его острого недостатка в нефелиновых песках. Выделяемая ими слизь создает благоприятную среду для требовательных к влаге диатомей (Штина, Голлербах, 1976).

В «30-летних» закрепленных песках доминировали зеленые микроводоросли. Представители родов *Dictyochloris*, *Neocystis*, *Chloroidium*, *Leptosira* и *Myrmecia* часто встречаются в различных типах почв, в том числе и на территории Мурманской области (Евдокимова, Мозгова, 2001; Редькина, Шалыгина, 2015). Таким образом, в более «старых» нефелиновых песках развитие цианобактериально-водорослевого ценоза происходит по пути сближения с зональными почвами.

Авторы выражают благодарность за предоставленные образцы нефелиновых песков Макарову Д. В. и Светлову А. В.

Литература

1. *Андреева В. М.* Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М.: Наука, 1998. 348 с.
2. *Гайсина Л. А., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р.* Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 152 с.
3. *Голлербах М. М., Штина Э. А.* Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
4. *Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П.* Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. 184 с.
5. *Евдокимова Г. А., Переверзев В. Н., Зенкова И. В., Корнейкова М. В., Редькина В. В.* Эволюция техногенных ландшафтов (на примере отходов апатитовой промышленности). 2010. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 146 с.
6. *Переверзев В. Н., Подлесная Н. И.* Биологическая рекультивация промышленных отвалов на Крайнем Севере. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР. 1986. 104 с.
7. *Редькина В. В., Шалыгина Р. Р.* Почвенные водоросли под различными компонентами растительных сообществ на территории заповедника «Пасвик» // Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения профессора Эмилии Адриановны Штиной «Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах». Киров, 19-23 октября 2015 г. Киров: Вятская ГСХА, 2015. С. 238-242.
8. *Стриженок А. В.* Управление экологической безопасностью намывных техногенных массивов ОАО «Апатит» в процессе их формирования: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.36. Санкт-Петербург, 2015. 184 с.
9. *Штина Э. А., Голлербах М. М.* Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
10. *Ettl H. & Gärtner G.* Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage. Springer Berlin Heidelberg. 2014. 773 p.
11. *Evans R. D. and Johansen J. R.* 1999. Microbiotic Crusts and Ecosystem Processes. Critical Reviews in Plant Sciences 18(2): P. 183-225.

H. Kauhanen¹, J. Mattsson²

¹18130 Heinola, Finland

heikauha@gmail.com

²20160 Turku, Finland

jorma.mattsson@pp.inet.fi

ARE TREELINES ADVANCING IN NORTHERNMOST EUROPE?

In northern boreal forests, the temperature during the growing season is the main factor that influences the growth and survival of coniferous species (Heikkinen et al. 2002, Juntunen et al. 2002). In particular, high altitude and latitude treelines are controlled by summer temperatures (Holtmeier & Broll 2007, MacDonald et al. 2008). In Finnish Lapland, for example, the growing season lasts less than four months during which trees need to pass through all vegetative and reproductive stages (Seo et al. 2010). Due to the

short growing season and low summer temperatures seed production and the reproductive viability of seeds are usually low. As the location of northern hemisphere altitudinal and polar treelines are caused mainly by heat deficiency, treelines are expected to advance to higher elevations and more northerly latitudes in response to warming temperatures (e.g. Tranquillini, 1979; Wardle, 1985; Rupp et al., 2000; Grace et al., 2002), due to increased production of seedlings, increased growth rates and changes in growth forms from krummholz to erect stems (Aakala et al., 2014).

The sensitivity of treelines to environmental change implies a certain state of readiness of the trees to respond to changing conditions (Holtmeier and Broll, 2005). This can take place in several ways, e.g. by changes in growth, growth forms, regeneration and treeline structures. The sensitivity of the treeline to climate change is empirically demonstrated by upslope advance in different regions of the world (e.g. Kremenetski et al., 1999; Kullman, 2002, 2003; Holtmeier et al., 2003; Moiseev & Shiyatov, 2003; Lloyd, 2005; Juntunen & Neuvonen, 2006; Harsch et al., 2009; Kullman & Öberg, 2009; Mazepa et al., 2011; Kirilyanov et al., 2012; Aakala et al., 2014). Treeline rise by about 200 m (1915-2007) in the Swedish Scandes, as estimated by Kullman & Öberg (2009), is virtually what should be expected from recorded summer temperature rise by 1.4 °C and assuming a lapse rate of 0.6 °C/100 m (Kullman, 2015). Studies in eastern Finnish Lapland showed the existence of a former tree line at approximately 400 m a.s.l. and an advance of trees that began in the 1920s and reached the top of the fell (at 470 m a.s.l.) in the 1980s (Aakala et al., 2014). Both upslope advance and increase of population density were rapid in the 1970–1980s, and returned to low levels in the 1990s.

Forest advance upwards and northwards primarily depends on production of viable seeds, successful regeneration and survival of young growth rather than on increasing growth rates of mature trees (Holtmeier and Broll, 2007). The ability of seedlings to successfully establish upslope of parent trees is essential for migration of the treeline ecotone. With increased seedling establishment and subsequent sapling development, amplified seed rain and proportional rates of seed survival can create a positive feedback mechanism driving upslope migration (Malanson, 1997). Established krummholz patches can act as nurse-organisms driving the positive feedback mechanism. Nurse-organisms modify microsite climatic conditions improving the probability of seed survival and seedling establishment, which is of paramount importance in harsh climatic conditions (Malanson, 1997). Tranquillini (1979) hypothesized that few, if any, trees at arctic and alpine treelines would produce seeds and that reproduction at these sites must depend predominantly on seed rain from trees in more agreeable environments, such as those persisting at lower-elevation timberline.

The latest decade (2001–2010) was the warmest one in Finland since the beginning of temperature measurements starting in the 1840's (Mikkonen et al., 2014). Franke et al (2015) expect to see an advance of the forest line assuming that the regeneration correlates positively with temperature. During the last 50 years, the climate has been favourable enough for the regeneration of forests in the forest-line areas (Holtmeier, 2005). Previous studies in Finnish Lapland have indicated that seedling establishment has been at least satisfactory and the mortality of seedlings has remained rather low (Juntunen et al., 2002; Juntunen and Neuvonen, 2006).

In 2013, monitoring of seedling establishment in the alpine zone was started in Urho Kekkonen National Park, eastern Finnish Lapland (Kauhanen, 2014). The study sites are located on the "Talkkunapää" mountain (635,7 m a.s.l.), at the national border of Finland and Russia. In the sample plot (11,5 ha) on the top of the mountain, 222 conifer seedlings were found in 2013, 170 more seedlings in 2014 and 151 more seedlings in 2015 (Kauhanen, unpublished data). Among the 543 seedlings only 12 (2.2. %) are spruces, and the rest 531 (97,8 %) are pine. Density of seedlings in the study area is 47,2/ha, but more seedlings will emerge from the lichen and dwarf shrub vegetation covering the soil surface. As the nearest seed trees on the western slope are 150-160 m below the mountain top and at the distance of 1,5 km, dispersal of viable seeds upward is the most critical factor in the establishment of the alpine zone of Talkkunapää. The summers of the last decade were warmer than average in eastern Lapland; the only cool summer was in 2008 (Kauhanen, 2014). As a result of this warm period treeline pines produced viable seeds almost every year. In 2006, for instance, the anatomical potential of pine seeds at the treeline was as high as 76,7%. Although most of the windborne seeds reach the ground within a short distance of the seed trees, strong winds have carried viable seeds over the long distance up to the top of Talkkunapää.

According to Macias-Fauria and Johnson (2013) upward treeline shifts in a warming climate may be heavily constrained by geologic factors that influence the availability of growing substrates at high elevations, leading to much less, or at least much slower, tree colonization into alpine areas than predicted by climate alone. Large extents of the alpine zone can be dominated by environments where trees rarely can grow, e.g. steep slopes, boulder fields, cliffs and exposed bedrock. Sites with gentle topography and suitable

soils may be relatively limited in many high-mountain landscapes. Orographic and edaphic factors may limit the forest at relatively low elevation (Holtmeier & Broll, 2005).

Climatic limits of tree growth will occur only if no other factors, such as orography or human impact, prevent tree growth from reaching its climatically caused altitudinal or northern limit. Spontaneous advance of young growth into treeless areas within the treeline ecotone and even beyond the present tree limit, as well as increasing height growth of suppressed trees and more 'normally' developing tree crowns, may be the best indicators of treeline sensitivity to environmental change at the landscape and local scales, in the short to medium-term perspective (Holtmeier & Broll, 2005).

Treeline is not always determined by climate. In the northernmost Europe, polar forest lines are to large extent determined by human activity. From a large set of documents Mattsson (1995) collected data on the human impact on the northern forest limit. In the section (700 km) from the Malangen Fjord in Norway to the valley of Voronya the northern limit of pine forests has retreated southwards 33 km on an average during the last two centuries, due to human activity. The recession is greatest in Norway and Finland but much smaller in Kola Peninsula, Russia. Devastation of the northernmost forests were primarily caused by kvens (immigrants from Finland) who had used to abundant exploitation of forest resources.

Are trees responding positively to climatic warming in boreal regions? The answer depends on whether the response is measured as a northward or upward expansion of forest or an improvement in tree growth. However, good recruitment pulse during the latest decade provides a good start for the densification and the advance of treeline forests. The response of the treeline to a changing environment varies among different types of treeline. Treelines controlled mainly by orographic influences are not very susceptible to the effects of warming climates (Holtmeier & Broll, 2005). Greatest sensitivity can be expected in anthropogenic treelines after the cessation of human activity. However, tree invasion into former forested areas above the anthropogenic forest limit is controlled by site conditions, and in particular, by microclimates and soils. At the northern and upper elevational limits of a species, changes may be gradual, as the climatic limitations to growth, reproduction, and establishment are gradually relaxed (Chapin et al., 2004). Kullman (2015) states that climate warming over the past century has not yet been sufficient to restore the pine treeline to its Medieval level.

References

1. Aakala, T., Hari, P., Dengel, S., Newberry, S. L., Mizunuma, T. & Grace, J. 2014. A prominent stepwise advance of the tree line in north-east Finland. *Journal of Ecology*. 102(6):1582-1591.
2. Chapin, F. S. III, Callaghan, T. V., Bergeron, Y., Fukuda, M., Johnstone, J. F., Juday, G., Zimov, S. A. 2004. Global change and the boreal forest: thresholds, shifting States or gradual change? *Ambio*. 33:361-365.
3. Franke, A. K., Aatsinki, P., Hallikainen, V., Huhta, E., Hyppönen, M., Juntunen, V., Mikkola, K., Neuvonen, S. & Rautio, P. 2015. Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009. *Silva Fennica*. Vol. 49. No. 5. Article id 1408.
4. Harsch, M. A., Hulme, P. E., McGlone, M., & Duncan, R. P. 2009. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology Letters* 12:1040-1049.
5. Heikkinen, O., Tuovinen, M. & Autio, J. 2002. What determines the timberline? *Fennia*. 180: 67-74.
6. Holtmeier, F.-K. 2005. Change in the timberline ecotone in northern Finnish Lapland during the last thirty years. *Reports from the Kevo Subarctic Research Station*. 23: 97-113.
7. Holtmeier, F., Broll, G., Mütterthies, A. & Anschlag, K. 2003. Regeneration of trees in the treeline ecotone: northern Finnish Lapland. *Fennia-International Journal of Geography*. 181:103-128.
8. Holtmeier, F. & Broll, G. 2005. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography*. 14: 395-410.
9. Holtmeier, F. & Broll, G. 2007. Treeline advance-driving processes and adverse factors. *Landscape Online*. 1: 1-33.
10. Juntunen, V., Neuvonen, S., Norokorpi, Y. & Tasanen, T. 2002. Potential for timberline advance in Northern Finland, as revealed by monitoring during 1983-99. *Arctic*. 55(4): 348-361.
11. Juntunen, V. & Neuvonen, S. 2006. Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce close to the timberline in Northern Finland. *Silva Fennica*. 40(3): 443-458.
12. Kauhanen, H. 2014. Seedling establishment on Talkkunapää mountain, Urho Kekkonen National Park. Research report MH 1707/2014. Parks & Wildlife Lapland, Rovaniemi. (In Finnish)

13. Kirdyanov, A.V., Hagedorn, F., Knorre, A.A., Fedotova, E.V., Vaganov, E.A., Naurzbaev, M.M., Moiseev, P.A. & Rigling, A. 2012. 20th century treeline advance and vegetation changes along an altitudinal transect in the Putorana Mountains, northern Siberia. *Boreas* 41: 56–67.
14. Kullman, L. 2002. Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology*. 90:68-77.
15. Kullman, L. 2003. Recent reversal of Neoglacial climate cooling trend in the Swedish Scandes as evidenced by mountain birch treeline rise. *Global and Planetary Change*. 36:77-88.
16. Kullman, L. 2015. Higher-than-present Medieval pine (*Pinus sylvestris* L.) treeline along the Swedish Scandes. *Landscape Online*. 42: 1-14.
17. Kullman, L. & Öberg, L. 2009. Post-Little Ice Age treeline rise and climate warming in the Swedish Scandes – a landscape ecological perspective. *Journal of Ecology*. 97: 415-429.
18. Kremenetski, K.V., Vaschalova, T. & Sulerzhitsky, L. 1999. The Holocene vegetation history of the Khibiny mountains: implications for the post-glacial expansion of spruce and alder on the Kola Peninsula, northwestern Russia. *Journal of Quaternary Science*. 14:29-43.
19. Lloyd, A.H. 2005. Ecological histories from Alaskan tree lines provide insight into future change. *Ecology*. 86: 1687–1695.
20. MacDonald, G.M., Kremenetski, K.V. & Beilman, D.W. 2008. Climate change and the northern Russian treeline zone. *Philos. Trans. R. Soc. B* 363: 2285-2299.
21. Macias-Fauria, M & Johnson, E.A. 2013. Warming-induced upslope advance of subalpine forest is severely limited by geomorphic processes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110:8117-8122.
22. Malanson, G. 1997. Effects of feedbacks and seed rain on ecotone patterns. *Landscape Ecology*. 12(1): 27-38.
23. Mattsson, J. 1995. Human impact on the timberline in the far north of Europe. In: Heikkinen, O., Obrebska-Starkel, B. & Tuhkanen, S. (ed.): *Environmental aspects of the timberline in Finland and Polish Carpathians*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego* 956, *Prace Geograficzne, Zeszyt*. 98: 41-56.
25. Mazepa, V., Shiyatov, S. & Devi, N. 2011. Climate-Driven Change of the Stand Age Structure in the Polar Ural Mountains, *Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects*. In: Blanco, J. (ed.) InTech, ISBN: 978-953-307-419-1.
26. Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen M. & Laaksonen, A. 2014. Trends in the average temperature in Finland, 1847-2013. In: Christakos G. (ed.). *Stochastic environmental research and risk assessment*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. p. 1-9.
27. Moiseev, P.A. & Shiyatov, S.G. 2003. Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural Highlands, Russia. *Ecological Studies*. 167: 423-435.
28. Rupp, T.S., Chapin, F.S. III & Starfield, A.M. 2001. Modeling the influence of topographic barriers on treeline at the forest-tundra ecotone in Northwestern Alaska. *Climate Change*. 48:399-416.
29. Seo, J.-W., Salminen, H., Jalkanen, R., Eckstein, D. 2010. Chronological coherence between intra-annual height and radial growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in the northern boreal zone of Finland. *Baltic Forestry*. 16(1): 57-65.
30. Tranquillini, W. 1979. *Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
31. Wardle, P. 1985. New Zealand timberlines. Growth and survival of native and introduced tree species in the Craigieburn range, Canterbury. *New Zealand Journal of Botany*. 23: 219-234.
12. Guiry M.D., Guiry G.M., *Algae Base*. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. 2016. <http://www.algaebase.org>.
13. Kótai J. Instructions for Preparation of Modified Nutrient Solution Z8 for Algae. Norwegian Institute for Water Research, Publ. B-11/69, Blindern, Oslo, Norway, 1972.

Секция 2

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА

Г. С. Бородулина¹, И. В. Токарев², И. А. Крайнюкова²

*¹Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
bor6805@yandex.ru*

*²Санкт-Петербургский государственный университет, Научный парк, РЦ «Геомодель»,
г. Санкт-Петербург
tokarevigor@gmail.com*

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ВОДЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Онежское озеро является вторым по величине после Ладожского озера пресноводным водоемом Европы. Проблема исследования и рационального использования ресурсов крупнейших озер Европы является одной из важнейших научных и социально-экономических задач современного развития России. Онежское озеро является объектом широкого комплексного использования: служит источником хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, водно-транспортной магистралью, является водохранилищем Верхне-Свирской ГЭС, имеет большое рыбохозяйственное и рекреационное значение.

Начиная с 2009 г. в бассейне Онежского озера проводится комплекс работ, направленный на изучение динамики водных масс и условий формирования водного баланса озера на базе мониторинга изотопного состава воды (кислорода-18 – $\delta^{18}\text{O}$ и дейтерия – $\delta^2\text{H}$). Как известно, природные изотопы являются глобальным индикатором движения воды в гидросфере (Ферронский и др., 1975; Ферронский, Поляков, 2009). Комплекс включает наблюдения за атмосферными осадками, как источником формирования водного стока, поверхностными и подземными водами. В настоящей работе представлены результаты исследований на акватории Онежского озера и наблюдений за атмосферными выпадениями (станция Петрозаводск).

Исследование воды Онежского озера выполнялись с борта НИС «Эколог» на станциях, расположенных в губах и открытой части водоема (рис.1). На большинстве станций пробы воды отбирались батометром с двух горизонтов: поверхностного (5 м) и придонного. На отдельных станциях выполнялось более детальное опробование водной толщи (по 4-8 горизонтам). Всего проанализировано 240 проб воды.

Измерения изотопного состава воды выполняются на лазерном инфракрасном анализаторе изотопного состава воды Picarro L-2120-i (Ресурсный центр «Геомодель» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета). Все результаты приводятся в промилле относительно состава средней океанической воды (SMOW). В качестве стандартов использованы внутри лабораторные образцы сравнения, привязанные к стандартам МАГАТЭ: V-SMOW-2, GISP и LASP, а также к стандартам Американского геологического общества: USGS-45 и USGS-46. Неопределенность измерений составляет ± 0.1 ‰ по кислороду-18 и ± 1 ‰ по дейтерию.

Отбор большинства проб выполнялся в начале июня и в августе-сентябре 2012-2015 г. Первый период совпадает с исчезновением явления термобара. Как известно, формирование термического бара (фронтальной зоны, которая делит озеро на две области: прибрежную стратифицированную и глубоководную гомотермическую) происходит после схода льда, когда количество тепла, поступающего в воду, резко возрастает, и прибрежные мелководные районы прогреваются до температуры максимальной плотности 4°C быстрее, чем глубоководные. По среднесезонным данным термобар исчезает в третьей декаде июня, после чего устанавливается прямая термическая стратификация и начинается этап летнего нагревания (Онежское озеро, 2010). Этап прогревания воды в период июньского опробования в губах уже начался: температура поверхностного слоя на отдельных станциях достигала 10°C, у дна – 3.6-6°C. В открытом озере в это время температура всего слоя воды не превышала 4°C (минимальная 2.5°C).

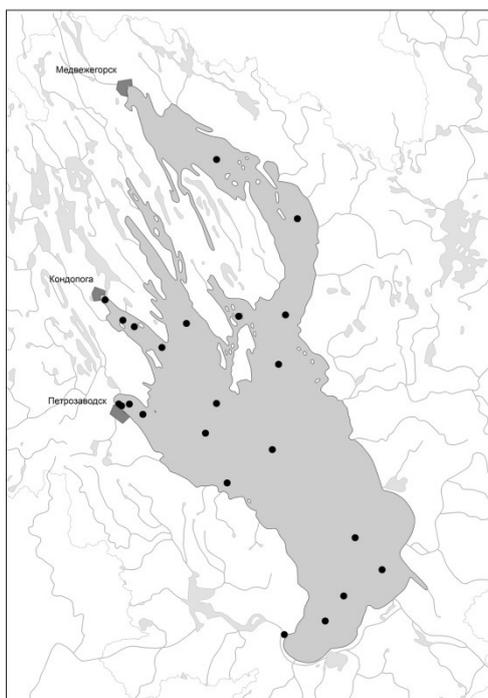


Рис. 1. Станции отбора проб воды на изотопный состав на акватории Онежского озера

Вторая серия опробования осуществлялся в начале установления в озере гомотермии с температурой воды 6-8°C. Этот период характеризуется началом осеннего охлаждения воды в озере, образования верхнего (до 20 м) перемешанного слоя с температурой до 9.5°C, наступления максимума температуры (до 6.6°C) в самых нижних горизонтах озера.

В 2015 г. выполнены сезонные опробования (март, июнь, август) на станциях Петрозаводской губы и центральной части озера.

Анализ полученных результатов указывает на довольно узкий диапазон вариаций изотопного состава воды в озере: концентрация кислорода-18 колеблется от -11.5‰ до -9.3‰ и дейтерия от -85‰ до -71‰. Практически все значения оказались тяжелее величины взвешенного среднегодового состава атмосферных осадков $\delta^{18}\text{O} = -11.75\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -84.4\text{‰}$, рассчитанного с учетом распределения объема и состава выпадений в период регулярных наблюдений 2009-2015 г.

Если же рассматривать вариации изотопного состава озерной воды по основным гидрологическим сезонам (период термобара и период его исчезновения, условно – весна и осень), то наблюдается определенная дифференциация значений: к концу лета в результате процессов испарения изотопный состав значительно более тяжелый, чем весной (рис.2). При этом в вертикальном разрезе (поверхностный и придонный горизонты) значимых различий в эти периоды не отмечается, что подтверждает димиктический тип водоема, в котором дважды в году – весной и осенью – вода полностью перемешивается от поверхности до дна.

Более отчетливая картина вариаций изотопного состава наблюдается в воде заливов. Петрозаводская губа составляет 1.3 % площади Онежского озера и выделяется из всех его губ высокой проточностью. В губу впадают р. Шуя – вторая по площади водосбора и величине стока река Карелии, и малые реки Лососинка и Неглинка. После таяния льда в результате большего прогрева воды у берегов фронт термобара препятствует водообмену губы с центральным плесом озера. Воды вершинной части Петрозаводской губы отличаются самой низкой минерализацией (среднегодовая 23.4 мг/л) по сравнению с озерной (37 мг/л), что обусловлено поступлением маломинерализованной шуйской воды. В период открытой воды водообмен губы составляет 14-20 суток. Летом и в начале осени показатели химического состава воды в губе близки к озерным, вследствие высокой динамичности водных масс (Состояние..., 2007).

Изменения изотопного состава воды в Петрозаводской губе, также, как и химического, определяются интенсивностью водообмена губы и открытой части озера и показывают динамику изменения этого процесса. На рисунке 3 отражены результаты опробования воды в Петрозаводской губе и открытой части озера в разные сезоны 2015 г. В период полного ледового покрова и в конце лета воды губы и озера близки по изотопному составу, но при этом в конце лета точки состава

значительно отклоняются от линии метеорных вод вправо, вода более изотопически тяжелая за счет испарения и (рис.3). Изотопный состав воды в Петрозаводской губе в июне оказался самым «легким» среди всех проб Онежского озера и отражает снеготалый сток р. Шуи и малых притоков, «запертого» в губе термобаром. Следует отметить, что исследования изотопного состава воды подтверждают неудачный выбор места сооружения водозабора для г. Петрозаводска в вершинной части губы. Качественные характеристики воды здесь в значительной степени определяются влиянием р. Шуи, вода которой имеет низкое природное качество из-за высокого содержания гумусовых веществ и испытывает существенное загрязнение с водосбора (Водные ресурсы..., 2006).

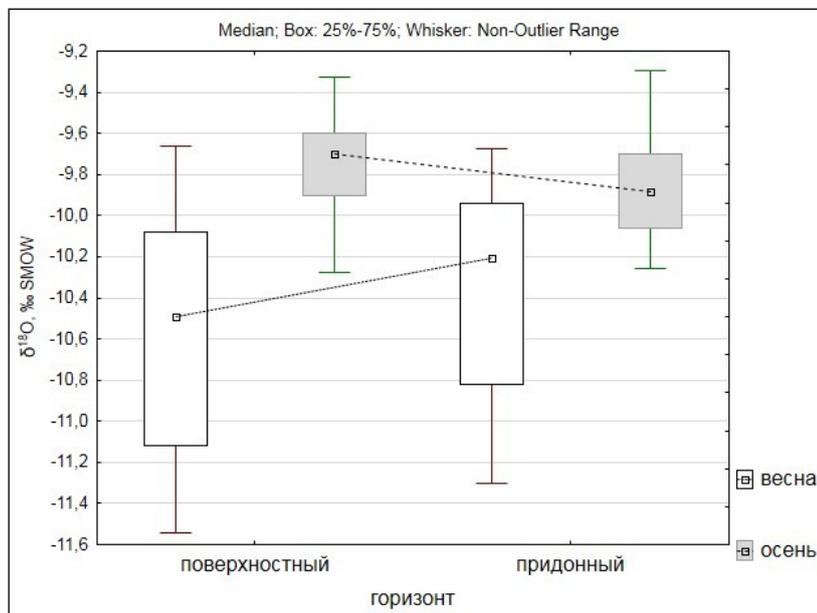


Рис.2. Распределение статистических величин содержания кислорода-18 в воде Онежского озера по сезонам и в вертикальном разрезе

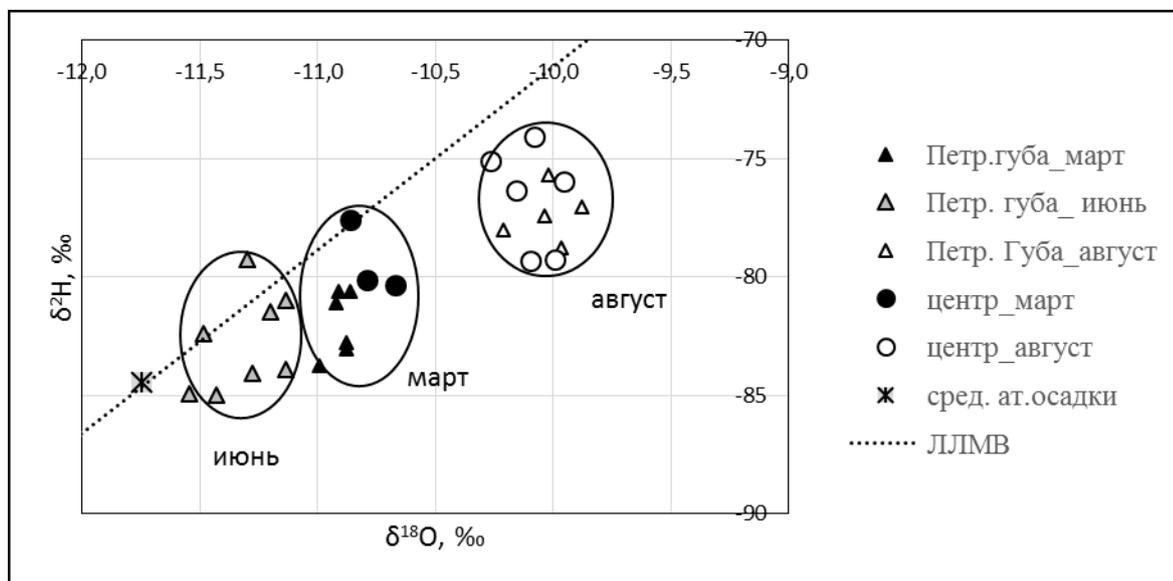


Рис.3. Распределение изотопного состава воды Петрозаводской губы и открытой части Онежского озера по сезонам 2015 г. относительно локальной линии метеорных вод (ЛЛМВ, уравнение $\delta^2\text{H} = 7.64 \times \delta^{18}\text{O} + 3.94$)

Таким образом, первые результаты исследования изотопного состава воды в Онежском озере показали, что концентрации кислорода-18 и дейтерия в воде выше среднегодового состава атмосферных осадков и колеблются в относительно небольшом интервале.

Выявлено, что к концу лета в результате процессов испарения изотопный состав воды озера значимо более тяжелый, чем весной. При этом в вертикальном разрезе значимых различий в изотопном составе в эти периоды не отмечается, что свидетельствует о полном перемешивании воды от поверхности до дна.

Результаты наблюдений за изменением изотопного состава воды в Петрозаводской губе по сезонам показали, что вода в июне является самой изотопически легкой среди всех проб Онежского озера и отражает снеготалый сток р. Шуи. К концу лета вода в губе и озере близка по изотопному составу, при этом концентрации кислорода-18 и дейтерия достигают максимума за счет испарения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00766).

Литература

1. Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества. Петрозаводск-Куопио, Изд-во Карельского НЦ РАН, 2006. 263 с.
2. Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н.Филатов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. 151 с.
3. Состояние водных объектов Республики Карелия (по результатам мониторинга 1998-2006 гг.). Петрозаводск. Изд-во Карельского НЦ РАН, 2007. 210 с.
4. Ферронский В. И., Дубинчук В. Т., Поляков В. А., Селецкий Ю. Б., Куцов В. М., Якубовский А. В. Природные изотопы гидросферы. М.: Недра, 1975. 280 с.
5. Ферронский В. И., Поляков В. А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009. 632 с.

С. А. Валькова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
Valkova@inep.ksc.ru*

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕРА ИМАНДРА

Озеро Имандра – самый крупный водоем Мурманской области, его длина составляет 109 км, средняя ширина 3.19 км, площадь с островами 880.4 км², объем воды – 10.86 км³. Озеро состоит из трех плесов: Большой, Йокостровской и Бабинской Имандры, которые соединены между собой узкими проливами – салмами. Плесы озера существенно отличаются по своим морфометрическим характеристикам: Большая и Йокостровская Имандра близки между собой по площади акватории, но первый более глубоководный, Бабинская Имандра более чем в 2 раза меньше по площади водного зеркала двух других, но наиболее глубоководный (Антропогенные..., 2002).

Водоем подвержен многофакторному антропогенному воздействию, в него поступают стоки горнодобывающих предприятий (ОАО «Апатит»), металлургической промышленности (комбинат «Североникель» ОАО «Кольская ГМК») железорудного производства (ОАО «Олкон»). Мощным источником теплового воздействия является Кольская АЭС, сбрасывающая в озеро подогретые воды. Наряду с промышленными отходами, обуславливающими токсичное загрязнение, в озеро поступают хозяйственно-бытовые стоки городов, что приводит к эвтрофированию водоема. Наиболее загрязнен плес Большая Имандра, являющийся приемником стоков медно-никелевого комбината (Монче-губа), ОАО «Апатит» (губа Белая) и Оленегорского ГОКа (губа Куреньга).

Наиболее ранние исследования зообентоса озера Имандра проводились в период с 1925 по 1930 гг. (Крогиус, 1931). В дальнейшем эти работы носили эпизодический характер и проводились только на отдельных плесах (Дольник, Стальмакова, 1975). Систематические гидробиологические исследования оз. Имандра проводятся с 1980 г. на базе Института проблем промышленной экологии Севера (Моисеенко, Яковлев, 1990; Яковлев, 1995а; 1999; 2002; 2005; Антропогенные модификации..., 2002).

Цель работы - оценка состояния макрозообентоса оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений в условиях многофакторного антропогенного воздействия. Рассмотрены состав и структура бентосных сообществ губ Монче и Белая, испытывающих на протяжении длительного периода воздействие предприятий горно-промышленного комплекса, а также губы Молочная, находящейся в зоне влияния подогретых вод Кольской АЭС.

Губа Монче. За период с 1968 по 2009 гг. структура донных биоценозов наиболее загрязненного участка губы Монче (1-5 км от устья р. Ньюдауй) существенно не изменилась.

В составе бентосной фауны на протяжении всего периода наблюдений доминировали устойчивые к токсическому загрязнению, широко распространенные и многочисленные в биотопах, загрязняемых тяжелыми металлами хирономиды рода *Chironomus*, (Антропогенные..., 2002; Яковлев, 2002; Mousavi et al., 2003). В то же время наблюдалась устойчивая тенденция сокращения плотности макрозообентоса: в 1968 г. численность донной фауны составляла 493 экз/м², биомасса 8 г/м², в 1978-1985 гг. – 1546 экз/м² и 9 г/м², в 1998 г. эти показатели снизились до 300-400 экз/м² и 0.4-4 г/м² (Антропогенные..., 2002), в 2009 г. численность бентоса не превышала 140 экз/м², биомасса 2 г/м². Таким образом, в условиях высокой загрязненности водной среды и донных отложений тяжелыми металлами сформировались неустойчивые бентосные сообщества, характеризующиеся крайне низким разнообразием и плотностью.

На выходе из Монче-губы (на расстоянии 8-10 км от устья р. Ньюдай) в настоящее время наблюдается рост обилия и разнообразия макрозообентоса, сохраняется отмеченная ранее тенденция к увеличению доли бокоплавов *Monoporeia affinis* Lind. в составе бентофауны. Сточные воды к-та «Североникель» оказывают сильное токсическое действие на амфипод (Яковлев, 2002), уже на начальном этапе загрязнения Монче-губы было отмечено сокращение численности этой группы, а с 1968 г. бокоплавов в донных биоценозах Монче-губы не регистрировали. В 1996 г впервые после 30-летнего отсутствия бокоплавов были обнаружены у выхода из Монче-губы в открытый плес (Ильяшук, 2002; Яковлев, 2005). За прошедшие 13 лет численность этой группы возросла от 129 экз/м² в 1996 г. до 2350 экз/м² в 2009 г. Таким образом, в настоящее время наблюдается реколонизация амфиподами *M. affinis* прежних местообитаний в пределах Монче-губы. В структуре донных биоценозов этого участка бокоплавов являются доминантами, что характерно для глубоководных зон плеса Большая Имандра, удаленных от источника загрязнения и может свидетельствовать об улучшении условий обитания для донных животных.

Губа Белая. Ретроспективный анализ данных показывает что, в непосредственной близости от дамбы технологического отстойника экологическая ситуация за последнее десятилетие претерпела ряд изменений, свидетельствующих о процессах восстановления бентосных сообществ. На протяжении всего периода наблюдений в донных биоценозах губы Белая доминировали устойчивые к загрязнению минеральной взвесью олигохеты-грунтофаги (Tubificidae, Naididae), однако их доля в настоящее время снизилась в среднем с 75 до 50 %, в то же время увеличилась относительная плотность двустворчатых моллюсков *Euglesa sp.*, появились не регистрировавшиеся ранее хирономиды – мезосапроб *Prodiamesa olivacea* Meigen и олигосапроб *Momodiamesa sp.*, а также бокоплавов *M. affinis*. Сохраняется тенденция снижения общей численности бентоса, обусловленная сокращением обилия олигохет, в то же время значения биомассы донных биоценозов остались на прежнем уровне, составляя в среднем за 2011-2012 гг. 10 г/м², при сезонных флуктуациях от 7 до 14 г/м², что обусловлено описанными выше изменениями в структуре бентоса.

Губа Молочная. Влияние подогретых вод Кольской АЭС на бентосные сообщества оз. Имандра ограничено акваторией в пределах губы Молочной. В настоящее время в водосбросном канале и прилегающем к нему участке сформированы литореофильные бентосные сообщества. По сравнению с данными 1973-1988 гг. (Моисеенко, Яковлев, 1990) в структуре руководящего комплекса водосбросного канала отмечен ряд изменений. В 1973-1988 гг. основу бентоса формировали олигохеты *L. hoffmeisteri*, количественные показатели которых варьировали в пределах 1575-2000 экз/м² и 1.8-1.08 г/м² а удельный вес достигал 80 % численности и 60 % биомассы всего зообентоса. В настоящее время общая численность и биомасса бентосных организмов осталась на прежнем уровне, составляя в среднем 1915 экз/м² и 1.8 г/м², однако относительная плотность олигохет снизилась до 25% (480 экз/м² и 0.4 г/м²), доминируют в бентосе сбросного канала хирономиды родов *Monodiamesa*, *Cricotopus* и *Procladius* (*Monodiamesa bathyphila*, *Polypedilum gr. scalaenum*, *Potthastia spp.*), доля которых в сообществах составляет в среднем 58 % (1100 экз/м² и 1.0 г/м²), субдоминантом являются брюхоногие моллюски *Valvata*.

В глубоководной зоне губы Молочная сформирован пелофильный биоценоз, основу которого составляют олигохеты и моллюски *Euglesa sp.* Массовому развитию этих групп способствует температурный режим акватории и приток биогенных элементов и органического вещества, поступающих в водоем в ходе эксплуатации форелевого хозяйства. В составе хирономидных сообществ этой зоны преобладают личинки подсем-ва Тануродинае, в предыдущие годы (Крючков и др., 1985; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные..., 2002) в бентосе доминировали личинки ортокладиин, наблюдаемое в настоящее время увеличение доли таниподин (прежде всего эврибионтных личинок *Procladius*) может свидетельствовать об усилении процессов эвтрофикации в этой части акватории.

Анализ многолетней динамики численности и биомассы зообентоса губы Молочная показал, что уровень численности донной фауны в настоящее время сопоставим со значениями, наблюдавшимися в 1978-79 гг., тогда как средние значения биомассы зообентоса существенно не изменились, что обусловлено перестройками в структуре донных сообществ – снижением относительной плотности олигохет и увеличением доли относительно крупных амфипод и моллюсков *Pisidium*.

Литература

1. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. 2002. М.: Наука, 403 с.
2. *Ильяшук Б. П.* Реликтовые ракообразные в условиях длительного загрязнения субарктического оз. Имандра (результаты наблюдений за период 1930-1998 гг.) // *Экология*, 2002, № 3. С. 215-219/
3. *Крогиус Ф. В.* Предварительный отчет о работе экспедиции на Умбозере и Имандре летом 1930 г. // *Изв. Ленингр. научн.-исслед. ихтиол. ин-та.*, 1931. Т. 13, вып. 1. С. 45-61.
4. *Крючков В. В., Чижиков В. В., Моисеенко Т. И.* Исследование техногенных изменений химического состава и биоценозов водоемов Кольского Севера // *Заключительный отчет по теме 3-78-0718*. 1980. 244 с.
5. *Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 220 с.
6. *Яковлев В. А.* Воздействие тяжелых металлов на пресноводный зообентос. Ч. 2 Последствия для сообществ // *Экологическая химия*, 2002, № 11(2). С. 117-132.
7. *Яковлев В. А.* Изменение структуры зообентоса северо-восточной Фенноскандии под влиянием природных и антропогенных факторов. Автореф. дисс. ... докт. наук. СПб, 1999. 49 с.
8. *Яковлев В. А.* Оценка многолетних изменений в развитии и структуре зоопланктона и зообентоса крупного субарктического водоема (на примере оз. Имандра) // *Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского Севера*. Апатиты, 1995а. С. 89-104.
9. *Яковлев В. А.* Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика) Ч. 2. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. 145 с.
10. *Яковлев В. А.* Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика) Ч. 1. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. 161 с.
11. *Mousavi Seyed Karim, Raul Primicerio, Per-Arne Amundsen* Diversity and structure of Chironomidae (Diptera) communities along a gradient of heavy metal contamination in a subarctic watercourse // *The Science of the Total Environment* 307, 2003. P. 93-110.

О. И. Вандыш, А. А. Черепанов

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
vandysh@inep.ksc.ru*

ЗООПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ОЗЕРА ИМАНДРА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

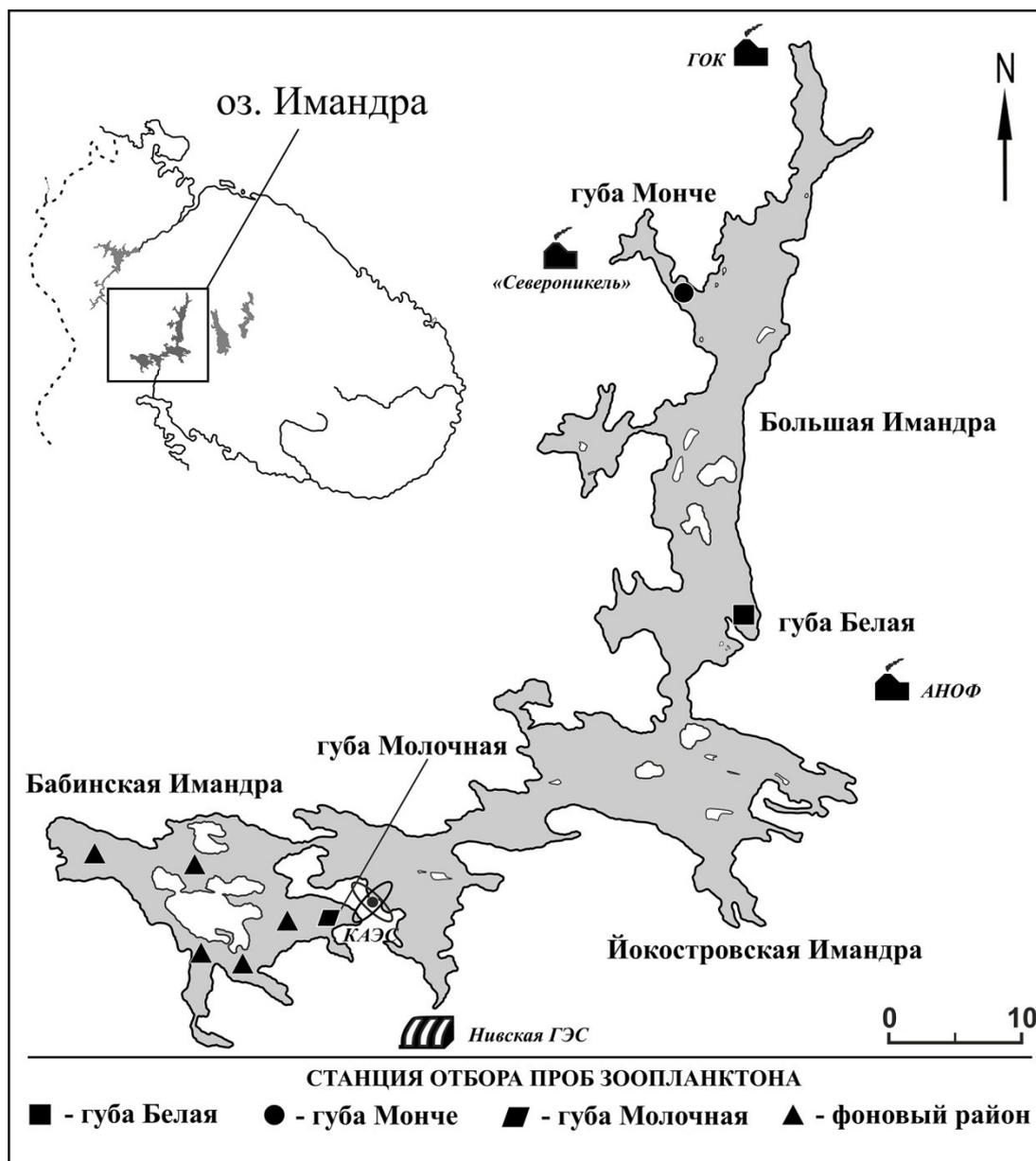
Современные сообщества планктона – результат длительного воздействия комплекса факторов, как многолетних изменений абиотической среды, так и соотношений между самими сообществами организмов. Поэтому особое значение в исследованиях планктонных сообществ в озерах имеют работы, проводившиеся в течение многих лет.

Крупные озера, такие как Имандра, имеют систему планктонного типа, т. е. основные потоки органического вещества и энергии от продуцентов к высшим трофическим звеньям идут именно через сообщества простейших, коловраток и ракообразных. По своему составу зоопланктон озера достаточно однороден и представлен типичными представителями фауны северных широт.

В диагностических целях чаще используются структурные, а не функциональные характеристики, что связано с методическими трудностями получения количественных оценок последних. В связи с увеличением числа анализируемых показателей очень важен выбор наиболее информативных из них (Андроникова, 1996).

Цель работы – оценка состояния зоопланктонного сообщества оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений в условиях комплексного техногенного воздействия.

Рассмотрены зоопланктоценозы губ Монче, Белая, испытывающих на протяжении многих лет воздействие предприятий горно-промышленного комплекса, и Молочная (влияние подогретых вод Кольской АЭС); в качестве условно-фоновых районов – сообщества восточного и западного участков плеса Бабинская Имандра, не испытывающие прямой техногенной нагрузки (рис.1).



Карта-схема отбора планктонных проб

Отбор проб зоопланктона проводили в период гидробиологического лета 1996, 1998, 2001, 2003, 2006, 2011, 2012 и 2013 гг. Всего отобрано, обработано и проанализировано около 100 проб. Обработка проб и необходимые расчеты проводились согласно общепринятым методикам гидробиологического мониторинга (Руководство..., 1992). Таксономический состав зоопланктона вышеуказанных районов приведен в таблице 1.

Сравнение полученных результатов исследованных районов оз. Имандра (губы Монче, Белая, Молочная, условно-фоновый район) выявило различия в качественном составе и количественных показателях зоопланктоценозов на протяжении последних 20 лет.

Таксономическая структура зоопланктонного сообщества является хорошим индикатором степени загрязнения водоема в целом или его отдельных участков. Структурные перестройки

зоопланктона в наиболее загрязненных зонах озера проявляются в снижении, а в ряде случаев исчезновении наиболее чувствительных к ухудшению экологических условий реликтов и типичных представителей фауны олиготрофных озер (*Leptodora kindtii*, *Bythotrephes longimanus*, *Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*). Их замещают и постепенно формируют состав руководящего комплекса эврибионтные виды с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения, типичные представители северного ротаторного планктонного комплекса – коловратки (*Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata*, *Kellicottia longispina*), что свидетельствует об ухудшении самоочистительной способности данных районов озера. С удалением от источников интенсивного антропогенного воздействия отмечен рост эвритропных организмов, отличающихся широкой экологической валентностью, ценных в кормовом отношении «тонких» фильтраторов кладоцер (*Bosmina obtusirostris*, *Daphnia* spp.) и представителей северной фауны активных «грубых» фильтраторов копепоид (*Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*).

Таблица 1

Таксономический состав зоопланктона оз. Имандра в периоды отбора проб в зонах техногенного воздействия и условно-фоновом (контрольном) районе (июль-август 1996, 1998, 2003, 2006, 2011, 2012, 2013 гг.)

Таксон	Зоны оз. Имандра			
	Губа Монче	Губа Белая	Губа Молочная	условно-фоновый район
1	2	3	4	5
Rotatoria – Коловратки				
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+	+	+	+
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	+	+	+	+
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	+	+	+	-
<i>Brachionus</i> sp.	+	-	-	-
<i>Collotheca</i> sp.	-	-	+	-
<i>Conochilus unicornis</i> Roussellet	+	+	+	+
<i>Epiphanes</i> sp.	+	-	-	-
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	+	+	+	-
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	+	+	+	-
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	+	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> Gosse	+	+	+	+
<i>K. hiemalis</i> Carlin	+	+	-	+
<i>K. quadrata</i> (Müller)	+	+	+	+
<i>Notholca caudata</i> Carlin	+	+	+	+
<i>Notholca</i> sp.	-	+	-	-
<i>Polyarthra</i> sp.	+	+	+	+
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg	-	+	-	-
<i>Synchaeta</i> sp.	+	+	+	+
<i>Trichocerca</i> sp.	-	+	-	-
<i>Rotatoria</i> sp.	+	+	+	-
<i>Trichotria</i> sp.	-	+	-	-
Crustacea – Ракообразные				
Надотряд Cladocera – Ветвистоусые				
<i>Alona affinis</i> Leydig	+	-	+	-
<i>A. quadrangularis</i> (Müller)	-	-	-	+
<i>Alona</i> sp.	-	-	+	-
<i>Alonella nana</i> Baird	-	-	+	-
<i>Alonopsis elongata</i> Sars	-	+	-	-
<i>Bosmina coregoni</i> Baird	+	-	-	-
<i>B. obtusirostris</i> Sars	+	+	+	+
<i>Bosmina</i> sp.	-	-	+	-
<i>Bythotrephes cederstromii</i> Schoedler	+	-	+	+
<i>B. longimanus</i> Leydig	-	-	+	+

1	2	3	4	5
Crustacea – Ракообразные				
Надотряд Cladocera – Ветвистоусые				
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	+	-	-	-
<i>Chydorus</i> sp.	+	-	-	-
<i>Daphnia cristata</i> G.O. Sars	+	-	+	+
<i>D. hyalina</i> Leydig	-	+	-	-
<i>D. longiremis</i> G.O. Sars	-	+	+	-
<i>D. longispina</i> O.F. Müller	+	+	-	-
<i>Eurycerus lamellatus</i> (Müller)	-	-	+	+
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	+	+	+	+
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	-	-	+	+
<i>Pleuroxus</i> sp.	+	+	-	-
<i>Polyphemus pediculus</i> (L.)	+	-	+	+
<i>Rhynchotalona</i> sp.	-	-	+	-
<i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller)	-	-	-	+
Надотряд Copepoda – Веслоногие				
<i>Acanthocyclops gigas</i> (Claus)	+	+	+	-
<i>A. vernalis</i> (Fischer)	-	+	-	-
<i>A. viridis</i> (Jurine)	+	-	+	+
<i>Acanthocyclops</i> sp.	+	+	+	+
<i>Cyclops scutifer</i> Sars	+	+	+	+
<i>C. strenuus</i> Fischer	+	-	+	-
<i>C. vicinus</i> Uljanin	+	+	+	+
<i>Cyclops</i> sp.	+	+	+	+
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars)	+	-	-	+
<i>E. graciloides</i> (Lilljeborg)	-	+	+	-
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars	+	+	+	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	+	+	+	+
<i>Mesocyclops</i> sp.	-	-	-	+
Всего	37	34	38	29

Примечание. «+» – присутствие вида, «-» – отсутствие.

Индекс видового разнообразия Шеннона отражает усиление доминантности отдельных видов, устойчивых к воздействию токсикантов – коловраток, являющихся типичными индикаторами загрязнения.

Количественные показатели зоопланктонного сообщества также проявляют определенную специфику в зависимости от степени техногенного загрязнения отдельных участков водоема. Максимальные значения численности и биомассы зоопланктона в исследуемые периоды, несмотря на снижение уровня антропогенной нагрузки с 1990 г., были зарегистрированы в губах Монче (657.2 ± 215.5 тыс. экз/м³ и 1.8 ± 0.3 г/м³) и Белая (401.5 ± 140.1 тыс. экз/м³ и 2.2 ± 0.9 г/м³ соответственно) (табл.2). Установлено, что «ведущим» фактором здесь выступает эвтрофирование, вызванное влиянием хозяйственных сбросов и отходов апатит-нефелиновой индустрии. Содержание больших количеств биогенных элементов и органических веществ в воде снижает токсичность тяжелых металлов и других металлов и стимулирует развитие зоопланктона.

Подогреваемая акватория оз. Имандра (губа Молочная), несмотря на наметившийся процесс эвтрофирования, сохраняет в основном черты олиготрофного водоема (численность 99.1 ± 54.4 тыс. экз/м³, биомасса 0.6 ± 0.1 г/м³) (табл.2), что подтверждает выводы ряда исследователей о том, что влияние умеренно подогретых сбросных вод электростанции на животный и растительный мир субарктического водоема, в целом, положительный фактор. В качестве негативного эффекта следует отметить гибель и травмирование части крупных, имеющих выросты ракообразных (*Daphnia*, *Bosmina*, *Cyclops*, *Leptodora*, *Bythotrephes*) при прохождении через охладительную систему Кольской АЭС и влияние сложной гидродинамической ситуации, обусловленной высокой степенью перемешивания и проточностью водных масс в устье сбросного канала и в подогреваемой зоне озера.

Выявлено изменение наиболее информативных структурных показателей зоопланктонного сообщества при различном характере техногенного воздействия и дана оценка экологического состояния исследованных районов оз. Имандра по степени загрязнения: губы Монче и Белая – зоны

сильного загрязнения (сокращение видового состава и числа доминант, упрощение структуры сообщества с преобладанием коловраток); губа Молочная – переходная от умеренного к слабому загрязнению зона (увеличение доли крупных ветвистоусых и веслоногих рачков, включая Calanoida, колебания количественных показателей незначительны); восточный и западный участки плеса Бабинская Имандра – условно-фоновая зона (состояние сообщества в пределах межгодовых колебаний количественных показателей и незначительных изменений в соотношении основных таксономических групп).

Таблица 2

Количественные показатели зоопланктонного сообщества оз. Имандра
(июль-август 1996, 1998, 2003, 2006, 2011, 2012, 2013 гг.)

Показатель	$\frac{M \pm m}{\text{min-max}}$	Std. Dev.
<i>Условно-фоновый район</i>		
N общая (тыс. экз/м ³)	$\frac{68.7 \pm 44.1}{7.8-230.1}$	49.1
B общая (г/м ³)	$\frac{0.4 \pm 0.2}{0.2-0.6}$	0.2
H (N) (бит/экз)	$\frac{2.0 \pm 0.5}{1.7-2.9}$	0.5
<i>Губа Монче</i>		
N общая (тыс. экз/м ³)	$\frac{627.2 \pm 215.5}{66.9-1629.3}$	609.6
B общая (г/м ³)	$\frac{1.8 \pm 0.3}{0.6-3.4}$	1.0
H (N) (бит/экз)	$\frac{2.2 \pm 0.1}{1.9-3.0}$	0.3
<i>Губа Белая</i>		
N общая (тыс. экз/м ³)	$\frac{401.5 \pm 140.1}{14.5-1064.5}$	190.1
B общая (г/м ³)	$\frac{2.2 \pm 0.9}{0.2-7.1}$	1.6
H (N) (бит/экз)	$\frac{2.1 \pm 0.2}{1.1-2.9}$	0.6
<i>Губа Молочная</i>		
N общая (тыс. экз/м ³)	$\frac{99.1 \pm 54.4}{17.0-312.0}$	121.7
B общая (г/м ³)	$\frac{0.6 \pm 0.1}{0.2-1.1}$	0.3
H (N) (бит/экз)	$\frac{2.5 \pm 0.2}{1.9-2.9}$	0.4

Примечание. $M \pm m$ – среднее значение и стандартная ошибка, min-max – предельные значения, σ – стандартное отклонение.

Литература

1. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб., 1996. С. 189.
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Наука, 1992. С. 318.

Э. В. Гарин, Е. Г. Крылова

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Ярославская обл., пос. Борок
GarinEV@mail.ru

ФЛОРА ВОДОЁМОВ И ВОДОТОКОВ ГОРОДА РЫБИНСКА (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Флора города формируется в особом режиме постоянного антропогенного преобразования его экосистем. От антропогенного воздействия в связи с трансформацией водосборных бассейнов, гидротехническим строительством, загрязнением воды, рекреацией наиболее сильно страдают

экосистемы водных объектов. О проблемах городских водоёмов свидетельствуют обеднение видового и ценотического состава флоры, типы зарастания акваторий, рудерализация околководного пространства. Результаты анализа гидрофильной флоры могут послужить основой фитомониторинга состояния водных экосистем в условиях городской среды. Город Рыбинск является большим промышленным и административным центром с населением более 200 тыс. человек. Работ по выявлению флористического разнообразия его водоёмов в полном объёме не проводилось.

Целью данной работы было составление списка видов водных объектов города с последующим его анализом для определения особенностей структуры гидрофильной флоры в условиях антропогенного воздействия.

Для составления списка флоры водоёмов и водотоков были использованы материалы, полученные авторами в ходе полевых сборов в 1990-х гг. при изучении флоры транспортных путей (часть, касающаяся водной транспортной артерии – реки Волги). Также учтены материалы 1997-2004 гг. по изучению флоры копаных водоёмов (Гарин, 2004), 2005-2007 гг. по растительному покрову р. Коровки (Крылова, 2010) и 2008-2009 гг. по исследованию гидрофильной флоры р. Черёмухи (Крылова, 2012). Во всех случаях нами учитывались как растения, найденные непосредственно в водной среде, так и виды, отмеченные по урезу воды и на обсыхающем мелководье водоёмов и водотоков в пределах административных границ города. При этом наибольшее флористическое разнообразие отмечено на берегу р. Волги – 100 видов сосудистых растений, заметно меньше видов отмечено на копанях – 87 (от 6 до 31 вида на копань), меньше всего – на р. Коровке (33 вида). Полученный нами список был пополнен данными из Гербария ИБВВ РАН (Гарин, 2015) и Гербария Ярославского государственного университета (Борисова, Гарин, 2015), в фондах, которых нами были найдены 58 видов сосудистых растений, собранных в водоёмах г. Рыбинска (соответственно, 49 видов по фондам ИБВВ РАН и 13 видов по фондам ЯрГУ).

Исследуемая флора представлена двумя отделами: Equisetophyta (2 вида) и Magnoliophyta (184 вида). У цветковых наблюдается явное преобладание двудольных над однодольными: 62 против 122 видов. В условиях города однодольные виды оказываются более уязвимыми.

Всего в гидрофильной флоре г. Рыбинска 186 видов, относящихся к 104 родам из 40 семейств. Ведущими по числу видов семействами являются *Asteraceae* (25 видов), *Poaceae* (21), *Polygonaceae* (13), *Cyperaceae* (12) и *Fabaceae* (11 видов), т. е. семейства, виды которых лучше приспособлены к экстремальным условиям обитания. Семейств, представленных небольшим числом видов (от 1 до 5) – 29, из них, 13 семейств – только по одному виду. Ведущее положение *Asteraceae* объясняется высокой степенью нарушенности прибрежной зоны и синантропизацией флоры.

Ведущими родами являются *Carex* (9 видов), *Potamogeton* (8), *Juncus* (7), *Rumex* (6) и *Galium* (5 видов). Остальные рода представлены меньшим числом видов, при этом 67 родов – только по одному виду.

Основную часть видов флоры составляют многолетние травы (142 вида или 76 % всего списка флоры), заметно меньше во флоре города малолетников (одно- и/или двулетних трав) – 37 видов; деревья и кустарники представлены только 7 видами.

Значительную роль во флоре играют гигромезо- и мезофиты – 95 видов, или 51% списка флоры. В целом экологические группы распределились следующим образом (табл.1).

Таблица 1

Экологическая структура гидрофильной флоры

Экотипы	Количество видов
Гидрофиты	17
Гелофиты	12
Гигрогелофиты	18
Гигрофиты	44
Гигромезо- и мезофиты	95

Ведущую роль в биоморфологической структуре гидрофильной флоры города играют гемикриптофиты, составляющие почти половину списка (48.4 %), значительно меньше здесь терофитов и геофитов (табл.2).

«Водное ядро» (истинно-водные и прибрежно-водные растения) исследуемой флоры представлено 47 видами (25 % от всей флоры) из 18 семейств и 28 родов. Большая часть их – представители однодольных (70.2 %) многолетних (91.5 %) растений. Ведущими семействами являются *Potamogetonaceae* (8 видов), *Cyperaceae* (7) и *Poaceae* (5). 4 семейства содержат по 2 вида, 7 семейств – по 1 виду. Такое распределение семейств показывает сходство с урбанофлорами других городов и свидетельствует об азональном характере водной флоры и сходных путях её формирования

в условиях урбосреды. Ведущими родами являются *Potamogeton* (8), *Carex* (4), *Glyceria* и *Sparganium* (по 3). Большинство же родов являются моновидовыми и содержат 42 % водной флоры. В экологическом отношении доминируют гигрогелофиты и гидрофиты. Среди представителей этой группы отмечено 7 изредка встречающихся и 2 редких для флоры области вида. Представители «водного ядра в наибольшей степени зависят от состояния водной среды и могут быть использованы как индикаторы состояния водных экосистем в условиях городской среды.

Таблица 2

Биоморфологическая структура гидрофильной флоры

Жизненные формы	Количество видов
Фанерофиты	7
Хамефиты	1
Гемикриптофиты	90
Геофиты	25
Гелофиты	14
Гидрофиты	15
Терофиты	34

Обилие местообитаний с нарушенным растительным покровом по берегам водоёмов способствует внедрению адвентивных компонентов. В гидрофильной флоре г. Рыбинска нами выявлено 10 адвентивных видов из 8 семейств и 9 родов, 8 из них – представители двудольных, 50 % – многолетники, 80% относятся к гигромезо- и мезофитам, по жизненным формам это в основном гемикриптофиты (4 вида). 5 видов являются представителями бореальной зоны распространения, регионы распространения в основном североамериканский (3 вида) и голарктический (2). Водных видов всего 1 (*Elodea canadensis* Michx.), большинство представителей адвентивного компонента приурочены к береговым нарушенным местообитаниям (*Solidago canadensis* L., *S. serotinoidea* A. et D. Love, *Epilobium adenocaulon* Hausskn., *Salix alba* L.) и активно распространяются. Среди адвентивных видов есть инвазионный *Acer negundo* L. Адвентивные виды могут активно расселяться, участвуют в биологических инвазиях и способны изменять типичную структуру прибрежных фитоценозов.

Таким образом, гидрофильная флора г. Рыбинска является довольно типичной, но обеднённой в сравнении с водной флорой природного региона и показывает наличие в урбанизированном ландшафте подходящих для её развития экотопов, как естественных, так и искусственных. Она отличается определённой степенью синантропизации за счёт участия видов, приуроченных к нарушенным местообитаниям. Необходимо продолжать подобные работы в регионе для прогнозирования дальнейшего изменения структуры гидрофильной флоры под влиянием антропогенных факторов.

Литература

1. Борисова М. А., Гарин Э. В. Гербарий Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова // Ботанические коллекции – национальное достояние России: Сб. науч. тр. Всеросс. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 120-летию Гербария им. И.И. Спрыгина и 100-летию Русского ботанического общества (Пенза, 17-19 февраля 2015 г.) / Под ред. Л. А. Новиковой. Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. С. 205-208. DOI: 10.13140/RG.2.1.1796.3687
2. Гарин Э. В. Флора и растительность копаней Ярославской области. Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Борок, 2004. 206 с.
3. Гарин Э. В. Гербарий ИБВВ РАН на современном этапе // Ботанические коллекции – национальное достояние России: Сб. науч. тр. Всеросс. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 120-летию Гербария им. И. И. Спрыгина и 100-летию Русского ботанического общества (Пенза, 17-19 февраля 2015 г.) / Под ред. Л. А. Новиковой. Пенза: Изд-во ПГУ, 2015а. С. 28-30. DOI: 10.13140/RG.2.1.3893.5207
4. Крылова Е. Г. Структура гидрофильной флоры и растительности малой реки в урбанизированной среде // Биология внутренних вод, 2010. № 2. С. 20-26.
5. Крылова Е. Г. Гидрофильная флора реки Черёмухи в урбанизированной среде (Ярославская область) // Наука и образование в жизни современного общества: Сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 29 октября 2012 г.: Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. Ч. 9. С. 51-52.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ИМАНДРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Озеро Имандра расположено на крайнем северо-западе Европейской территории России (рис.1). Котловина озера находится в глубокой тектонической депрессии, которая простирается с севера на юг от Кольского залива Баренцева моря до Кандалакшского залива Белого моря (Моисеенко и др., 2002). Эта депрессия делит Мурманскую область на две части: западную – материковую, и восточную – полуостровную. Озеро Имандра – самый крупный водоем в Мурманской области и одно из крупнейших в Заполярье: длина озера – 109 км, средняя ширина – 3.19 км, площадь с островами – 880.4 км², объем воды – 10.86 км³. Общая площадь водосбора озера составляет 12300 км².

Наличие уникальных месторождений полезных ископаемых и удобное расположение на пути основных транспортных магистралей привели к развитию мощного индустриального комплекса на территории водосбора, что вызвало высокую антропогенную нагрузку на озеро. Среди основных производств выделяются следующие: горнодобывающая промышленность (ОАО “Апатит”), металлургическая промышленность (ОАО “Североникель”), железорудное производство (ОАО “Олкон”), энергетический комплекс (Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ, каскад Нивских ГЭС), а также муниципальные стоки городов.

Для оценки современного экологического состояния оз. Имандра и изучения истории развития и загрязнения озера был исследован химический состав донных отложений (ДО), для чего отбирались их колонки, и проводился послойный анализ накопления элементов. Определялись содержания тяжелых металлов (ТМ – Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg, Sr), а также Al и P.

Самые значительные преобразования химического состава в последние 60-80 лет произошли в толще ДО северного плеса Большая Имандра. В поверхностных слоях ДО губы Монче происходит лавинное увеличение концентраций всех исследуемых ТМ по сравнению с глубокими фоновыми слоями. Концентрации Ni увеличились на три порядка – с 50 до 30000 мг/г (или с 0.005 до 3%), т. е. в поверхностном слое ДО губы Монче содержание Ni превышает кондиционную норму для никелевой руды (рис.2). Концентрации Cu здесь возросли на два порядка (с 50 до 6000 мкг/г, или с 0.005 до 0.6%, что сопоставимо с содержанием в кондиционной руде). Увеличение содержания более чем на порядок зафиксировано и для остальных ТМ – Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Cr, которые являются сопутствующими металлами в медно-никелевой руде. Максимальные концентрации ТМ (кроме As и Hg) отмечаются в поверхностном 1-сантиметровом слое ДО, что говорит о том, что антропогенная нагрузка на эту часть акватории озера все увеличивается. Наибольшее содержание As и Hg отмечено в приповерхностном слое 1-2 см ДО, причем концентрация Hg в верхнем слое снизилась в 3 раза. Заметное увеличение содержания большинства ТМ происходит на глубине 7 см ДО и, вероятно, это связано с резким увеличением количества перерабатываемого сырья и выпуска продукции комбинатом «Североникель» почти в 3 раза в 1960 г. после реконструкции комбината и начала переработки привозной норильской высокосернистой руды. Можно рассчитать среднюю скорость осадконакопления в этой акватории озера, которая равна примерно 1.5 мм/год, учитывая, что слой 7 см ДО накапливался полвека (Дауальтер, Кашулин, 2015).

Максимальные концентрации Mn и Fe наблюдаются на глубине 6 см ДО, в поверхностном 5-сантиметровом слое происходит постепенное снижение содержаний этих металлов, и в поверхностном 1-см слое концентрации Fe вернулись на прежний доиндустриальный уровень, а Mn даже стали меньше его в 2 раза (рис.2). Увеличение содержания Fe и Mn в ДО связано с деятельностью комбината «Североникель», т.к. для получения Ni и Cu используются сульфидные медно-никелевые руды, в которых главными минералами являются такие как пентландит (Fe,Ni)₉S₈, халькопирит CuFeS₂, кобальтин (Co,Ni)AsS, никелин NiAs, галенит PbS, сфалерит ZnS, хромит FeCr₂O₄ и другие, т. е. в их составе, помимо других ТМ, присутствует Fe. Поведение и содержание Fe и Mn зависит также и от геохимических условий в воде и поровых водах ДО, главным образом от кислотно-щелочных (pH) и окислительно-восстановительных (Eh) условий (Horowitz, 1991; Дауальтер, Ильяшук, 2007; Дауальтер, 2012).

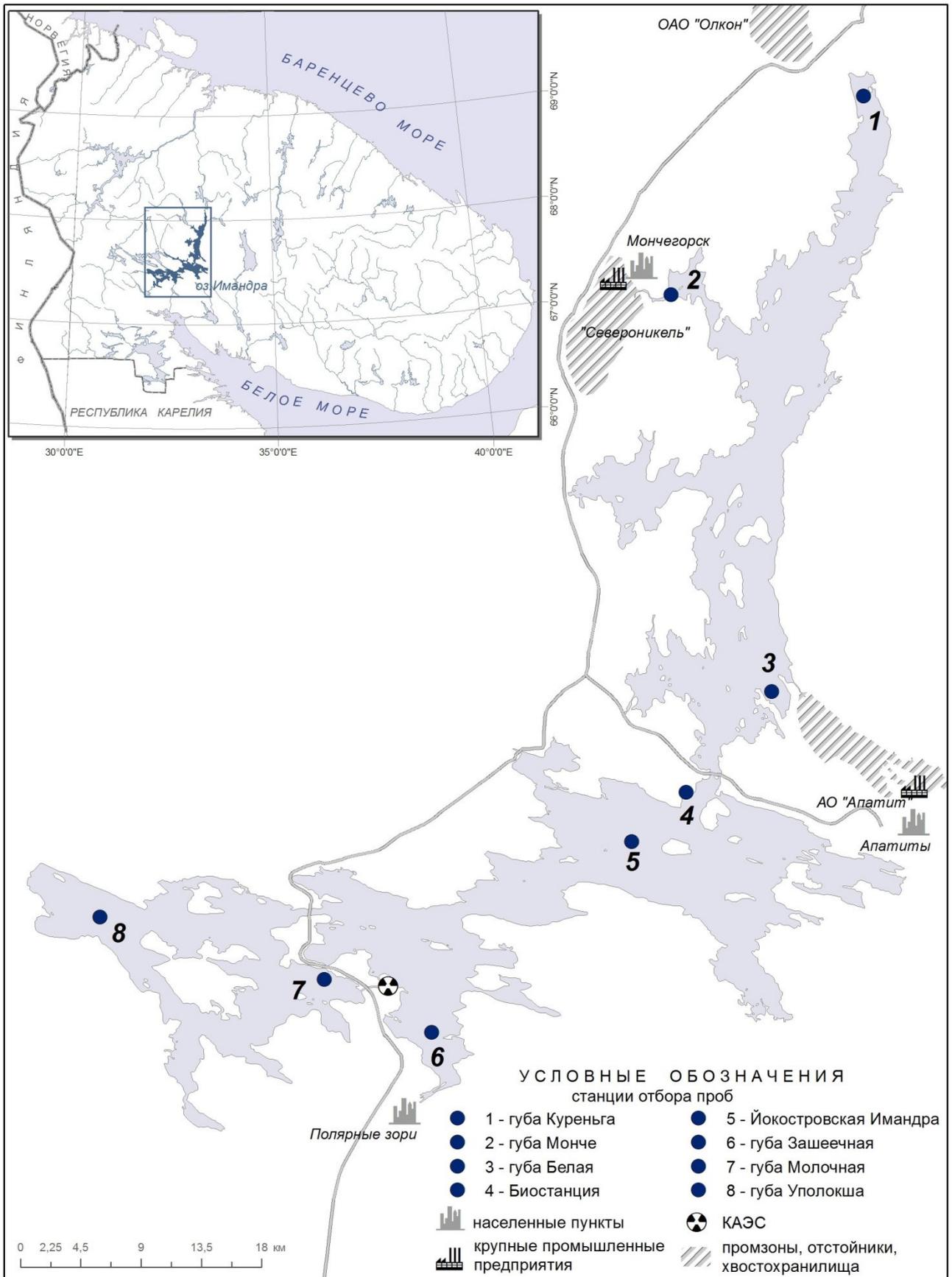


Рис.1. Схема расположения станций отбора колонок ДО на оз. Имандра

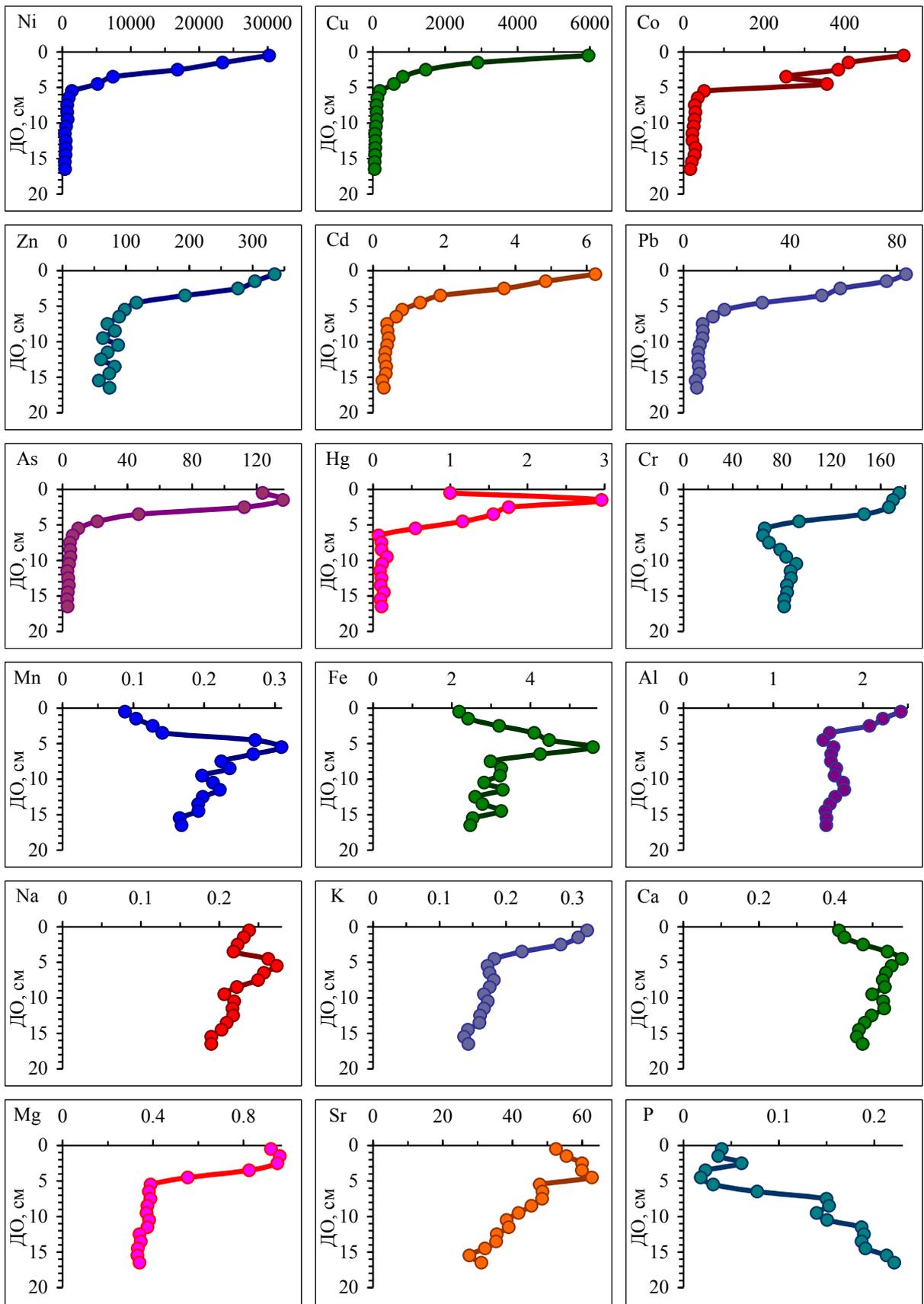


Рис.2. Вертикальное распределение концентраций элементов (мкг/г) в ДО губы Монче

Для обоих элементов более высокая степень окисления характерна для нерастворимых форм, в то время как меньшая степень окисления – для растворимых и относительно более свободных от комплексообразования. Например, растворимость гидроксида Fe(II) на четыре порядка выше растворимости гидроксида Fe(III). Растворимость гидроксида железа зависит также от концентрации ионов водорода, например, растворимость гидроксида Fe(III) при уменьшении pH с 8 до 6 увеличивается также на четыре порядка.

По направлению к поверхности ДО Монче губы происходит также увеличение содержания петрогенных элементов, входящих в состав главных породообразующих алюмосиликатных минералов, – Al и щелочных и щелочноземельных металлов Na, K, Mg (а также Sr) (рис.2). Исключением является Ca, максимальные значения которого отмечены на глубине 5 см (также как и Na и Sr), но в отличие от других щелочных и щелочноземельных металлов, содержание Ca в поверхностном 1-см слое меньше фонового значения. Распределение P отличается от всех исследуемых элементов – по направлению к поверхности ДО Монче губы происходит постоянное уменьшение содержания, и в поверхностных слоях оно почти на порядок меньше, чем в глубоких фоновых слоях (рис.2).

Для оценки загрязнения оз. Имандра была выбрана методика Л. Хокансона (Håkanson, 1980), описание которой приводится ниже. Для выявления интенсивности загрязнения токсичными веществами определились значения коэффициента загрязнения (C_f^i): $C_f^i = C_{0-1}^i / C_n^i$, где C_{0-1}^i – содержание вещества (i – металлы: Ni, Cu, Co, Zn, Pb, Cd, As, Hg) в поверхностном слое (0-1 см) ДО, отобранных из наиболее глубокой части акватории (зоны аккумуляции); C_n^i – доиндустриальное значение для данного вещества, определенное как среднее фоновое значение для ДО оз. Имандра, X, плюс одно стандартное отклонение, σ_n , (табл.1). Придерживались следующей классификации: $C_f^i < 1$ – низкий коэффициент загрязнения; $1 \leq C_f^i < 3$ – умеренный коэффициент загрязнения; $3 \leq C_f^i < 6$ – значительный коэффициент загрязнения; $C_f^i \geq 6$ – высокий коэффициент загрязнения.

Таблица 1

Средние фоновые концентрации элементов (X), стандартные отклонения (σ_n) и доиндустриальные значения ($X + \sigma_n$) в ДО оз. Имандра (в мкг/г сухого веса)

Элемент	X	σ_n	$X + \sigma_n$
Ni	42	14	55
Cu	38	14	50
Zn	92	26	120
Co	17	6	25
Cd	0.15	0.07	0.25
Pb	5.1	2.6	7.5
As	4.7	3.0	7.5
Hg	0.044	0.029	0.075

Степень загрязнения определялась как сумма всех коэффициентов загрязнения (C_f^i) для данной станции: $C_d = \sum C_f^i$. Аналогично, при характеристике степени загрязнения, слагаемую коэффициентами загрязнения отдельных элементов, придерживались классификации, предложенной Л. Хокансоном (Håkanson, 1980), из расчета, что суммируем значения коэффициентов загрязнения по 8 элементам: $C_d < 8$ – низкая степень загрязнения; $8 \leq C_d < 16$ – умеренная степень загрязнения; $16 \leq C_d < 32$ – значительная степень загрязнения; $C_d \geq 32$ – высокая степень загрязнения, свидетельствующая о серьезном загрязнении. Значения C_f по отдельным металлам и C_d для выбранных ранее 8 станций оз. Имандра показаны в табл. 2.

Максимальные значения коэффициента загрязнения по всем исследуемым ТМ и степени загрязнения (табл.2) отмечены в Монче-губе (Большая Имандра), куда поступают стоки комбината “Североникель”, содержащие металлы в повышенных концентрациях. В этой части озера все металлы (за исключением Zn) имеют высокие значения C_f . Величина C_d для Монче губы равна 760, что на порядок больше, чем в других акваториях озера. На втором месте по величине C_d стоит Белая губа Большой Имандры, куда поступают стоки АО «Апатит», а на третьем – Зашеечная губа, откуда вытекает р. Нива. Плесы Большая и Йокостровская Имандра в целом вследствие загрязнения стоками и атмосферными выбросами предприятий горнопромышленного и металлургического комплекса

имеют высокую степень загрязнения (за исключением биостанции, где величина C_d равна 30, что не очень далеко от пограничной величины между значительным и высоким загрязнением). На этих акваториях оз. Имандра наибольший вклад в величину степени загрязнения вносят Ni и Cu, и, соответственно, для них характерны высокие (для Ni) и значительные (для Cu) величины коэффициента загрязнения. Для Co, Cd, Pb, As и Hg здесь характерны значительные и умеренные значения C_f . Низкие и умеренные величины C_f практически по всем исследуемым ТМ зафиксированы в плесе Бабинская Имандра. Величина C_d в губе Уполокша находится на границе между умеренным и значительным, и значительные величины C_f здесь зафиксированы для Ni и Pb. Наименьшее (умеренное загрязнение) значение C_d (12) отмечено в Молочной губе, куда поступают подогретые воды Кольской АЭС.

Таблица 2

Значения коэффициента (C_f) и степени загрязнения (C_d) на исследованных станциях оз. Имандра

№	Станция	C_f^{Ni}	C_f^{Cu}	C_f^{Zn}	C_f^{Co}	C_f^{Cd}	C_f^{Pb}	C_f^{As}	C_f^{Hg}	C_d
1	Монче	549.3	119.2	2.8	21.8	25.0	11.1	16.5	13.3	759.1
2	Куреньга	27.7	5.2	1.0	1.1	2.3	2.0	1.4	1.1	41.8
3	Белая	33.8	7.4	1.1	1.7	3.3	1.8	1.8	3.2	54.1
4	Йокостровская	25.8	4.7	0.8	1.2	3.0	2.9	2.6	2.7	43.6
5	Биостанция	17.7	4.6	0.8	0.9	1.4	1.9	1.4	0.9	29.6
6	Зашеечная	20.8	3.2	1.8	2.5	5.9	3.2	8.0	0.8	46.1
7	Молочная	2.4	1.5	0.8	0.8	1.8	2.6	1.0	0.8	11.6
8	Уполокша	3.6	2.4	0.9	0.9	2.1	3.5	0.9	1.6	15.8

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что оз. Имандра более 80 лет испытывает загрязнение промышленными сточными водами горнодобывающих и металлургических предприятий и коммунально-бытовыми стоками населенных пунктов, что сказалось в значительных преобразованиях химического состава воды и ДО озера, ухудшении экологического состояния озера и изменении структуры гидробионтов. Геохимический состав ДО оз. Имандра претерпел значительные изменения по всей акватории вследствие как прямого поступления сточных вод предприятий горно-металлургического комплекса и коммунально-бытовых стоков, так и аэротехногенного загрязнения водосбора озера и ветровых нагонных течений. Наибольший вклад в эти преобразования оказывают горно-металлургические, добывающие и перерабатывающие предприятия.

Литература

1. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та, 2012. 242 с.
2. Даувальтер В. А., Ильяшук Б. П. Условия образования железо-марганцевых конкреций в донных отложениях озер в пределах Балтийского кристаллического щита // Геохимия. 2007. № 6. С. 680-684.
3. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Влияние деятельности горно-металлургических предприятий на химический состав озера Имандра, Мурманская область // Биосфера. 2015. Т. 7, № 3. С. 295-314.
4. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Лукин А. А. и др. (Под ред. Моисеенко Т. И.) Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 487 с.
5. Никаноров А. М. Гидрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 444 с.
6. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Res. 1980. V. 14. P. 975-1001.
7. Horowitz A. J. A primer on trace metal-sediment chemistry. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, 2nd rew. ed., 1991. 136 p.

Д. Б. Денисов¹, А. Л. Косова¹, С. Б. Николаева², Д. С. Толстобров²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

²Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

denisow@inep.ksc.ru

ГОЛОЦЕНОВЫЕ ДИАТОМОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОГО ОЗЕРА В РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК (БАСЕЙН ОЗ. ИМАНДРА, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Введение

Современные изменения климатической системы Русской Арктики оказывают существенное влияние на состояние пресноводных ресурсов. В этой связи все большую актуальность приобретают реконструкции прошлых географических обстановок в голоцене и оценка пределов естественных вариаций различных параметров среды. Экосистемы малых озер являются наиболее чувствительными объектами к любым изменениям окружающей природной среды и климата и широко используются в палеоэкологических реконструкциях. Были изучены диатомовые комплексы донных отложений малого озера, расположенного в бассейне оз. Имандра (Кольский полуостров), реконструированы основные этапы развития экосистемы водоема на протяжении голоцена методами диатомового анализа.

Материалы и методы

Объектом исследований было малое озеро («озеро 4»), расположенное к западу от губы Уполокша оз. Имандра (рис.1). Озеро расположено на заболоченной территории, высотные отметки которой не превышают 155 м над у.м., и не имеет выраженного поверхностного стока. Отбор донных осадков производился в летний период с катамарана при помощи переносного отечественного поршневого бура, по схеме, описанной ранее (Николаева и др., 2015). Пробы на диатомовый анализ отбирались интервалом отложений 1.0-3.0 см.



Рис.1. Карта-схема расположения района работ

Радиоуглеродное датирование было выполнено в Лаборатории палеогеографии и геохронологии четвертичного периода факультета географии и геоэкологии СПбГУ в Санкт-Петербурге, и лаборатории географии и эволюции почв в ИГ РАН в Москве. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «CalPal2007_HULU» Кёльнского университета 2007 г. (сайт www.calpal.de). Из интервала 3.75-3.85 отобрана проба на ¹⁴C. Возраст определен как 7700±120.

Диатомовый анализ донных отложений был проведен по стандартной общепринятой методике (Давыдова, 1985; Денисов, 2007), по схеме, принятой в ИППЭС КНЦ РАН (Косова и др., 2011). Все обнаруженные в препаратах створки водорослей определялись, по возможности, до внутривидовых таксономических категорий согласно определителям (Krammer, Lange-Bertalot, 1888-1991; Krammer, 2000; 2002; 2003). Подсчет и таксономическая идентификация диатомей была проведена на световом микроскопе «Motic BA 300» при увеличении в 400-1000 раз, с применением иммерсионного объектива. Названия таксонов приведены в соответствии с международной альгологической базой данных (Guiry, Guiry, 2016). Таксономическое разнообразие оценивалось по индексу Шеннона-Уивера (Shannon, Weaver, 1949).

Результаты и обсуждение

Диатомовый анализ, выполненный по разрезу донных отложений озера 4, позволяет охарактеризовать различные стадии развития пресноводного водоема в голоцене. На основе последовательной смены диатомовых комплексов было выделено 4 зоны, соответствующие различным этапам развития экосистемы озера (рис.2). Всего в отложениях было обнаружено 72 таксона диатомей рангом ниже рода.

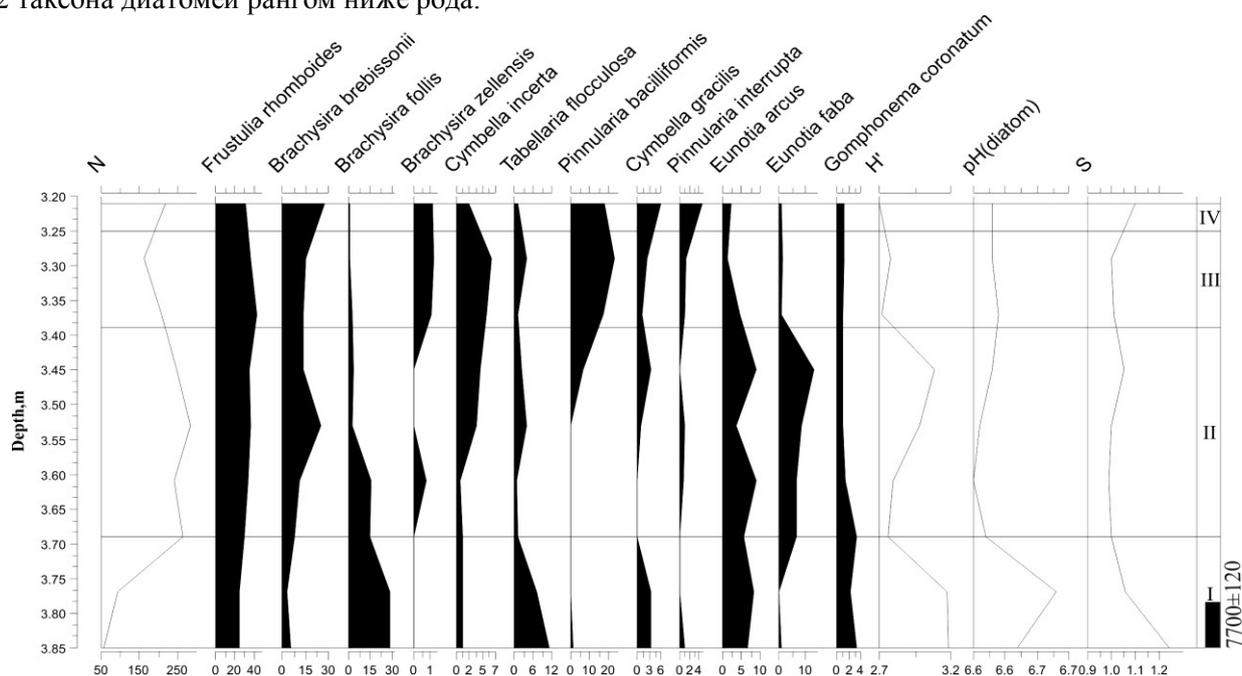


Рис.2. Диатомовая диаграмма массовых и индикаторных видов (%), изменение общей численности диатомей (N, млн. экз./г. сух.в-ва), их таксономического разнообразия (H', бит/экземпляр), реконструированных по диатомеям значений pH и индекса сапробности (S)

Диатомовые комплексы в нижней части разреза (Зона I, интервал 3.85-3.68 м) характеризуются трендами на увеличение общего обилия и снижение таксономического разнообразия. Массовыми видами были *Brachysira follis* (Ehrb.) R.Ross; *Gomphonema coronatum* Ehrb.; *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz. В составе комплексов отмечены (< 2%) планктонные формы: *Aulacoseira lacustris* (Grun.) Kramm.; *Tryblionella angustata* W.Sm. В этот период, очевидно, произошло формирование озера на заболоченной территории.

Зона II (интервал 3.68-3.38 м) характеризуется полным исчезновением планктонных форм из состава диатомовых комплексов; увеличивается видовое разнообразие диатомей. Эта зона соответствует теплomu и засушливому климатическому оптимуму, когда произошло уменьшения глубины озера и появились мелководных заболоченных участков на литорали, заросших высшей водной растительностью, что способствовало активному развитию бентосных диатомей и обрастателей: *Cymbopleura incerta* (Grun.) Kramm., *Brachysira brebissonii* Ross, включая предпочитающих умеренные температуры воды – *Eunotia faba* (Ehrb.) Grun.

Зона III (интервал 3.38-3.25 м) – соответствует периоду похолодания в начале суббореального периода, что нашло отражение в уменьшении общего обилия диатомей и увеличении доли

арктоальпийских форм (*Frustulia rhomboides* (Ehrb.) De Toni 43.2 %), наряду со снижением таксономического разнообразия диатомовых комплексов. Снизилась численность форм, предпочитающих умеренные температуры воды, сократилась зона литоральных прогреваемых участков. В это время озеро, вероятно, имело выраженные притоки, о чем свидетельствует увеличение доли диатомей, предпочитающих текучие воды – *C. incerta* (до 6.4 %). Преобладали диатомей, предпочитающие ультраолиготрофные, низкоминерализованные воды – *Brachysira zellensis* (Grun.) Round & Mann, *Pinnularia bacilliformis* Kramm.

Зона VI (интервал 3.25-3.21 м) – характеризует наиболее близкий к современному этап. Вероятно, происходило дальнейшее сокращение площади и глубины озера, заселение бентосными диатомеями (*Brachysira brebissonii* Ross, *Encyonema gracile* Rabenh.) мелководных зон. Как результат некоторого потепления климата, произошло увеличение общей численности диатомей, а также доли сапрофилов (*Pinnularia biceps* W.Greg.).

Заключение

На всем изученном разрезе в диатомовых комплексах преобладают бентосные формы и обрастатели; основную долю (60-77%) составляют ацидофилы (предпочитают pH < 7.0). Очевидно, озеро сформировалось на заболоченном участке в начале атлантического периода, а затем происходило постепенное сокращение его площади и глубины. На протяжении формирования всех изученных отложений, водоем был мелководным, ультрапресным, с pH < 7.0. Индекс сапробности, рассчитанный по диатомовым комплексам, соответствует чистым олиготрофным водам в течение всех периодов развития водоема.

Литература

1. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
2. Денисов Д. Б. Изменения гидрохимического состава и диатомовой флоры донных отложений в зоне воздействия горнорудного производства (Кольский полуостров). Водные ресурсы, 2007. Т. 34, № 6. С. 719-730.
3. Косова А. Л., Мальшиева М. Б., Денисов Д. Б. К методике камеральной обработки проб для диатомового анализа донных отложений // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12-17 сентября, 2011 г.). В 2 т. / Рос. акад. наук, Отд. наук о Земле, Комиссия по изуч. четвертич. периода, Геологический ин-т Кольского НЦ РАН. Апатиты; СПб, 2011. Т. 1. (А–К). С. 294-295.
4. Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Денисов Д. Б. Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): результаты палеолимнологических исследований // Труды Карельского НЦ РАН, 2015, № 5, серия "Лимнология". С. 78-92.
5. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa, V. 2 (1-4). Stuttgart/Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988-1991.
6. Krammer K. The genus *Pinnularia*. In: H. Lange-Bertalot (ed.), *Diatoms of Europe*. 1: A.R.G. Gantner Verlag K.G., Vaduz, 2000. 703 p.
7. Krammer K. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. In: H. Lange-Bertalot (ed.), *Diatoms of Europe*, 4: A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2003, 530 p.
8. Krammer K. *Cymbella*. In: H. Lange-Bertalot (ed.), *Diatoms of Europe*. 3: A. R. G. Gantner Verlag K. G., Ruggell, 2002, 584 p.
9. Guiry M. D. & Guiry G. M. 2016. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.
10. Shannon C. E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, University of Illinois Press, 1949. 117 p.

Т. В. Ефремова, Н. И. Пальшин

*Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
efremova@nwp.i.krc.karelia.ru*

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРМИЧЕСКИЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ОЗЕР КАРЕЛИИ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Как правило, определяющим фактором состояния пресноводных экосистем является уровень антропогенной нагрузки, а влияние климатических изменений усиливает или ослабляет воздействие этого фактора. Но при рассмотрении долгосрочной изменчивости гидрологических и химико-биологических характеристик озер первостепенное значение могут иметь естественные причины. В последние десятилетия в связи глобальным потеплением климата особый интерес вызывает реакция экосистемы водоемов на происходящие климатические изменения. При этом решающее воздействие на функционирование озерных экосистем оказывают изменения термического и ледового режимов. Температура воды и продолжительность ледового покрова на озерах прямо или косвенно влияют на скорости химических и биологических процессов, на концентрацию растворенных газов (O_2 , CO_2), уровни освещенности озер.

Материалы наблюдений

Для выявления реакции ледового и термического режимов разнотипных озер на изменения климата использованы многолетние данные наблюдений за сроками ледовых явлений (даты замерзания и очищения озер ото льда) и осредненные за декаду многолетние данные инструментальных ежедневных измерений температуры поверхностного слоя воды у берега на 8 озерах Карелии. Исследуемые озера расположены в северной, центральной и южной Карелии от 61° до 66° с. ш. и от 31° до 37° в. д. Озера разнообразны по своим морфометрическим и гидрологическим характеристикам (табл.). В выборку включены все типы водоемов: крупнейшие озера Европы (Ладожское и Онежское), крупные и глубоководные озера (Топозеро, Сегозеро), крупное и мелководное (Выгозеро), средние (Сямозеро, Водлозеро) и малое озеро (Ругозеро). Глубокие озера Ладожское, Онежское, Сегозеро и Топозеро летом стратифицированы. В их вертикальных распределениях температуры воды выделяются три слоя: эпи-, мета- и гипolimнион. Мелководные озера Водлозеро и Ругозеро – нестратифицированы и перемешиваются до дна. Средние по глубине Выгозеро и Сямозеро до середины августа обычно имеют два слоя: верхний квазиоднородный и нижний стратифицированный с температурой воды в придонных слоях на $5-10^\circ C$ ниже, чем на поверхности.

Материалы наблюдений за период с 1950 по 1989 г. взяты из гидрологических ежегодников, данные с 1990 по 2014 г. приобретены в Карельском республиканском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: для озер Водлозеро, Выгозеро, Ругозеро, Топозеро – по 2009 г., для озер Сегозеро, Сямозеро – по 2011 г., для Ладожского и Онежского озер – по 2014 г. включительно. Для оценки связей между температурой воздуха, датами ледовых явлений и температурой поверхностного слоя воды для каждого из озер подбирали ближайшую метеостанцию (МС) с соответствующим периодом наблюдений (озеро – МС): Ладожское – Валаам, Онежское – Петрозаводск, Топозеро – Энгозеро, Ругозеро – Реболы, Выгозеро – Сегежа, Сегозеро – Паданы, Водлозеро – Пудож, Сямозеро – Суоярви. МС выбирали на удалении ≤ 50 км от озера, за исключением Реболы и Энгозеро, расположенных в ~ 100 км от гидрологического поста. Следует отметить, что пост наблюдений в Онежском озере находится в закрытой Петрозаводской губе, термические и ледовые условия которой отличаются от открытой части озера, но в целом сохраняют основные тенденции изменений термического и ледового режима в озере. В Ладожском озере гидрологический пост находится в северной глубоководной части на острове Валаам и наблюдения на нем более репрезентативны для открытой части озера.

Для обработки натуральных данных использованы методы регрессионного и спектрального анализа. Уровень статистической значимости трендов оценивали на основе t -статистики Стьюдента и непараметрического теста Манна–Кендалла. Для определения углового коэффициента тренда при непараметрических оценках использовали метод оценивания наклона Сена. Для спектрального анализа флуктуаций температуры воды в озерах относительно линейных трендов применен метод максимальной энтропии.

Характеристики исследуемых озер

Название	Широта, ° с.ш.	Долгота, ° в.д.	Высота, м	Площадь, км ²	Средняя глубина, м	Максим. глубина, м	Объем, км ³
Водлозеро	62.33	36.88	138.3	322	2.8	16.3	0.906
Выгозеро	63.45	35.33	89.3	1140	6.2	25	6.46
Ладожское	61.23	30.97	4.48	17872	46.9	230	837.9
Онежское	61.77	34.78	33.3	9777.4	26.8	119	262
Сегозеро	63.32	33.43	113.6	815	29	103	23.4
Сямозеро	61.92	33.28	106.5	266	6.7	24.5	1.79
Ругозеро	64.07	32.75	129.1	10.7	2.5	8	0.026
Топозеро	65.77	31.80	109.5	986	16	56	15.6

Ледовый фенология

Анализ наблюдений приземной температуры воздуха показал, что по данным наблюдений всех выбранных метеостанций за исследуемый период (1950-2014 гг.) отмечено повышение среднегодовой температуры на 0.2-0.3°C/10 лет. Во внутригодовом ходе изменение средних месячных значений температуры воздуха происходило неравномерно, наиболее интенсивное потепление в этот период наблюдалось в марте – мае (0.3-0.5°C/10 лет), в июле и в сентябре (0.2-0.4°C/10 лет). Тренды значимы на уровне $p < 0.01$. Значимость трендов связана с разбросом данных в результате межгодовой изменчивости и выбранными периодами наблюдений, поэтому при анализе трендов важнейшее значение имеет правильный выбор временного интервала исследований. С середины 1970-х годов, а особенно с конца 1980-х гг. и до настоящего времени на Европейской части России (ЕЧР) наблюдается сильное потепление, поэтому трендовый анализ данных последнего потепления рекомендуется начинать с 1976 г. (Груза, Ранькова). Временной интервал положительных трендов температуры воздуха в Карелии соответствует глобальным изменениям погоды над ЕЧР, для которой выделен период ускоренного роста температуры приземного воздуха с 1976 г.

Анализ трендов временных рядов приземной температуры воздуха за период (1976-2014 гг.) для всех выбранных метеостанций показал значимые линейные тренды ($p < 0.05$) в апреле со скоростью изменения в диапазоне 0.57-0.67°C/10 лет и в июле-сентябре (0.63-0.80°C/10 лет). Значения трендов на МС Валаам отличаются от других рассматриваемых метеостанций, что связано с островным местоположением МС. Более инерционная водная масса крупного озера оказывает охлаждающее влияние весной и нагревающее осенью на приземную температуру воздуха. В апреле скорость изменения температуры воздуха на МС Валаам несколько ниже по сравнению с другими МС (0.47°C/10 лет), а в июле-августе – выше (в июле – 1.12°C/10 лет, в августе – 0.80°C/10 лет, в сентябре – 0.79°C/10 лет).

Известно, что время, наличие и продолжительность ледового покрова на озерах зависят от погодных условий, особенно от температуры воздуха и скорости ветра, которые в холодную половину года в Северном полушарии определяются усилением или ослаблением западного переноса воздушных масс из Атлантики. Даты исчезновения льда в озерах Карелии коррелируют со средними значениями индексов Северо-Атлантического колебания (NAO) за январь-февраль, причем лучше всего эта связь проявляется для крупных озер Онега ($r = 0.57$), Сегозеро ($r = 0.46$), Топозеро ($r = 0.43$) и Выгозеро ($r = 0.39$). Даты начала ледостава связаны со средними значениями индексов NAO за октябрь-ноябрь, но значения коэффициентов корреляций значительно меньше около 0.30, за исключением оз. Сегозеро. Значимое соотношение между сезонными зимними индексами NAO и периодами продолжительности ледостава наблюдалось только для двух крупных глубоководных озер (Онежское, Сегозеро).

Рост температуры воздуха в весенние месяцы приводит к более ранним датам окончания ледостава и очищения озер ото льда, за весь рассматриваемый период (1950-2009 гг.) они смещаются к более ранним срокам на 2-8 суток, но линейные тренды статистически незначимы. А рост температуры летом и осенью приводит к тому, что сроки образования льда за этот период запаздывают на 2-12 суток, но тренды статистически незначимы, за исключением глубоководного озера Сегозеро.

При рассмотрении периода потепления (1976-2009 гг.) значимые тренды ледовых событий наблюдаются только на крупных глубоководных озерах Онежское и Сегозеро ($p < 0.05$) с одинаковыми скоростями изменений. Запаздывание сроков начала ледостава для оз. Сегозера и

Петрозаводской губы Онежского озера составляет 0.5 сут/год, а более ранние сроки окончания ледостава происходят со скоростью 0.3 сут/год. В результате происходит сокращение периода ледостава, что особенно заметно в 2000-е годы. Если продолжительность ледостава в эти годы в среднем на озерах сократилась на 11-16 суток, то для самых крупных и глубоких озер Онежского и Сегозера – на 20-30 суток.

Особый интерес представляют данные ледовых наблюдений в Ладожском озере на острове Валаам за 1950-2014 гг. В отличие от береговых станций, расположенных в более мелководных районах и замерзающих ежегодно, Валаамский архипелаг находится в северной, самой глубоководной части озера, замерзающей значительно позже или не покрывающейся ледовым покровом на протяжении всей зимы. Полученные данные ледовой фенологии подтверждают изменения в ледовом режиме Ладожского озера, особенно серьезные в последние десятилетия. Если до конца 90-х отсутствие ледостава в Ладожском озере у о. Валаам наблюдалось в среднем один раз в 10 лет, то с 90-х годов по 2014 г. устойчивый ледостав зарегистрирован ~50% зим. Причем в годы с ледовым покровом сроки установления ледостава сместились к более поздним, а сроки окончания – к более ранним датам.

Спектральный анализ временных рядов сроков ледовых явлений исследуемых озер с применением метода максимальной энтропии позволил оценить основные периоды колебаний. Для сроков замерзания озер типичны короткопериодные колебания от 2 до 5 лет. В датах очищения озер ото льда наиболее выражены колебания с периодами около 6, 8 и 12 лет.

Температура воды

Межгодовая изменчивость температуры воздуха оказывает основное влияние на изменчивость температуры поверхности воды в водоемах. Рост температуры воздуха в весенние месяцы приводит к более ранним срокам очищения водоемов ото льда и к более ранним датам установления прямых термических стратификаций, что способствует значительному нагреванию в них эпилимниона в течение летних месяцев. Это вызывает рост средней температуры поверхностного слоя воды в летний период – больший, чем следовало бы ожидать в ответ на изменения среднемесячных значений температуры воздуха.

Связь температуры приземного воздуха с температурой поверхностного слоя воды у берега в июне-октябре озер Водлозеро, Выгозеро, Ругозеро, Сегозеро, Сямозеро, Топозеро и Петрозаводской губы Онежского озера почти линейная. Коэффициенты детерминации (r^2) среднемесячной температуры воздуха и среднемесячной температуры поверхностного слоя воды за июнь-октябрь равны 0.78-0.97. Наиболее тесная связь температуры воздуха и температуры воды наблюдается в малом по площади, мелководном оз. Ругозеро, т. к. из-за малой тепловой инерции оно быстрее накапливает и отдает тепло по сравнению с крупными озерами. На Ладожском озере в районе Валаама наблюдается явно выраженный гистерезис: в июне температура воздуха на несколько градусов выше температуры воды, а в сентябре-октябре – на несколько градусов ниже. Во всех рассматриваемых озерах наименее тесная связь температуры воздуха и температуры поверхностного слоя воды отмечается в июне, в это время в озерах происходит интенсивный прогрев водной толщи и формируется устойчивая термическая стратификация. Самая тесная корреляция температуры воздуха и поверхностного слоя температуры воды наблюдается в июле и октябре.

За период открытой воды (июнь-октябрь) была рассчитана средняя температура воды на каждый год наблюдения для исследуемых озер. За весь временной период (1953-2009 гг.) статистически значимые линейные тренды ($p < 0,01$) средней температуры поверхностного слоя воды за (июнь-октябрь) характерны для всех озер, за исключением оз. Водлозеро. Значения роста температуры воды для каждого из озер достаточно близки и изменяются от 0.23°C/10 лет до 0.32°C/10 лет, для Ладожского озера – 0.37°C/10 лет.

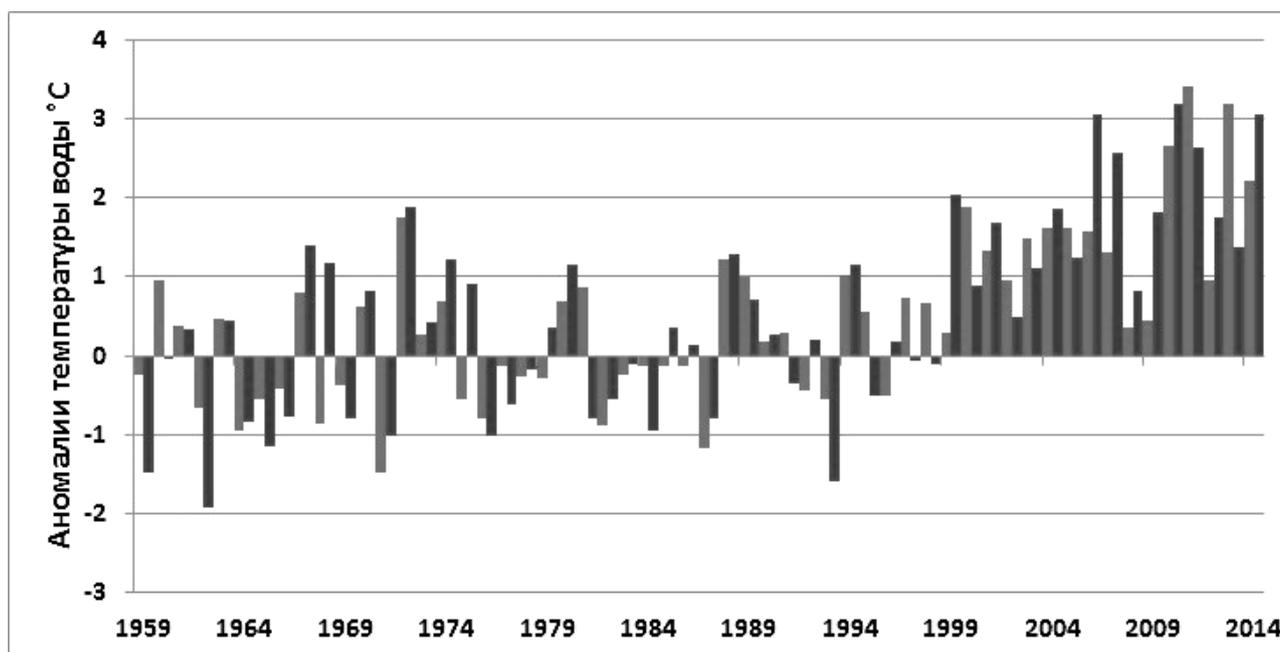
Как и для температуры приземного воздуха, для температуры поверхностного слоя воды у берега выделяются два разных временных периода: 1953-1976 гг. – тенденции потепления в озерах не обнаружены, 1976-2009 гг. – фаза значительного роста температуры поверхностного слоя воды в озерах. Наклоны линейных трендов температуры воды в озерах и другие их статистические характеристики соответствуют характеристикам трендов температуры воздуха. За период 1976-2009 гг. линейные тренды для пяти из шести озер были значимы ($p < 0.001$), скорость роста температуры воды в озерах составляла 0.57-0.72°C/10 лет. В оз. Водлозеро в результате значительных изменений уровня воды скорости роста температуры в этот временной интервал были в два раза ниже, а линейный тренд значим при $p < 0.04$. Следовательно, для 1976-2009 гг. величины положительных

трендов температуры воды в озерах в 2-3 раза выше, чем для всего периода (1953-2009). Особенно высокие скорости поверхностного слоя температуры воды характерны для Ладожского озера в июле-августе (1.15-0.95 °C/10 лет).

Имеющиеся данные наблюдений температуры воды поверхностного слоя для оз. Сегозеро и оз. Сямозеро по 2011 г, а для Ладожского и Онежского озер по 2014 г. свидетельствуют, что двухтысячные годы характеризуются наибольшими положительными изменениями температуры воды. Аномалии температуры воды за этот период по сравнению с данными, принятыми за норму (1961-1990), для Онежского и Ладожского озер характеризуются только положительными и исключительно высокими значениями (рис. 1). Наибольшие величины аномалий отмечены для обоих озер в экстремально жаркие 2010 и 2011 гг.

Для всех исследуемых озер анализировались даты устойчивого перехода температуры воды через 10°C (так называемое “биологическое лето”). Даты перехода температуры поверхностного слоя воды через 10°C на всех озерах в течение 59-летнего периода весной сдвигались к более ранним срокам со скоростью 1.4-1.7 сут /10 лет, в Онежском и Ладожском – 2.0 сут /10 лет и 2.7 сут /10 лет, а осенью – к более поздним срокам на 1.0-2.4 сут /10 лет. В результате продолжительность “биологического лета” за 59 лет в северных озерах увеличилась на 10-14 сут, а в крупных и средних озерах центральной и южной Карелии – на 17-24 сут. Сумма значений температуры воды за каждые сутки (градусо-дни) при температуре >10°C характеризует количество полученного летом тепла. За период “биологического лета” в озерах Карелии интегральная сумма тепла увеличилась на 178-427 градусо-дней.

Сравнение спектральных оценок климатической изменчивости индексов NAO и характеристик температуры поверхности воды (средние значения с июня по октябрь, при $T > 10^{\circ}\text{C}$, продолжительность “биологического лета”) в озерах Карелии, полученные методом максимальной энтропии, показало наличие близких между собой четырех периодов колебаний в высокочастотной области (от двух до шести лет).



Отклонения средней температуры воды за июнь-октябрь от климатической нормы (1961-1990 гг.).
Гидрологический пост Петрозаводск Онежское озеро (серый цвет)
и Валаам Ладожское озеро (черный цвет)

В заключение следует отметить, что термический и ледовый режимы разнотипных озер Карелии коррелирует с крупномасштабной изменчивостью климата (NAO), а также с региональными метеорологическими параметрами (в основном, с температурой воздуха). Анализ долгосрочных наблюдений показал, что глобальное потепление климата влияет на фенологию экосистем озер Карелии. Сокращается период ледяного покрова, увеличивается период стратификации, растет

температура поверхностного слоя воды, увеличивается продолжительность «биологического лета». Особенно эти процессы проявляются в 2000-е годы и в крупных глубоководных водоемах (Ладожское, Онежское, Сегозеро).

Литература

1. Гидрологические ежегодники. Л.: Гидрометеиздат, 1950–1989. Том 0. Вып. 1. Бассейн Белого моря. Т. 1. Вып. 0-3. Бассейн Балтийского моря.
2. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.

Р. Э. Здоровеннов, Г. Э. Здоровеннова, Т. В. Ефремова, А. Ю. Тержевик
Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
romga74@gmail.com

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПРИ РАЗВИТИИ ВЕСЕННЕЙ ПОДЛЕДНОЙ КОНВЕКЦИИ

Зимний термический режим больших озер, таких как Онежское и Ладожское, и, особенно, период развития весенней подледной конвекции, изучен достаточно слабо. Одной из возможных причин этого является трудность организации полевых исследований со льда, особенно учитывая тот факт, что на фоне изменений климата в последние годы наблюдается сокращение продолжительности ледостава (Magnuson et al., 2000; Weyhenmeyer et al., 2004), уменьшается общая толщина льда.

В марте 2015 г. были начаты комплексные Российско-Швейцарские исследования по проекту «Ладожское озеро: жизнь подо льдом – взаимодействие процессов подо льдом в результате глобальных изменений» (Филатов, Тержевик, 2015), благодаря помощи фонда ЭЛЕМО (Швейцария), который выделил грант на исследования в 2015-2016 гг. В комплексных исследованиях 2015 г. принимали участие специалисты из России, Швейцарии, Франции, Германии и других стран. По программе исследований предполагалось изучение как Ладожского, так и Онежского озер, однако в связи с отсутствием ледового покрова в северной части Ладожского озера, комплексные исследования были организованы в Петрозаводской губе Онежского озера, полностью покрытой льдом (рис. 1). В районе измерений толщина льда достигала 30 см, а период исследований пришелся на начало подледной конвекции, играющей огромную роль в перераспределении растворенных и взвешенных веществ в озере.

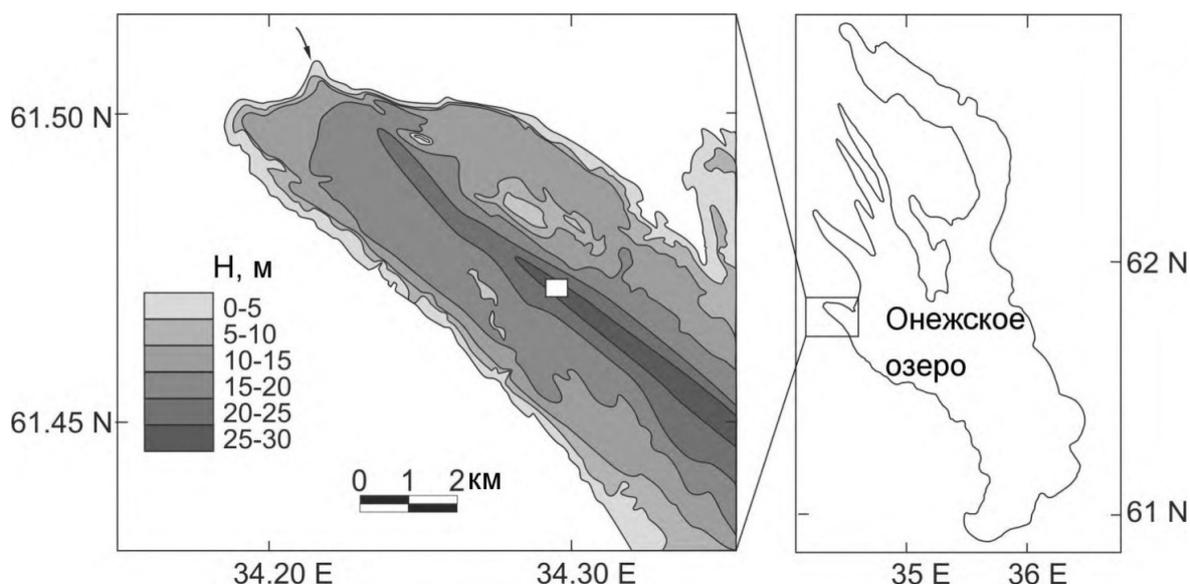


Рис. 1. Район исследований в Петрозаводской губе Онежского озера в марте 2015 г.

Исследовательская программа была направлена на изучение жизни подо льдом и соответствующих физических, химических и биологических процессов. В частности, планировалось изучение влияния подледной конвекции на перераспределение планктона. Для этого, проводилось одновременное измерение физических и биологических параметров подо льдом. В настоящей работе рассмотрена изменчивость гидрофизических полей в период развития подледной конвекции.

Измерения проводились в Петрозаводской губе Онежского озера (рис.1). Длина ее около 10 км, ширина ~ 5 км, преобладающие глубины 15-20 м. По главной оси губы глубины максимальны и достигают 30 м на выходе в озеро. Вблизи измерительной станции ширина губы около 5 км и глубина достигает 27.5 м. В верхней части губы имеется постоянный приток воды из озера Логмозера и реки Шуя. Губа обычно покрывается льдом в начале декабря; взлом льда происходит в начале мая.

На станции, расположенной в центральной части Петрозаводской губы Онежского озера (рис.1) в период с 14 по 25 марта 2015 г. проводились ежечасные измерения температуры воды в режиме вертикального зондирования. Использовался зонд CTD-90M «Sea & Sun Technology». Глубина в районе станции 27.5 м. Рядом со станцией зондирования под лед была помещена коса, оснащенная высокочувствительными датчиками температуры, производства канадской фирмы «RBR Ltd». Датчики крепились к косе до глубины 5 м через метр, далее до глубины 20 м через 5 м, глубже до глубины 27.5 м через 0.5 м, интервал измерений 10 секунд.

Радиационная станция была размещена на льду. Измерение потоков падающей и отраженной солнечной радиации на поверхности снежно-ледового покрова проводилось с использованием пиранометров «Star-shaped pyranometer» немецкой фирмы «Theodor Friderich & Co, Meteorologische Geräte und Systeme». Пиранометры были укреплены на специальной конструкции, на высоте около одного метра над поверхностью льда. Поток солнечной радиации на нижней границе льда измерялся с помощью универсального пиранометра M80-м, произведенного в России. Подледный пиранометр был закреплен на обладающей положительной плавучестью платформе и помещен на расстояние около 1.5 м от лунки непосредственно под нижнюю границу льда. Для измерения потока фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР, длины волн 400-700 нм) в водной толще озера использовались ФАР-датчики производства фирмы «Alec Electronics», Япония. Верхний датчик располагался непосредственно подо льдом, остальные датчики через метр до глубины 8 м. Датчики были прикреплены к заякоренному тросу. Дискретность измерений радиации пиранометрами и ФАР-датчиками составляла одну минуту. В период измерений на станции ежедневно осуществлялось измерение толщины снежно-ледового покрова с помощью гидрологической рейки. Вблизи станции радиационных измерений была размещена метеостанция.

В течение первой недели измерений стояла ясная солнечная погода с положительной температурой воздуха в дневное время и почти без ветра. Вторая неделя характеризовалась резким падением температуры (до -10°C) и усилением ветра (до 10 м с⁻¹). 14-17 марта небо было ясным; 18-19, 22 и 25 марта облачный покров достигал 30-80%; 20-21 марта – 60-100%; 23-24 марта – сплошная облачность. Дважды в течение периода измерений, 20-21 и 23-24 марта выпадал снег.

Разница между двумя неделями полевых измерений была также заметна во временных рядах солнечной радиации. Первая неделя характеризовалась уровнем солнечного излучения, близким к теоретическому максимуму с учетом времени года и широты, вторая – большей долей рассеянной радиации с интенсивностью солнечного излучения до двух раз меньшей, чем в первый период.

Альbedo поверхности озера увеличилось от 0.18(±0.09) в начальный период измерений до 0.35(SD±0.24) в течение второго периода. Это увеличение было связано с изменением погодных условий и снегопадами. Лед был покрыт пятнами снега толщиной от нескольких см до нескольких дм. Как правило, наблюдались самые высокие значения альbedo утром, в течение дня оно снижалось. Исключение составляли 20 и 23 марта, когда альbedo мало изменялось или увеличивалось в течение дня. Резкое увеличение альbedo до 0.9 24 марта было вызвано выпадением свежего сухого снега, который образовал сплошной слой толщиной несколько мм на поверхности льда. Тем не менее, тонкий слой снега был частично унесен ветром, частично растаял, так что в дневное время 24 марта альbedo резко упало до 0.2.

Лед в начале измерений достигал 39 см и 38 см в конце, то есть толщина его уменьшилась всего на 1 см в течение 10 дней. Лед был кристаллический, чистый, и содержал небольшое количество пузырьков воздуха. Из-за выраженного суточного хода температуры воздуха в течение первого периода, температура внутри льда также значительно изменилась. В ночные часы слышался громкий треск льда, что свидетельствует о его деформации и образовании трещин. Коэффициент пропускания солнечной радиации незначительно увеличивался в период измерений со средним

значением около $0.4(\pm 0.13)$, кроме того, ежедневно наблюдалось уменьшение его величины на 0.1. По-видимому, это уменьшение светопрозрачности было связано с физическим изменением в толще льда в течение дня.

В период 15-19 марта максимумы потока ФАР на границе вода-лед превышали $1200 \mu\text{моль}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$, 22 марта уменьшились до $1500 \mu\text{моль}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$. Резкое уменьшение потока ФАР 23 и 24 марта произошло после снегопада. Поток ФАР быстро уменьшался с увеличением глубины: суточные максимумы не превышали $300 \mu\text{моль}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ на глубине 1 м и $100 \mu\text{моль}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ на глубине 2 м, глубже пяти метров поток ФАР стремился к нулю. Максимальные значения коэффициента ослабления ФАР в подледном слое воды достигали $1.5\text{-}2.1 \text{ м}^{-1}$, ниже – постепенно уменьшались до $0.8\text{-}1.1 \text{ м}^{-1}$ в слое 3-4 м. Глубина фотической зоны оценивалась с использованием усредненные значений коэффициента ослабления и достигала 4.3 м в течение первого периода измерений, затем снизилась до 3.5 м.

Термическая структура была типична для условий подледной конвекции в конце зимы. Ежедневный радиационный прогрев подледного слоя воды стимулировал процесс конвекции. Конвективный перемешанный слой (КПС) начинался на несколько сантиметров ниже границы льда, его нижняя граница определялась на глубинах ~ 20 м. Ниже КПС в стратифицированном слое устойчивость характеризовалась $N^2 \sim 10^{-5}\cdot\text{s}^{-2}$. В этом слое проявлялись температурные флуктуации (рис.2). Присутствие стратифицированного слоя в нижней части столба воды можно рассматривать как необходимое условие для развития внутренних волн. Временные ряды температурных логгеров показали выраженную активность в области термоклина. Интересно, что в дневные часы температурные флуктуации в стратифицированном слое были выражены слабее, чем в вечерние и ночные (рис.2, нижняя панель).

Температура КПС увеличилась с 0.61°C до 0.95°C в период измерений. Однако это повышение было неравномерным: в какие-то дни температура не менялась (16, 20 и 23 марта), в другие – резко увеличивалась (15, 18 и 22 марта). Глубина нижней границы КПС сильно варьировала изо дня в день: 15-16 марта она была определена на глубине 19.5 м; 17 и 18 марта - на глубине 22.2 и 22.9 м; к вечеру 19 марта уменьшилась до 7.5 м; 20-22 марта она была определена на глубине 20.5-20.8 м; 23 и 24 марта она снова поднялась до 18.5 и 12.1 м. Такие несистематические изменения нижней границы КПС не являются типичными для подледной конвекции в ее чистом виде. По-видимому, значительная адвекция имела место в нижнем стратифицированном слое 19 марта и затем снова 23 и 24 марта; ее влияние распространялось на глубину до 10 м. Такой крупномасштабный горизонтальный перенос может быть проявлением динамики между Петрозаводской губой и прилегающими водами Онежского озера. К сожалению, в связи с отсутствием прямых измерений течений невозможно подтвердить или опровергнуть это предположение.

Данные наблюдений на бореальных озерах свидетельствуют о том, что заглубливание нижней границы КПС происходит быстрее, глубина проникновения конвекции в целом больше, а температура КПС ниже в глубоких водоемах по сравнению с мелководными. Например, в глубоком озере Пааярви (максимальная глубина 85 м) заглубливание нижней границы КПС может достигать трех метров в сутки (Kirillin et al., 2012), и конвекция может охватить всю толщу воды, с температурой КПС менее 3°C (Salonen et al., 2014). В отличие от этого, в мелком озере Вендюрском (максимальная глубина 13.5 м) нижняя граница КПС достигает только 7-9 м, а его температура к моменту взлома льда увеличивается до $3.8\text{-}4.2^\circ\text{C}$ (Zdorovennov et al., 2013); при длительности конвекции в течение месяца, скорость заглубливания нижней границы КПС в среднем составляет не более 0.3 м в сутки, а повышение температуры ПКС достигает 0.2°C за сутки. Причиной таких существенных различий режимов конвекции в глубоких и мелких покрытых льдом озерах является значительная разница между вертикальным распределением температуры воды до начала конвекции. В мелководных водоемах придонная температура может достигать $4\text{-}5^\circ\text{C}$ уже к середине зимы (Здоровеннов и др., 2011), при глубинах около 10 м градиент температуры в основной водной толще достигает $0.3^\circ\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$. В глубоких водоемах градиент в основной водной толще на порядок меньше ($0.01^\circ\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$), чем в мелководных озерах, и даже незначительная температурная прибавка вследствие радиационного прогрева подледных слоев обеспечивает хорошую скорость заглубливания нижней границы КПС со средней скоростью около 1 м в день (Петров, 1990).

При подледной конвекции в чистом виде температура КПС увеличивается в дневное время вследствие радиационного нагревания подледных слоев и перераспределения тепла конвективным перемешиванием по КПС (Farmer, 1975). В ночные часы температура КПС не меняется при условии, что горизонтальный перенос тепла отсутствует. Мы проследили изменение теплосодержания столба воды, КПС и стратифицированного слоя в течение суточного цикла, начиная с 9 утра, с началом

конвекции. Мы смотрели на теплосодержания нормированной к исходному значению. Характер изменений теплосодержания слоев в течение суток соответствовал случаю конвекции в чистом виде только 17-19 марта. В другие дни наблюдались различные отклонения от «нормы». Например, теплосодержание КПС увеличивалось не только в дневные часы 15 марта, но и в течение всей последующей ночи. Увеличение теплосодержания КПС 21 и 22 марта начиналось только в середине дня и продолжалось вечером и ночью. Изменение теплосодержания стратифицированного слоя также характеризовалось существенной неравномерностью: рост или падение на протяжении всего суточного цикла, или чередование роста и падения в пределах одного цикла. Изменения теплосодержания КПС и стратифицированного слоя были противоположными в некоторых случаях, например, 19 марта.

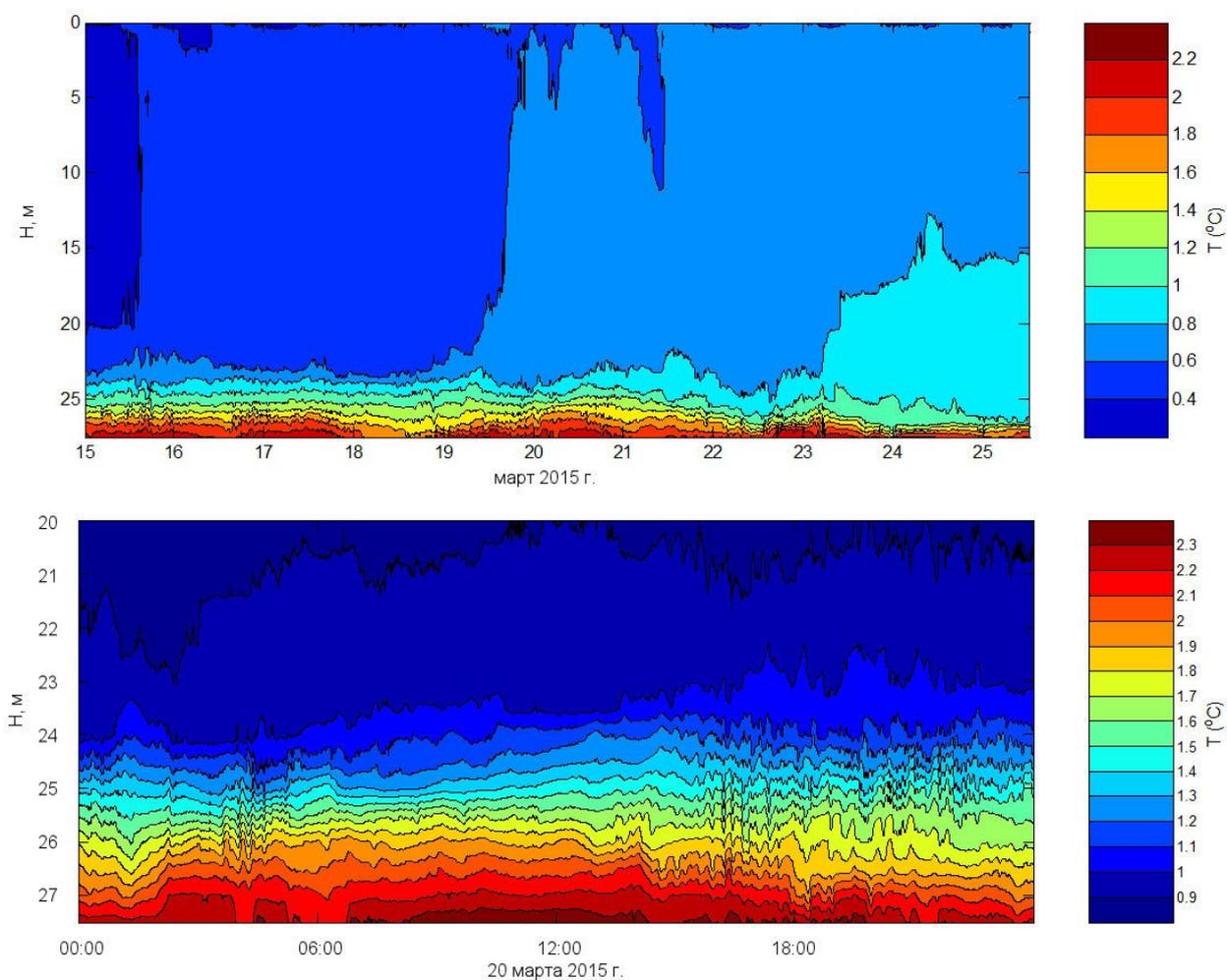


Рис.2. Эволюция температуры водной толщи в районе станции измерений в период с 15 по 25 марта 2015 г. (верхняя панель) и высокочастотная изменчивость температуры придонного слоя 20 марта 2015 г. (нижняя панель)

Таким образом, развитие весенней подледной конвекции в Петрозаводской губе Онежского озера имело черты, характерные для глубоких водоемов (большая скорость заглужения нижней границы КПС, невысокие температуры КПС). Очевидно, что, наряду с конвекцией, тепловая структура Петрозаводской губы испытывала заметное влияние других гидродинамических процессов и явлений, например, внутренних волн в стратифицированном слое или крупномасштабного горизонтального переноса между Петрозаводской губой и основным бассейном Онежского озера. Использование измерителей течений в будущих исследованиях позволит нам установить природу этих явлений и процессов.

Работа выполнена в рамках и при финансовой поддержке совместного Российско-Швейцарского мультидисциплинарного проекта «Ладожское озеро: жизнь подо льдом – взаимодействие процессов подо льдом в результате глобальных изменений».

Литература

1. *Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э., Пальшин Н. И., Терзевик А. Ю.* Изменчивость термического и кислородного режимов мелководного озера зимой // Тр. КарНЦ РАН, 2011, 4: 57-63.
2. *Петров М. П.* Термический режим // В книге: Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Ленинград: Наука, 1990.
3. *Филатов Н. Н., Терзевик А. Ю.* Совместный российско-швейцарский проект по исследованию зимнего режима Ладожского и Онежского озер // Труды КарНЦ РАН, 2015, № 5, С. 86-88.
4. *Farmer D. M.*, 1975. Penetrative convection in the absence of mean shear. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 101:869–891. doi:10.1002/qj.4971014 3011.
5. *Kirillin G., J. Bernhardt, C. Engelhardt, M. Leppäranta, A. Terzhevik, T. Efremova, N. Palshin, G. Zdorovenнова, R. Zdorovenнов, S. Golosov, N. Granin & P. Sherstyankin* Physics of seasonally ice-covered lakes: a review // Aquatic Sciences - Research Across Boundaries, 2012, 74(4): 659-682.
6. *Magnuson J. J., Robertson D. M., Benson B. J., Wynne R. H., Livingstone D. M., Arai T., Assel R. A., Barry R. G., Card V., Kuusisto E., Granin N. G., Prowse T. D., Stewart K. M., Vuglinski V. S.* Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere // Science 2000, 289: 1486-1497.
7. *Salonen K., Pulkkanen M., Salmi P., R. W. Griffiths* Interannual variability of circulation under spring ice in a boreal lake // Limnology and Oceanography, 2014, 59(6): 2121-2132.
8. *Weyhenmeyer G. A., Meili M., Livingstone D. M.* Nonlinear temperature response of lake ice breakup // Geophys. Res. Lett. 2004. 31: L07203, doi: 10.1029/2004GL019530.
9. *Zdorovenнов R., Palshin N., Zdorovenнова G., Efremova T., Terzhevik A.* Interannual variability of ice and snow cover of a small shallow lake // Estonian Journal of Earth Sciences, 2013, 62(1): 26-32.

Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин, П. М. Терентьев

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
zubova@inep.ksc.ru

НЕКОТОРЫЕ ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРИВИДОВЫХ ГРУППИРОВОК СИГА *COREGONUS LAVARETUS* (COREGONIDAE) ОЗ. ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Оз. Имандра – один из крупнейших заполярных водоемов (площадь 880 км²), на водосборной территории которого расположены ряд предприятий горно-перерабатывающей и металлургической промышленности, энергетики, транспорта и их инфраструктуры. Мощное многофакторное антропогенное воздействие на фоне меняющихся климатических условий обусловило изменения гидрохимических параметров водоема и трансформацию структурно-функциональной организации его экосистемы. Изменения затронули и рыбную часть населения водоема, что было показано рядом предыдущих исследований (Моисеенко, 1991, 1997, 2000, 2002; Антропогенные..., 2002 и др.). Эти процессы имеют выраженную зональность, обусловленную сложной морфологией водоема и локализацией сточных вод, поступающих в Имандру от различных источников. С середины 1990-х гг. происходит снижение интенсивности аэротехногенного загрязнения и объемов сбросов токсичных отходов в озеро (Антропогенные..., 2002), но в последнее 10-летие интенсифицируются процессы эвтрофикации (Терентьев, Кашулин, 2012).

При исследованиях состояния рыбной части сообщества оз. Имандра большее внимание уделялось представителям сиговых рыб, в частности сигу *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758), который рекомендован для озера как тест-объект ихтиологического мониторинга (Моисеенко, 1991). Последние данные по структуре уловов сига оз. Имандра приводились по сборам 1997-98 гг. (Антропогенные..., 2002). Цель работы – представить современные популяционные характеристики внутривидовых группировок сига трех плесов оз. Имандра, различающихся условиями обитания и степенью антропогенной трансформации, и сравнить их с результатами предыдущих исследований.

Материал и методы. Оз. Имандра состоит из трех в значительной мере самостоятельных плесов – Большая, Йокостровская и Бабинская Имандра, соединяющихся между собой узкими проливами и расположенных по градиенту нагрузки от источников загрязнения (рисунок). Плес Большая Имандра – наиболее загрязняемая часть оз. Имандра (стоки комбината «Североникель», ГОКа «Олкон» и «Апатит» и хозяйственно-бытовые стоки г. Кировск, г. Апатиты и г. Мончегорск),

Бабинская Имандра – удаленный от источников загрязнения район озера. В таблице представлены некоторые характеристики рассматриваемых плесов.

Изучение сига оз. Имандра проводилось в рамках комплексных исследований внутренних водоемов Мурманской области в 2011-13 гг. Сбор ихтиологического материала производился в основном в летне-осенний период (июль-октябрь). Места сбора выборок указаны на рисунке. За этот период исследовано 647 экземпляров сига (Большая Имандра – 47 экз., Йокостровская Имандра – 460 экз., Бабинская Имандра – 140 экз.). Вылов сига, изучение его внутривидовой структуры и популяционных характеристик проводилось согласно принятым методикам (Правдин, 1966; Смирнов, Решетников, 2014).

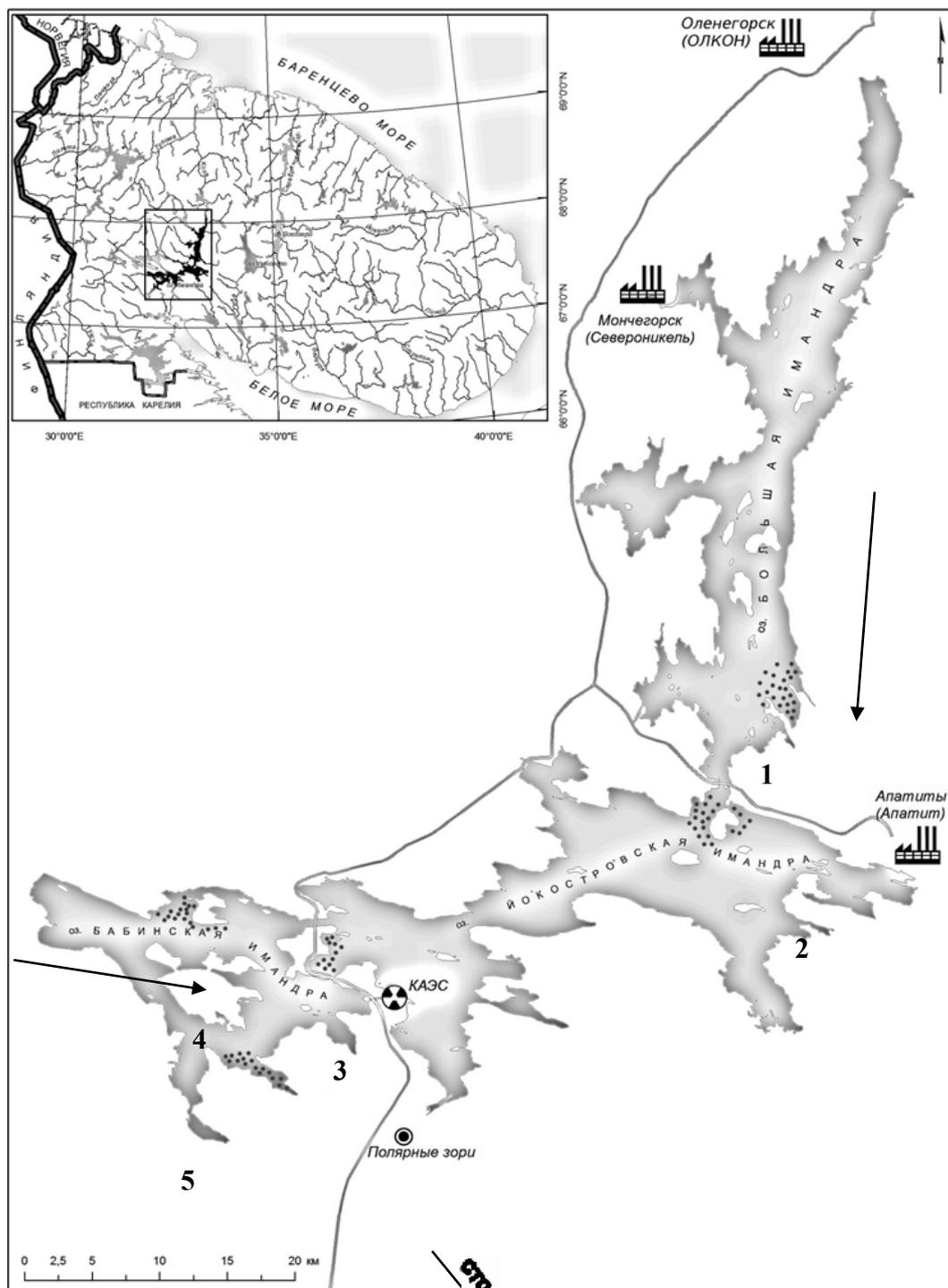


Рис.1. Карта-схема оз. Имандра и места сбора выборок (●) в 2011–13 гг.:
 1 – губа Белая и район о-ва Могильный, 2 – пролив между м. Кукисьярк и о-вом Большой Йокостровский, 3 – прол. Узкая Салма, 4 – район о-ва Хорт, 5 – губа Кунчаст

Результаты и обсуждение

Внутривидовые формы сига. В наших исследованиях сиг оз. Имандра представлен двумя формами: малотычинковой и среднетычинковой. Доминировал малотычинковый сиг, а среднетычинковый – был малочисленным, и его распределение по озеру было крайне неравномерным. Сиг из Бабинской Имандры был представлен только одной формой – малотычинковой, с числом тычинок на первой жаберной дуге от 16 до 28 (в среднем 22.4 ± 0.2). В уловах из Йокостровской Имандры и Большой Имандры встречались две формы сига, причем наибольшая численность среднетычинкового сига была в Большой Имандре (28% от уловов сига), а в Йокостровской Имандре они встречались лишь в единичных экземплярах (1% от уловов). Это позволяет сделать вывод, что среднетычинковый сиг приурочен к плесу Большая Имандра, а в Йокостровской Имандре, данная форма, возможно, представлена мигрантами из Большой Имандры. В Йокостровской Имандре малотычинковый сиг был представлен особями с числом тычинок 17-31 (23.3 ± 0.1), в Большой Имандре – 20-28 (24.0 ± 0.4) тычинок; среднетычинковый – соответственно особями с числом тычинок 32-43 (37.5 ± 2.3) и 36-42 (38.8 ± 0.6).

Средние гидрохимические и гидробиологические показатели трех плесов оз. Имандра, 2011-2013 гг.

Показатели	Бабинская Имандра	Йокостровская Имандра	Большая Имандра
Площадь, км ²	148.7	352.2	311.6
Средняя глубина, м	16.3	10.9	14.7
Содержание кислорода, мг/л	7.39	8.98	9.37
pH	7.33	7.42	7.78
Общая минерализация, мг/л	39.9	70.8	91.3
Общий фосфор, мкг/л	6	19	55
Общий азот, мкг/л	147	183	396
Концентрация металла*: в воде, мкг/л / в поверхностном слое (0-1 см) донных отложений, мкг/г сухой массы			
Cu (1, < 3) / (-, 36)	3.4/121	4.1/253	3.8/370
Ni (10, < 2) / (-, 33)	2.7/245	6.8/900	5.6/1860
Zn (10, < 5) / (-, 91)	0.9/115	0.2/93	0.5/131
Sr (26, -) / (-, -)	49.6/72	64.4/1747	108.1/3909
Al (30, -) / (-, -)	23.3/24061	46.7/42294	224.7/52941
Биомасса фитопланктона, г/м ³	0.46	1.57	2.98
Содержание хлорофилла «а», мг/м ³	1.41	3.68	6.12
Трофический статус по: Китаев, 1984	α -олиготрофный	α -мезотрофный	β -мезотрофный
Численность зоопланктона, экз/м ³	265.5	880.2	1301.3
Биомасса зоопланктона, г/м ³	0.5	2.6	6.9
Трофический статус по: Китаев, 1984	переходящий от α - к β -олиготрофному типу	переходящий от α - к β -мезотрофному типу	переходящий от α - к β -эвтрофному типу
Численность зообентоса, экз/м ²	224	3900	7500
Биомасса зообентоса, г/м ³	1.2	44.1	36.3
Трофический статус по: Китаев, 1984	α -олиготрофный	гиперэвтрофный	β -эвтрофный

* В скобках: первое значение – предельно допустимая концентрация и ориентировочный безопасный уровень воздействия вредных веществ для вод рыбохозяйственных водоёмов, второе – фоновое значение в воде 400 озёр восточной части Мурманской области (по: Кашулин и др., 2013 г.).

Подробное описание первой жаберной дуги сига оз. Имандра приводилось ранее только в работах Ф. В. Крогиус (1940) и Ю. С. Решетникова (1980), в частности, по Большой и Йокостровской Имандре. В Йокостровской Имандре авторами был описан только малотычинковый сиг с числом тычинок от 17 до 29. Что же касается Большой Имандры, диапазон в числе тычинок составлял 20-38, то есть здесь присутствовал, как малотычинковый, так и среднетычинковый сиг.

Малотычинковый сиг является бентофагом, в то время как в пищевом рационе среднетычинкового преобладают планктонные организмы (Решетников, 1980; Siwertsson et al., 2008, 2010). Таким образом, современный диапазон тычинок у сига Йокостровской и Большой Иmandры практически совпадает с данными Ф. В. Крогиус (1940) и Ю. С. Решетникова (1980), что говорит об относительном постоянстве данного меристического признака у сига из различных плесов оз. Иmandра и подтверждает указанные данные. В настоящее время присутствие среднетычинкового сига в уловах из Йокостровской и Большой Иmandры определяется высокой трофностью этих плесов и увеличением биомассы зоопланктона (Вандыш, 2012).

Учитывая малочисленность среднетычинкового сига и то, что основной целью исследования была сравнительная характеристика сига различных плесов оз. Иmandра, основное внимание в дальнейшем будет уделено анализу структуры уловов малотычинкового сига. Особи среднетычинкового сига из Йокостровской и Большой Иmandры при рассмотрении были объединены и описывались, как среднетычинковый сиг оз. Иmandра.

Возрастной состав. В наших уловах малотычинковый сиг оз. Иmandра был представлен десятью возрастными группами: от 0+ до 9+. Однако возрастная структура уловов в разных плесах различалась. Малотычинковый сиг в Бабинской Иmandре был представлен семью возрастными группами: от 1+ до 7+, в Йокостровской Иmandре – десятью: от 0+ до 9+, в Большой Иmandре – особями от 2+ до 7+. В Бабинской и Йокостровской Иmandре преобладали сиги возраста 3+, 4+ и 5+, в Большой – в возрасте 4 и 5+. Рыбы старше 5+ в Бабинской и Большой Иmandре составляли порядка 19 % от выборки, в Йокостровской – 12 %. В Йокостровской Иmandре малотычинковый сиг старше 7+ встречался единично (самки). В уловах среднетычинковый сиг был представлен особями от 3+ до 7+. преобладали рыбы в возрасте 3+ и 4+ (82 %). Сиги старше 4+ встречались единично.

В доиндустриальный период (до 1930 г.) малотычинковый сиг оз. Иmandра был представлена рыбами до 11-13-летнего возраста с преобладанием особей в возрасте 7+, 8+, 9+ (около 51 % от выборки), что соответствовало природной структуре этого вида (Крогиус, 1926а; Решетников, 1966, 1980). С конца пятидесятих годов (в период нарастания промышленного производства на озере) уже наблюдались неблагоприятные изменения в возрастной структуре сига озера в сторону омоложения популяции рыб: максимальный возраст достигал 9+-11+, при этом основную часть промысловой популяции составляли две возрастные группы – 4+ и 5+ (Галкин и др., 1966; Комплексное..., 1969; Антропогенные..., 2002). В период максимального уровня загрязнения водоема (1982-92 гг.) сиги доживали до возраста всего 7+, в уловах преобладали рыбы также в возрасте 4+ и 5+ (Моисеенко, 1983; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные..., 2002). Несмотря на снижение антропогенной нагрузки после 1992 г. (Антропогенные..., 2002), малотычинковый сиг во всех плесах озера в основном представлен семью возрастными группами с преобладанием рыб еще более молодого возраста 3+, 4+ и 5+. Присутствие в уловах из Йокостровской Иmandры единичных экземпляров сига старших возрастных групп (8+ и 9+) может быть объяснено миграциями рыб из менее загрязненных придаточных озерно-речных систем таких, как Пиренга, Чуна и др. Тенденция к омоложению стада сига сохраняется во всех плесах озера и в настоящем. Данные по основным биологическим характеристикам среднетычинкового сига оз. Иmandра ранее не приводились.

Половой состав и созревание. Наши исследования показали, что в половой структуре малотычинкового сига Бабинской Иmandры и Йокостровской Иmandры доминировали самки. Соотношение самцов и самок в обоих плесах составило 1:1.5. В Большой Иmandре у малотычинкового сига самцов было больше – 1.5:1. У среднетычинкового сига озера соотношение самцов и самок составило 1:1. Доля особей малотычинкового сига, готовящихся к нересту (III-IV стадии развития гонад) в целом по выборке из Бабинской Иmandры составила до 19 %, в Йокостровской Иmandре она была ниже – 17 %, а в Большой Иmandре составила всего 9 %. Половозрелые особи у среднетычинкового сига в уловах отсутствовали. На данный момент в Бабинской Иmandре самцы малотычинкового сига начинают созревать в возрасте 4+ (22 % от численности возрастной группы), самки – 5+ (8 %). При этом созревание происходит у менее трети особей этих возрастных групп. Доля сигов, участвующих в нересте в возрасте 6+ -7+ составила у самцов 31 и 75 %, у самок – 43 и 100 %. В Йокостровской Иmandре впервые созревающие особи отмечаются в возрасте 3+. Причем доля половозрелых самцов в этом возрасте составляла 7 %, самок – 2 %. В старших возрастных группах доля самцов и самок, участвующих в нересте текущего года, возрастала и в возрасте 6+ у самцов составляла – 29 %, у самок – в возрасте 8+ – 50 %. В Большой Иmandре на III-IV стадии развития гонад было выловлено всего три экземпляра сига: два самца в возрасте 4+ и 7+ и самка в возрасте 6+.

В наших уловах впервые нерестящийся малотычинковый сиг Бабинской и Йокостровской Имандры достигал в основном линейных размеров: самцы – 27-30 см, самки – 28-30 см. У отдельных экземпляров зрелость наступала и при достижении длины 25-26 см. В Большой Имандре половозрелые сиги имели длину 30-33 см. Что касается массы впервые нерестящихся сигов, то у самцов Бабинской Имандры в среднем она составляла 250 г, у самок – 370 г. В Йокостровской Имандре созревающие самцы и самки весили соответственно 321 и 370 г. В Большой Имандре половозрелые малотычинковые сиги имели массу: 250 и 550 (самцы) и 430г (самка).

Современное соотношение полов малотычинкового сига в Бабинской Имандре и Йокостровской Имандре (1:1.5) характерно для преднерестовых скоплений сига оз. Имандра (Комплексное..., 1969; Моисеенко, 1983). Преобладание самцов над самками у малотычинкового сига в Большой Имандре, выловленных в сентябре-октябре, может указывать на то, что в данный период здесь могут образовываться чисто нагульные скопления сига, которые в этом году в нересте не участвуют, возможно, пропускают нерест (Решетников, Богданов, 2011; Шарова, Лукин, 2000). Это предположение доказывает практическое отсутствие в данном месте лова особей с гонадами в III-IV стадии развития. Доля половозрелых рыб у малотычинкового сига снижается от чистых вод Бабинской Имандры в сторону загрязненных вод Большой Имандры, но при этом даже в Бабинской Имандре процент нерестящихся особей ниже природного значения – 55-60 % (Решетников, 1980; Антропогенные..., 2002).

На данный момент только в Бабинской Имандре возраст впервые нерестящихся самцов и самок у малотычинкового сига соответствует природному: соответственно 4+ и 5+ (Решетников, 1966, 1980). В Йокостровской Имандре особи, как женского, так и мужского пола созревают раньше – в возрасте 3+. Учитывая неравномерность вступления в нерестовое стадо, нерегулярность нереста и общую продолжительность жизни малотычинкового сига оз. Имандра, большая их часть успевает лишь один раз участвовать в нересте. Большинство особей впервые нерестящегося сига оз. Имандра в наших уловах достигали линейных размеров, которые характерны для созревающего сига из чистых водоемов: самцы – 27-30 см, самки – 28-30 см (Решетников, 1966, 1980), несмотря на снижение возраста массового созревания самцов и самок до 4+ в Йокостровской Имандре по сравнению с возрастом массового созревания самцов (5+) и самок (6+) Бабинской Имандры. В Большой Имандре немногочисленные половозрелые особи также достигали оптимальных размерно-весовых показателей в возрасте от 4+ до 7+. Таким образом, снижения линейных размеров впервые нерестящихся сигов в более загрязненных водах Йокостровской и Большой Имандры по сравнению с чистыми водами Бабинской Имандры не происходит. Здесь не встречались особи (в частности самки), нерестящиеся в текущем году при длине 20 см, что, например, можно было наблюдать у малотычинкового сига в период максимального загрязнения оз. Имандра с 1982 по 1992 гг. (Моисеенко, 1997, 2002).

Размерный состав. В целом по выборкам малотычинковый сиг в наших уловах был представлен: в Бабинской Имандре длиной 150-436 (266.3±4.8) мм и массой 29-1350 (249.3±16.2) г; в Йокостровской Имандре – близкой длиной 113-464 (273.9±2.1) мм и массой 15-1660 (261.9±7.5) г; в Большой Имандре – длиной 212-374 (310.7±6.3) мм и массой 109-940 (437.7±30.3) г. У среднетычинкового сига особи были представлены длиной 250-350 (289.8±7.8) мм и массой 186-630 (342.8±30.1) г.

У малотычинкового и среднетычинкового сига различных плесов оз. Имандра наблюдаемые длина и масса самцов и самок значимо не различались. Вместе с тем, обобщенные средние линейно-весовые показатели малотычинкового сига были значимо выше в Йокостровской Имандре, по сравнению с Бабинской Имандрой до возраста 4+. В Большой Имандре особи малотычинкового сига имели большие размерно-весовые показатели по сравнению с остальными плесами до возраста 6+. Начиная с возраста 6+, размерно-весовые показатели малотычинкового сига разных плесов оз. Имандра значимо не различались. Линейно-весовые показатели среднетычинкового сига имели промежуточное положение между показателям малотычинкового сига плесов Большая и Йокостровская Имандра.

Что же касается размерных характеристик, то впервые они приводятся для малотычинкового сига оз. Имандра в работах В. Ф. Крогиус (1926). В 1926 г., когда озеро было незагрязненным, сиги в возрасте от 3+ до 8+ имели среднюю длину (АС) 37.9 (33-43) см и массу 720.0 (520-975) г. Уже к 1960 г., то есть за 25-летний период воздействия загрязнения вод, наблюдается тенденция к снижению размерно-возрастных характеристик сига (Галкин и др., 1966; Моисеенко, 1983). В 1968 и 1996-1998 гг. средние показатели длины и массы у сигов в пределах тех же возрастных групп составляли соответственно 31.0-31.4 см и 368.7-411.0 г. На данный момент малотычинковый сиг оз. Имандра

в возрасте от 3+ до 8+ имеет меньшую среднюю длину и массу – 28.4 ± 1.6 см и 290.0 ± 7.0 г. Снижение размерных характеристик сига озера, возможно, связано с началом преобладания особей более раннего возраста – 3+, 4+ и 5+, чем в 1968 и 1996-98 гг. – 4+-5+. При этом значимо большие значения длины и массы сига в более загрязненных плесах Йокостровской и Большой Имандры по сравнению с условно-чистыми водами Бабинской Имандры, до возраста соответственно 4+ и 6+ определяются высокой трофностью этих плесов и увеличением основных показателей их биопродуктивности, в частности зоопланктона (Зубова, 2015). Высокая скорость роста малотычинкового сига в Йокостровской и Большой Имандре приводит к более раннему вступлению его в нерестовое стадо, достигая при этом оптимальных размеров (Зубова, 2015).

Заключение

У исследуемого малотычинкового сига различных плесов оз. Имандра наблюдаются общие тенденции в изменении некоторых биологических показателей, несмотря на сильные различия гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей плесов Бабинская, Йокостровская и Большая Имандра (табл.). Так, снижение антропогенной нагрузки после 1992 г. в плесах Имандры не приводит к восстановлению возрастного состава сига до исходных показателей (до 11-13+ лет). Малотычинковый сиг в трех плесах в основном представлен особями до 7+-9+ лет. При этом сохраняется тенденция к омоложению сига в плесах, что определяется преобладанием здесь особей в возрасте 3+-5+ вместо 4+-5+. Это приводит к снижению современных средних линейно-весовых характеристик рыб по сравнению с 1968 и 1996-98 гг. В то же время, различные условия в трех плесах Имандры приводят к значимым временным различиям в линейно-весовых показателях и особенностях созревания малотычинкового сига в исследуемых плесах (возраст начала созревания и массового созревания). Современные значимо высокие линейно-весовые показатели малотычинкового сига Йокостровской Имандры и Большой Имандры по сравнению с условно-чистыми водами Бабинской Имандры определяются высокой биопродуктивностью Йокостровской и Большой Имандры. Это является причиной более раннего созревания самцов и самок в плесе Йокостровская и Большая Имандра, достигающих при этом оптимальных размеров.

Литература

1. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. 2002. М.: Наука, 403 с.
2. *Вандыш О. И.* Особенности зоопланктонного сообщества субарктического озера Имандра в зонах техногенного воздействия (губы Монче, Белая, Молочная) // *Экология*. 2012. Вып. 5. С. 366-373.
3. *Зубова Е. М.* 2015. Линейный рост европейского сига *Coregonus lavaretus* (L.) в антропогенно-модифицированных водоемах европейской субарктики (на примере Мурманской области): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь: ПГНИУ, 28 с.
4. *Китаев С. П.* 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 207 с.
5. *Шарова Ю. Н., Лукин А. А.* Система воспроизводства сига *Coregonus lavaretus* в условиях многофакторного загрязнения // *Вопр. ихтиологии*. 2000. Т. 40. № 3. С. 425-428.
6. *Моисеенко Т. И.* 1983. Влияние на рыб загрязнения субарктического водоема (на примере оз. Имандра): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: ГосНИОРХ, 29 с.
7. *Моисеенко Т. И.* 1991. Закисление и загрязнение тяжелыми металлами поверхностных вод Кольского Севера. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 47 с.
8. *Моисеенко Т. И.* 1997. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: КНЦ РАН, 261 с.
9. *Моисеенко Т. И.* 2000. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории Шварца) // *Экология*. № 6. С. 463-472.
10. *Моисеенко Т. И.* 2002. Изменение стратегии жизненного цикла рыб под воздействием хронического загрязнения вод // *Экология*. № 1. С. 50-60.
11. *Правдин И. Ф.* 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 376 с.
12. *Решетников Ю. С.* 1966. Особенности роста и созревания сегов в водоемах Севера // Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна. М.: Наука. С. 93-155.
13. *Решетников Ю. С.* 1980. Экология и систематика сеговых рыб. М.: Наука, 301 с.
14. *Решетников Ю. С., Богданов В.Д.* 2011. Особенности воспроизводства сеговых рыб // *Вопр. ихтиологии*. Т. 51. № 4. С. 502-525.

15. Сидоров Г. П., Решетников Ю.С. 2014. Лососеобразные рыбы водоемов европейского северо-востока. М.: Т-во науч. изд. КМК, 346 с.
16. Siwertsson A., Knudsen R., Amundsen P.-A. 2008. Temporal stability in gill raker numbers of subarctic European whitefish populations // Adv. Limnol. № 63. P. 229–240.
17. Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Современное состояние ихтиофауны Бабинской Иmandры // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2012. Ч. 1. С. 235-239.

И. М. Королева, П. М. Терентьев

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
koroleva@inper.ksc.ru

О ПЛОДОВИТОСТИ СИГОВЫХ РЫБ ОЗЕРА ИМАНДРА

Плодовитость рыб является одним из показателей, характеризующих состояние популяции и определяющих уровень воспроизводительных возможностей вида, т. е. особенности пополнения стада. На абсолютную и относительную плодовитость влияют размер и вес рыбы к моменту созревания гонад и условия нагула в год нереста.

Сведения о плодовитости сиговых рыб в целом для озера Иmandра приведены в коллективной монографии «Антропогенные модификации озера Иmandра» (2002), работах Ю. Н. Лукиной (Шарова, 2000) и И. М. Королевой (2014).

Цель работы состояла в оценке абсолютной и относительной плодовитости и установление их зависимости от массы самок сиговых рыб в разные периоды существования их популяций в оз. Иmandра.

Материал и методика

Материал по плодовитости сегов и ряпушки собран в трех плесах вдхр. Иmandра в сентябре-октябре 1997 г. и в сентябре-октябре 2011-2015 гг. Отлов рыб осуществлялся ставными и плавными жаберными сетями. В Большой Иmandре нерестовые особи сига присутствовали в уловах из губы Кислая, губы Вите и в районе о. Сяв. В Йокостровской Иmandре – в районе островов Нестеров и Экостров, в Бабинской Иmandре – в губе Кунчаст и о. Хорт. Нерестовые ряпушки были пойманы в Большой Иmandре в губах Белая и Вите, в Йокостровской Иmandре – в районе Экострова, в Бабинской Иmandре – в губах Молочная, Кунчаст и в районе о. Хорт (рисунок).



Карта-схема района исследований и места сбора проб

Обработку данных производили по общепринятым методикам (Правдин, 1966). У рыб определяли массу с точностью до 1 г, абсолютную длину, длину по Смитту и промысловую длину с точностью до 0.1 см. Возраст рыб определялся по чешуе. Для изучения плодовитости использовались яичники IV и IV-V стадий зрелости 51 экз. озерного сига, 43 экз. озерно-речного сига и 43 экз. европейской ряпушки. Гонады взвешивались с точностью до 0.1 г. Индивидуальную абсолютную плодовитость (ИАП) определяли весовым методом. Относительная плодовитость определялась как частное от деления величины ИАП на массу тела рыбы с внутренностями. Пробы массой 1 г (для ряпушки) и 2 г (для сига) фиксировали 70° раствором этилового спирта и просчитывали под бинокляром. Относительная плодовитость рассчитана к массе всей рыбы без внутренностей (массе тушки).

Результаты и обсуждение

Ихтиофауна вдхр. Имандра насчитывает 13 видов рыб, наиболее ценными в промысловом отношении являются сиги, ряпушка и корюшка. Многочисленные прежде лососевые виды – голец и кумжа значительно сократили свою численность, и, хотя и встречаются в уловах, свое прежнее промысловое значение утратили.

В оз. Имандра глубины менее 15 м занимают площадь до 70 %. Плес Большая Имандра является самой глубоководной частью озера (наибольшая глубина 67 м), при этом глубины менее 15 м составляют почти 70 % от площади озера. Йокостровская Имандра самая мелководная часть озера (наибольшая глубина 42 м). Промежуточное положение имеет Бабинская Имандра (наибольшая глубина 43.5 м). Средние глубины плеса Большая Имандра – 14.7 м, Йокостровская – 10.9 м, Бабинская – 16.3 м. Наличие трех достаточно обособленных плесов потребовало провести оценку величины ИАП и ИОП отдельно для каждого из плесов.

Первые данные о плодовитости имандровского сига приводятся Г. В. Беляевой на основе собранных в 1967-1970 гг. в плесе Большая Имандра проб икры от 82 самок IV, IV-V, V стадий зрелости. Наименьшая масса нерестующей самки – 130 г., длина по Смитту – 22.6 см, возраст – 3+. Средняя абсолютная плодовитость (АП) сига самой высокой была в 1967 г. – 8.5 тыс. икринок, в 1969 г. – 6.5 тыс. и в 1970 г. – 5.9 тыс. икринок, за все три года наблюдений – 7.1 тыс. икринок. Колебания АП от 1634 до 49140 икринок. Среднее количество икринок возрастало с увеличением размеров и массы рыб. Максимальное количество икринок имела двенадцатилетняя самка массой 2225 г., длиной по Смитту 51.8 см.

Относительная плодовитость (ОП) соответственно была равна 21.5; 19.0 и 18.9, в среднем 20. Межгодовая изменчивость объяснялись неоднородностью размерного состава материала и значительными различиями в условиях нагула рыб (Беляева и др., 1969; 1972).

Характеристика абсолютной и относительной плодовитости приведена в таблице 1.

Таблица 1

Возрастная изменчивость плодовитости самок сига плеса Большая Имандра

Возраст	Масса	дл. АС, см	АП	ОП	Н, экз
1967-1970 гг.					
3+	<u>130-210</u> 175	<u>22.6-26.9</u> 25.3	<u>1634-4016</u> 1634	17.3	5
4+	<u>155-305</u> 213	<u>24.6-29.8</u> 26.8	<u>2251-6274</u> 4178	19.6	18
5+	<u>160-520</u> 270	<u>24.9-34.7</u> 28.4	<u>2484-12703</u> 5361	19.9	26
6+	<u>190-780</u> 390	<u>25.0-38.3</u> 31.82	<u>3399-12898</u> 7266	18.6	21
7+	<u>375-1025</u> 574	<u>30.3-40.7</u> 34.5	<u>7766-26471</u> 12892	22.5	8
9+	<u>900-910</u> 905	<u>41.1-41.2</u> 41.2	<u>18895-22047</u> 20471	22.6	2
10+	660	38.9	9849	14.9	1
11+	2225	51.8	49140	22.1	1
Среднее	356	29.9	7138	20.0	82

Одновозрастные особи могут иметь разную длину и разный вес. По данным Беляевой (1972) среди рыб одного возраста более плодовиты быстрорастущие самки (табл.2).

Таблица 2

Плодовитость сигов пятилетнего возраста (4+) в зависимости от массы

Масса, г	Длина по Смитту, см	АП в шт.	ОП
180	25.1	3618	20.1
215	27.2	4264	20.1
215	27.3	4322	19.5
220	27.8	4977	22.6
225	27.3	5176	23.
305	29.4	6016	19.8

Из всех биологических показателей – возраст, длина тела и масса – абсолютная плодовитость наиболее четко коррелирует с последней (Сафронов, 1985; Семенченко, Переводчикова, 2005; Тунёв, 2015). Сравнение плодовитости особей одинаковых весовых групп, но разных возрастов, показало, что основное влияние на количество продуцируемой икры оказывает вес и размер рыбы. Темп роста слабо влияет на плодовитость сига (табл.3).

Таблица 3

Изменение плодовитости у сигов одной весовой группы в зависимости от возраста (Большая Имандра)

Возраст	Длина по Смитту, см	АП в шт.	ОП
1967-1970 гг. (200-220 г) ¹			
3+	26.5	3449	16.8
4+	26.6	3768	17.1
5+	27.1	3988	19.4
6+	25.0	3519	18.5
1997 г. (220-250 г) ²			
3+	27.0	4451	20.1
4+	28.0	3222	13.2

Примечание. Здесь и далее: ¹данные Г.В. Беляевой, ²собственные данные.

Тесной связи между изменениями абсолютной (АП) и относительной (ОП) плодовитости не выявлено.

При сопоставлении плодовитости различных локальных стад сига, значительных различий, по мнению Г.В. Беляевой, не отмечалось. Более существенными они были между показателями плодовитости разных лет у особей одного и того же стада. Только у сигов района о. Сяв наблюдалась большая относительная плодовитость на протяжении всех трех лет (Беляева, 1972).

По нашим данным в 1997 г. и в период с 2011 по 2013 гг. минимальная абсолютная плодовитость озерных сигов плеса Большая Имандра – 4.9 тыс. икринок – отмечена у самки длиной 28.5 см и массой 235 г, максимальная – 46.9 тыс. икринок – у особи длиной 42.2 см, массой 1285 г. Как и в 1967-70 гг., наблюдалось увеличение ИАП с возрастом (табл. 5).

В Йокостровской Имандре минимальная индивидуальная абсолютная плодовитость (ИАП) отмечена у самки длиной 27.0 см и массой 223 г. – 3.6 тыс. икр., максимальная у самки длиной 38.7 см и массой 958 г. – 34.5 тыс. икр.

Таблица 4

Плодовитость особей разных локальных стад

Период	районы							
	г. Вите		г. Кислая		о. Сяв		о-ва Каменные	
	АП	ОП	АП	ОП	АП	ОП	АП	ОП
1967 ¹	7946	19.2	5704	17.6	19785	26.1	4588	18.4
1969 ¹	8319	17.7	4005	16.3	5124	24.4	3927	17.7
1970 ¹	4570	17.6	6036	16.6	4726	20.8	-	-
1997 ²	-	-	14470	24.2	11060	22.4	-	-
2013 ²	27923	25.1	-	-	-	-	-	-

Минимальная абсолютная плодовитость для озерного сига из Бабинской Имандры составила 3.1 тыс. икр. у самки длиной 27.5 см и массой 241 г., максимальная – 23.8 тыс. икр. у самки длиной 43.6 см и массой 1350 г.

В Имандре бóльшую абсолютную плодовитость по данным 1997 и 2011-2013 гг. имеют озерные сиги, обитающие в северной части озера – Большой Имандре – 16.1 тыс. В южной части в среднем этот показатель в 1.5 раза ниже – 10.6 тыс. в Йокостровской и 10.5 тыс. в Бабинской Имандре. Индивидуальная относительная плодовитость исследованных сигов колебалась в пределах от 8.8 до 36.5.

Сопоставление наших данных по сигам из Большой Имандры с результатами Г. В. Беляевой показывает, что за прошедший тридцатилетний период произошло увеличение абсолютной (12.8 тыс. икр. и 7.1 тыс. икр. соответственно), и относительной (23.3 и 20.0 соответственно) плодовитости.

Таблица 5

Возрастная изменчивость плодовитости самок сига плеса Большая Имандра

Возраст	Масса	дл. АС, см	ИАП	ИОП	№, экз
1997 г					
3+	<u>221-298</u> 260	<u>27-28.5</u> 27.8	<u>4451-7473</u> 5962	<u>20.1-25.1</u> 22.6	2
4+	<u>235-292</u> 258	<u>27.5-28.5</u> 28.2	<u>2060-8788</u> 5077	<u>8.8-30.1</u> 18.8	3
5+	<u>350-452</u> 398	<u>29.0-31.5</u> 30.5	<u>5954-12438</u> 9950	<u>15.2-32.7</u> 25.1	3
6+	<u>458-620</u> 548	<u>33.0-35.0</u> 34.0	<u>10656-16485</u> 12617	<u>19.7-28.3</u> 23.1	4
7+	<u>620-807</u> 728	<u>36.0-38.0</u> 37.0	<u>9037-21423</u> 16807	<u>14.6-27.2</u> 23.4	5
8+	<u>607-828</u> 742	<u>35.0-38.5</u> 37.5	<u>17133-23227</u> 19006	<u>20.7-31.3</u> 26.0	4
Среднее	537	33.4	12846	23.3	21

По результатам многолетних наблюдений нерест сиговых рыб в вдхр. Имандра растянут по времени, что связано с метеорологическими и гидрологическими условиями года и с наличием разных экологических форм сига – озерного и озерно-речного.

Индивидуальная плодовитость у озерно-речной формы обыкновенного сига определялась у особей, отловленных в конце октября 1997 г. во время нерестового хода в реку Пиренга (плес Йокостровская Имандра, г. Княжая) (табл. 6).

Минимальная индивидуальная абсолютная и относительная плодовитость озерно-речных сигов плеса Йокостровская Имандра – 1.8 тыс. икринок и 10.3 – отмечена у самки, длиной 25 см и массой 173 г, в возрасте 4 лет, максимальная – 27.4 тыс. икринок и 32.5 – у девятилетней особи длиной 39 см, массой 845 г. В среднем, данные показатели составляют 8.8 тыс. икринок и 21.4.

Таблица 6

Возрастная изменчивость плодовитости самок озерно-речного сига (р. Пиренга)

Возраст	Масса	дл. АС, см	ИАП	ИОП	№, экз.
1997 г					
3+	<u>197-226</u> 197	<u>25-26</u> 25.5	<u>1788-4618</u> 3180	16.2	4
4+	<u>212-389</u> 313	<u>27-31.5</u> 29.3	<u>3410-11200</u> 6473	20.4	13
5+	<u>317-470</u> 398	<u>28-33.5</u> 31.5	<u>5928-11040</u> 8690	22.0	14
6+	<u>470-647</u> 573	<u>33-36</u> 34.7	<u>9975-17555</u> 12736	22.2	9
8+	<u>757-845</u> 805	<u>38.5-40.5</u> 39.3	<u>20792-27440</u> 24104	29.8	3
Среднее	418	30.9	8844	21.4	43

Таким образом, сига можно отнести к группе рыб со средним уровнем абсолютного репродуктивования икры - тысячи и десятки тысяч икринок (Пермятин, Сильянова, 1971). Из всех изученных плесов наиболее высокая ИАП была установлена у сегов, обитающих в плесе Большая Имандра. Рыбы из Йокостровской и Бабинской Имандры имеют близкие между собой средние величины ИАП, по сравнению с рыбами из северной Имандры данный показатель у них ниже более, чем в 1.5 раза. Ещё меньшую величину ИАП мы наблюдали у озерно-речных сегов из губы Княжая, она в 2 раза ниже, чем у сегов из Большой Имандры.

Продолжительность жизненного цикла ряпушки в оз. Имандра определяется в шесть лет (5+). Наибольший экземпляр, у которого была определена плодовитость, имел длину 19.2 см и массу 65 г., величина ИАП достигла 4820 икр., ИОП – 74. 2. Минимальные размеры половозрелой двухлетней ряпушки составили 7 г и 10.1 см. Наибольшая средняя величина ИАП отмечена в плесе Йокостровская Имандра (табл.7).

Таблица 7

Изменчивость плодовитости самок ряпушки оз. Имандра

Район	Масса	дл. АС, см	ИАП	ИОП	№, экз.
Большая Имандра 2013 г.					
г. Вите	<u>9.7-37.6</u> 15.4	<u>10.2-15.2</u> 11.6	<u>583-2603</u> 1058	68.6	17
г. Белая	<u>11.4-14.2</u> 12.6	<u>10.5-11.4</u> 11.1	<u>540-1046</u> 794	62.8	7
Йокостровская Имандра, 2013, 2015 гг.					
р-он о-ва Экостров	<u>11.6-65.0</u> 14.3	<u>11.0-19.2</u> 11.6	<u>178-4820</u> 1371	45.8	8
Бабинская Имандра, 2011 г.					
г. Молочная	<u>7.0-13.3</u> 9.9	<u>9.2-11.1</u> 10.3	<u>286-1053</u> 611	60.6	9
г. Кунчаст	35	16	2577	73.6	1
о. Хорт	10	10.9	595	59.5	1
Среднее	13.9	11.3	1005	60.8	43

Литература

1. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука. 2002. 403 с.
2. Королева И. М., Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Популяционные характеристики европейской ряпушки в водоемах Мурманской области // Матер. II Всеросс. конф. с междуна. участием "Современное состояние биоресурсов внутренних вод". 2014 г. Борок, 2014. Т. 1. С. 305-314.
3. Пермятин Ю. Е., Сильянова З. С. Новые данные по биологии размножения и плодовитости рыб рода моря Скоша (Скотия, Антарктика) // Вопр. ихтиологии. Т. 11. Вып. 5. С. 806-819.
4. Решетников Ю. С. Особенности роста и созревания сегов в водоемах севера // в кн.: Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна. М.: Наука, 1966. С. 93-155.
5. Сафронов С. Н. Особенности размножения и закономерности изменения плодовитости дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) // Вопр. ихтиологии. 1986. Т. 26. Вып. 4. С. 630-638.
6. Семенченко Н. Н., Переводчикова Т. О. Абсолютная плодовитость и характер созревания яичников верхогляда *Chanodichthys erythropterus* Basilewsky, 1855 р. Амур // в сборнике: Чтение памяти В. Я. Леванидова. 2005. Вып. 3. С. 557-565.
7. Тунёв В. Е. Экологические особенности, динамика численности и промысел пеляди *Coregonus peled* (Gmelin, 1789) Тазовского бассейна: Дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2015. 126 с.
8. Шарова Ю. Н. Особенности функционирования системы воспроизводства рыб Кольского севера в условиях техногенного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2000. 26 с.
9. Беляева Г. В., Чижиков В. В., Дольник Т. В. Отчет «Комплексное изучение и охрана оз. Большая Имандра». Апатиты, фонды Кольского филиала АН СССР, 1969, 133 с.
10. Беляева Г. В. и др. Отчет «Комплексное изучение и охрана оз. Большая Имандра. Апатиты, фонды КФАН СССР, 1972. 333 с.

ДИАТОМОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОГО ГОРНОГО ОЗЕРА

Глобальные и локальные преобразования экосистем Евро-Арктического региона в результате динамики климатической системы и многофакторного антропогенного загрязнения актуализируют исследования палеоэкологического направления. Знание экосистемных трансформаций в историческом прошлом является основой для понимания современных сукцессий водоемов, разработки мероприятий по минимизации негативных последствий антропогенного воздействия и адаптации хозяйственной деятельности к современным климатическим изменениям в рамках рационального использования водных ресурсов. Малые субарктические озера представляют собой удобные объекты для палеоэкологических реконструкций ввиду высокой чувствительности их экосистем к любым изменениям факторов окружающей природной обстановки.

Исследования были проведены на оз. Щучье ($67^{\circ}50'18.8''$, $33^{\circ}40'24.5''$), которое расположено в северной части Хибинского горного массива, в озерно-речной системе р. Куна (рис. 1.).



Рис. 1. Карта-схема расположения оз. Щучье

Это малое (площадь озера 0.30 км^2), по форме близкой к округлой, озеро ледникового происхождения. Территория водосборной площади по типу ландшафтов относится к лесотундровой и тундровой зонам с высотами до 593.8 м . Берега озера невысокие, каменистые, местами встречаются заболоченные участки. В прибрежной зоне озера распространены песчаные пляжи и валунные отложения. По результатам гидрохимического анализа установлено, что водоем по содержанию биогенных элементов и органического вещества относится к олиготрофным. Поверхностные воды имеют низкую минерализацию (34.5 мг/л) и повышенное значение щелочности (282 мкэкв/л), водородный показатель (рН) варьирует в диапазоне $6.98-7.40$.

История развития водоема и трансформации его экосистемы под влиянием природных и антропогенных факторов была выполнена посредством диатомового анализа колонки ДО. На основании анализа распределения приоритетных элементов загрязнителей в ДО для водоема были выделены стратиграфические зоны слоев отложений, со сравнительно низкими концентрациями этих элементов, формирование которых происходило в так называемый «доиндустриальный» период развития водоема.

Характер распределения в ДО тяжелых металлов указывает на более высокие темпы седиментации в исследованном водоеме ($\approx 1.9 \text{ мм/г}$) по сравнению с водоемами сходного типа в районе Кольского Севера (Dauvalter, 1994). Выявлено значительное увеличение содержания Pb и Cd в верхних слоях отложений, начиная с глубины 7 см . Кроме того, верхние 4 см характеризуются аккумуляцией ТМ, прежде всего Ni и Cu. Увеличение содержания Ni и Cu связано с началом индустриального освоения Кольского Севера, а увеличение содержания Pb и Cd – с общим увеличением глобального загрязнения этими элементами атмосферы северных регионов. Таким образом, был определен период, охватывающий промышленное загрязнение оз. Щучье, соответственно, более древние слои отложений были сформированы в «доиндустриальный» период развития экосистемы водоема.

Для выявления интенсивности загрязнения озера использовались значения коэффициента C_f и степени C_d загрязнения ДО тяжелыми металлами, вычисленные по методике, предложенной Л. Хокансоном (Håkanson, 1980). Концентрации ТМ (Ni, Cu, Zn, Co, Pb, Cd, As, Hg), накопленных в поверхностных слоях ДО оз. Щучье, указывают на значительную степень загрязнения ($C_d=15.3$).

ДО озера характеризуются довольно значительным содержанием органического материала – значение ППП (потерь веса при прокаливании) по всей колонке изменяется в пределах 20-34 % (рис.2.). Содержание органического материала в ДО увеличивается по направлению к поверхности, что происходит вследствие повышения биологической активности в водоеме.

По направлению от нижних слоев ДО к верхним выявлены перестройки в составе и структуре диатомовых комплексов и их количественных характеристиках. На протяжении исследованного периода происходила смена доминирующих групп диатомей, исчезновение отдельных видов. Всего в колонке мощностью 20 см было обнаружено 218 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода в 44 родах, наибольшего таксономического разнообразия достигают представители родов *Eunotia* (22), *Pinnularia* (18), *Cymbella* (15). В ходе анализа динамики относительной численности диатомей по разрезу колонки были выявлены руководящие по численности виды, а также виды с наиболее яркими изменениями. Их стратиграфические профили представлены на рисунке 2. Этапы наиболее значимых изменений в экосистеме водоема подтверждают результаты кластерного анализа, выполненного на основе соотношения относительной численности диатомей.

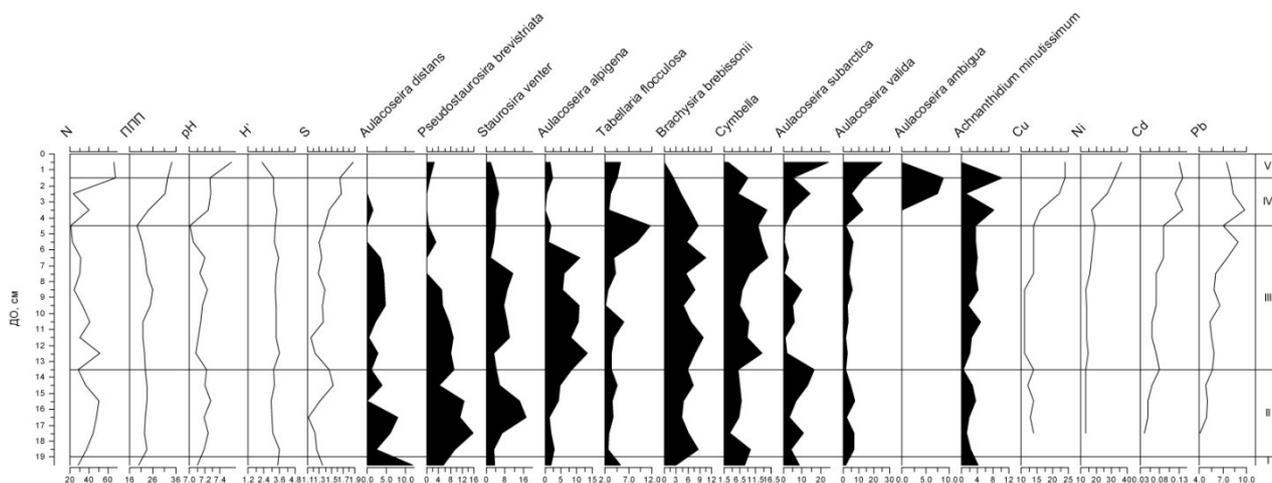


Рис.2. Динамика некоторых показателей диатомовых комплексов в ДО оз. Щучье: N – численность створок диатомей, млн экз/г сух. в-ва; ППП – потери веса при прокаливании, %; pH – значения активной реакции воды, реконструированные по диатомовым комплексам; S – сапробность, H' – индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера, бит/экз.; относительная численность (%) наиболее массовых видов; распределение содержания Cu, Ni, Cd, Pb (мкг/г) в ДО оз. Щучье. Линиями отмечены основные этапы развития экосистемы водоема по результатам кластерного анализа

Было выделено пять этапов в развитии озера.

I этап охватывает период, когда происходило формирование самого древнего из исследованных слоев ДО (20-19 см). На этой стадии развития экосистемы водоема отмечается самое большое количество видов (92). В озере развивались преимущественно бентосные и планктонно-бентосные формы. Можно предположить, что этот период был переходным от одних условий к другим, так как в следующем слое (19-18 см) отмечается изменение доминантного комплекса, снижение количества видов, увеличение показателя обилия.

II этап (19-13 см) На этом этапе развития экосистемы водоема отмечалось незначительное снижение видового разнообразия до $2.99 \text{ бит/экз}^{-1}$ в слое 16-15 см и увеличения показателя до $3.62 \text{ бит/экз}^{-1}$ к концу этого периода. Динамика pH демонстрирует противоположную картину. В слое 16-15 см водородный показатель достигает максимального значения на этом этапе формирования экосистемы водоема 7.28, выше по срезу колонки уменьшается до 7.09. Увеличилась доля планктонных форм. На этом промежутке слой 17-16 см отличается от других, что подтверждает кластерный анализ. В этом горизонте максимального развития достигли виды характерные для

эвтрофных, хорошо прогреваемых водоемов *Staurosira construens* Ehrenberg и *Staurosira venter* (Ehrenberg) H. Kobayasi. Возможно, это связано с увеличением концентрации биогенных элементов в этот период, а также с некоторым изменением температурного режима в сторону более высоких температур за счет уменьшения глубины озера, так как одновременно отмечается снижение доли планктонных центральных видов рода *Aulacoseira*.

III этап (13-4 см) характеризуется доминированием на горизонтах 13-6 см *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer, 12-7 см – *Staurosira venter*. На этом промежутке зарегистрировано наименьшее значение pH – 7.01 на горизонте 6-4 см, этот период соответствует, примерно, началу 20 века и характеризуется похолоданием. Положение доминанта занимает ацидофильный вид – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., отмечается увеличение доли таксонов рода *Cymbella*, большинство представителей которых ацидофильные и холоднолюбивые виды. Одновременно отмечается максимальное увеличение доли галофобов до 28.4 %, что свидетельствует о снижении общей минерализации в водоеме. Окончание этого этапа связано с началом аэротехногенного загрязнения водоема.

VI этап (4-1 см) вверх по профилю донных отложений этой зоны отмечено увеличение значения pH в щелочную сторону от 7.01 до 7.27, что подтверждается увеличением доли алькалибионтов в этот период. Наблюдается рост доли планктонных и аркто-альпийских видов, массовое развитие которых обеспечило резкое увеличение общего обилия до 68.05 млн экз/г. сух. веса. Но при этом отмечается уменьшение количества видов. Изменения в структуре диатомовых происходит на фоне аэротехногенного загрязнения водоема тяжелыми металлами (Cu, Ni, Cd). Пост численности эвритермного вида, индифферента, космополита *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnicki в слоях 4-3 см и 2-1 см до субдоминанта, появление в горизонте 3-1 см эвтрофного вида *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen также свидетельствует об изменении условий в водоеме.

V этап (1-0 см) отражает современный период развития водоема, который отличается наименьшим сходством с предыдущими этапами. Происходит упрощение структуры диатомовых комплексов, сопровождающееся резким снижением H', который достиг минимального значения на протяжении всего среза колонки ДО и составил 2.3 бит·экз⁻¹. Индекс сапробности увеличивался и достиг значения 1.87, что соответствует β-мезосапробной зоне. Доминирующий комплекс представлен алькалибионтными (*Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth и *Aulacoseira valida* (Grun.) Kramm) и алькалофильными (*Staurosira construens*) таксонами. Полностью исчез ацидофильный бентосный вид *Brachysira brebissonii* (Grun. in Van Heurck) Ross, представители рода *Eunotia* встречаются единично. Водородный показатель увеличился в щелочную сторону и достиг 7.55, что является максимальным значением для колонки. По отношению к местообитанию преобладают планктонные формы (51 %), что довольно много для озера таких размеров и глубин и может свидетельствовать об увеличении водности.

На основе результатов анализа диатомовых комплексов донных отложений и образцов современных сообществ диатомей оз. Щучье было установлено, что одним из основных факторов, определяющих видовой состав и структуру диатомовой флоры, являлось ландшафтно-географическое положение водоема. Сложность спектра горных микроландшафтов определяла комплекс индивидуальных природных условий исторического формирования качества вод. На всем исследованном историческом этапе здесь существовали условия, благоприятные для развития различных диатомей перифитона и бентоса. Анализ стратиграфии диатомовых комплексов показал изменения, которые связаны с антропогенным преобразованием в верхнем современном слое. Выявлены изменения диатомового состава, связанные с защелачиванием водоема. Были обнаружены тератологические изменения формы створок родов диатомовых водорослей. В качестве причин, приводящих к образованию тератологических форм, указываются неблагоприятные экологические условия. В оз. Щучье можно отметить низкую концентрацию кремния (2.3 мг/л) в воде, недостаток которого приводит к появлению клеток уродливой формы. В настоящее время, значительное влияние на развитие и трансформацию экосистемы озера Щучье оказывает антропогенная составляющая.

Литература

1. Dauvalter V. Heavy metals in lake sediments of the Kola peninsula, Russia. Sci. Total Environ, 1994. V. 158. Pp. 51-61.
2. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control—a sedimentological approach. Water Res., 1980. V. 14. P. 975-1001.

Я. А. Кучко¹, Т. Ю. Кучко², Н. В. Ильмаст³

¹Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

y-kuchko@mail.ru

²ФГБУВО Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

kuchko@drevlanka.ru

³Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

ilmast@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СООБЩЕСТВА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА СЯМОЗЕРО

Сямозеро принадлежит к бассейну Балтийского моря, координаты центра 61°55' с. ш., 33°11' в. д. (республика Карелия). Площадь озера – 266 км², максимальная глубина – 24.5 м, средняя – 6.0 м. По генезису озерной котловины водоем относится к тектонико-ледниковому типу, по термическому режиму – к умеренному типу (Озера Карелии, 2013). По цветности воды Сямозера (41 град.) ближе к мезогумозному классу, а по содержанию фосфора относятся к мезотрофному типу (Китаев, 2007).

Исследования проводились в летне-осенний период 2013 года. Пробы зоопланктона отбирались и обрабатывались согласно общепринятым методикам (Методические рекомендации..., 1984). При отборе проб в пелагиали использовался батометр Руттнера объемом 2 л, на литорали (глубины до 1 м) применяли процеживание 50 л воды через планктонную сеть. Биомасса зоопланктона определялась расчетным методом (Балушкина, Винберг, 1979). Рассчитывались индекс видового разнообразия (Shannon, Weaver, 1949) и индекс сапробности (Макрушин, 1974; Куликова, 1983). Трофический статус водоема оценивался по шкале трофности для зоопланктона по методике С. П. Китаева (2007 г.). Систематика коловраток приводится по Л. А. Кутиковой (1970), низших ракообразных – согласно современным представлениям о таксономии планктонных беспозвоночных (Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России..., 2010).

Цель работы – оценка современного состояния пелагического и литорального планктонных сообществ озера Сямозера в летний и осенний периоды.

Согласно нашим исследованиям, список организмов зоопланктона, отмеченных в летне-осенний период 2013 г., насчитывал 41 вид. Из них *Rotifera* – 12 видов, *Cladocera* – 21, *Calaniformes* – 2 и *Cyclopiformes* – 6 (табл.1).

Таблица 1

Видовой состав зоопланктона оз. Сямозеро

Вид	Июль 2013 г.		Октябрь 2013 г.	
	литораль	пелагиаль	литораль	пелагиаль
<i>Rotifera</i>				
1	2	3	4	5
<i>Trichocerca</i> sp. Lamarck	+	–	–	–
<i>Polyarthra</i> sp. Ehrenberg	+	–	–	–
<i>P. euryptera</i> Wierzejski	+	+	–	–
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	+	–	–	–
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	+	+	+	+
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	+	+	–	+
<i>K. quadrata</i> (Muller)	–	–	–	+
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	+	+	+	+
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet	+	+	+	+
<i>Synchaeta</i> sp. Ehrenberg	+	+	–	–
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	–	+	–	+
<i>Copepoda</i>				
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars)	–	+	–	+
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars	–	+	–	+
<i>Cyclops strenuus</i> Fisher	+	+	+	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	+	+	+	+
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars)	+	+	+	+

1	2	3	4	5
Copepoda				
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fisher)	+	–	–	–
<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine)	+	–	–	–
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine)	+	–	–	–
Cladocera				
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Muller)	+	–	–	–
<i>Limnosida frontosa</i> Sars	–	+	–	+
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin)	–	+	–	–
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	–	+	–	+
<i>Daphnia longispina</i> O.F. Muller	+	+	–	+
<i>D. cristata</i> Sars	–	+	–	+
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Muller)	–	+	–	–
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
<i>Chydorus ovalis</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
<i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Muller)	+	–	–	–
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	+	–	+	+
<i>A. elongatus elongatus</i> (Sars)	+	–	–	+
<i>Pleuroxus truncatus</i> (O.F. Muller)	+	–	–	–
<i>Alonella nana</i> (Baird)	+	–	–	–
<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Muller)	+	–	–	+
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+
<i>B. coregoni</i> Baird	–	+	–	+
<i>B. longispina</i> Leydig	+	+	–	–
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne)	+	+	–	–
<i>Bythotrephes brevimanus</i> Lilljeborg	–	+	–	–
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	–	+	–	–

Основу пелагического планктонного комплекса составляли широко распространенные в больших озерах Карелии представители северной фауны (*Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Daphnia cristata*, *Holopedium gibberum*, *Bosmina coregoni*), а также ряд эвритопных организмов, отличающихся широкой экологической валентностью (*Mesocyclops leuckarti*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*). Из представителей тепловодно-стенотермного комплекса был отмечен один вид *Diaphanosoma brachyurum*.

Наличие богатой высшей водной растительности в заливах и губах способствует развитию зарослевого комплекса. Это, главным образом, организмы, нуждающиеся в субстрате для периодического прикрепления: *Sida crystallina*, *Symocephalus vetulus*, *Scapholeberis mucronata*, *Polyphemus pediculus*, а также ряд хидорид и хищные циклопы: *Macrocyclops albidus*, *Megacyclops viridis*, *Eucyclops serrulatus* и др. Среди коловраток наибольшей численности достигают *Asplanchna priodonta*, *K. longispina* и *C. unicornis* – обычные представители ротаторного северного планктонного комплекса.

Сопоставление полученных материалов с литературными показывает определенное сходство видовой структуры сообщества зоопланктона оз. Сямозеро не только с фауной озер Карелии и прилегающих областей, но также и с водоемами северо-западной Европы главным образом за счет широкого распространения космополитных эврибионтных видов.

В летний период (табл.2) в пелагиали основа биомассы зоопланктона создается ветвистоусыми ракообразными, главным образом видами рр. *Bosmina* и *Daphnia* (46 %), на долю циклопид (*M. leuckarti*, *Th. oithonoides*, *C. strenuus*) и калянид (*E. gracilis*) приходится 32 % и 11 % соответственно. Удельный вес коловраток составляет 11 %.

По численности доминируют циклопы (63 %), представленные главным образом науплиальными и копеподитными стадиями *C. strenuus*, *M. leuckarti* и *Th. oithonoides*. На долю кладоцер и коловраток приходится 25 % и 12 % соответственно.

Индекс видового разнообразия составляет 2.4 бит/экз., индекс сапробности – 1.82.

В литоральной зоне количественные показатели зоопланктона существенно выше, чем в открытом озере. За счет массового развития крупных фильтрующих видов (*Sida*, *Polyphemus*, *Scapholeberis*) доля ветвистоусых ракообразных в общей биомассе возрастает до 60 %. Субдоминирующее положение занимают циклопы, относящиеся к эвритопным, зарослевым и мейобентическим видам (*M. leuckarti*, *E. serrulatus*, *Macrocyclops albidus*, *Megacyclops viridis*). На их долю приходится 27 % от общей биомассы. По численности можно отметить совместное доминирование циклопид и клadoцер (35 % и 37 % соответственно).

Индекс видового разнообразия составляет 1.8 бит/экз., индекс сапробности – 1.95.

Таблица 2

Средние количественные показатели зоопланктона по группам (лето)

Группы	Биотоп	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³
<i>Rotifera</i>	пелагиаль	6.8±0.2	0.206±0.011
	литораль	8.87±0.2	0.13±0.02
<i>Cladocera</i>	пелагиаль	14.8±0.5	0.901±0.008
	литораль	20.2±0.3	2.19±0.10
<i>Cyclopiformes</i>	пелагиаль	27.2±1.3	0.613±0.013
	литораль	19.2±0.5	0.97±0.03
<i>Calaniformes</i>	пелагиаль	4.6±0.3	0.226±0.005
	литораль	3.53±0.1	0.326±0.05
<i>Nauplii</i>	пелагиаль	4.8±0.2	0.013±0.003
	литораль	3.13±0.1	0.023±0.03

Для осеннего сезона (табл.3) характерно обеднение видового состава и начало полового размножения клadoцер. Несмотря на выпадение из планктона ряда теплолюбивых видов (*D. brachiurum*, *L. kindtii*, *P. pediculus*), в пелагиали водоема сохраняются высокие количественные показатели зоопланктона за счет взрослых и эфиппидальных самок клadoцер, которые формируют около 70% общей биомассы и крупных видов коловраток (*Asplanchna*) и копепод (*Eudiaptomus*). Удельный вес копепод в целом снижается до 25 %. Доля коловраток в образовании биомассы также уменьшается и составляет около 5 %.

По численности также преобладают клadoцеры (49 %), циклопиды и каляниды занимают субдоминирующее положение.

Индекс видового разнообразия в пелагиали снижается и составляет в среднем 1.9 бит/экз., индекс сапробности – 1.75.

В литоральной зоне в осенний период также сохраняются высокие для водоемов умеренной зоны количественные показатели зоопланктона.

Основа биомассы, как и в летний период, создается ветвистоусыми ракообразными (*Daphnia*, *Bosmina*, *Chydorus*) – 72 %, на долю циклопид и калянид приходится 10 % и 15 % соответственно.

По численности доминируют клadoцеры -58 % и циклопиды – 24 %. Индекс видового разнообразия составляет в среднем 1.7 бит/экз., индекс сапробности – 1.82.

Таблица 3

Средние количественные показатели зоопланктона по группам (осень)

Группы	Биотоп	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³
<i>Rotifera</i>	пелагиаль	5.35±0.5	0.090±0.005
	литораль	2.53±0,3	0.056±0.002
<i>Cladocera</i>	пелагиаль	13.3±0.3	1.220±0.011
	литораль	20.0±0.4	1.3±0.5
<i>Cyclopiformes</i>	пелагиаль	4.2±0.2	0.143±0.014
	литораль	8.4±0.5	0.178±0.015
<i>Calaniformes</i>	пелагиаль	3.5±0.3	0.295±0.003
	литораль	3.2±0,2	0.262±0.011
<i>Nauplii</i>	пелагиаль	0.5±0.1	0.020±0.002
	литораль	0.64±0.3	0.003±0.001

Таким образом, достаточно высокие количественные показатели зоопланктона как в литорали, так и в пелагиали оз. Сямозера, указывают на повышенный трофический статус водоема.

По уровню количественного развития зоопланктона со среднелетней биомассой около 2.0 г/м³ центральный плес Сямозера относится к разряду β-мезотрофных, заливы с развитой водной растительностью можно отнести к переходному β-мезотрофному – α-эвтрофному типу с биомассой 3.5 г/м³ по шкале трофности С.П. Китаева (2007).

Индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера колеблется в пределах 2.1 (июль) – 1.8 (октябрь). По величине индекса сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека, Сямозера относится к разряду умеренно загрязненных β-мезосапробных водных объектов.

Литература

1. Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: ЗИН АН СССР. 1979. С. 58-79.
2. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2007. 390 с.
3. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л., 1970. 744 с.
4. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР. 1974. 60 с.
5. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
6. Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 464 с.
7. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон // Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

З. И. Слукровский¹, Н. В. Ильмаст², И. В. Суховская², Е. В. Борвинская²

¹Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
slukovsky87@gmail.com

²Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
ilmast@karelia.ru

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ РЫБ ОЗЕРА ЛАМБА (ПЕТРОЗАВОДСК, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Экосистемы северных регионов крайне уязвимы к различного рода антропогенному воздействию. Данный факт, справедлив и для водных экосистем, в частности для рыбного населения водоемов, расположенных в зоне влияния техногенеза (Lydersen, Lofgren, 2002; Тереньев, Кашулин, 2010; Ильмаст и др., 2013). Рыбы занимают верхний уровень в трофической системе водоемов. Они имеют более длительный цикл жизни по сравнению с беспозвоночными, поэтому могут информативно отражать последствия загрязнения водных экосистем (Моисеенко, 2009). Биохимические изменения (белковый, пептидный, липидный обмен) в организме рыб являются индикаторами токсичного влияния загрязнителей, которые проявляются в торможении роста, нарушении процессов созревания гонад, элиминации отдельных видов

Исследовалось содержание тяжелых металлов (ТМ) в мышечных тканях, печени и костях двух видов рыб (окуня *Perca fluviatilis* и плотвы *Rutilus rutilus*), обитающих в озере Ламба, расположенном в черте города Петрозаводска. Основной вклад в загрязнение данного водного объекта вносят выбросы Петрозаводской теплоцентрали (ТЭЦ), расположенной в 500 м от озера. Анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях исследуемого водоема свидетельствует о повышенном уровне накопления по сравнению с региональных фоновым уровнем в осадках Ламбы таких загрязнителей, как Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Mo, Cr, V и W (Слукровский, Медведев, 2015). Содержание Cd, Pb, Cu, Zn и Ni выявлено также в водорослях перифитона петрозаводского водоема (Комулайнен, 2014), что ясно свидетельствует о воздействии городской среды, как на абиотические, так и на абиотические компоненты изучаемого водоема.

Цель работы – оценить уровень накопления тяжелых металлов в организме рыб (окуня и плотвы) озера Ламба и дать характеристику распределения загрязнителей в разных органах и тканях гидробионтов.

Методы исследования

Материал по ихтиофауне водоемов был собран в августе 2015 г. из сетных уловов (сети с ячейей 15-30 мм). Обработку ихтиологических проб проводили по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Дгебуадзе, Чернова, 2009; Сидоров, Решетников, 2014). Рыб измеряли, взвешивали, устанавливали пол, степень зрелости половых гонад. Возраст рыб определяли по чешуе (плотва), жаберным крышкам (окунь).

Отобранные пробы тканей и органов рыб высушивались при температуре 105°C, затем истирались до порошкообразного состояния и разлагались смесью кислот в открытой системе. Содержание ТМ в полученных растворах определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS. Статистические расчеты проводились с использованием программы Microsoft Excell 2007. Сравнение концентраций ТМ в исследованных образцах проводилось по средним значениям для каждой выборки (3 по окуню и 3 по плотве).

Результаты и их обсуждение

Исследуемый водоем расположен в окрестностях Петрозаводска и относится к малым водным объектам, что в значительной степени определяет видовой состав ихтиофауны. Рыбное население озера представлено двумя наиболее массовыми для Карелии видами: окунем и плотвой. По данным Герда С.В. (1949) окунь и плотва широко распространены в водоемах республики и встречаются в 87-96 % озер.

Длина тела изученных для исследований рыб колебалась в пределах 10.8-16.5 см по окуню и 10.9-11.7 см по плотве, масса окуней составляла от 17.1 до 78.4 г, масса плотвы – от 22.4 до 28.7 г. Все исследованные рыбы имеют возраст от 2+ до 5+. Содержание ТМ в тканях и органах гидробионтов представлено в таблице 1. Разберем все проанализированные металлы по отдельности.

Таблица 1

Средние значения концентраций изученных ТМ в организмах рыб оз. Ламба
(г. Петрозаводск, Карелия)

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Мышцы окуня							
Х _{ср.}	3.45	0.88	Н/о	1.53	18.47	0.09	0.36
S	3.60	0.53	Н/р	0.45	1.52	0.06	0.85
Мышцы плотвы							
Х _{ср.}	37.36	2.91	Н/о	0.80	34.03	1.14	0.02
S	11.66	0.487	Н/р	0.23	8.24	1.00	н/р
Печень окуня							
Х _{ср.}	25.16	3.42	0.69	9.68	93.79	0.29	0.36
S	32.57	5.39	Н/р	1.80	7.48	0.12	0.22
Печень плотвы							
Х _{ср.}	194.52	40.13	3.35	32.22	191.63	0.73	3.39
S	177.9	36.34	Н/р	10	63.58	0.636	н/р
Кости окуня							
Х _{ср.}	23.51	3.41	1.03	1.70	122.79	0.27	0.14
S	34.97	4.61	Н/р	1.23	19.31	0.17	0.18
Кости плотвы							
Х _{ср.}	11.94	1.58	0.84	1.16	206.30	3.09	0.07
S	3.337	0.34	Н/р	0.31	35.15	1.722	н/р

Примечание. S – стандартное отклонение выборки, н/о – концентрация не определена, н/р – расчет стандартного отклонения не производился.

Кадмий (Cd). Содержание этого элемента обнаружено в 80% всех проанализированных образцах различных органов рыб озера Ламба. Наибольшее накопление этого ТМ установлено в костях плотвы – 3.09 мг/кг, что в несколько раз превышает содержание этого элемента в донных отложениях – 0.80 мг/кг (Слуковский, Медведев, 2015) и перифитоне озера – 0.18 мг/кг (Комулайнен, 2014). Концентрации Cd в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): мышцы плотвы (1.14) > печень плотвы (0.73) > печень окуня (0.29) > кости окуня (0.27) > мышцы окуня (0.09).

Свинец (Pb). Концентрации Pb определены в 87 % образцов проб, наибольшее накопление поллютанта отмечено, как и по Cd, в печени плотвы – 3.39 мг/кг, что в 2 раза меньше, чем в водорослях перифитона (6.71 мг/кг) и в 15 раз – в донных осадках городского озера (45.7 мг/кг). Концентрации этого металла в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): печень окуня (0.36) = мышцы окуня (0.36) > кости окуня (0.14) > кости плотвы (0.07) > мышцы плотвы (0.02).

Цинк (Zn). Обнаружен во всех изученных образцах. Наибольшее накопление отмечено в костях плотвы – 206.30 мг/кг, что в 3 раза выше концентрации Zn в перифитоне озера (63.4 мг/кг) и 2 раза меньше, чем в донных отложениях (469.6 мг/кг). Значительно содержание этого ТМ отмечено также в печени плотвы (191.63 мг/кг) и костях окуня – 122.79 мг/кг. Концентрации Zn в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): печень окуня (93.79) > мышцы плотвы (34.03) > мышцы окуня (18.47).

Медь (Cu). Обнаружена во всех изученных образцах. Максимальное содержание этого ТМ – в печени плотвы (32.22 мг/кг), это в 1.3 раза выше концентрации Cu в перифитоне озера Ламба (25.3 мг/кг) и в 12 раз ниже, чем содержание в донных осадках (381.7 мг/кг). Значительно содержание этого металла отмечается также в печени окуня – 9.68 мг/кг, в остальных органах Cu накапливается гораздо менее интенсивно: кости окуня (1.70) > мышцы окуня (1.53) > кости плотвы (1.16) > мышцы плотвы (0.80).

Ванадий (V). Содержание этого элемента обнаружено в 80 % всех проанализированных образцах различных органов рыб озера Ламба. Этот загрязнитель водной среды озера Ламбы наиболее активно накапливается в печени плотвы – 194.52 мг/кг, однако это почти в 10 раз ниже его содержания в донных отложениях водоема (1405.5 мг/кг). Другие органы изученных рыб имеют заметно меньшее содержание этого металла: мышцы плотвы (37.36) > печень окуня (25.16) > кости окуня (23.51) > кости плотвы (11.94) > мышцы окуня (3.45).

Никель (Ni). Обнаружен в 59 % изученных образцов. Наибольшее содержание этого металла – в печени плотвы (3.35 мг/кг), что ниже уровня накопления Ni в фитоперифитоне (8.22 мг/кг) и донных осадках урбанизированного озера (254.7 мг/кг) в 2.5 и в 76 раз, соответственно. Отмечено также накопление этого металла в костях обоих рыб (окуня – 1.03 мг/кг и плотвы – 0.84 мг/кг) и печени окуня – 0.69 мг/кг. В мышцах обоих рыб накопление Ni не установлено.

Хром (Cr). Обнаружен во всех изученных образцах. Максимальное накопление приходится на печень плотвы – 40.13 мг/кг, что в 2 раза ниже содержания этого ТМ в донных отложениях озера Ламба (79.1 мг/кг). Единым уровнем аккумуляции Cr характеризуются печень и кости окуня: 3.42 мг/кг и 3.41 мг/кг, соответственно. Концентрации металла в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): мышцы плотвы (2.91) > кости плотвы (1.58) > мышцы окуня (0.88).

Почти по всем органам изученных рыб максимальное накопление отмечено для Zn, исключение – мышцы и печень плотвы, где наибольшая аккумуляция отмечена для V, который является специфическим загрязнителем озера Ламба из-за выбросов ТЭЦ, работавшей на мазуте с момента ввода в эксплуатацию до 2000-х гг. Накопление Zn связано с его высокой биологической ролью в жизнедеятельности многих живых организмов, максимальное накопление этого ТМ приходится на кости окуня и плотвы оз. Ламба, меньшее – на печень, минимальное – на мышцы, что соответствует литературным данным по северу России (Даувальтер, 2012) и Сибири (Попов и др., 2015). Наибольшая биоаккумуляция Cu, V, Pb и Cr приходится на печень обоих видов рыб, аналогичные закономерности установлены польскими учеными по Cd, Pb и Cu (Szarek-Gwiazda, Amigowicz, 2006). Никель в окунях озера Ламба наиболее активно накапливается в костях, в плотве – в печени, Cd, наоборот, в плотве – в костях, а в окунях – в печени. Последний факт может быть связан с тем, что Cd поступает в организм рыбы через кальциевые каналы, вытесняя Ca из белков переносчиков (Голованова, 2008). То же самое происходит и с Zn.

Анализ корреляционной матрицы изученных тяжелых металлов (табл.2) позволил установить очень высокий уровень тесноты связи в парах Cr-V, V-Ni, V-Cu, V-Pb, Cr-Ni, Cr-Cu, Cr-Pb, Ni-Cu, Zn-Ni, Ni-Pb, Cu-Pb и Zn-Cd, что говорит о единстве биоаккумуляции этих металлов в организме исследованных рыб. При этом Cd имеет весьма слабую корреляционную зависимость с другими элементами, кроме Zn.

Высокий уровень корреляционной зависимости между V и Cr ($R=0.99$), Ni ($R=0.79$) и Pb ($R=0.87$), скорее всего, связан с общностью поступления этих элементов в водную среду городского озера от сгорания мазута на ТЭЦ, так как, кроме V, в составе мазута в значительном количестве могут присутствовать перечисленные ТМ (Гоголашвили, Гарифзянов, 2007).

Таблица 2

Результаты парного корреляционного анализа Пирсона

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd
Cr	0.99 ^a	1.00				
Ni	0.79 ^a	0.80 ^a	1.00			
Cu	0.71 ^a	0.76 ^a	0.54 ^a	1.00		
Zn	0.45 ^b	0.44 ^b	0.61 ^a	0.40 ^c	1.00	
Cd	0.15	0.13	0.18	0.02	0.51 ^a	1.00
Pb	0.87 ^a	0.90 ^a	0.79 ^a	0.66 ^a	0.28	0.11

Примечание. Буквами в верхнем индексе отмечены уровни значимости корреляционной связи: a – $p < 0.001$, b – $p < 0.01$, c – $p < 0.05$.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что загрязнение водных экосистем поллютантами в результате хозяйственной деятельности проявляется в накоплении их в тканях и органах гидробионтов с продолжительным жизненным циклом (в первую очередь – рыбах). Водные организмы обладают способностью к регулированию концентраций ТМ. Однако в больших количествах они накапливаются в тканях гидробионтов, что приводит к нарушению важнейших функций организма. Развитие заболеваний рыб приводит к их гибели, сокращению продолжительности жизни, что отражается на структуре популяции. В связи с тем, что токсическое действие ТМ определяется не столько накоплением одного элемента, сколько их комплексом и взаимосвязью с другими веществами, для определения их токсичности для организма необходимо продолжить исследования в этом направлении. В целом исследования сообществ гидробионтов позволяют установить степень влияния на живой организм различных факторов и могут быть использованы для прогноза различного рода воздействий на водные экосистемы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00026 мол_a.

Литература

1. Герд С. В. Некоторые зоогеографические проблемы изучения рыб Карелии // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Вып. 2. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Финской ССР, 1949. С. 100-115.
2. Гоголашвили Э. Л., Гарифзянов А. Р. Проблемы анализа ванадия в сточных водах тепловых электростанций // Энергетика Татарстана. 2007. № 3. С. 60-63.
3. Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99-108.
4. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
5. Дегбуадзе Ю. Ю., Чернова О. Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 315 с.
6. Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидробиоценозы Костомукшского водохранилища (бассейн Белого моря) в условиях техногенного загрязнения // Известия Самарского НЦ РАН. 2013. Т. 15. № 3-3. С. 916-920.
7. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон в водоемах г. Петрозаводска (Республика Карелия) // Труды Карельского НЦ РАН. 2014. № 2. С. 43-50.
8. Моисеенко Т. И. Водная токсикология. Теоретические и прикладные аспекты. М: Наука, 2009. 400 с.

9. Попов П. А., Андросова Н. В., Попов В. А. Содержание тяжелых металлов в организме Сибирского Ельца (*Leuciscus leuciscus baicalensis*) // Вода: химия и экология. 2015. № 11. С. 88-92.
10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
11. Сидоров Г. П., Решетников Ю. С. Лососеобразные рыбы водоемов европейского Северо-Востока. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 346 с.
12. Слуковский З. И., Медведев А. С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия, 2015. № 1. С. 56-62.
13. Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Изучение пространственно-временных особенностей накопления некоторых тяжелых металлов в организмах сига водоемов северной Фенноскандии // Вестник Кольского НЦ РАН. 2010. № 1. С. 57-62.
14. Lydersen E., Lofgren S. Potential effects of metals in reacidified limed water bodies in Norway and Sweden // Environmental Monitoring and Assessment. 2002. Vol. 73. Issue 2. P. 155-178.
15. Szarek-Gwiazda E., Amirowicz A. Bioaccumulation of trace elements in roach, silver bream, and perch living in an inundated opencast sulphur mine // Aquatic Ecology. 2006. Vol. 40. Issue 2. P. 221-236.

П. М. Терентьев, Н. А. Кашулин

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
p_terentjev@inep.ksc.ru*

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЫБАХ БАБИНСКОЙ ИМАНДРЫ

Водосборный бассейн и воды крупнейшего в Мурманской области оз. Имандра находятся под влиянием мощнейшего долговременного и многофакторного загрязнения (Антропогенные..., 2002; Моисеенко, 1980, 1991; Моисеенко, Яковлев, 1990; Крючков и др., 1984, 1985; Кашулин и др., 2007; Чижиков и др., 1976). Несмотря на снижение интенсивности промышленной деятельности конца 1990-х гг. нагрузка тяжелых металлов на экосистему оз. Имандра остается на значительном уровне. При значительной техногенной нагрузке на оз. Имандра, плес Бабинская Имандра не подвержен влиянию прямого промышленного загрязнения и в значительной степени сохраняет черты естественного водоема. Со строительством Кольской АЭС гидрологический, а затем и гидрохимический режимы западной части плеса был значительно изменен (Моисеенко, Яковлев, 1990). Наибольшую актуальность, при оценке величин антропогенной нагрузки на пресноводные экосистемы наряду с изучением донных отложений (Dauvalter, 1998; Rognerud, 1993), представляет анализ накопления токсических веществ в организмах рыб (Мур, Рамамурти, 1987; Кашулин, 2004; Ptashynski and Klaverkamp, 2002). Исследования состояния рыбной части сообщества оз. Имандра имеют достаточно продолжительную историю, включая и особенности накопления тяжелых металлов в организмах рыб (Антропогенные..., 2002; Берг, 1948; Берг и Правдин, 1948; Кашулин и др., 2007; Крогиус, 1926а, 1926б; Моисеенко и Яковлев, 1990; Терентьев и Кашулин, 2012; Рихтер, 1926, 1927). Целью данной работы являлось изучение особенностей накопления меди и никеля в тканях рыб Бабинской Имандры, испытывающей наименьшие уровни аэротехногенной нагрузки (рис.1).

Оценка содержания ТМ в рыбе и выявление закономерностей их накопления наиболее эффективна на основе анализа их концентраций в органах-мишенях. Далее рассмотрение указанных закономерностей приведено для органов и тканей с наиболее высокими показателями накопления металлов на примере сига. Анализ уровней накопления тяжелых металлов в тканях сига проводился для трех районов (губы Молочная, Бабинской и южной части Йокостровской Имандры).

Медь. Содержание меди в органах сига исследованного района не выявило закономерностей, связанных с влиянием термификации вод. Содержание металла в почках характеризовались более высокими средними показателями в губе Молочной и Бабинской Имандре (г. Кунчасть). В жабрах, скелете и мышечной ткани накопление меди у сига разных районов отличалось незначительно. Минимальные средние концентрации (менее 1 мкг/г) были зарегистрированы в мышцах сига. В целом, наиболее высокие величины накопления металла отмечались в печени рыб. Максимальное содержание меди в печени (97.5 и 94.9 мкг/г сух. веса) отмечено в районе Узкая Салма и о. Хорт, соответственно. Однако наиболее высокие средние концентрации меди в печени сига были

характерны для рыб, выловленных вблизи о. Хорт, т.е. акватории Бабинской Имандры и губы Молочная (до 46.7 и 37.7 мкг/г) (рис.2). Содержание меди в органах рыб снижалось в следующей последовательности: печень>почки>скелет>жабры>мышцы. Статистически достоверными различия в накоплении меди в печени сига, как в индикаторном органе были лишь для Бабинской и Йокостровской Имандры ($t=2.58$; $P>0.99$).

Вероятно, нагрузка меди на организмы сига в пределах Бабинской Имандры выше по сравнению с Йокостровским плесом, и может определяться более высоким уровнем поступления с территории водосбора и донных отложений.

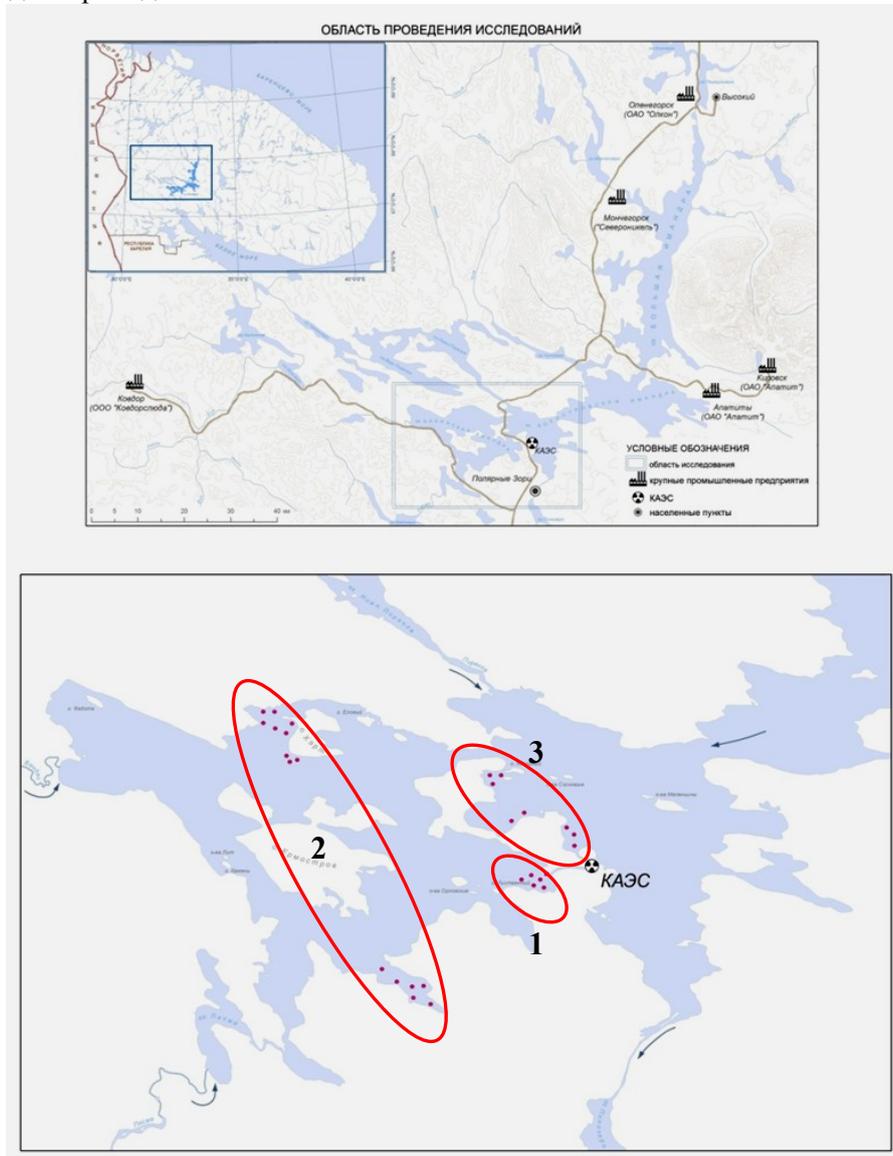


Рис.1. Схема района ихтиологических исследования (точками обозначены места постановки сетей) (1 – губа Молочная; 2 – Бабинская Имандра; 3 – Южная часть Йокостровской Имандры)

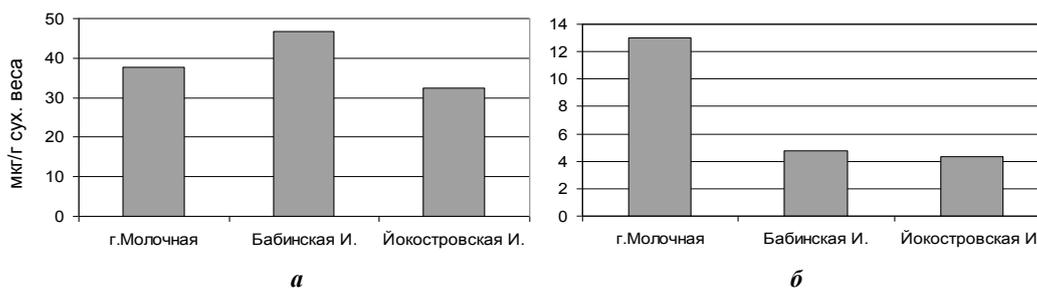


Рис.2. Среднее содержание меди печени (а) и никеля в почках (б) сига исследованного района (в мкг/г сух. веса)

Никель. Как правило, никель наиболее интенсивно накапливается в почках рыб. В меньших количествах – в костной ткани, жабрах и печени. Данные закономерности характерны и для сига рассматриваемого района. Показатели содержания никеля в среднем были наиболее высокими у рыб в районе г. Молочная и достигали 13 мкг/г сухого веса (максимальные до 19.4) (рис.2). По-видимому, это может быть связано с более высокими содержаниями металла в подогретых водах, поступающих в губу. Так, среднее содержание никеля в почках и жабрах сига г. Молочной были практически в 3 раза выше по сравнению с районами Бабинской ($t=6.81$; $P>0.99$) и Йокостровской Имандры ($t=6.81$; $P>0.99$), что было статистически подтверждено. В костной ткани концентрации никеля у рыб разных районов изменялись незначительно. Концентрации никеля в исследованных органах сига снижались в ряду: почки>скелет>жабры>печень>мышцы.

Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в организмах сига Бабинской Имандры на основе материалов 1980-х гг. и в настоящее время выявил общую закономерность к снижению их содержания, что может свидетельствовать о значительном уменьшении нагрузки ТМ на акваторию Бабинской Имандры (табл.1).

Таблица 1

Содержания тяжелых металлов (в мкг/г сух. веса) в органах сига Бабинской Имандры по результатам исследований 1980-х гг. и 2011 г.
(верхняя строчка – среднее значение, нижняя – пределы варьирования)

Год	Ni	Cu	Zn	Mn	Sr
период	мышцы				
1980-е	0.6	1.6	37	0.8	7.5
	0.3-1.1	0.4-4.5	5-51	0.5-1.2	2.3-14.0
2011	0.8	0.8	21	1.9	14.4
	0.6-1.3	0.58-1.29	16-28	0.78-6.53	1.2-26.9
	печень				
1980-е	1.2	66	176	9.9	4.1
	0.8-1.7	34-92	139-214	6.4-13.0	1.6-10.0
2011	1.3	47	230	8.8	2.3
	0.4-2.6	5-95	55-434	1.8-19.1	0.2-8.0
	почки				
1980-е	11.5	11.0	322	7.3	8.5
	0.6-23.0	6.4-19.0	204-580	2.3-18.0	6.0-16.0
2011	4.7	8.1	278	4.8	6.6
	1.8-13.4	2.7-13.1	122-807	1.4-19.3	2.2-15.2
	жабры				
1980-е	2.6	3.7	1521	35	91
	0.5-8.4	2.0-4.9	634-2410	28-47	91-126
2011	2.1	2.1	388	16	126
	1.2-3.1	1.4-6.3	75-1187	6-56	3-171
	скелет				
1980-е	5.3	4.0	430	78	455
	4.4-6.1	1.3-10.0	143-892	50-116	268-623
2011	5.5	2.1	148	25	529
	3.3-12.5	0.8-4.6	82-227	15-40	276-857

В то же время, выраженная обособленность губы Молочная от остальной акватории Бабинской Имандры проявляется в особенностях накопления тяжелых металлов за различные периоды исследований. Если для Бабинской Имандры в целом в настоящее время отмечается тенденция к снижению содержания ТМ в рассматриваемых органах сига, то для г. Молочной эта зависимость имеет противоположный характер. Наиболее отчетливо это проявляется для органов-мишеней, где накопление ТМ происходит более интенсивно (рис. 3). Для исследованного плеса отмечено снижение

содержания никеля и меди, что может быть обусловлено уменьшением общей антропогенной нагрузки на экосистему водоема за последние десятилетия. Отчасти эти данные согласуются с гидрохимическими данными. Было показано, что за последнее время содержание никеля в Бабинской Имандре снизилось: 1978 г. – 4.7 мкг/л; 1979 г. 4.8 мкг/л; 1984 г. – 13.1 мкг/л; 1985 г. – 24.3 мкг/л; в 1990 г. – 10.9 мкг/л; в 2001 г. – 2.1 мкг/л. Вместе с тем, по материалам предыдущих исследований содержания меди и никеля в органах сига губы Молочная были ниже современных показателей (рис.3).

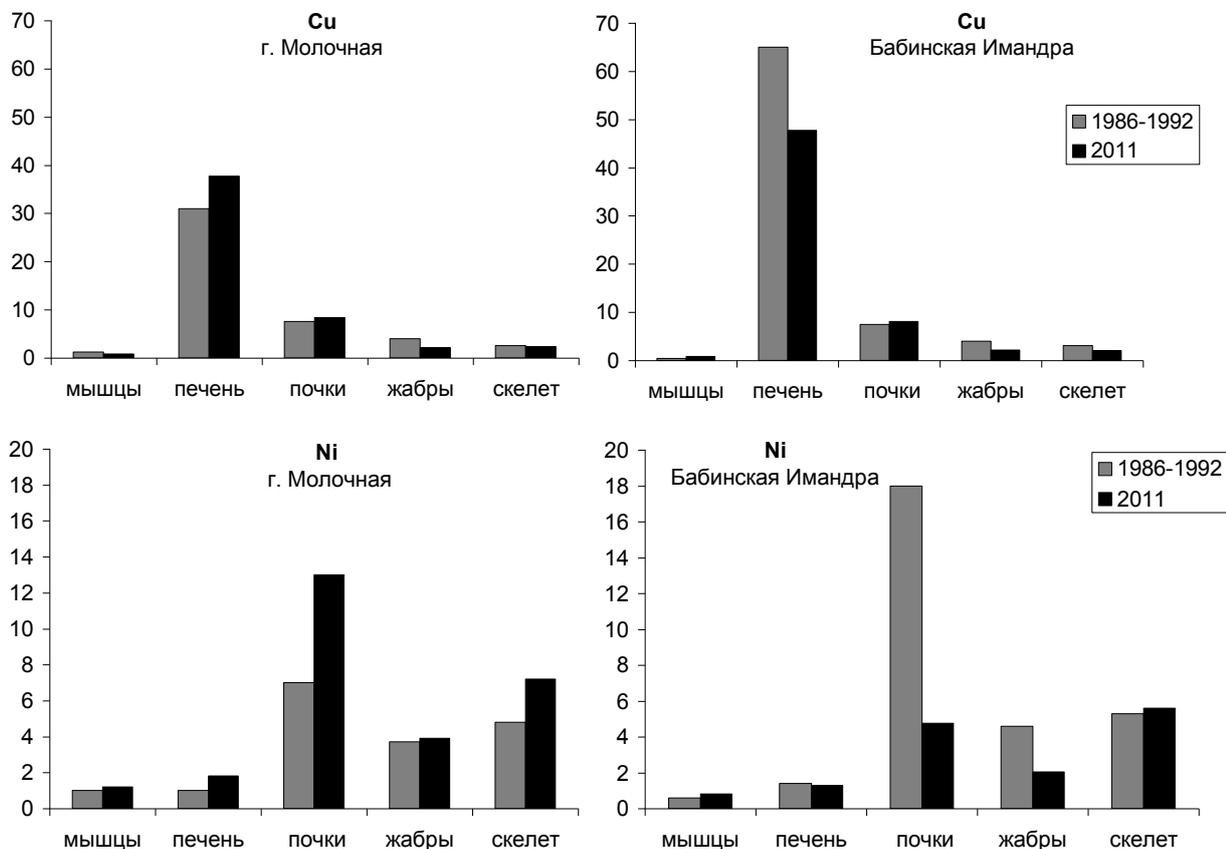


Рис.3. Средние содержания тяжелых металлов в органах сига губы Молочная и Бабинской Имандры за различные периоды исследований (в мкг/г сухого веса)

Причиной указанных особенностей накопления ТМ в рыбах может являться то, что в пределах рассматриваемой акватории оз. Имандра отсутствуют условия изолированного развития рыб, а их миграционная активность обуславливает относительно равномерную нагрузку тяжелых металлов на организм. Более высокие содержания рассматриваемых элементов в органах-мишенях приурочены к акватории губы Молочная, что может быть обусловлено с одной стороны более высокой активностью тяжелых металлов в подогретых водах. С другой стороны, благоприятные условия для нагула рыб в г. Молочная, связанные с функционированием форелевого комплекса и мягкий температурный режим, вероятно, обуславливают достаточно продолжительное пребывание сига в акватории губы. Следствием этого могут быть более высокие уровни накопления тяжелых металлов в организме. Кроме того, в пределах указанной губы могут встречаться рыбы практически со всей акватории Бабинской и прилегающей части Йокостровской Имандры.

Проведенный статистический анализ сходства исследованных районов на основе накопления ТМ в органах и тканях сига показал, что наиболее близкими по характеру концентрирования металлов у рыб являются район о. Хорт (Бабинская Имандра) и Узкой Салмы (Йокостровская Имандра). Противоположная направленность накопления ТМ у рыб губы Молочная и Кунчаст (Бабинская Имандра) определяется различными факторами, что закономерно ввиду их расположения и уровня нагрузки (рис.4). Для губы Молочная в условиях термофикации отмечены более высокие уровни накопления ТМ в рыбах в отличие от акватории Бабинской Имандры в целом. Для губы Кунчаст же, напротив, антропогенная нагрузка минимальна и данный район в наибольшей степени сохраняет черты природного водоема.

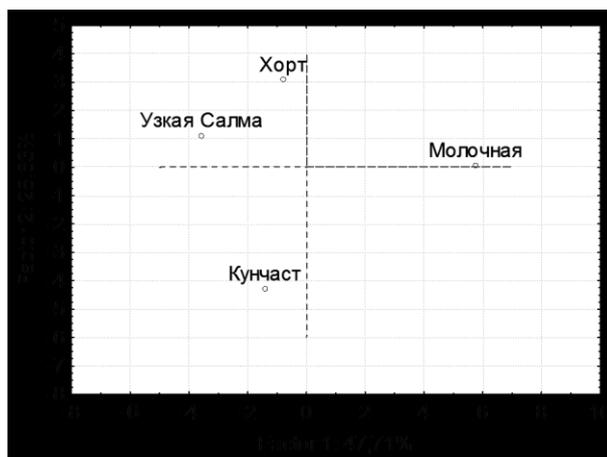


Рис.4. Классификация районов исследования на основе особенностей накопления тяжелых металлов в организмах сига)

Установлено, что накопление никеля имеет высокую степень взаимозависимости между организмами сига и донными отложениями в исследованных районах Бабинской и прилегающей части Йокостровской Имандры. При этом, определяющим фактором взаимного влияния является никель. Ранее нами было показано, что никель, как более активный с биологической точки зрения металл может определять накопление других металлов в организме (Кашулин, 2004; Kashulin et al., 2011). Это подтверждает, что концентрирование указанных элементов зависит от особенностей обитания и типа питания рыб. Сиг, являющийся бентофагом, в условиях современной нагрузки тяжелыми металлами более уязвим и восприимчив к их накоплению в организме. Следует отметить, что аналогичные закономерности отмечались у сига ряда водоемов Мурманской области в условиях малых доз воздействия (фоновые районы) (Кашулин и др., 2007). Указанные особенности позволяют использовать сига обыкновенного в качестве наиболее показательного тест-объекта при оценке загрязнения водоемов тяжелыми металлами и в особенности никеля, как приоритетного загрязняющего элемента региона.

Содержание ряда металлов в отдельных органах сигов современной популяции, свидетельствует о сохраняющемся «токсическом резерве» тяжелых металлов, накопленных на территории водосбора и седиментах водоема. Открытость исследованного плеса и связь с системой оз. Имандра подразумевает возможную миграцию рыб из более загрязняемых частей озера, что проявляется в отдельных «экстремальных» величинах накопления ТМ в исследованных органах во всех рассматриваемых районах. В целом, на современном этапе функционирования крупнейшего водоема Мурманской области в условиях существующей антропогенной нагрузки Бабинская Имандра может рассматриваться как фоновый район при оценке состояния экосистемы оз. Имандра.

Литература

1. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / под ред. Т. И. Моисеенко / М.: Наука, 2002. 403 с.
2. Аршаница Н. М., Лесников Л. А. Патологоморфологический анализ состояния рыб в полевых и экспериментальных токсикологических исследованиях // Методы ихтиотоксикологических исследований. Л.: ГосНИОРХ НПО Промрыбвод, 1987. С. 7–9.
3. Атлас пресноводных рыб России (под ред. Ю.С. Решетникова). М.: Наука, 2003. Т. 1. 379 с., Т. 2. 253 с.
4. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Изд. АН СССР. Ч. I, II, III. 1948. 1381 с.
5. Берг Л. С., Правдин И.Ф. Рыбы Кольского полуострова. Л.: Изв. ВНИОРХ, т. XXVI, вып. 2. 1948. 267 с.
6. Галкин Г. Г., Колюшев А. А., Покровский В. В. Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1966. С. 177-193.
7. Кашулин Н. А. Рыбы малых озер Северной Фенноскандии в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2004. 130 с.

8. *Кашулин Н. А., Терентьев П. М., Королева И. М.* Долговременные изменения структуры популяции сига *Coregonus lavaretus* озера Чуозеро под воздействием малых (фоновых) доз загрязнения // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л. А. Кудерского). Сб. науч. трудов. Вып. 337. 2007. С. 544-561.
9. *Крогиус Ф. В.* Ихтиологические работы на озере Имандра // Работы Мурманской биологической станции. Т.2. 1926. С. 150-152.
10. *Крогиус Ф. В.* Материалы по возрасту и темпу роста сига оз. Имандра // Работы Мурманской биологической станции. Т. 2. 1926. С. 77-87.
11. *Крючков В. В., Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Воздействие подогретых вод Кольской АЭС на гидрологический гидрохимический режим губы Молочная озера Имандра заключительный отчет по договору № 2571) 1984 г.
12. *Крючков В. В., Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Экология водоемов-охладителей в условиях Заполярья. Апатиты. 1985. 131 с.
13. *Моисеенко Т. И.* Ихтиофауна озера Имандра // Экосистема озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. КФАН СССР. 1980. С. 48-58.
14. *Моисеенко Т. И.* 1991. Закисление и загрязнение тяжелыми металлами поверхностных вод Кольского Севера. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН. 47 с.
15. *Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 220 с.
16. *Мур Дж., Рамамурти С.* Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. М.: Мир, 1987. 288 с.
17. *Рихтер Г. Д.* Очерки исследований оз. Имандра // Работы Мурман. биол. ст.. Т.2. Мурманск, 1926. С. 32-68.
18. *Рихтер Г. Д.* Обзор работы Имандровской экспедиции за 1924 - 1926 гг. Л.: Изд. упр. Мурман. ж.д.. 1927. 136 с.
19. *Терентьев П. М., Кашулин Н. А.* Трансформации рыбной части сообществ водоемов Мурманской области // Труды Кольского НЦ РАН. Изд-во Кольского НЦ РАН. Вып. 2. 2012. С. 61-100.
20. *Чижиков В. В., Воробьева Д. Г., Моисеенко Т. И., Степанов И. Р.* Окончательный отчет по теме «Комплексное изучение Йокостровской и Бабинской Имандры и разработка рекомендаций по рациональному использованию водоема» № 11 – 72 – 16 в соответствии с планом научно-исследовательских работ на 1971-1976 гг. в 2-х томах. Т. I. Текст. 1976. 276 с.
21. *Dauvalter V. A.* Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia // Science of the Total Environment, 158, 1994. P. 51–61.
22. *Kashulin N. A., Terentyev P. M., Amundsen P. A., Dauvalter V. A., Sandimirov S. S., Kashulin A. N.* Specific features of accumulation of Cu, Ni, Zn, Cd, and Hg in two whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) morphs inhabiting the Inari–Pasvik lacustrine–riverine system // Inland water biology. V. 4. № 3. 2011. P. 383-392.
23. *Ptashynski M. D., Klaverkamp J. F.* Accumulation and distribution of dietary nickel in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) // Aquatic toxicology. V. 58, 2002. P. 249-256.
24. *Rognerud S., Fjeld E.* Regional survey of heavy metals in lake sediments in Norway // Ambio. V. 22. 1993. P. 206-212.

И. А. Терентьева, Н. А. Кашулин, Л. П. Кудрявцева

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
terentjeva@inep.ksc.ru*

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОТСТОЙНИКА (ОЗЕРО НЮДЬЯВР)

Мурманская область является одним из центров горно-добывающей и перерабатывающей промышленности. Интенсивное освоение богатых месторождений полезных ископаемых этого региона и трансграничные переносы загрязняющих веществ привели к быстрому нарушению хрупкого экологического равновесия уже во многих урбанизированных районах и стремительному

качественному истощению водных ресурсов. Деятельность горно-металлургического комбината «Североникель» Кольской ГМК, расположенного в Мончегорском районе привела к загрязнению наземных и водных экосистем на достаточно больших территориях. В водоемах, непосредственно принимающих сбросы сточных вод, произошли существенные изменения гидрохимических параметров. Одним из наиболее загрязненных водоемов в зоне влияния комбината является оз. Нюдъявр. Этот водоем и территория его водосбора полностью утратили свойства природной экосистемы (Кашулин и др., 2007).

В мае 1961 года Комитет по водному хозяйству закрепил за предприятием «Североникель» всю акваторию оз. Нюдъявр в качестве отстойного бассейна (www.lapland-nature.info). Озеро было разделено насыпной дамбой на южную часть, принимавшую заводские стоки, и северную, в которую помимо смешанных вод с южной части поступают воды озер, находящихся на территории водосбора. Производственный сток после известкования сначала осаждался в технологическом отстойнике – южной части оз. Нюдъявр, поступающая далее по трубам перетока в северную часть водоема. Большая часть загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами, осаждалась в южной части Нюдъявра и около 20 % в северной (www.lapland-nature.info).

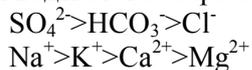
При производстве электролитного никеля в результате применения химикатов образуются жидкие отходы, содержащие хлорид и сульфат натрия, борную кислоту и другие примеси. При существующих технологических схемах никелевого производства и очистки его отходов полностью устранить примеси не удавалось и в настоящее время планируется проект по утилизации солевого стока никелевого рафинирования. Проектом предусмотрено строительство установки упарки солевого стока, с получением: товарного сульфата натрия, хлорида натрия, пригодного для производства хлора и каустической соды, отсежного раствора, содержащего бор, хлорид и карбонат натрия (Инвестиционный проект, 2011).

Цель работы - проанализировать имеющиеся гидрохимические данные за продолжительный период наблюдений. Оценить изменение в соотношении основных ионов, pH, минерализации, а также основных металлов-загрязнителей.

В ходе анализа имеющихся материалов по оценке динамики изменения гидрохимических показателей исследуемого водоема было показано, что водородный показатель поверхностных вод оз. Нюдъявр относится к щелочным и сильнощелочным, хотя в природном состоянии воды имели pH = 6.4-7.2 (Материалы..., 1935). Повышение pH в щелочную сторону связано с присутствием соды, которую использовали для нейтрализации солевого стока на предприятии до недавнего времени. В слабощелочных и сильнощелочных водах происходит осаждение в форме нерастворимых солей многих металлов в осадках водоема.

Установлено, что поступление сточных вод в озеро привело к существенному росту минерализации данного водоема. Среднегодовые значения минерализации воды озера составляют 865 мг/л. Максимальные значения зарегистрированы в зимний период в диапазоне 1116-1498 мг/л., что по классификации Алекина переводит озеро из пресных вод в солоноватые с минерализацией выше 1 г/л (Алекин., 1953).

Многолетнее поступление загрязняющих веществ с водосбора и непосредственный вклад сточных вод привели к тому, что в соотношении основных анионов и катионов преобладают техногенно-привнесенные сульфаты и натрий. В природном состоянии озеро, как и большинство озер Кольского полуострова, относилось к классу гидрокарбонатов (Даувальтер и др., 2009). В настоящее время воды этого озера соответствуют классу сульфатов, группе натрия.



Преобладающим анионом водоема являются сульфаты, на их долю приходится до 60 %, доля хлоридов составляет 30 %, и только около 9 % – гидрокарбонаты. Хотя в последние годы уровень сульфатов снизился, но по сравнению с природным состоянием продолжает сохраняться очень высокая степень загрязнения этим анионом (рис.1).

Среди катионов на долю натрия приходится 89%, калия – 6%. Как видно, из полученных результатов, на втором месте по содержанию, в данном озере находится ион калия. Подобное соотношение катионов наблюдалось и в период исследований 2001-2002 гг. (Даувальтер и др., 2009), что мало характерно для северных водоемов с распределением катионов $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Согласно анализу межгодовой динамики содержания основных катионов, по величинам коэффициентов детерминации (R^2) наблюдается тренд снижения концентрации натрия в исследуемом водоеме, а для калия отмечено увеличение содержания в озере (рис.2).

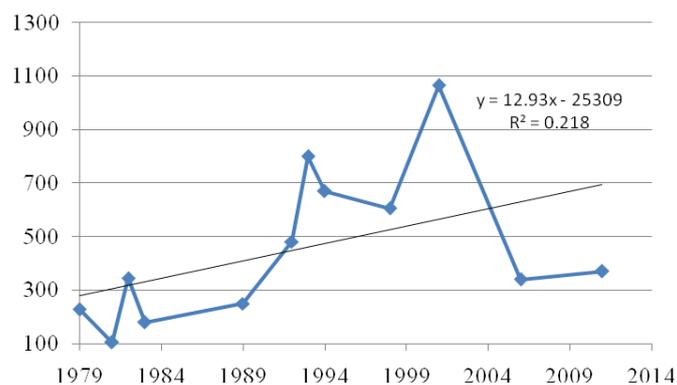


Рис.1. Межгодовая динамика содержания сульфатов (мг/л) в оз. Нюдъявр



Рис.2. Межгодовая динамика содержания основных катионов (мг/л) оз. Нюдъявр

Одними из главных загрязняющих микроэлементов, поступающих со сточными водами горно-металлургического предприятия и дымовыми выбросами с территории водосбора являются медь, никель и кобальт. ПДК по никелю и кобальту для рыбохозяйственных водоемов составляет 10 мкг/л, по меди – 1 мкг/л. Природное содержание этих микроэлементов достоверно трудно установить, в связи с низкой чувствительностью аналитических методов 1930-х гг. Одним из решений данной проблемы стала разработка величин условно-фоновых значений усредненных концентраций загрязняющих веществ в водоемах, удаленных от промышленных центров региона (Моисеенко и др., 2002). Условно-фоновое значение для никеля и меди не должно превышать 1 мкг/л.

По последним данным в озере Нюдъявр среднегодовое содержание никеля достигает 360 мкг/л, с максимумом до 828 мкг/л. Среднегодовое содержание кобальта находится на уровне 10 мкг/л, а максимальное отмеченное содержание – 23 мкг/л. Несмотря на снижение концентрации никеля и кобальта в исследуемом водоеме, в настоящее время существенно превышены рыбохозяйственные ПДК и условно-фоновые содержания (рис.3). У меди среднегодовая концентрация составляла 310 мкг/л, колебания в диапазоне от 150 до 660 мкг/л в зависимости от времени года. Полученные содержания меди в водоеме также значительно превышают установленные нормативы.

Можно предположить, что в случае прекращения солевого стока в данный водоем, восстановление и возврат к природному состоянию практически невозможен, поскольку как отмечалось более ранними исследованиями, озеро Нюдъявр полностью исчерпало свой самоочищающий потенциал (Кашулин и др., 2007). Поверхностные воды и донные отложения

водоема чрезвычайно загрязнены, и потребуются достаточно долгий период времени и значительные затраты на рекультивацию этого водоема. А также дополнительные меры по предотвращению попадания загрязненных вод оз. Нюдъявр по губе Монча в оз. Имандра.

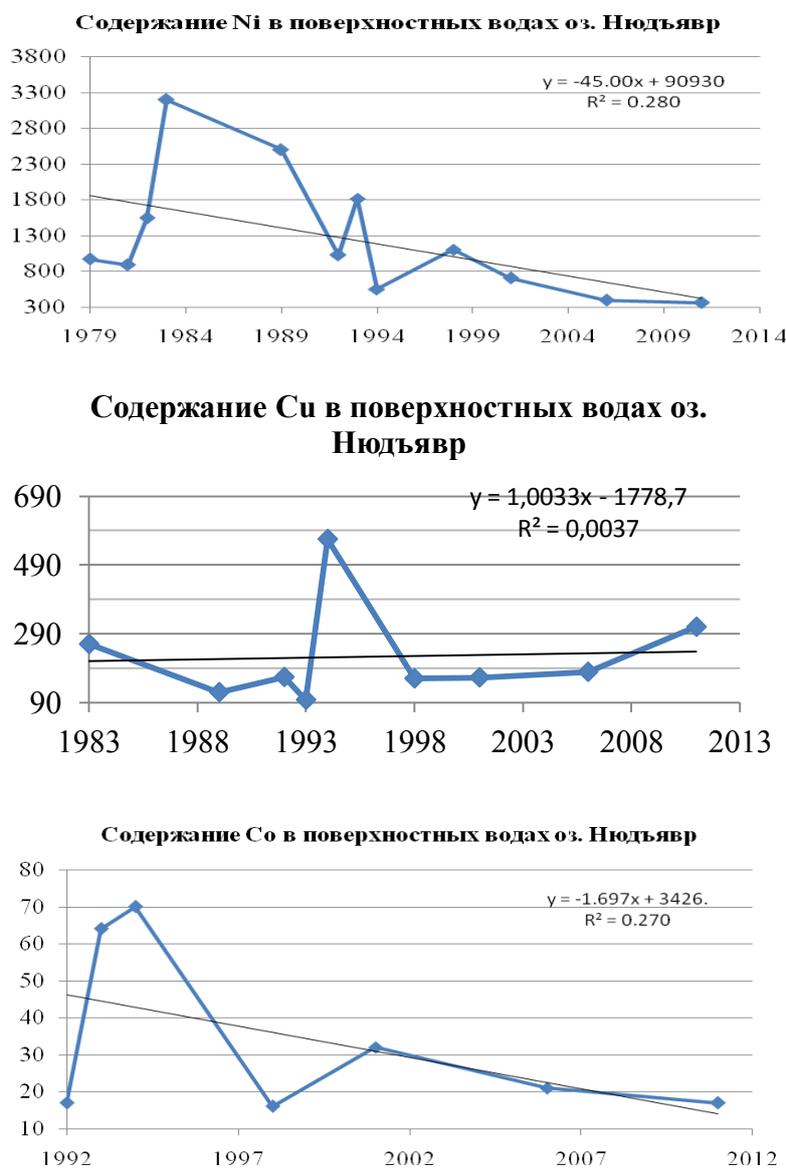


Рис.3. Межгодовая динамика содержания основных загрязняющих микрокомпонентов (мкг/л) в оз. Нюдъявр

На фоне стремительного ухудшения качества мировых запасов питьевых пресных вод, снижения их рыбохозяйственной ценности и рекреационного потенциала, существование такого технологического отстойника в условиях Арктики и его дальнейшее взаимодействие с окружающей средой имеет наиболее выраженные отрицательные эффекты. На современном этапе необходима правильно организованная разработка комплекса водохозяйственных и экологических мер. Техногенная нагрузка на прилегающие территории предприятия горнопромышленного комплекса не должна опираться только на экономическую ресурсную перспективу использования и переработки полезных ископаемых.

Литература

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., 1953. 296 с.
2. Даувальтер В. А., Даувальтер М. В., Салтан Н. В., Семенов Е. Н. Химический состав поверхностных вод в зоне влияния комбината «Североникель». Геохимия, 2009. № 6. С. 628-648.

3. Инвестиционный проект ОАО «Кольская ГМК». Техническое переоснащение и экологические программы. 2011. 16 с.
4. Кашулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А. Гидроэкология: самоочищающая способность техногенно-трансформированного заполярного водоема (оз. Нюдъявр, Мурманская область). «Инженерная экология», 2007. № 4. С. 45-63.
5. Материалы Мончегорской лимнологической экспедиции 1933г., Л.: Гидрометеиздат, 1935. 224 с.
6. Мoiseenko Т. И., Даувальтер В. А., Лукин А. А., и др. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 487 с.
7. www.lapland-nature.info

A. A. Novichkova, A. I. Azovsky

*Lomonosov Moscow State University, Biological faculty, department of Hydrobiology
anna.hydro@gmail.com; aiazovsky@mail.ru*

FRESHWATER MICROCRUSTACEANS (CLADOCERA, COPEPODA) AT HIGH LATITUDES AND FACTORS AFFECTING ITS REGIONAL DIVERSITY AND DISTRIBUTION

Understanding the mechanisms controlling spatial patterns in species richness and community structure is among the major goals of modern ecology, essential to conserve biodiversity and ecosystem functions in the face of climate change and increased human disturbance. The impacts of climate change are expected to be the most severe in high-latitude regions as the result of accelerated warming in Arctic regions over the next century (Chapin et al., 2005; Serreze, Francis, 2006). Moreover, because of the strong climatic and environmental gradients, high latitude regions represent convenient areas to explore the environmental drivers of biodiversity (Rautio et al., 2008; Sweetman et al., 2010).

The broad general trend of decreasing biodiversity with increasing latitude has been described repeatedly for many groups, including microcrustaceans (Hebert, Hann, 1986). Predictably, this trend has often been correlated with decreasing temperature, which acts progressively to limit the poleward distributions of certain species (Hessen et al., 2007; Sweetman et al., 2010). The diversity patterns, however, are driven by multiple regional and local processes, acting differently across spatial scales (Azovsky, 2000; Azovsky et al., 2012; Pinel-Alloul et al., 2013). Therefore, there are a multitude of other factors besides temperature that could potentially influence the present compositions of invertebrate communities, both regional (e.g., geographical barriers to dispersal and past glaciations) and local (e.g., productivity, hydrology, water chemistry, and predation pressure). The multifactorial response of crustacean community structure has been repeatedly demonstrated (Hobæk et al., 2002; Hessen et al., 2007; Symons et al., 2014).

In the present study, we used a comprehensive database on freshwater microcrustaceans (cladocerans and copepods) from various Arctic regions, both insular and continental, to detect factors responsible for large-scale variations in species diversity and composition. The data were compiled from many sources, including both published literature (over 310 sources) and original data collected in 2011-2014 (Bekker et al., 2014, Novichkova et al., 2014, Novichkova, Chertoprud, 2015a,b). The following 27 pre-defined regions were considered: Hebrides, Faroe, Shetland, Greenland, Iceland, Svalbard, Franz Josef Land, Novaya Zemlya, Severnaya Zemlya, New Siberian Islands, Wrangel Island, Bering Island, Ellesmere Island, Prince Edward Island, Vancouver Island, Norway; northeast of European Russia (Malozemelskaya and Bolshezemelskaya tundra, to the west of the Polar Ural Mountains); western Siberia (between the Ural Mountains and the Yenisei River); eastern Siberia (from the lower reach of the Khatanga River to the Lena River delta); Chukotka Peninsula (far eastern Russia, the northeastern extremity of Asia); Alaska (the northwestern extremity of North America); and some regions of Arctic-Subarctic Canada (Yukon, Northwest Territories, Nunavut, Alberta, British Columbia, Ontario).

The total species list included 384 species (164 cladocerans and 220 copepods). The number of recorded species varied widely among regions, in general, the total richness decreased northwards, following the common latitudinal trend. To reveal the main factors determining this pattern, we performed stepwise regression analysis with eight predicting variables. The resultant “best fit” models included from one to three predictors each.

Our analysis strongly suggests that temperature per se (or temperature-related parameters) was the major explanatory variable in the freshwater crustacean species richness. Here, we use the annual mean air temperature of the warmest month as the climatic variable, assuming it could serve as a good proxy of summer water temperatures (Hessen et al., 2007). Temperature alone could explain 80-86% of the diversity variations for cladocerans and 48-66% for copepods. This result is in line with previous findings reporting temperature among the primary factors of crustacean diversity.

The effect of low temperatures was much stronger on cladocerans than on copepods. The regression models predicted that a one-degree drop in temperature led, all other things being equal, to a 53% decrease in cladoceran richness on average (to 48% - on islands). For copepods, the corresponding decreases were 17% and 24%, respectively. Hebert and Hann (1986) found that ponds in the low Arctic had 3-4 times as many species as those in the high Arctic. Patalas (1990) also demonstrated that climate was the most significant factor regulating the distribution of present-day zooplankton communities in Canada. He found a four-fold increase in species richness (from 8 to 35 species per lake) corresponding to an increase in the July air temperature from 3°C to 15°C. Interestingly, just the same increase in total diversity is predicted by our regression model. Similarly, temperature and energy-related factors were found to be the major determinants of the large-scale latitudinal pattern in crustacean species richness in the Norwegian lakes (Hessen et al., 2007) and Canadian Arctic (Sweetman et al., 2010).

The temperature of the warmest month was the only factor indispensably entered in every model (both as linear and quadratic terms). Second-order terms were also highly significant, indicating the non-linear effect of temperature. Indeed, a steep drop in diversity occurred if the summer temperature fell below 10-15°C, whereas the warmer temperatures had no noticeable effect. This difference in the diversity-temperature relationships resulted in the compositional changes along the climatic gradient: copepods predominated at temperatures below 13-15°C, whereas cladocerans came out on top in warmer regions. Similar relationship was found by Pinel-Alloul et al. (2013) for Canadian lake zooplankton, with the strongest effect of the mean annual air temperatures below 0-1°C. A similar exponential decrease in diversity with decreasing mean July temperature below 13-14°C was found in the Arctic for several other invertebrate taxa, e.g., spiders, beetles and butterflies (Hodkinson et al., 2013).

Apart from temperature, the total diversity of microcrustaceans positively correlated with the ice-free area of a region. Cladocerans also showed a similar species-area relationship. Copepod diversity showed no such relationship but significantly depended on the "glaciation history", being lower by a quarter in glaciated areas on average. Also, copepods were less diverse on the islands than on the mainland areas. When only the insular data were considered, copepod diversity was negatively correlated with the distance from the mainland. The importance of area as a predictor of regional diversity is the common rule in ecology, generally known as the "species-area relationship" (Rosenzweig, 1995). A significant species-landscape area relationship was reported earlier for freshwater invertebrates (Pinel-Alloul et al., 2013). Several types of reasons may underline this relationship. First, the area reflects the environmental heterogeneity of a region. Larger areas generally include both a wider variety of habitats and more types of water bodies (i.e., rivers, streams, lakes, and ponds). Additionally, larger areas cover wider ranges of eco-climatic factors, such as temperature, solar radiation, and elevation. On islands, a larger area may promote colonization via waterfowl.

Insularity and, for islands, the distance to the mainland, are statistically significant factors for copepods. An island located 100 km off-shore would, other things being equal, have 50% fewer copepod species than the same area on the mainland. This relationship indicates the role of open-sea as a strong barrier to copepod dispersal. Most freshwater microcrustaceans may disperse equally well via water, animal or aerial connections, rapidly migrating between discrete localities within a continent or even inter-continently, despite some limitations due to the priority effect ("monopolization hypothesis" - see De Meester et al., 2002). Nevertheless, dispersal limitation over broad scales (tens to thousands of kilometres) might constrain their geographic ranges and influence community structure (Weider, Hobaek, 1997; Havel, Shurin, 2004).

Together, these variables explained as much as 78-94% of the total variations in regional diversity of microcrustaceans.

Furthermore, the richness of copepods (and thus the total richness) tends to be significantly lower in areas that were glaciated during the Pleistocene compared to those not glaciated, all other things being equal. This result is consistent with some previous studies that reported a strong residual effect of glaciation on the biodiversity of invertebrate communities in the Arctic. The strength of this factor, estimated by the standardized regression coefficient, was, however, much weaker than the influence of other factors, such as

temperature or isolation. The 30% difference between glaciated and un-glaciated areas in our study is much slighter than the two- or three-fold difference reported by Hebert and Hann (1986) and Samchyshyna et al. (2008). Moreover, contrary to our expectations, we did not detect an evident influence of the glaciation history on the diversity of cladocerans.

Ordination of the regions by species composition yielded similar results for copepods and cladocerans: the pattern could be rationalized in two complementary ways: against climate (i.e., the “warm” and “cold” regions grouped) and against geography (i.e., the clear delineation of Eurasian and American regions). The climate-related configuration was more evident for cladocerans, whereas copepods demonstrated a more clear-cut distinction between the continents. The effect of two factors, insularity and glaciation history, appeared to be weak and insignificant, whereas the two others, climate and ecozone, showed highly significant effects. To analyze the combined effect of the last two factors, we performed two-way ANOSIM tests. The results confirmed the statistically significant differences between the contrasting regions, both by climate (cold vs. warm) and by ecozone (Palearctic vs. Nearctic), while the intermediate regions had no clearly distinct position, indicating the intermediate features in their species composition.

Several important points can be noted here. First, the Holarctic as a whole is noticeably different between its two parts in both diversity and composition, with the Palearctic being much richer due primarily to copepods. At high latitudes, however, these differences are rather weak; both the Palearctic and Nearctic sectors are equally rich (the latter is even slightly richer) and share many species in common. This parity indicates that the biota of the high latitudes consists primarily of species with broad ecological and geographical ranges. The same tendency is known for many other groups of plants and animals, though its generality and mechanisms are still debated (Ruggiero, Werenkraut, 2007). In particular, the increased proportion of species with wide (circumpolar) distribution may be caused by less spatial extension and higher connectedness of Arctic and Subarctic areas compared with temperate and tropical areas.

Second, cladocerans as a group much more successfully penetrate deep into high latitudes than copepods. Over 43% of all Holarctic cladocerans have been found in Arctic/Subarctic areas, whereas most copepod species occur only in temperate and/or tropical zones (Boxshall, Defaye, 2008; Holynska, 2011). Furthermore, the distinction between Palearctic and Nearctic faunas is sharper for copepods than for cladocerans, both at high latitudes and throughout the whole Holarctic. We discuss these peculiarities in a special section below.

The areas considered as transition zones between the Palearctic and Nearctic (Beringia and Greenland) were of particular interest and therefore analyzed in more detail. On the one hand, these areas are well-known glacial refugia for a number of taxa. On the other hand, both areas were formerly parts of the land bridges between the continents and thus served as the dispersal corridors for terrestrial organisms during the biotic exchanges between Palearctic and Nearctic. Paleontological and genetical evidences indicate that the majority of Arctic biota, including plants, vertebrates and some invertebrates, originated in the Palearctic, from which species penetrated to the northern parts of East Asia and then to America over the Bering Land Bridge (Briggs, 1995; Eidsen et al., 2007). If microcrustaceans followed the common way during post-glacial colonization (via vectors such as melted water bodies or waterfowl), we can expect some asymmetry in their current distribution pattern. For instance, Samchyshyna et al. (2008) reported that crustaceans found in the Alaskan part of Beringia inhabit both the Asian and American sides of Beringia, whereas some species from the western side are restricted to Eurasia. Our data, however, show a remarkable symmetry in the distribution of different biogeographic elements across Beringia: the number of Palearctic species that spread their ranges eastward (11) is almost similar to the number of Nearctic species that spread westward (9). There are equal numbers of putative endemics in both parts of Beringia (10 species each). Therefore, the present-day distribution pattern of freshwater crustaceans does not indicate a prevalence of either one of these intercontinental migration routes.

Greenland has traditionally been included within the Nearctic zoogeographical realm. However, it has long been recognized that invertebrate fauna of this landmass are not exclusively nor typically Nearctic, and thus it might represent a distinct zoogeographical unit (Böcher, 1988; Bergersen, 1995); it could even be treated as a part of the Palearctic (Holt et al., 2013). Judging by the MDS ordination, microcrustacean fauna in Greenland display clearer affinities with the Palearctic: along with the 58 Holarctic or cosmopolitan species, it includes 5 Palearctic and 3 Therefore, the zoogeographical status of the Greenland freshwater invertebrate fauna remains uncertain. The overwhelming prevalence of widely distributed species and an almost equal percentage of other biogeographical elements indicate that the island has been repeatedly colonized from various geographic sources.

Thus, the contemporary crustacean fauna of transition zones apparently represents an amalgam of elements of various origins that underwent repeated range fragmentations, postglacial expansions, and recolonizations. Uncovering this complicated history must be addressed based on the methods of phylogenetics and phylogeography and is far beyond the scope of the present study.

Our findings may have direct implications for assessing the effects of global climate changes. Global circulation models suggest that future global warming will be most pronounced at high latitudes (e.g., Moritz et al., 2002). As the climate becomes milder in the high Arctic, more species will be able to pass the “temperature barrier” and expand their ranges northward. Accordingly, we can expect cladocerans, which are more limited by temperature but have faster dispersal than copepods, to respond more intensively and become dominant both in diversity and abundance. Indeed, some authors have reported an increase in the proportion of cladocerans in freshwater zooplankton due to a warming climate (Hampton et al., 2008; Thompson et al., 2008; Visconti et al., 2008). In the future, this process may result in noticeable shifts in the structure and functioning of freshwater ecosystems.

Acknowledgements

This research was supported by the Russian Science Foundation, grant №14-14-00778.

Literature

1. *Azovsky A. I., Garlitska L. A., Chertoprud E. S.* (2012) Broad-scale patterns in local diversity of marine benthic harpacticoid copepods (Crustacea). *Mar Ecol-Prog Ser* 460:63-77.
2. *Azovsky A. I.* (2000) Concept of scale in marine ecology: linking the words or the worlds? *Web Ecol* 1(1):28-34.
3. *Bekker E. I., Novichkova A. A., Kotov A. A.* (2014) New findings of *Eurycercus* Baird, 1843 (Cladocera: Anomopoda) in the Eastern Palaearctic. *Zootaxa* 3895(2):297-300.
4. *Bergersen R.* (1995) Special Paper: Is Greenland a Zoogeographical Unit of Its Own? *J Biogeogr* 1-6.
5. *Böcher J.* (1988) The Coleoptera of Greenland. *Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck*
6. *Boxshall G. A., Defaye D.* (2008) Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1):195-207.
7. *Briggs J. C.* (1995) *Global biogeography*. Elsevier, Amsterdam
8. *Chapin F.S., Sturm M., Serreze M. C., McFadden J. P., Key J. R., Lloyd A. H. et al* (2005) Role of land-surface changes in Arctic summer warming. *Science* 310(5748):657-660.
9. *De Meester L., Gómez A., Okamura B., Schwenk K.* (2002) The Monopolization Hypothesis and the dispersal-gene flow paradox in aquatic organisms. *Acta Oecol* 23:121-135.
10. *Eidesen P. B., Alsos I. G., Popp M., Stensrud Ø., Suda J., Brochmann C.* (2007). Nuclear vs. plastid data: complex Pleistocene history of a circumpolar key species. *Molec Ecol* 16:3902–3925.
11. *Hampton S. E., Izmet'eva L. E., Moore M. V., Katz S. L., Dennis B., Silow E. A.* (2008) Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake—Lake Baikal, Siberia. *Glob Change Biol* 14(8):1947-1958.
12. *Havel J. E., Shurin J. B.* (2004) Mechanisms, effects, and scales of dispersal in freshwater zooplankton. *Limnol Oceanogr* 49(4):1229-1238.
13. *Hebert P. DN., Hann B. J.* (1986) Patterns in the composition of arctic tundra pond microcrustacean communities. *Can J Fish Aquat Sci* 43:1416-1425.
14. *Hessen D. O., Bakkestuen V., Walseng B.* (2007) Energy input and zooplankton species richness. *Ecography* 30(6):749-758.
15. *Hobæk A., Manca M., Andersen T.* (2002) Factors influencing species richness in lacustrine zooplankton. *Acta Oecol* 23(3):155-163.
16. *Hodkinson I. D., Babenko A., Behan-Pelletier V., Böcher J., Boxshall G., Brodo F. et al* (2013) Terrestrial and freshwater invertebrates. *Arctic Biodiversity Assessment. Status and Trends in Arctic Biodiversity*. Akureyri, Iceland: Conservation of Arctic Flora and Fauna 193-223.
17. *Holt B. G., Lessard J. P., Borregaard M. K., Fritz S. A., Araújo M. B., Dimitrov D. et al* (2013) An update of Wallace's zoogeographic regions of the world. *Science* 339(6115):74-78.
18. *Holynska M.* (2011) Latitudinal gradients in diversity of the freshwater copepod family Cyclopidae (Copepoda, Cyclopoida). *Studies on Freshwater Copepoda: a Volume in Honour of Bernard Dussart*, 16:245.
19. *Moritz R. E., Bitz C. M., Steig I. J.* (2002) Dynamics of recent climate change in the Arctic. *Science*. 297:1497-1502.

20. Novichkova A. A., Chertoprud E. S. (2015a) Fauna of microcrustaceans (Cladocera: Copepoda) of shallow freshwater ecosystems of Wrangel Island (Russian Far East). *J Nat Hist* 49(45-48): 2955-2968.
21. Novichkova A. A., Chertoprud E. S. (2015b) The freshwater crustaceans (Cladocera, Copepoda) of Bering Island (Commander Islands, Russian Far East): Species richness and taxocene structure. *J Nat Hist* (Published online: 10 Dec 2015)
22. Novichkova A. A., Chertoprud E. S., Gislason G.M. (2014) Freshwater Crustacea (Cladocera, Copepoda) of Iceland: taxonomy, ecology, and biogeography. *Polar Biol* 37:1755-1767.
23. Patalas K. (1990) Diversity of the zooplankton communities in Canadian lakes as a function of climate. *Int Ver Theor Angew* 24:360-368.
24. Pinel-Alloul B., André A., Legendre P., Cardille J. A., Patalas K., Salki A. (2013) Large scale geographic patterns of diversity and community structure of pelagic crustacean zooplankton in Canadian lakes. *Glob Ecol Biogeogr* 22(7):784-795.
25. Rautio M., Bayly I., Gibson J., Nyman M. (2008) Polar Lakes and Rivers. In: *Zooplankton and zoobenthos in high-latitude water bodies* (Eds W.F. Vincent & J. Laybourn-Parry), pp. 231-247. Oxford University (Press)
26. Rosenzweig M. L. (1995) *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press
27. Ruggiero A., Werenkraut V. (2007) One-dimensional analyses of Rapoport's rule reviewed through meta-analysis. *Glob Ecol Biogeogr* 16(4):401-414.
28. Samchyshyna L., Hansson L. A., Christoffersen K. (2008) Patterns in the distribution of Arctic freshwater zooplankton related to glacial history. *Polar Biol* 31:1427-1735.
29. Serreze M. C., Francis J. A. (2006) The Arctic amplification debate. *Climatic Change* 76(3-4):241-264.
30. Sweetman J. N., Rühland K. M., Smol J. P. (2010) Environmental and spatial factors influencing the distribution of cladocerans in lakes across the central Canadian Arctic treeline region. *J Limnol* 69(1):76-87.
31. Symons C. C., Pedruski M. T., Arnott S. E., Sweetman J. N. (2014) Spatial, environmental, and biotic determinants of zooplankton community composition in subarctic lakes and ponds in Wapusk National Park, Canada. *Arct Antarct Alp Res* 46(1):159-190.
32. Thompson P. L., St-Jacques M. C., Vinebrooke R. D. (2008) Impacts of climate warming and nitrogen deposition on alpine plankton in lake and pond habitats: an in vitro experiment. *Arct Antarct Alp Res* 40(1):192-198.
33. Visconti A., Manca M., De Bernardi R. (2008) Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lago Maggiore (N. Italy) zooplankton in contrasting years. *J Limnol* 67(2):87-92.
34. Weider L. J., Hobæk A. (1997) Postglacial dispersal, glacial refugia, and clonal structure in Russian // Siberian populations of the arctic *Daphnia pulex* complex. *Heredity* 78:363-372.

Секция 3
**ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД,
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Ю. Л. Баюрова

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

JuliaBajurova@mail.ru

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ И ПРИРОДНЫХ ВОД
ОТ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Профессор А.И. Перельман ввел понятия «геохимический барьер» и «техногенный геохимический барьер» и разработал классификацию барьеров. Согласно А. И. Перельману, геохимические барьеры – это такие участки земной коры, в которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрации (Перельман, 1989).

Применение геохимических барьеров для защиты и очистки природных водоемов и стоков от загрязнения – перспективное научно-техническое направление. Традиционные реагенты, применяемые, в частности, для очистки промышленных стоков, имеют ряд недостатков: высокая стоимость, возможный дополнительный негативный эффект на природные объекты, слабая устойчивость, непродолжительность действия, в ряде случаев – применимость лишь в лабораторных масштабах или в условиях промышленных предприятий, где может быть организовано отделение осадка от остаточного раствора (Макаров, 2009). Альтернативный способ очистки сточных и природных вод – это создание геохимических барьеров на основе отходов.

При создании искусственных геохимических барьеров необходимо использовать материалы, соответствующие следующим критериям: доступность, низкая стоимость, безопасность для окружающей среды (Баюрова, 2015).

В качестве материала для создания геохимических барьеров № 1 и № 2 были выбраны отходы горнопромышленного комплекса, а именно хвосты обогащения медно-никелевых руд Печенгского рудного поля, содержащие химически активные гидросиликаты магния, такие как серпофит $Mg_5Fe(OH)_8[Si_4O_{10}]$, тальк $Mg_{2.5}Fe_{0.5}(OH)_2[Si_4O_{10}]$. Запасы хвостов насчитывают около 250 млн т, годовой прирост составляет 7 млн т. Ранее исследовали взаимодействие мономинеральных фракций серпентина, талька и биотита с сульфатными растворами никеля (Макаров, 2012; Баюрова, 2013).

Исходный материал предварительно измельчали до -0.063 мм и гранулировали с использованием лигносульфоната в качестве связующего. Гранулы активировали при температуре $650^\circ C$ (геохимический барьер № 1) и $700^\circ C$ (геохимический барьер № 2) в течение 2 ч. В данном температурном диапазоне структура серпентинов разрушается, вследствие потери конституционной воды, но еще не началось формирование новых высокотемпературных фаз. Прочность при сжатии гранул геохимических барьеров № 1 и № 2 составила 2.19 (№ 1) и 1.92 (№ 2) МПа (Баюрова, 2013). Прочность при обжиге материала повышается вследствие появления аморфного кремнезема, который связывает образующиеся при перекристаллизации серпентина кристаллы оливина (Соколов, 2000). После 300 суток эксперимента прочность гранул геохимических барьеров № 1 и № 2 0.15 МПа и 0.09 МПа соответственно. Для проведения экспериментов в динамических условиях гранулы массой 150 г помещали в колонки высотой 0.2 м.

Для создания геохимического барьера № 3 использовали смесь аморфного кремнезема и карбоната в соотношении 1:1. Карбонатит из вскрышной породы Ковдорского месторождения комплексных руд содержал, %: CaO 49.05; MgO 4.05; Al_2O_3 0.46; Na_2O 0.07; K_2O 0.04; CO_2 41.33; SiO_2 1.24; P_2O_5 3.80. Порода на 80 % состояла из кальцита ($CaCO_3$), а также доломита ($CaMg(CO_3)_2$). Карбонатит предварительно обжигали в течение 2 ч при температуре $900^\circ C$ при этом происходит декарбонизация кальцита, и создается устойчивая щелочная реакция растворов. Общее содержание

карбонатов – около 90 %. Аморфный кремнезем – продукт химической переработки вермикулитового концентрата 25 %-й серной кислотой при 90°C. Кремнезем обладает высокой реакционной способностью за счет развитой поверхности. Смесь гранулировали с использованием лигносульфоната в качестве вяжущего вещества, диаметр гранул составил 0.5 см. Прочность гранул при сжатии повысилась к концу эксперимента и составила 1.37 МПа. Для проведения экспериментов в динамических условиях гранулы массой 75 г помещали в колонки высотой 0.2 м.

С целью ускорения формирования новообразованных фаз минералов в геохимических барьерах, полученные гранулы увлажняли модельным сульфатным раствором с повышенным содержанием металлов, а именно 0.1 г/л Ni^{2+} , 0.05 г/л Cu^{2+} и 0.1 г/л Fe^{2+} . Водородный показатель pH и Eh измеряли иономером лабораторным И-160МИ. Измерение окислительно-восстановительного потенциала (Eh) проводили относительно хлорсеребряного электрода (ХСЭ). Величины pH и Eh раствора составляли 3.84 и 199 мВ. Эксперименты продолжали в течение 300 суток. Суточный расход раствора составлял 75 мл. Периодичность подачи исходного раствора осуществлялась через каждые 2 ч в течение 8 ч, объем исходного раствора – 15 мл.

Остаточная концентрация ионов никеля в растворе после фильтрации заметно снижается до 39 мг/л (геохимический барьер № 1) и 36 мг/л (геохимический барьер № 2), а затем постепенно растет на протяжении всего эксперимента (рис.1). На 200 и 240 сутки концентрация увеличивается выше значений модельного раствора (100 мг/л). К концу эксперимента концентрация ионов никеля составляет 111 мг/л для геохимических барьеров № 1 и № 2 (Баюрова, 2015; Вајуроџа, 2013).

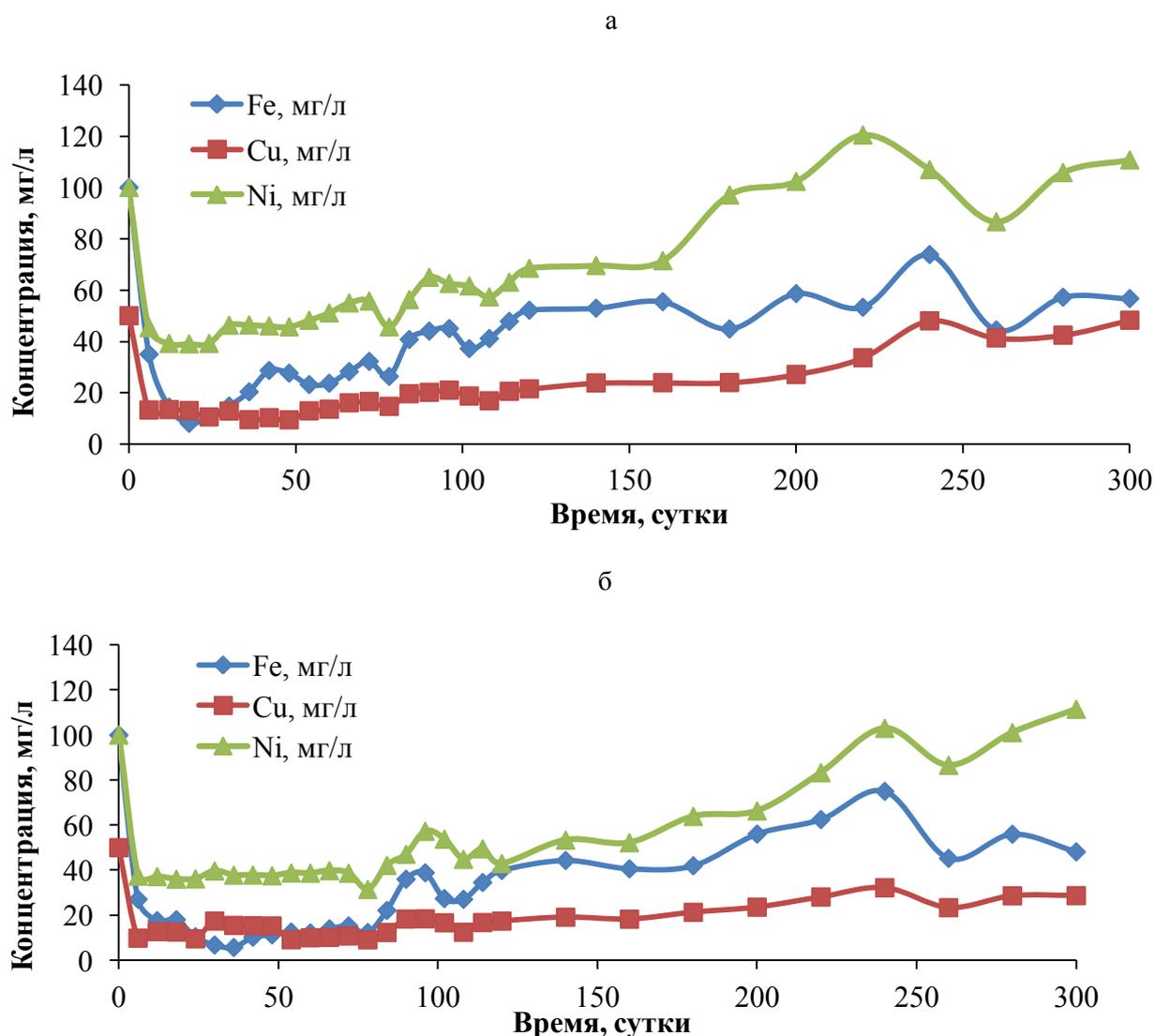


Рис.1. Остаточная концентрация ионов металлов в растворе после фильтрации через геохимический барьер № 1 (а) и № 2 (б)

Остаточная концентрация ионов меди в растворе после фильтрации значительно снижается до 1-13 мг/л (рис.1), затем следует рост концентраций, и к концу эксперимента составляет 48 и 28.7 мг/л для геохимических барьеров № 1 и № 2, соответственно (Баюрова, 2015; Вајугова, 2013).

Остаточная концентрация ионов железа в растворе после фильтрации заметно снижается до 8-14 и 1-7 мг/л (рис.1), далее наблюдается рост, и на 300 сутки концентрация составила 56.7 и 48 мг/л для геохимических барьеров № 1 и № 2, соответственно (Баюрова, 2015; Вајугова, 2013).

На рисунках 2 и 3 показано изменение значений pH и Eh поликомпонентного раствора металлов после фильтрации через искусственные геохимические барьеры № 1 и № 2. Наблюдается рост величины pH в начале эксперимента, затем происходит некоторое снижение до 3.6 (рис.2). Значение Eh находится в диапазоне 140-200 мВ (рис.3), что соответствует окислительному типу геохимической обстановке вод. Для обоих геохимических барьеров наблюдались незначительные различия в значениях pH и Eh на протяжении эксперимента, постепенно эта разница уменьшалась и нивелировалась к концу эксперимента (Баюрова, 2015; Вајугова, 2013).

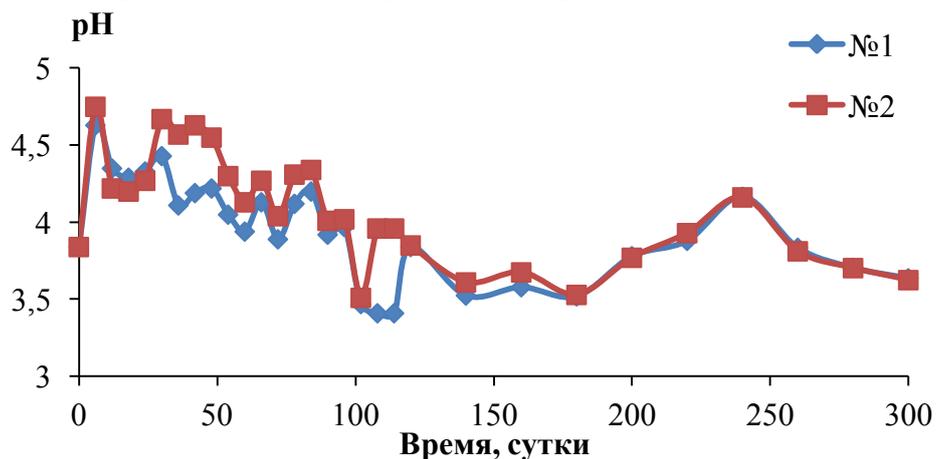


Рис.2. Изменение величины pH раствора сульфатов никеля, меди и железа после фильтрации через геохимические барьеры № 1 и № 2

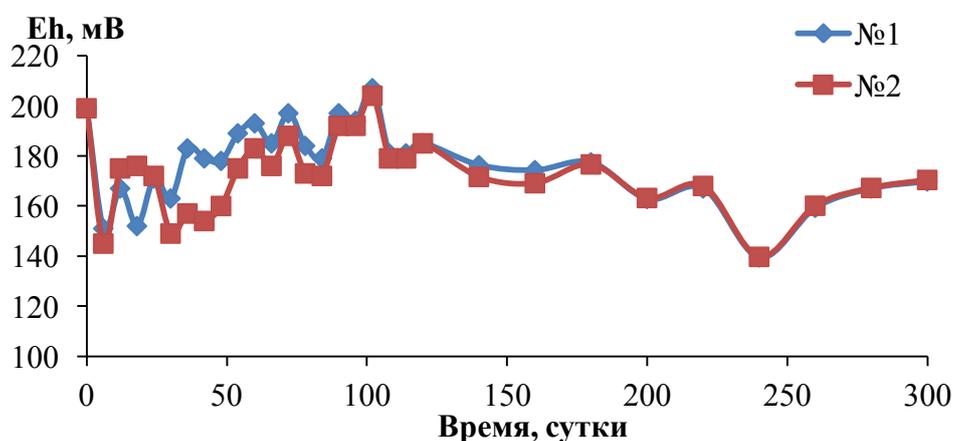


Рис.3. Изменение Eh раствора (ХСЭ) сульфатов никеля, меди и железа после фильтрации через геохимические барьеры № 1 и № 2

Остаточная концентрация ионов никеля, железа и меди в растворе после фильтрации через искусственный геохимический барьер №3 заметно снизилась до 1.1 мг/л (рис.4). Концентрация ионов металлов по истечению 300 суток не превысила концентрацию модельного раствора (0.1 г/л Ni^{2+} , 0.05 г/л Cu^{2+} и 0.1 г/л Fe^{2+}).

На рисунках 5 и 6 показано изменение значений pH и Eh поликомпонентного раствора металлов после фильтрации через искусственный геохимический барьер № 3. Наблюдается резкий рост величины pH в начале эксперимента 11.8, далее следует снижение до 8.4 и стабилизация около 6. Значение Eh значительно снизилось до -299 мВ, а затем постепенно повышалось, что соответствует восстановительному типу геохимической обстановки вод.

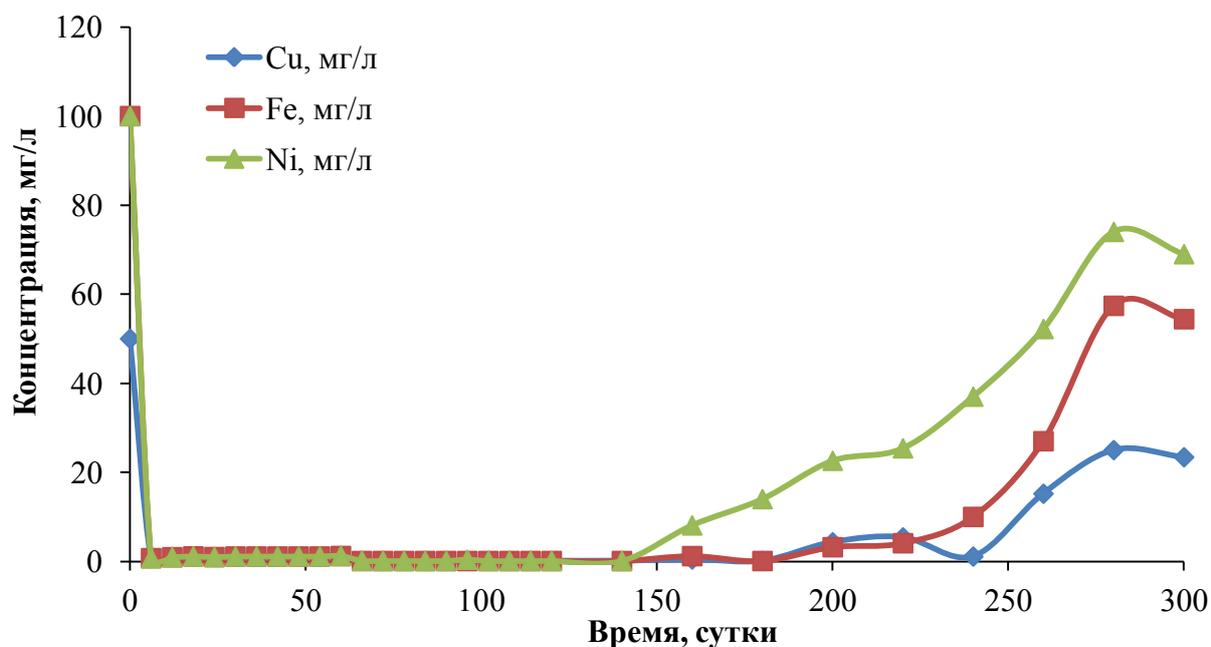


Рис.4. Остаточная концентрация ионов металлов в растворе после фильтрации через геохимический барьер № 3

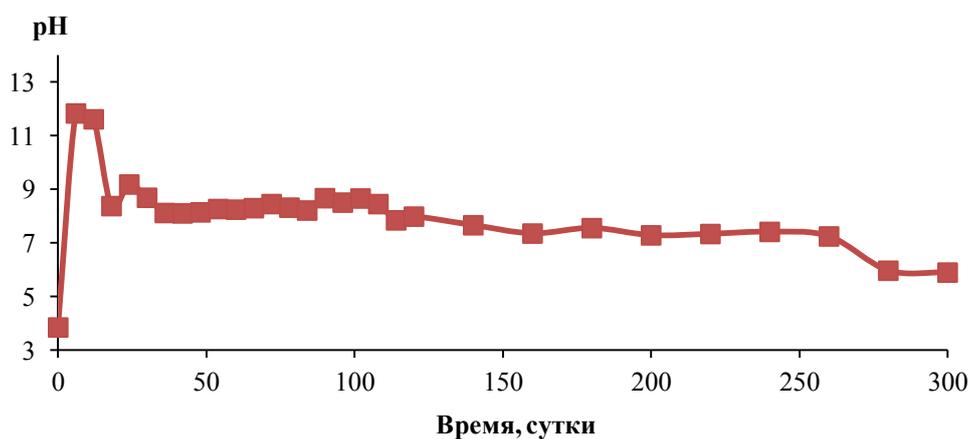


Рис.5. Изменение величины pH раствора сульфатов никеля, меди и железа после фильтрации через геохимический барьер № 3

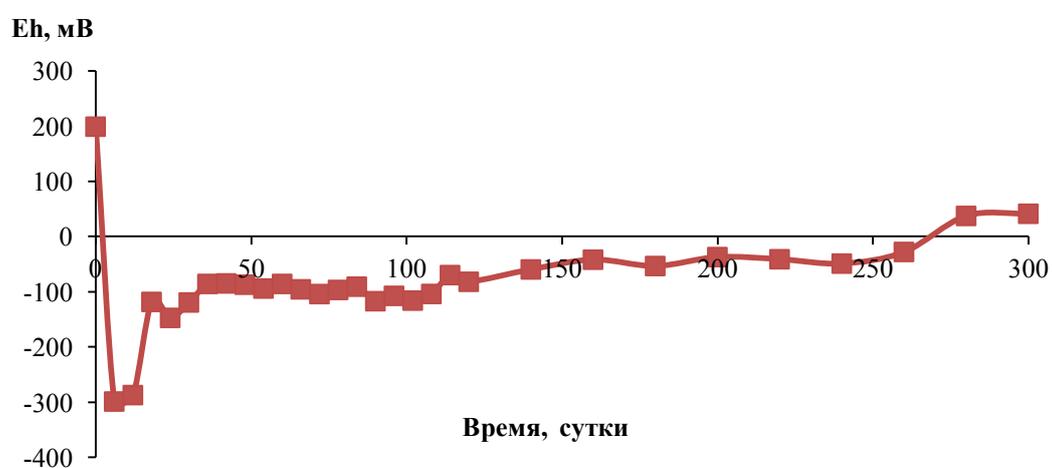


Рис.6. Изменение Eh (ХСЭ) раствора сульфатов никеля, меди и железа после фильтрации через геохимический барьер № 3

Исследования показали, что железо и медь осаждаются значительно лучше, чем никель. Наблюдается более активная сорбция ионов металлов на геохимическом барьере № 3. По истечению 300 суток эксперимента удалось извлечь 54.84 и 60.71 % железа, 46.22 и 59.48 % меди, 21.19 и 35.44 % никеля, соответственно для геохимических барьеров № 1 и № 2. На геохимическом барьере № 3 осаждено 89 % железа, 89.5 % меди, 8 % никеля по истечению 300 суток эксперимента.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Литература

1. *Баюрова Ю. Л.* Отходы горнодобывающей промышленности для создания геохимических барьеров и очистки сточных вод. // Проблемы освоения недр в XXII веке глазами молодых. Материалы 12 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 23-27 ноября 2015 г. М: ИПКОН РАН, 2015.
2. *Баюрова Ю. Л.* Искусственные геохимические барьеры для решения экологических и технологических задач / Ю. Л. Баюрова, Д. В. Макаров // Научный вестник, 2013. № 7 (40) [Электронный ресурс]: Московский гос. горн. ун-т, С. 9-17. URL: <http://vestnik.msmu.ru/archive/index40.html> (дата обращения 21.09.2013)
3. *Макаров Д. В.* Взаимодействие магнийсодержащих гидросиликатов с растворами сульфата никеля / Д.В. Макаров, Ю.Л. Баюрова // Международное совещание «Плаксинские чтения – 2012», 10-14 сентября 2012 г. г. Петрозаводск, 2012. С. 329-332.
4. Моделирование взаимодействия искусственных геохимических барьеров с раствором сульфата никеля / Д. В. Макаров, С. И. Мазухина, А. А. Нестерова, Д. П. Нестеров, Ю. П. Меньшиков, И. В. Зоренко, В. А. Маслобоев // Химия в интересах устойчивого развития, 2009. Т. 17, № 3. С. 283-288.
5. *Перельман А. И.* Геохимия: учебник / А. И. Перельман. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
6. *Соколов В. И.* Физико–механические свойства серпентинитов и продуктов их обжига // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2000, КНЦ РАН. С. 94-96.
7. *Vajurova J.* Application of Geochemical Barriers for Purification of Industrial Waters from Non-Ferrous Metals / J. Vajurova, D. Makarov // Inzynieria Mineralna. Polish Mineral Engineering Society, 2013. P. 95-100 - ISBN 1640-4920.

Г. К. Васильева^{1,2}, Л. В. Зиннатшина^{1,2}, А. В. Слюсаревский², Е. Р. Стрижакова¹, В. С. Кондрашина¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино

²ПуцГЕНИ, г. Пущино

gkvasilyeva@rambler.ru

СОРБЦИОННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

В настоящее время проблема загрязнения окружающей среды становится все более актуальной. Насчитываются тысячи различных загрязнителей, большинство из которых аккумулируется в почве. К наиболее распространенным химическим загрязнителям почв относятся тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, пестициды и др. Помимо синтетических соединений важнейшими почвенными поллютантами являются углеводороды нефти, загрязнение которыми наблюдается в местах нефтедобычи, транспорта, переработки нефти, а также в местах интенсивного использования нефтепродуктов (Гос. Доклад... 2013). Наибольший ущерб природе наносят аварии на промысловых и магистральных нефте/газопроводах. Так, при одном прорыве магистрального нефтепровода выбрасывается в среднем 2 т нефти, что загрязняет около 1000 м³ почвенного покрова (Гриценко и др., 1997). В России эксплуатируются сотни тыс. км нефтепроводов – около 80 % которых изношено. По официальным данным в результате аварийных утечек при транзите нефти, газа и продуктов нефтепереработки ежегодно происходит около 14 тыс. нефтеразливов и загрязняется около 600 га земель. В настоящее время выявлено около 800 тыс. га нефтезагрязненных земель, официально нуждающихся в очистке. Автотранспорт тоже вносит свою лепту – около 4 млн. тонн «отработки» ежегодно сливается в почву (Гос. Доклад... 2013).

На Севере Европейской части России ежегодно добываются десятки млн т нефти. В последние десятилетия происходит постоянный рост объемов нефтедобычи, вследствие чего увеличиваются площади нефтезагрязненных земель. Почвы Северных регионов особенно уязвимы к нефтяному загрязнению, так как в условиях холодного климата процессы самоочищения почв сильно замедлены. Под действием углеводородов нефти происходит глубокое изменение всех почвенных свойств: нарушается водно-воздушный режим почв и баланс многих элементов, происходит усиленное размножение углеводород-разрушающих микроорганизмов, что ведет к сукцессии микробных сообществ.

Все это обуславливает необходимость разработки эффективных и экономичных методов рекультивации загрязненных территорий. К настоящему времени накоплен большой опыт рекультивации загрязненных земель. Однако, не смотря на преимущества метода биорекультивации, основанного на способности почвенной микрофлоры утилизировать разнообразные органические загрязнители, выбор между сжиганием или захоронением на полигонах и биологической очисткой не всегда делается в пользу последней. Причины ограниченного применения метода биоремедиации связаны с повышенной токсичностью почв, неблагоприятными климатическими и физико-химическими условиями, возможностью миграции поллютантов в грунтовые и поверхностные воды, а также длительностью процесса очистки.

В ходе 30-летних исследований, проводимых в ИФХиБПП РАН, разработана концепция сорбционно-биологической очистки почв, которая основана на использовании активированного угля и ряда других сорбентов, способствующих решению данных проблем при очистке почв от загрязнителей разных классов. Показано, что в сильно загрязненных почвах внесение активированного угля резко повышает активность микроорганизмов-деструкторов, как аборигенных, так инокулированных в виде биопрепаратов, полученных на основе специально выделенных штаммов. В большинстве случаев использование таких биопрепаратов для очистки сильно загрязненных почв давало положительный эффект только при одновременном внесении активированного угля.

Доказано, что внесение гранулированного активированного угля (ГАУ) обеспечивает возможность проведения *in situ* биоремедиации почв, загрязненных повышенными концентрациями токсичных синтетических соединений. В частности, внесение 1% ГАУ одновременно с микроорганизмами-деструкторами хлоранилинов *Paracoccus denitrificans* 3ХА резко ускорило очистку лугово-черноземовидной почвы, загрязненной гербицидом пропанидом и/или его метаболитом 3,4-дихлоранилином (1000 мг/кг), тогда как раздельное внесение микроорганизмов или сорбента не имело успеха (Васильева и др., 1994; Бахаева et al., 2001). Аналогичный эффект от внесения ГАУ совместно с микроорганизмами-деструкторами хлорфенолов наблюдался при очистке серой лесной почвы, загрязненной 4-хлорфенолом и 2,4-дихлорфенолом (1000 мг/кг). Механизм действия активированного угля в данном случае объясняется тем, что в результате обратимой сорбции концентрация токсичных химикатов в почвенном растворе снижается до уровня ниже максимума, при котором еще возможен рост инокулируемых микроорганизмов. При этом сорбированные ГАУ соединения остаются доступными микроорганизмам и постепенно разлагаются.

Несколько иной механизм действия ГАУ наблюдается при биоремедиации почвы, загрязненной высокими дозами (500-2000 мг/кг) 2,4,6-тринитротолуола (ТНТ) в выщелоченном черноземе (Небраска, США). Под действием ряда почвенных микроорганизмов ТНТ восстанавливается до производного гидроксиламина, который взаимодействует с бензильным радикалом, образующимся в результате каталитического действия активированного угля на ТНТ, что приводит к полимеризации продуктов трансформации ТНТ с образованием нетоксичных полимерных соединений (Vasilyeva et al., 2001; 2001).

Примером высокостойких химикатов являются полихлорированные бифенилы, которые до 1990 г. в огромных количествах использовались в качестве диэлектриков в электрохимической промышленности. Вследствие высокой персистентности и токсичности до сих пор на некоторых участках, находящихся в местах производства и использования электрохимического оборудования, сохраняются высокие уровни загрязнения, в сотни и тысячи раз превышающие предельно допустимые концентрации. В наших экспериментах установлено, что в ходе биоремедиации аллювиальных луговых почв, исторически загрязненных ПХБ (завод «Конденсатор» в г. Серпухов), в присутствии ГАУ происходит разложение низкохлорированных (три- и частично тетра-хлорированных) конгенов ПХБ и одновременно становится малодоступной значительная часть тетра-, пента-, секста- и септа-хлорированных конгенов ПХБ в результате прочного связывания

планарных конгенов в нанопоровом пространстве активированного угля. При этом параллельно происходит каталитическое дехлорирование высокохлорированных конгенов на поверхности частиц ГАУ. В конечном итоге все эти процессы обеспечивают резкое снижение токсичности загрязненных почв и снижают возможность миграции токсикантов в сопредельные среды (Васильева, Стрижакова, 2007; Vasilyeva et al. 2010).

Ярким примером очистки почвы от деградируемых загрязнителей является сорбционная биоремедиация нефтезагрязненных почв. Нефть представляет собой раствор твердых углеводородов в жидких, где также присутствуют небольшие количества азот, кислород и серу содержащих соединений, включая смолы и асфальтены. Многие нефтяные углеводороды (низко- и среднетяжелые алканы и нафтены, а также моноароматические и 2-3-х ядерные ПАУ) могут использоваться почвенными микроорганизмами в качестве единственных источников углерода и энергии. Другие компоненты нефти более сложной структуры разлагаются в соокислительных условиях под действием микроорганизмов, растущих за счет легко утилизируемых ростовых субстратов. Углеводород-утилизирующие микроорганизмы распространены практически повсеместно, и в случае нефтяного загрязнения при определенных условиях (температура 10-35°C, достаточная увлажненность почвы, pH в интервале 5.5-7.5, аэрация, наличие необходимых биогенных элементов) начинается процесс самоочищения почв. Однако в обычных условиях он протекает медленно. При биоремедиации процесс биодеградации углеводородов активизируется с помощью агроприемов: вспашка, рыхление, увлажнение, внесение минеральных или органических удобрений и раскислителей. Для обогащения почвенной микрофлоры рекомендуется также внесение биопрепаратов на основе выделенных микроорганизмов-нефтедеструкторов.

Однако, при повышенной концентрации углеводородов нефти, токсичной для микроорганизмов и растений, происходит ингибирование нефтедеструкторов, как аборигенных, так и инокулированных. Наблюдения показывают, что внесение различных сорбентов может оказывать положительное действие на процесс биодеградации нефти. До недавних пор выбор дозы и формы сорбентов, используемых при биоремедиации, основывался на эмпирическом подходе с учетом стоимости и доступности сорбентов. Целью данной работы было изучить механизмы влияния ряда натуральных сорбентов на скорость биоремедиации нефтезагрязненных почв и дать экономическое обоснование для применения сорбционной биоремедиации почв *in situ* при рекультивации нефтезагрязненных почв.

В течение последних 10 лет в ИФХиБПП РАН проводятся многолетние эксперименты на примере 3 типов почв (серая лесная, аллювиальная луговая и чернозем выщелоченный), загрязненных нефтью, отработанным моторным маслом и дизельным топливом в дозах 10.000-150.000 мг/кг (1-15_{масс}%). Изучается влияние ряда сорбентов и мелиорантов (минеральные: карбоксил, цеолит, каолинит, вермикулит, диатомит; органические: торф и древесные опилки, СпиллСорб, растительные остатки, гумматы, компост; углеродистые: активированный уголь и биочар). Наряду с сорбентами испытывается ряд коммерческих биопрепаратов: Родэр, Деворойл, Микробак. Эксперименты проводятся в лабораторных и микрополевых условиях на территории экспериментальной площадки Института.

Результаты исследований показали, что основные проблемы при биоремедиации нефтезагрязненных почв связаны с повышенной концентрацией углеводородов нефти в почве, которые обычно создаются при нефтеразливах (более 10-50 г/кг). При этом резко возрастает гидрофобность почв, а также их токсичность вследствие повышенных концентраций как самих углеводородов, так и промежуточных продуктов их микробного окисления. Подвижность и токсичность окисленных углеводородов часто значительно превосходит эти показатели для исходных загрязнителей. В условиях умеренного климата центральных регионов России и, особенно, в Северных широтах, для полной биологической очистки даже умеренно загрязненных почв (до 5_{масс}%), требуется не менее 2-3-х лет, а при более высоком уровне загрязнения – значительно больше.

Внесение биопрепаратов далеко не всегда дает ожидаемый эффект. При умеренном загрязнении разница в скорости разложения углеводородов между вариантами с внесением биопрепарата и инокулированным контролем, как правило, незначительная. Гораздо большее значение имеет правильный выбор стратегии оптимизации содержания биофильных элементов (азот, фосфор и калий) и кислотности среды путем внесения минеральных или органических удобрений и раскислителей. При повышенной концентрации углеводородов (1-15_{масс}% и более) роль биопрепаратов повышается, однако в сильно загрязненной почве инокулированные микроорганизмы могут ингибироваться из-за повышенной токсичности самих компонентов нефти и их метаболитов.

Кроме того, образующиеся промежуточные продукты микробного окисления углеводов обладают высокой подвижностью в почве из-за сравнительно высокой водорастворимости. Поэтому в ходе проведения мероприятий по очистке существует вероятность загрязнения поверхностных и грунтовых вод соединениями повышенной опасности.

В результате многолетних экспериментов установлено, что все изученные сорбенты натуральные сорбенты, внесенные в оптимальных дозах, положительно влияют на скорость биоремедиации нефтезагрязненных почв. Оптимальная доза сорбентов зависит от вида и исходного уровня углеводородного загрязнения, а также от вида сорбента и почвенно-климатических условий. Экспериментально доказано, что в присутствии оптимальных доз изученных сорбентов происходит ускорение разложения углеводов в почве. Механизм действия сорбентов обусловлен снижением токсичности загрязненных почв за счет преимущественно обратимой сорбции токсичных углеводов и их метаболитов сорбентами. Кроме того, доказано положительное действие всех изученных сорбентов на водно-физические свойства нефтезагрязненных почв: влагоемкость, пористость, удельную массу и гидрофильность. В результате в загрязненной почве в ходе ее биорекультивации поддерживается, как правило, более высокая влажность по сравнению с контролем без сорбентов. Кроме того, в присутствии сорбентов повышается доступность биогенных элементов.

Все эти факторы создают более благоприятные условия для деятельности нефтедеструкторов. При повышенных дозах сорбентов, которые определяются индивидуально для каждого сорбента, эффект от их внесения снижается или даже становится отрицательным из-за сдвига рН почвы в неблагоприятную сторону или избыточной сорбции питательных элементов и самих углеводов. Однако при правильном подборе формы и дозы сорбентов можно существенно ускорить процесс биоремедиации нефтезагрязненных почв и одновременно минимизировать вымывание токсикантов в грунтовые и поверхностные воды, не создавая условий для существенной задержки скорости биодеградации поллютантов (Васильева и др., 2013; Яценко и др., 2014; Semenyuk et al., 2014).

Дано технико-экономическое обоснование использования ряда натуральных сорбентов для очистки нефтезагрязненных почв. Для сравнительного экономического анализа были выбраны технологии рекультивации почв, описанные в нормативных документах ведущих нефтедобывающих и транзитных компаний [РД 39-30-925-83; РД-13.020.40-КТН-208-14]. В соответствии с нормативными документами рекультивацию территории можно проводить: (1) – физическим методом, т. е. путем замены загрязненного слоя чистым грунтом с последующей утилизацией экскавированной почвы силами специализированных организаций и восстановлением растительного покрова на участке, либо (2) – путем *in situ* биорекультивации, когда биорекультивация почвы проводится непосредственно на загрязненном участке.

Проведенные расчеты показали, что стоимость рекультивации нефтезагрязненных почв физическим методом варьирует в пределах от 10 до 62 млн руб./га, причем основной вклад вносит стоимость услуг организаций, принимающих загрязненную почву для захоронения или утилизации. Стоимость *in situ* биорекультивации почвы с использованием сорбентов варьирует в пределах от 6 до 35 млн руб/га. В этом случае основная стоимость очистки складывается из стоимости вносимых материалов (биопрепарата или сорбентов) и сильно зависит от дозы их внесения. Выбор дозы сорбента в значительной мере зависит от уровня загрязнения и типа почвы. Для целей сорбционной биоремедиации можно использовать самые разные натуральные сорбенты, однако конечный результат во многом зависит от правильного выбора формы и дозы сорбента, раскислителей и минеральных удобрений.

В результате разработан комплексный метод сорбционно-биологической очистки почв, загрязненных широким кругом разнообразных загрязнителей, присутствующих в количествах, тысячекратно превышающих их предельно допустимые концентрации. Метод может быть использован как для ликвидации последствий аварийных разливов, так и для рекультивации хронически загрязненных почв. По ряду показателей, особенно с точки зрения локализации загрязнителей в очищаемом слое, наилучшим образом проявили себя активированный уголь и его более дешевый аналог биочар. В присутствии углеродистых сорбентов можно существенно снизить вынос токсичных соединений с промывными водами за пределы очищаемого слоя.

Благодарности. Авторы выражают благодарность с.н.с., к.б.н. Бочарниковой Е. А. и главн. спец. Злобиной А. И. за помощь в организации и проведении экспериментов. Работа поддержана грантом РФФИ № 16-05-00617-А.

Литература

1. Бахаева Л. П., Васильева Г. К., Суровцева Э. Г., Мухин В. М. (2001) Микробное разложение 3,4-дихлоранилина, сорбированного активированным углем // Микробиология, 70(3): 277-284.
2. Васильева Г. К., Суровцева Э. Г., Белоусов В. В. (1994) Разработка микробиологического способа для очистки почвы от загрязнения пропанидом и 3,4-дихлоранилином // Микробиология, 63(1):129-144.
3. Васильева Г. К., Стрижакова Е. Р. Биоремедиация почв и седиментов, загрязненных полихлорированными бифенилами (обзор) // Микробиология, 2007. 74(6): 639-653.
4. Васильева Г. К., Стрижакова Е. Р., Семенюк Н. Н., Яценко В. С., Бочарникова Е. А., Слюсаревский А. В., Барышникова Е. А. Технология комбинированной физико-биологической очистки почв от нефти и нефтепродуктов // Российский химический журнал, 2013, 1: 97-104.
5. Государственный доклад Мин. Природы РФ «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году»
6. РД 39-30-925-83. Методические указания по биологической рекультивации земель, нарушенных при сборе, подготовке и транспорте нефти. Утверждена ОАО АК «Транснефть» 06.02.1997.
7. РД-13.020.40-КТН-208-14. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Рекультивация земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте. Требования к организации и выполнению работ. Утверждена ОАО АК «Транснефть» 05.11.2014.
8. Яценко В. С., Стрижакова Е. Р., Зиннатишина Л. В., Васильева Г. К. Способ снижения экологических рисков при проведении ин ситу биоремедиации нефтезагрязненных почв // Проблемы анализа риска, 2014, 5:1-17.
9. Semenyuk N. N., Yatsenko V. S., Strijakova E. R., Filonov A. E., Petrikov K. V., Zavgorodnyaya Yu. A., Vasilyeva G. K. Effect of activated charcoal on bioremediation of diesel fuel contaminated soil // Microbiology, 2014. 83(5): 589–598.
10. Vasilyeva G. K., Kreslavski V. D., Shea P. J., Oh B-T. Potential of activated carbon to decrease 2,4,6-trinitrotoluene toxicity and accelerate soil decontamination // Environmental Toxicology and Chemistry, 2001. 20 (5): 965-971.
11. Vasilyeva G. K., Kreslavski V. D., Shea P. J. Catalytic oxidation of TNT adsorbed by activated carbon // Chemosphere, 2002. 47: 311-317.
12. Vasilyeva G. K., Strijakova E. R., Nikolaeva S. N., Lebedev A. T., Shea P. J. Dynamics of PCB removal and detoxification in historically contaminated soils amended with activated carbon // Environmental Pollution, 2010, 158(3): 770-777.

Т. Т. Горбачева, С. И. Мазухина, Т. А. Черепанова, В. В. Максимова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
gorbacheva@inep.ksc.ru*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОРСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ НА СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

В связи с изменением климата площадь ледового покрова Белого моря и его продолжительность неизменно уменьшаются начиная с 1987 г/с линейным трендом 209 км² и 2.2 дня в год соответственно (Костяной и др., 2014). Это может способствовать нарастанию случаев штормовых явлений и переносу элементов-загрязнителей в составе морских аэрозолей с поверхности моря на значительные расстояния. В нашей работе (Максимова и др., 2015) показано, что в контрольной точке Белого моря отмечено превышение ПДК по следующим элементам: Fe, Cu, Ni, Li, Be, Ti, V, As, Se, Sr, Mo, Mn, Zn, что обуславливает актуальность исследований такого переноса. Немаловажным фактором может оказаться и рост продолжительности воздействия морских аэрозолей на снеговой покров из-за позднего формирования ледового покрова либо раннего освобождения моря ото льда. Поскольку реки водосбора Белого моря со стороны Мурманской области имеют преимущественно снеговое питание, этот фактор может оказать существенное влияние на химический состав многочисленных водотоков, направленных в море. Кроме того, перенос аэрозолей

может оказаться причиной вторичного загрязнения почвенных вод прибрежных зон, особенно если перенос элементов-загрязнителей происходит в виде хлоридных комплексов. Если хлориды как простые соли характеризуются относительно консервативным характером миграции по почвенному профилю (Svensson et al., 2012), то в отношении мобильности хлоридных комплексов вопрос слабо изучен.

Цель данной работы – изучение миграционной активности простых и комплексных соединений Cl в системе «снеговой покров - Белое море».

Задачи данной работы:

1. Оценить долговременный тренд влияния морских аэрозолей на снеговой покров водосбора Белого моря по изменению отношения Na/Cl в нормальных концентрациях (мг-экв/л);
2. Провести физико-химическое моделирование (ФХМ) форм нахождения элементов в составе морских аэрозолей в виде хлоридных комплексов.

Объекты исследования

С конца 90х годов на территории Мурманской области сформирована сеть мониторинговых площадок ИППЭС со стационарно установленным оборудованием. Устойчивый снеговой покров на обследуемой территории сохраняется в течение 6-7 месяцев, в нем практически не происходит химической трансформации веществ, поэтому он является приемлемым индикатором текущего состояния атмосферы и последующего влияния на гидросферу. Осуществляемая на практике Программа мониторинга ИППЭС позволяет проводить оценку долговременных трендов состава снегового покрова, в т.ч. его трансформации под воздействием морских аэрозолей. В данной работе использованы результаты ежегодного мониторинга снеговых вод в точке опробования (I), ближайшей к Белому морю (25 км). Координаты точки отбора 67°23'N 32°26'E. В настоящее время площадка переведена из ранга «условно-фоновой» в ранг «подверженной слабой аэротехногенной нагрузке». Для сопоставления результатов нами использовались данные по двум мониторинговым площадкам, состояние которых в настоящее время признается как фоновое. Координаты точек отбора (II) 66°57'N 29°36'E и (III) 66°56'N 29°51'E, расположены они на расстоянии 120 км от моря.

Методы исследования

1. Атмосферные выпадения в виде снега

Отбор снеговых кернов проводился в 1995-2015 гг. ежегодно перед началом снеготаяния (как правило, в первую неделю апреля). Пробоотбор осуществлялся из ненарушенной стенки траншеи, выкапываемой до поверхности почвы. Снегоотборник представлял собой пластиковую трубу диаметром 11 либо 14.5 см. Пробы отбирались в трех (в отдельных случаях пяти) повторностях. Каждый отдельный снеговой керн помещался в полиэтиленовый пакет и транспортировался в химическую лабораторию, где доводился до состояния водной фазы при температуре лабораторного помещения. Отобранные пробы фильтровались через бумажный фильтр «синяя лента» (диаметр пор 1-2.5 мкм). Анализ содержания Na в фильтрате проводился методами атомно-эмиссионной спектрометрии, хлорид-ионов – методом ионообменной хроматографии. Качество проводимых анализов водных проб подтверждено авторами работы в 2005, 2009 и 2010 гг в рамках интеркалибровочных испытаний по Международной программе ICP-forests. Концентрации Na⁺ и Cl⁻, выраженные в мг/л, переводились в нормальные концентрации (мг-экв/л) для определения отношения Na/Cl.

2. Морские аэрозоли

В методиках оценки вклада морских и континентальных источников в состав атмосферных выпадений на определенной локальной территории используются данные по составу морских вод, на поверхности которых идет формирование морских аэрозолей (Полькин и др., 2008). В работе (Appelo and Postma, 2005) приведен обзор результатов исследований, подтверждающих, что состав морских аэрозолей в большинстве случаев идентичен составу морской воды высокой степени разбавления, что позволяет оценивать формы нахождения элементов в морских аэрозолях по составу морской воды.

Отбор проб воды Белого моря проводился в 5 км от береговой линии п. Умба Терского района Мурманской области. Координаты точки отбора 66°37'N 34°19'E. Выбор контрольной точки акватории Белого моря соответствовал ГОСТ 17.1.3.08-82. Ежемесячно на протяжении всего летнего сезона 2014 г. нами осуществлялся отбор морских вод поверхностного слоя (на глубине 1 м) с помощью батометра Молчанова с соблюдением требований ГОСТ 17.1.5.05-85 и проводился гидрохимический анализ. Валовое содержание металлов определялось на масс-спектрометре ELAN-9000 с индуктивно-связанной плазмой и динамической реакционной системой согласно методике выполнения измерений ЦВ 3.18.05-2005. При анализе анионного состава морских вод применялся метод ионообменной хроматографии. В данной работе проведено ФХМ ионного состава вод июньского отбора.

Для определения форм нахождения элементов в морских аэрозолях в виде хлоридных комплексов нами применен программный комплекс «Селектор». Система моделировалась как открытая по отношению к атмосфере, в соответствии с природой хорошо аэрированных морских вод. Такой подход успешно опробован нами в рамках системы *Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-H-O-e*, где *e* – электрон, в работах (Мазухина, 2009; Мазухина и др., 2009; Горбачева и др., 2014). Он позволяет определить основные тенденции вероятного изменения состава раствора. При ФХМ форм миграции элементов с морскими аэрозолями нами фиксировалось (задавалось) содержание элементов катионной части раствора (Na, K, Ca, Mg, Fe) и элементов анионной части (P, Cl, N, S, Si), концентрации которых соответствовали аналитическим. ФХМ проводилось при температуре аналитического определения (25⁰С).

Результаты и обсуждение

1. Отношение Na/Cl в атмосферных выпадениях в виде снега

Происхождение Na и Cl в составе атмосферных выпадений связывают с влиянием морских аэрозолей, переносом минеральной составляющей пылевых частиц, антропогенной эмиссией, выщелачиванием из растительности (Mosello et al., 2005). Однако при отсутствии выраженного антропогенного воздействия происхождение хлорид-ионов и эквивалентного им содержания натрия относят практически исключительно к влиянию моря. Принято считать, что о влиянии морских аэрозолей на состав атмосферных выпадений свидетельствует отношение Na/Cl в нормальных концентрациях, близкое к 0.86 (Broecker, 1974). Что касается Na, то величина отношения, превышающая это значение, указывает на происхождение части его соединений из других источников, вероятнее всего терригенных. Более низкие значения отношения Na/Cl показывают, что в растворимой части вод хлорид-ионы связаны и с другими катионами (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺), а их происхождение связано с различными терригенными либо антропогенными источниками.

Многолетняя динамика отношения Na/Cl в снеговом покрове на исследуемой нами территории представлена на рис.1 и 2. Поскольку пробы каждый год отбирались в трех повторностях, мы можем оценить вариабельность этого параметра, которая за редким исключением превышала 0.1-0.2 единицы. Это свидетельствует о слабом влиянии непосредственно лесных массивов, в границах которых проводились исследования, и, соответственно, доминирующем влиянии внешних источников.

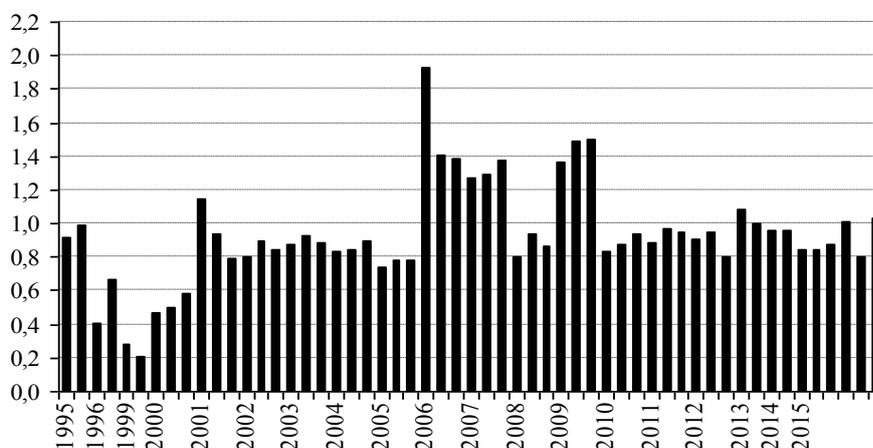


Рис.1. Отношение Na/Cl в снеговых водах в точке (I) (динамика за 1995-2015 гг.)

Анализ многолетней динамики отношения Na/Cl в снеговом покрове свидетельствует о выраженном росте этого параметра в последнее десятилетие. При этом достижение значений, указывающих на усиление влияния морских аэрозолей, произошло в более ранний период на площадке (I) (с 2001г), а на других площадках проявилось в последние 7 лет. Следует подчеркнуть, что в отдельные периоды (2006-2008 гг.) мы наблюдаем наложение влияния других источников, на что указывает рост отношения Na/Cl в 1.5-2 раза относительно величины, характерной для состава морских аэрозолей. Сходная картина изменения изучаемого параметра на разных площадках позволяет исключить воздействие локальных источников эмиссии в качестве возможной причины и обратить внимание на возрастание роли трансграничного переноса соединений Na.

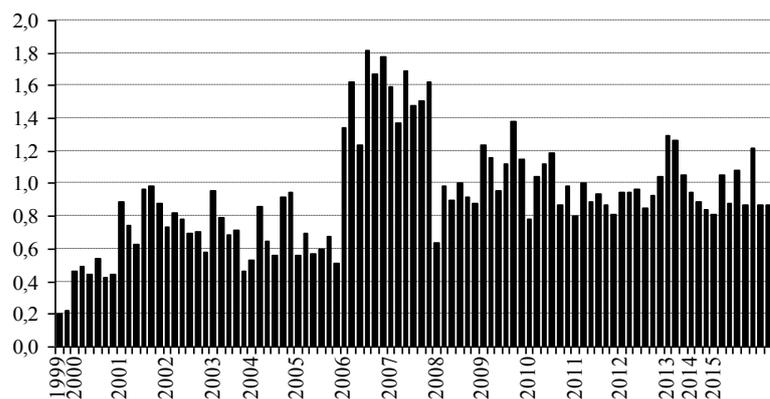


Рис.2. Отношение Na/Cl в снеговых водах в точках (II) и (III) (динамика за 1999-2015 гг.)

2. Формы нахождения элементов в составе морских аэрозолей в виде хлоридных комплексов

Результаты ФХМ состава морских вод представлены в табл.1. Как показывают результаты моделирования, состав морских аэрозолей характеризуется различной степенью закомплексованности элементов основного состава и доминированием простых катионных форм: $\text{Na}^+ > 94\%$, $\text{K}^+ > 97\%$, $\text{Ca}^{2+} > 75\%$, $\text{Mg}^{2+} > 70\%$, $\text{Sr}^{2+} > 89\%$, $\text{Mn}^{2+} > 78\%$, $\text{Zn}^{2+} > 50\%$, $\text{Cu}^{2+} > 51\%$, $\text{Ba}^{2+} > 94\%$. Полученные нами результаты по доминирующим формам в воде Белого моря хорошо согласуются с распределением по формам в океанических водах, приведенным в работе (Bruland and Sohrin, 2011).

Формы нахождения элементов в морских аэрозолях Белого моря (по результатам ФХМ)

Форма	Доля, %	Форма	Доля, %	Форма	Доля, %
Na⁺	94.8	ZnCl⁺	14.6	CuCl₂⁻	*
NaCl⁰	3.8	ZnCl₂⁰	3.95	CuCl₃²⁻	*
K⁺	97.7	ZnCl₃⁻	0.7	CuCl⁺	23.3
KCl⁰	0.07	Pb²⁺	2.7	CuCl₂⁰	0.46
Ca²⁺	75.1	PbCl⁺	13.4	CuCl₃⁻	*
CaCl⁺	6.9	PbCl₂⁰	11.8	CuCl₄²⁻	*
CaCl⁰	0.7	PbCl₃⁻	1.9	Cd²⁺	2.6
Mg²⁺	70.0	PbCl₄²⁻	0.4	CdCl⁺	43.8
MgCl⁺	9.2	Co²⁺	59.8	CdCl₂⁰	44.1
Fe²⁺	*	CoCl⁺	39.9	CdCl₃⁻	9.1
Fe³⁺	*	Ba²⁺	94.5	CdCl₄²⁻	0.5
FeCl⁺	*	BaCl⁺	5.4	HgCl⁺	*
FeCl²⁺	*	Sr²⁺	89.6	HgCl₂⁰	33.71
Mn²⁺	78.8	SrCl⁺	9.1	HgCl₃⁻	17.56
Mn³⁺	*	Cu⁺	*	HgCl₄²⁻	48.72
MnCl⁺	10.3	Cu²⁺	51.6	HgCl⁺	*
Zn²⁺	50.9	CuCl⁰	*		

Примечание. Звездочка – $< 0.01\%$.

Следует отметить, что ртуть – один из наиболее токсичных элементов, представлена в водах Белого моря практически полностью в виде хлоридных комплексов. Формирование хлоридных комплексов в морской воде абсолютно не характерно для Al и Fe, тогда как для таких тяжелых металлов, как Cd, Cu, Pb, Co, Mn доля хлоридных комплексов весьма высока. Хлоридные комплексы имеют как отрицательный, так и положительный заряд (табл. 1), поэтому предполагается их высокая миграционная активность при прохождении почвенного профиля при активном дренаже водами в период снеготаяния и разгрузке в речной сток. В свою очередь, наличие в составе аэрозолей положительно заряженных хлоридных комплексов позволяет предположить и их возможную аккумуляцию в горизонте подстилки. Это предположение объясняется доминированием отрицательных зарядов на поверхности почвенных частиц органического горизонта вследствие диссоциации карбоксильных групп органического вещества.

Заключение

1) Результаты многолетнего мониторинга подтверждено усиление влияния морских аэрозолей на снеговой покров водосбора Белого моря.

2) Предположение о возможности вторичного загрязнения наземных и водных экосистем под влиянием морских аэрозолей согласуется с результатами ФХМ, но требует подтверждения в природных условиях.

3)

Литература

1. Горбачева Т. Т., Мазухина С. И. Физико-химическое моделирование состава органического вещества атмосферных выпадений на островной части Белого моря // Метеорология и гидрология. 2014. № 2. С. 69-77.
2. Костяной А. Г., Гинзбург А. И., Лебедев С. А. Климатическая изменчивость гидрометеорологических параметров морей России в 1979-2011 годах // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. № 570. С. 50-87.
3. Мазухина С. И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН. 2012. 173 с.
4. Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Чудненко К. В., Бычинский В. А., Сандимиров С. С. Исследование состояния оз. Большой Вудъявр после экологической катастрофы 1930-х годов методами физико-химического моделирования // Химия в интересах устойчивого развития. 2009. № 17. С. 51-59.
5. Максимова В. В., Черепанова Т. А., Мазухина С. И. Сезонная динамика элементов-загрязнителей в Белом море // Вопросы естествознания. 2015. № 3. С. 111-115.
6. Польшкин В. В., Щелканов Н. Н., Голобокова Л. П., Панченко М. В. Сравнение методик оценки вклада континентальных и морских источников в ионный состав приводного аэрозоля Белого моря // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 1. С. 23-26.
7. Appelo C. A. J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. 2nd edition. Taylor & Francis, 2005. 683 p.
8. Broecker W. S. Chemical Oceanography. Harcourt Brace Jovanovich. Inc. New York. 214 p.
9. Bruland K. W., Sohrin Y. Global status of trace elements in the ocean // Trends in Analytical Chemistry. 2011. V. 30. № 8. P. 1291-1306.
10. Mosello R., Amoriello M., Amoriello T., Arisci S., Carcano A., Clarke N., Derome J., Derome K., Koenig N., Tartari G., Ulrich E. Validation of chemical analyses of atmospheric deposition in forested European sites // J. Limnology. 2005. V. 64. P. 93-102.
11. Svensson T., Lovett G. M., Likens G. E. Is chloride a conservative ion in forest ecosystems? // Biogeochemistry. 2012. V. 107. P. 125-134.

А. М. Калинин¹, Б. И. Гуревич¹, С. И. Мазухина², Е. В. Калинин¹, В. В. Тюкавкина¹, Е. С. Серова¹

¹Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья

им. И.В. Тананаева Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

kalinkin@chemy.kolasc.net.ru

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

mazukhina@inper.ksc.ru

НЕФЕЛИНСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ – КОМПОНЕНТ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

Введение

Производственная деятельность предприятий горно-металлургического комплекса Мурманской области привела к тому, что общее количество заскладированных разнообразных техногенных отходов на территории Кольского полуострова (хвостов обогащения, шлаков, золотходов, вскрышных пород ГОКов), неблагоприятно влияющих на окружающую среду, исчисляется миллиардами тонн. Например, объем хвостов обогащения апатито-нефелиновых руд АО «Апатит» превышает полмиллиарда тонн. Одним из перспективных способов утилизации горнопромышленных отходов являются строительные материалы, в частности, геополимеры.

Геополимеры (вяжущие щелочной активации) – активно развивающееся в последние годы направление создания ресурсо- и энергосберегающих технологий строительных материалов, которые

могут рассматриваться как альтернатива традиционному портландцементу. Геополимеры представляют собой вяжущие системы на основе тонкодисперсных аморфных или кристаллических силикатных и алюмосиликатных материалов, затворяемых щелочными агентами (Корнеев, 2010; Davidovits, 1991). Они могут применяться как строительные и композиционные материалы, а также как матрицы для иммобилизации токсичных отходов. Исходным сырьем для получения геополимеров обычно служат доменные шлаки, метакраулин, получаемый термической активацией каолина, и зола-унос (отход сжигания угля).

Нефелин, каркасный алюмосиликат Na и K, составляющий основу хвостов флотации апатито-нефелиновых руд Хибинского массива, содержит все компоненты, необходимые для геополимерного синтеза – щелочи, кремний и алюминий. Ранее нами изучена возможность использования нефелина в качестве компонента механоактивированной вяжущей композиции (совместно с гранулированным магнезиально-железистым шлаком) при затворении водой (Гуревич, 2015). В данной работе изучены вяжущие свойства геополимерных композиций на основе хвостов флотации апатито-нефелиновых руд с применением в качестве затворителя жидкого стекла (ЖС), растворов гидроксида натрия и соды.

Экспериментальная часть

В качестве исходных компонентов геополимеров использовали нефелинсодержащие хвосты обогащения АНОФ-2 АО «Апатит» (НХ), ЖС, гидроксид натрия «х.ч.» и соду Na₂CO₃ (ГОСТ 5100-85). Химический состав НХ приведен в табл. 1. Минеральный состав НХ, мас. %: нефелин 50-55, полевые шпаты 2.5-4, вторичные минералы по нефелину 0.5-2, эгирин 23-27, титаномагнетит 4-5, апатит 2-3.5, сфен 4-5.

Таблица 1

Химический состав хвостов обогащения АНОФ-2 АО «Апатит»

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	Прочие
Содержание, мас. %	37.90	19.19	-	8.82	5.52	1.29	10.09	5.34	1.48	1.09	2.8

Механоактивацию (МА) исходного сырья проводили в лабораторной центробежно-планетарной мельнице АГО-2 в течение 4-5 мин в воздушной среде. Полученный тонкомолотый материал смешивали с ЖС (раствором гидроксида натрия или соды) до получения теста пластичной консистенции.

Для определения оптимального сочетания модуля жидкого стекла и его количества в смеси с тонкомолотыми отходами эксперименты проводили по следующей схеме: фиксировали количество жидкого стекла в составе смеси (от 2 до 10 % Na₂O) и для каждого фиксированного значения готовили образцы на жидком стекле различной модульности – от 0 (NaOH) до 2.77. Содержание ЖС в композиции рассчитывали в процентах Na₂O от массы сухих компонентов. Водотвердое отношение (В/Т) рассчитывали с учетом воды, находящейся в ЖС.

Изготовленные образцы размером 1.41×1.41×1.41 см выдерживали в течение суток на воздухе, затем подвергали термообработке в сушильном шкафу при 80°С в течение 6 ч с последующим твердением на воздухе при относительной влажности 60-70 %. Ряд образцов твердел на воздухе при различной влажности без термической обработки.

Измерение удельной поверхности производили методом воздухопроницаемости.

Результаты и их обсуждение

Результаты подбора модуля жидкого стекла и количества Na₂O при изготовлении геополимерного материала представлены в табл. 2.

Согласно данным таблицы наилучшие результаты по прочности дают составы, содержащие 2-3% Na₂O (по отношению к массе тонкомолотых НХ в составе геополимера) при модуле 2.34.

Результаты использования гидроксида натрия в качестве щелочного компонента геополимерной композиции (условия изготовления вяжущего соответствовали указанным выше) показывают, что NaOH менее эффективен при активизации НХ, чем жидкое стекло. При использовании этого щелочного активизатора удалось получить образцы с прочностью при сжатии 16.3 МПа (3% Na₂O, выдержка 180 сут), что существенно ниже прочностей, получаемых на жидком стекле.

Таблица 2

Влияние модуля ЖС и количества Na_2O на прочность при сжатии ($R_{\text{сж}}$) геополимеров на основе механоактивированных НХ (условия: время МА 270 с, термообработка и последующее твердение на воздухе при относительной влажности 60-70 %)

Модуль, m	$R_{\text{сж}}$, через....сут, МПа			
	1(2)	7	28	180
2 % Na_2O				
0	2.5	5.1	8.2	8.0
1.22	3.1	6.3	10.2	9.9
2.34	20.0	43.4	58.4	66.7
2.77	11.5	13.0	13.9	2.6
3 % Na_2O				
0	2.8	5.4	15.9	16.3
1.22	2.9	5.6	16.2	16.5
2.34	12.1	37.8	41.5	45.8
2.77	19.5	30.8	34.2	35.4
4 % Na_2O				
2.77	12.5	32.4	38.4	39.4
2.34	18.2	27.2	34.3	32.6
5 % Na_2O				
0	1.9	3.6	4.7	6.3
1.22	8.1	21.9	40.9	43.3
10 % Na_2O				
0	0.5	0.7	1.0	1.8
1.22	0.5	0.5	1.6	1.9

В таблице 3 приведены данные по влиянию модуля щелочного агента на прочность образцов на основе НХ в условиях влажного и воздушного твердения без применения термообработки.

Таблица 3

Влияние модуля ЖС и количества Na_2O на прочность при сжатии ($R_{\text{сж}}$) геополимеров на основе механоактивированных НХ (условия: 3 % Na_2O , время МА 270 с, твердение без термообработки, В/Т=0.30)

Модуль, m	Суд, м ² /кг	$R_{\text{сж}}$, через....сут, МПа	
		7	28
Твердение на воздухе – влажность 95-100%			
		7	28
Сода (0)	1250	0.6	0.6
NaOH (0)	«	0.5	0.8
1.22	«	7.8	8.6
2.04	«	8.1	8.6
2.34	«	14.9	15.1
Твердение на воздухе – влажность 60-70 %			
		7	28
Сода (0)	1246	2.5	2.6
NaOH (0)	«	2.3	3.4
1.22	«	14.1	15.4
2.04	«	9.2	10.3
2.34	«	24.3	46.2
2.77	«	61.8	82.7

Из данных таблицы 3 можно сделать предварительный вывод, что при влажном и воздушном твердении с увеличением модуля ЖС растет прочность образцов, причем при воздушном твердении эта тенденция выражена отчетливее. Следовательно, из двух условий твердения предпочтительнее

воздушное. Прочность образцов в 28 сут возрасте достигает 15 МПа и 83 МПа при влажном и воздушном твердении соответственно.

Ранее было показано, что для прогнозирования возможности получения приемлемой геополимерной матрицы из того или иного алюмосиликатного сырья, а также из их смесей целесообразно применять термодинамическое моделирование. В данной работе мы провели сопоставление экспериментальных результатов взаимодействия механоактивированных хвостов АНОФ-2 с 2 М и 10 М растворами NaOH с данными термодинамического моделирования. Методика экспериментов по взаимодействию алюмосиликатного сырья с растворами гидроксида натрия описана в работе (Гуревич, 2015). Моделирование проводилось с использованием программного комплекса «Селектор» методом минимизации потенциала Гиббса (Чудненко, 2010). При этом использован алгоритм расчета необратимой эволюции геохимических систем, где в качестве независимой координаты взята величина $\xi = -Igv$ (v – доля прореагировавшего (растворившегося) минерала или минералов, т.е. степень протекания реакции в системе).

Сопоставление результатов расчета и данных эксперимента проводили следующим образом. По аналитическим концентрациям кремния и алюминия в фильтрате после взаимодействия пробы хвостов с раствором NaOH и их содержанию в хвостах оценивали степень растворения. При этом методами рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализов остатков выщелачивания было установлено, что новых твердых фаз при взаимодействии со щелочью не образуется. Для 2 М и 10 М растворов NaOH как по кремнию, так и по алюминию экспериментальная степень растворения находилась в пределах 10 ± 3 %, что соответствует $\xi \approx 1$. Концентрации кремния при растворении в 2 М и 10 М растворах NaOH по данным анализа составили 280 ± 15 и 421 ± 20 мг/л, а алюминия – 262 ± 15 и 301 ± 25 мг/л соответственно. Как для 2 М, так и для 10 М растворов щелочи при $\xi = 1$ вычисленные концентрации кремния и алюминия составили 485 ± 20 и 280 ± 15 мг/л соответственно. С учетом сложного полиминерального состава хвостов обогащения АНОФ-2 согласование расчета и эксперимента можно считать удовлетворительным. Для повышения точности модельных расчетов, по-видимому, необходимо принимать во внимание, что скорость взаимодействия со щелочью разных минералов в составе хвостов может различаться. Учет этого фактора является непростой задачей, для решения которой необходимо изучение кинетики растворения соответствующих мономинеральных образцов с привлечением данных по их удельной поверхности.

Выводы

1. Установлена принципиальная возможность получения геополимерного материала, обладающего достаточно высокой механической прочностью, на основе хвостов обогащения апатито-нефелиновых руд и жидкого стекла. Полученный материал является вяжущим воздушного твердения, прочность при сжатии достигает 80 МПа. Такие характеристики материала позволяют использовать его в строительстве.

2. Наилучшие результаты по прочности дают составы, содержащие 2-3% Na₂O (по отношению к массе тонкомолотых НХ в составе геополимера) при модуле жидкого стекла 2.34 в случае применения термообработки и при модуле 2.77 – без применения термообработки.

3. Данные физико-химического моделирования с использованием программного комплекса «Селектор» удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами по выщелачиванию. Показана адекватность использованной термодинамической модели для прогнозирования взаимодействия нефелинсодержащего сырья с растворами щелочей при синтезе геополимеров.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант p_север_a № 14-03-98801.

Литература

1. Гуревич Б. И., Калинин А. М., Калинин Е. В., Мазухина С. И., Тюкавкина В. В. Геополимерное вяжущее на основе механоактивированных композиций магнезиально-железистого шлака и нефелина // Перспективные материалы, 2015. № 3. С. 63-71.
2. Корнеев В. И., Брыков А. С. Перспективы развития общестроительных вяжущих веществ. Геополимеры и их отличительные особенности // Цемент, 2010. № 2. С. 51-55.
3. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2010. 287 с.
4. Davidovits J. Geopolymers: inorganic polymeric new materials // J. Therm. Anal. 1991. V. 37. P. 1633-1656.

ПРОЦЕССЫ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИХ РУД В ЗОНЕ ТЕХНОГЕНЕЗА ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА

Для выявления характера и закономерностей процессов выщелачивания молибдена и, как следствие, сверхлимитное его содержание в производственных стоках, необходимо экспериментальное моделирование этих процессов в условиях приближенных к реальным, действующим на территории рудников ОАО «Апатит». Исследования влияния на скорость и характер процессов выщелачивания молибдена рН промывного раствора и вещественного состава ассоциированных минералов проводили в статических условиях на образцах, отобранных в местах рудопроявления молибденосодержащих минералов.

На основании информации о молибденитовом оруднении в районе функционирования предприятия были отобраны пробы молибденосодержащих минералов на следующих участках:

- на южном склоне г. Тахтарвумчорр (трахитоидные хибиниты);
- на восточном отроге г. Кукисвумчорр (канкринито-эгирино-микроклиновая жила в урритах и альбитизированных участках пегматитов).

Определен минеральный и химический состав образцов. Рентгенофазовый анализ свидетельствует, что: трахитоидные хибиниты содержат калиевого полевого шпата ~50 %, нефелина ~ 40 %, эгирина и арфведсонита (щелочной амфибол) ~ 5 %; урриты, соответственно, нефелина ~ 55 %, эгирин-авгита ~ 40 %; пегматиты – эгирина ~ 50 %, микроклина ~ 24 %, альбита ~ 20 %, ильменита ~ 5 %. Содержание молибдена (мас. %), соответственно, в трахитоидных хибинитах до 0,62, урритах – 0,21, пегматитах – 0,19.

Для проведения дальнейших исследований были отобраны образцы из молибденитового оруднения месторождения Тахтарвумчорр и проведен их петрографический анализ (рис.1). Петрографические исследования показали, что волокнистые и мелкочешуйчатые зерна (0,1÷1 мм) молибденита образуют скопления в трещинах апатита и ильменита и в промежутках на границах зерен нерудных минералов. Встречается также эгирин-молибденитовый агрегат в интерстиции зерен микроклина. Кроме того, молибденит встречается в полевошпатовых породах (альбит, микроклин) в виде прорастаний в ильмените в форме мелких волокнистых зерен и в пегматитовой щелочной микроклиновой жиле в виде агрегатов мелких волокнистых зерен, приуроченных к изометричным зернам ильменита. Общее содержание молибденита в шлифах исходных образцов колеблется от 6 до 8 %.

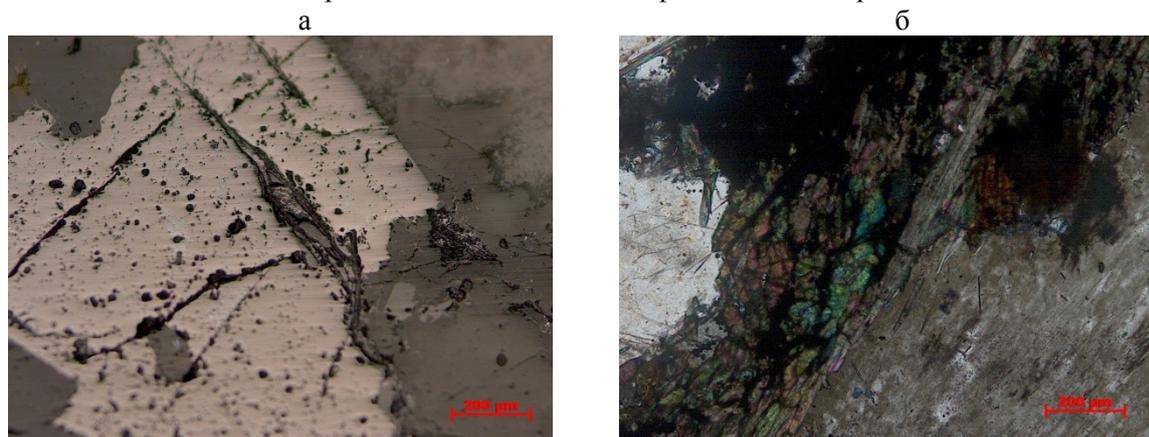


Рис.1. Фотографии аншлифов трахитоидных хибинитов:

- а – прорастания молибденита в ильмените среднемелкозернистой полевошпат-apatит-альбитовой породы; б – эгирин-молибденитовый агрегат в интерстиции зёрен микроклина пегматитовой щелочной микроклиновой жиле

Для выявления влияния вещественного состава молибденосодержащих руд на характер процессов выщелачивания молибденита, на основании литературных источников (Логвиненко, 1967; Кашик, Мазилев, 1987) в соответствии с классификацией Н. В. Логвиненко проанализирован ряд ассоциированных к молибдениту минералов по их относительной устойчивости к процессам выветривания (таблица).

Ряд относительной устойчивости минералов

Устойчивость	Породообразующие минералы	Акцессорные минералы
Весьма устойчивые	Эгирин - $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	
Устойчивые	Микроклин - $\text{Ka}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	Титанит - $\text{CaTiO}[\text{SiO}_4]$
	Альбит - $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	Ильменит - $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{TiO}_3$
Неустойчивые		Апатит - $\text{Ca}_2\text{Ca}_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})[\text{PO}_4]_3$
		Сульфиды металлов, в т.ч. молибденит (MoS_2)
Весьма неустойчивые	Нефелин - $\text{Na}_3\text{K}[\text{AlSiO}_4]_4$	

Таким образом, наиболее неустойчивым к процессам выветривания является нефелин, который из ассоциированных минералов в первую очередь может оказывать воздействие на присутствие молибдена в контактном растворе при моделировании процессов выщелачивания молибденита.

Условия эксперимента по моделированию процессов выщелачивания следующие: Т:Ж=1:20, постоянное перемешивание при температуре $\sim 48 \pm 2^\circ\text{C}$ и различных значениях pH исходного раствора $\sim 3, 6, 8, 11$; фракция +0.63-2.0 мм. В эксперименте использовано перемешивающее устройство ПЭ-641Т с частотой колебаний 250 кол./мин.

Влияние pH исходного раствора на кинетику изменения pH, кинетические кривые выщелачивания приведены, приведены ниже в таблице и на рис.2, 3.

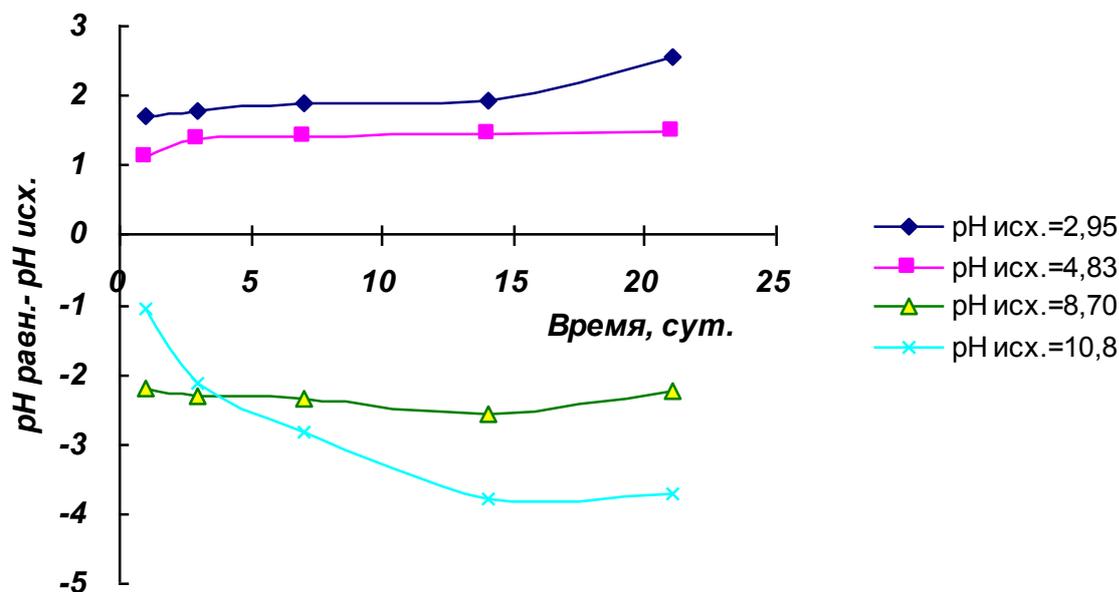


Рис.2. Изменение pH контактного раствора в процессе выщелачивания трахитоидных хибинитов

Результаты исследований свидетельствуют, что в процессе выщелачивания молибденита максимальный вынос молибдена фиксируется в щелочной среде – через 21 сут концентрация молибдена в контактном растворе составляет 4.78 мг/дм^3 , сопровождающийся подкислением раствора от $\text{pH}_{\text{исх.}} = 10.8$ до 7.01. Интенсивный вынос наблюдается уже на раннем этапе процесса выщелачивания и одновременно обнаруживается усиление эффекта подкисления (3 сут – $\Delta\text{pH} = -2.94$). Затем скорость выноса молибдена и изменения pH замедляется. Наряду с этим, следует отметить, что на 14 и 21 сут наблюдается проявление полимеризации контактного раствора, которая, по-видимому, вызвана гелеобразованием кремнезема, поступающего в раствор при выщелачивании нефелина. В то же самое время в кислой среде концентрация молибдена через 21 сут значительно ниже и составляет всего 0.0095 мг/дм^3 . Кривая изменения pH демонстрирует резкое подщелачивание в течение первых суток от $\text{pH}_{\text{исх.}} = 2.95$ до $\text{pH} = 4.67$, затем медленное в течение 14 сут до значения $\text{pH} = 4.73$ и далее опять довольно интенсивное подщелачивание до $\text{pH} = 5.46$ (21 сут). Кинетика выноса молибдена в раствор повторяет те же самые тенденции, что и кривая изменения pH.

В нейтральной и слабощелочной среде концентрация молибдена в контактном растворе через 21 сут разнятся незначительно – 0.055 и 0.083 мг/дм³. Одновременно фиксируется медленное изменение рН в сторону подкисления для слабощелочного раствора и подщелачивание для нейтрального: через 21 сут их значения составляют 6.33 при рН_{исх.} = 5.94 и 7.01 при рН_{исх.} = 8.70. Интенсивность выноса молибдена в контактный раствор резко увеличивается для нейтральной среды на 7 сут, а для щелочной на 14 сут. В целом, можно отметить, что процесс выщелачивания сопровождается небольшими изменениями рН.

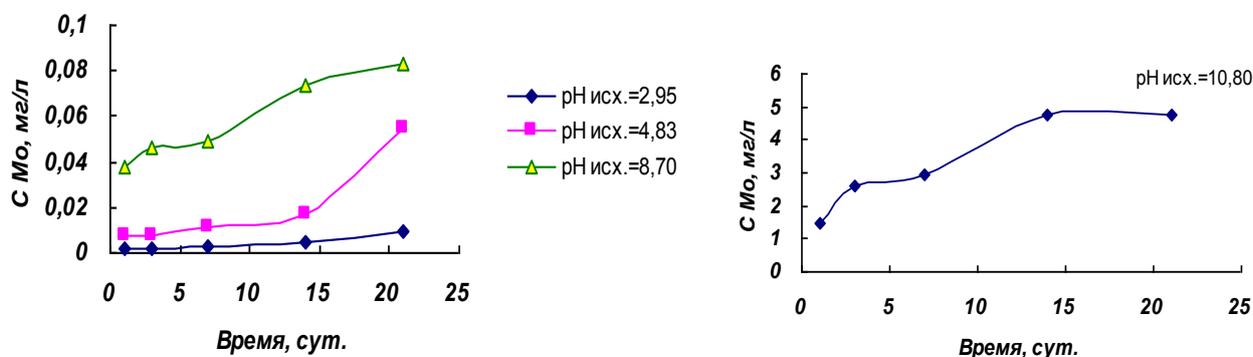


Рис.3. Кинетика выщелачивания Мо из трахитоидных хибинитов

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют:

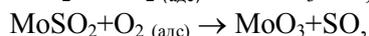
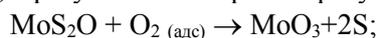
- наиболее интенсивно процессы выщелачивания молибденита происходят в щелочной среде, причем с увеличением щелочности усиливается вынос молибдена в контактный раствор;
- в процессе выщелачивания наблюдается подкисление щелочного раствора и подщелачивание кислого;
- обнаруживается корреляция между изменением рН и скоростью выщелачивания молибденита. При уменьшении скорости изменения рН замедляется процесс выщелачивания;
- наименьшие концентрации фиксируются в кислой среде, наибольшие в щелочной. В нейтральной и слабощелочной среде по окончании эксперимента (21 сут) концентрация молибдена в контактном растворе в ~ 50 раз меньше, чем в щелочной и в 9 раз больше, чем в кислой;
- в щелочной среде интенсивный вынос молибдена наблюдается до 14 сут, затем процесс резко замедляется. В кислой, нейтральной и слабощелочной наоборот, интенсивность выноса в контактный раствор увеличивается после 14 сут.

Особенности присутствия различных форм молибдена в подземных водах определяются его гидрогеохимией и различными условиями кислотности-щелочности контактного раствора. Режим изменения кислотности-щелочности контактного раствора в нашем эксперименте, в первую очередь, определяется наличием в исходных пробах весьма неустойчивого по классификации Н. В. Логвиненко нефелина. Известно, что в процессе химического выветривания щелочных пород, содержащих нефелин, определяющую роль в изменении режима кислотности-щелочности играет его легкая гидролизуемость, которая вызывает быстрое нарастание рН в кислых растворах. В условиях высокой щелочности растворов наряду с явлениями выщелачивания нефелина наблюдается явление переотложения вещества, которое приводит к подкислению щелочного раствора. Процесс завершается почти полным выносом щелочей и образованием вторичных минералов (Перельман, 1983 г). Таким образом, щелочно-кислотные условия будут определяться выщелачиванием нефелина, который присутствует в исходной пробе, что, по-видимому, и объясняет кинетику изменения рН в ходе эксперимента: подкисление контактного раствора при рН_{исх.} щелочном и подщелачивание при рН_{исх.} кислом.

Хотя молибденит считается устойчивым сульфидом по отношению к кислым и щелочным растворителям, в природных условиях при длительном воздействии воды молибденит окисляется, и молибден может интенсивно мигрировать. Особенность окисления молибденита заключается в том, что если при окислении всех сульфидов металлы образуют катионы, то молибденит может образовывать анионогенные соединения, которые сравнительно легко мигрируют в нейтральных, слабощелочных и щелочных водах. В кислой среде (рН < 3) молибден существует в виде гидрооксокомплексов, катионных форм и малорастворимой молибденовой кислоты в форме H₂MoO₄ и HMoO₄⁻; в щелочной среде в виде шестивалентного аниона MoO₄²⁻, обладающего высокой

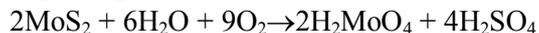
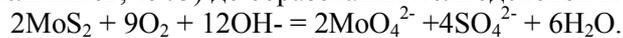
растворимостью; для сильнощелочных вод ($\text{pH} > 10$) характерно присутствие молибдена в форме комплексных анионов – в таких водах молибден может образовывать соединения молибдатов, которые повышают миграционную способность молибдена. Все максимальные концентрации молибдена приурочены к нейтральным, слабощелочным и щелочным водам (Мохосоев, Шевцова, 1977).

Механизмами выщелачивания молибдена из молибденита являются окисление, гидролиз и щелочное растворение (Щербина, 1971; Кашик, Мазилев, 1987). В нейтральных и слабощелочных водах преобладает механизм окисления. Начальным актом взаимодействия кислорода с дисульфидом молибдена является химическая адсорбция молекул кислорода на активных участках поверхности минерала. Примеси и дефекты в кристаллической решетке увеличивают число активных центров. Хемосорбция молекулы кислорода сопровождается образованием промежуточных поверхностных соединений типа окисульфидов: MoOS_2 и MoO_2S . Свободные атомы кислорода могут в адсорбированном слое вступать в поверхностную реакцию с неактивными участками поверхности MoS_2 , образуя те же промежуточные соединения (MoS_2O и MoOS_2), и процесс будет продолжаться. Таким образом, частично осуществляется известный цепной механизм окисления серы и можно наблюдать следующий ряд реакций, в результате которых образуются MoO_3 и SO_2 :



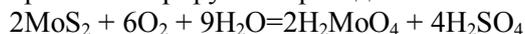
и образовавшийся оксид MoO_3 сравнительно легко мигрирует в нейтральных и слабощелочных водах.

В щелочных средах механизм выщелачивания описывается реакциями окисления кислородом и гидролизом (Шапиро, Мельников, 1973) до образования молибденовой кислоты:



Ход выщелачивания молибдена условно можно четко разделить на 2 этапа. На первом этапе идет интенсивное растворение молибдена, находящегося, в основном, в оксидных формах. На втором этапе скорость растворения молибдена резко падает вследствие образования малорастворимой молибденовой кислоты и наблюдается корреляция между увеличением количества кислоты и замедлением выноса молибдена в раствор.

В кислых растворах при $\text{pH} \leq 3$ преобладает механизм с образованием малорастворимой молибденовой кислоты в виде H_2MoO_4 и HMoO_4^- , что приводит к незначительному выносу молибдена в контактный раствор и иллюстрируется приведенным ниже уравнением:



В процессе подщелачивания раствора в результате растворения нефелина подключается механизм окисления молибденита, присущий для слабокислых, нейтральных и слабощелочных растворов, что приводит с течением времени к выносу молибдена в контактный раствор.

Таким образом, результаты проведенных исследований согласуются с приведенными сведениями о механизме выщелачивания молибденита при различных режимах кислотности-щелочности среды: интенсивный вынос молибдена в щелочной среде, умеренный в слабокислых, нейтральных и слабощелочных растворах и незначительный в кислых. В условиях, реализуемых на действующих рудниках АО «Апатит», где pH среды является слабощелочным и, например, для подземных вод Объединенного Кировского рудника составляет $\sim 8.2 \div 9.9$, выщелачивание молибденита происходит с преобладанием механизма его окисления и сопровождается постоянным выносом молибдена в подземные воды.

Однако следует учитывать тот факт, что в нейтральных, слабокислых или слабощелочных растворах продукты выщелачивания осаждаются на поверхности молибденита и защищают молибденит от процесса окисления, что может приводить к блокировке дальнейшего выщелачивания молибденита (Голева Г.А., 1977). Кроме того, к весьма распространенным осадителям молибдена относится кремнекислота, которая может образовываться в результате выщелачивания нефелина, устойчивая отрицательная связь которой с молибденом наблюдается в природных водах. Растворимость кремнекислоты в околонеutralных и слабокислых водах минимальна, а в щелочных максимальна. Влияние этих факторов на процессы выщелачивания молибденита в реальных условиях функционирования рудников АО «Апатит» требует дальнейших исследований.

Литература

1. Голева Г. А. Гидрогеохимия рудных элементов / Г. А. Голева. М.: Недра, 1977. 216 с.
2. Зеликман А. Н. Молибден / А. Н. Зеликман. М.: Наука, 1970. 440 с.

3. *Иванов В. В.* Редкие d-элементы / Справочник в 6 кн.: Экологическая геохимия элементов, кн. 5. М.: Экология, 1997. 576 с.
4. *Кашик С. А.* Физико-химические модели новейших процессов выветривания / С. А. Кашик, В. Н. Мазиллов. Новосибирск: Наука, 1987. 159 с.
5. *Логвиненко, Н. В.* Петрография осадочных пород / Н. В. Логвиненко. М.: Высшая школа, 1967. 416 с.
6. *Шапиро К. Я.* Изучение кинетики окислительного водно-автоклавного разложения молибденита / К. Я. Шапиро, Б. С. Мельников // Сб. научных трудов ВНИИТС «Твердые сплавы и тугоплавкие металлы», № 14. М.: Металлургия, 1973. С. 243-251.
7. *Щербина В. В.* Геохимия молибдена и вольфрама / В.В.Щербина, Г. Ф. Иванова, З. В. Студеникова и др. Отв. ред. В. В. Щербина. М.: Наука, 1971. 128 с.

Р. И. Корнейков, В. И. Иваненко, Э. П. Локшин

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева

Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

korneikov@chemy.kolasc.net.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ОТ КАТИОНОВ ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ОКСОГИДРОКСОФОСФАТАМИ ТИТАНА (IV)

Постоянно образующиеся и накапливающиеся в результате деятельности производственных предприятий жидкие технологические отходы оказывают серьезную техногенную экологическую нагрузку на трудно репродуцируемую окружающую среду Северных регионов России. Наиболее опасными в таких отходах являются микропримеси катионов токсичных металлов. Так, например, при эксплуатации ядерных энергетических установок образуются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), основная активность которых определяется наличием радионуклидов $^{134,137}\text{Cs}$, ^{90}Sr и ^{60}Co , а на гидрометаллургических предприятиях – технологические стоки, содержащие катионы цветных и тяжелых металлов. При этом содержание чрезвычайно опасных как для человека, так и для природных экосистем катионов металлов значительно превышает допустимые нормативы. Такие отходы техногенного происхождения требуют незамедлительной переработки с переводом высокотоксичных элементов в инертную форму, обеспечивающую безопасность при длительном их хранении. Однако, сложность выделения из промышленных растворов микроколичеств токсикантов обусловлена присутствием высоких концентраций солей, содежащих близкие по химическим свойствам катионы других металлов.

Для решения технологических и экологических задач по очистке промышленных отходов от микроколичеств катионов токсичных металлов перспективны сорбционные методы (Шарыгин и др., 1984; Ласкорин и др., 1973). При этом используемые ионообменники должны обладать высокими сорбционной ёмкостью, селективностью по отношению к сорбируемым компонентам, быть гидролитически устойчивыми, обеспечивать надежную иммобилизацию сорбированного компонента. Среди ионообменников, удовлетворяющих всему комплексу указанных характеристик, представляют интерес химически стабильные в агрессивных средах и обладающие высокими сорбционными свойствами иониты на основе оксогидрофосфатов титана(IV) с мольным отношением фосфора к титану(IV) ≤ 1 . Такое соотношение фосфора к титану(IV) обеспечивает аморфность сорбционной матрицы, что в свою очередь определяет быструю сорбцию катионов. Синтезированные согласно разработанным методикам (Иваненко и др., 2008; Иваненко и др., 2003; Иваненко и др., 2009) образцы имеют состав $\text{TiO}_{(2-x-y)}(\text{OH})_{2y}(\text{HPO}_4)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (где $x=0.3-1.0$, $y=0-0.5$, $n=1.3-6.3$, $P:\text{Ti(IV)} \leq 1$). Способность к ионному обмену обусловлена подвижностью ионов водорода гидрофосфатных групп вследствие их поляризации в поле центрального атома титана(IV). Процесс ионного замещения можно представить реакцией 1:



где R – гидратированная титанофосфатная матрица ионита; M^{z+} и H^+ – ионы металла и водорода; z – заряд ионов металла M^{z+} . Однако, диапазон значений pH эффективной сорбции катионов металлов ионообменниками такого состава ограничен.

Показано (Иваненко и др., 2011), что введение в состав сорбента катионов металлов, отличающихся от титана(IV) по кислотно-основным свойствам (Fe(III), Zr(IV), Nb(V)), способствует усилению подвижности протона функциональных групп и позволяет использовать такие модифицированные составы в процессах сорбции из более кислых сред. Кроме того, введение в состав ионообменных матриц катионов-модификаторов способствует усилению процессов оляции и оксоляции с образованием полимерных цепей Me-O-Me и, как результат, гранулированию частиц материала, что позволяет использовать сорбенты не только в статическом, но и в динамическом режиме. В таблицах 1 и 2 представлены сорбционные характеристики некоторых составов сорбентов по катионам натрия, цезия и стронция. Видно, что введение в состав сорбентов катионов-модификаторов приводит к значительному увеличению значений статической обменной емкости (СОЕ), которые близки к теоретически возможным для каждого из составов образцов и повышению значений констант гетерогенного катионного замещения ($\lg K_{обм.}^{(T)}$). Существенное увеличение размеров частиц сорбентов практически не снижает значений СОЕ.

Таблица 1

Значения СОЕ сорбентов различного состава и крупности при pH=6 для некоторых катионов металлов

Состав сорбента	Крупность	СОЕ, мг-экв·г ⁻¹		
		Na ⁺	Cs ⁺	Sr ²⁺
TiOHPO ₄ ·2.36H ₂ O	<5 мкм	2.96	3.37	-
	160-630 мкм	2.24	3.02	-
Fe _{0.1} (Ti)O _{1.1} (OH) _{0.1} (HPO ₄)·2.25H ₂ O	<160 мкм	4.34	4.46	4.22
	160-630 мкм	4.03	4.19	3.95
(Zr _{0.1} Ti)O(OH) _{0.4} (HPO ₄)·1.76H ₂ O	<5 мкм	4.63	4.82	4.48
	160-630 мкм	4.46	4.62	4.06

Таблица 2

Значения $\lg K_{обм.}^{(T)}$ процессов катионного замещения некоторых катионов металлов на сорбентах различного состава с крупностью частиц <5 мкм

Состав	$-\lg K_{обм.}^{(T)}$		
	Na ⁺	Cs ⁺	Sr ²⁺
TiOHPO ₄ ·3.17H ₂ O	3.14	1.60	2.60
Fe _{0.1} (Ti)O(OH) _{0.3} (HPO ₄)·2.25H ₂ O	2.32	1.52	1.94
(Zr _{0.1} Ti)O(OH) _{0.4} (HPO ₄)·1.76H ₂ O	2.36	1.34	1.72
(Nb _{0.1} Ti)O _{1.2} (OH) _{0.1} (HPO ₄)·2.30H ₂ O	2.20	1.02	-

Установлено, что сродство титанофосфатной матрицы к катионам щелочных и щелочноземельных элементов не зависит от природы фона электролита и определяется размерами ионного радиуса. Селективность ионита повышается при переходе от катионов металлов, обладающих меньшим кристаллохимическим радиусом и, соответственно, большей гидратной оболочкой, к катионам металлов с большим радиусом, обладающих меньшей гидратной оболочкой (рис.1). В таблице 3 представлены значения $\lg K_{обм.}^{(T)}$ при сорбции катионов 3d-элементов на модифицированном цирконием ионообменнике в растворах с различной природой анионного фона. Видно, что значения $\lg K_{обм.}^{(T)}$ достаточно велики, но в отличие от катионов I и II групп Периодической системы, сродство матрицы к катионам 3d-элементов зависит от природы фонового электролита.

Исследования по изучению химической устойчивости сорбентов показали, что гидролитическая деструкция оксогидрофосфатов титана(IV), протекающая по реакции 2:



не превышает 3 % в дистиллированной воде и снижается при увеличении концентрации раствора электролита и переходе к более крупному катиону металла (рис.2).

Исследование стабильности образцов в кислых средах показали, что в 4% H_2SO_4 при отношении фаз Ж:Т=200 деструкция немодифицированных составов по титану не превышает 6 % и более чем в 5 раз снижается у модифицированных составов. В щелочной среде (рН=11) деструкция образцов не превышает 1 %. Высокая химическая стабильность состава обеспечивает эффективное использование ионообменных материалов на основе оксигидрофосфатов титана (IV) в агрессивных средах, значительно снижая или исключая риск вторичного загрязнения.

Исследования по иммобилизации сорбата показали, что термическая обработка при 600-650°C насыщенного высокотоксичными катионами металлов сорбента приводит к образованию кристаллических двойных фосфатов титана и сорбированных компонентов (рис.3), что обеспечивает надежность и безопасность при длительном хранении отработанного материала. Кристаллизация сорбента, насыщенного двухвалентными катионами, происходит при более низкой температуре.

Выдерживание прокаленных при 600-650°C образцов в течение 7 месяцев в водной суспензии со значениями рН от 3 до 9 показало, что кристаллическая форма, в которую перешел насыщенный катионами металлов сорбционный материал, стабильна и не гидролизуется. Десорбция катионов из кристаллических образцов сорбентов, насыщенных катионами металлов, не наблюдалась. На растворах, моделирующих жидкие радиоактивные отходы, образующиеся при эксплуатации ядерных энергетических установок, проведена апробация синтезированных соединений. Такие отходы часто представляют собой загрязненную радионуклидами морскую воду (Вишняков и др., 1999). Компонентный состав раствора моделировался в соответствии с данными работы (Хорн, 1972). В таблице 4 представлены результаты исследований при различных значениях рН (степень извлечения и коэффициенты распределения (K_d)). Оптимальным значением рН, при котором происходит эффективное одновременное извлечение компонентов из раствора, является рН, близкое к 6.

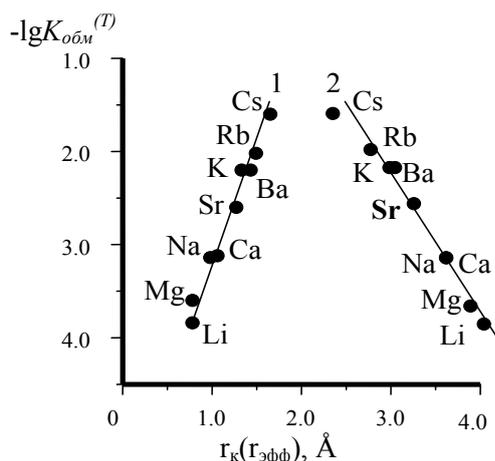


Рис.1. $\lg K_{обм.}^{(T)}$ $TiOHPO_4 \cdot 3.17H_2O$ от величины (1) кристаллохимического, r_k , и (2) эффективного, $r_{эфф}$, ионных радиусов металлов при 20°C

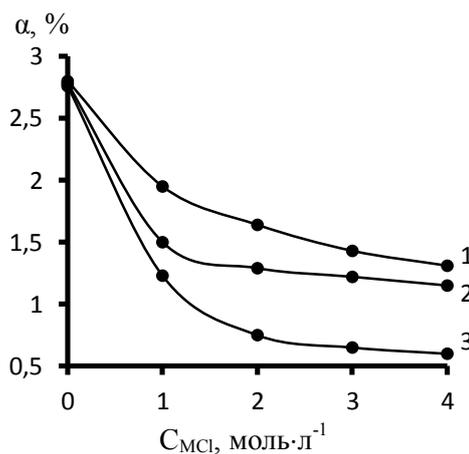


Рис.2. Зависимость степени гидролиза (α ,%) при 20°C $TiOHPO_4 \cdot 3.17H_2O$ от C_{MCl} . M^+ : 1 – Na^+ , 2 – K^+ , 3 – Cs^+

Таблица 3

Значения $\lg K_{обм.}^{(T)}$ на сорбенте состава $Zr_{0.1}(TiO)(OH)_{0.4}(HPO_4) \cdot 1.76H_2O$ в растворах с различной природой анионного фона электролита

Раствор	$-\lg K_{обм.}^{(T)}$			
	Fe^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}
Хлоридный	1.73	1.80	1.93	1.55
Сульфатный	1.59	1.68	1.51	1.35
Нитратный	-	1.63	1.46	1.31

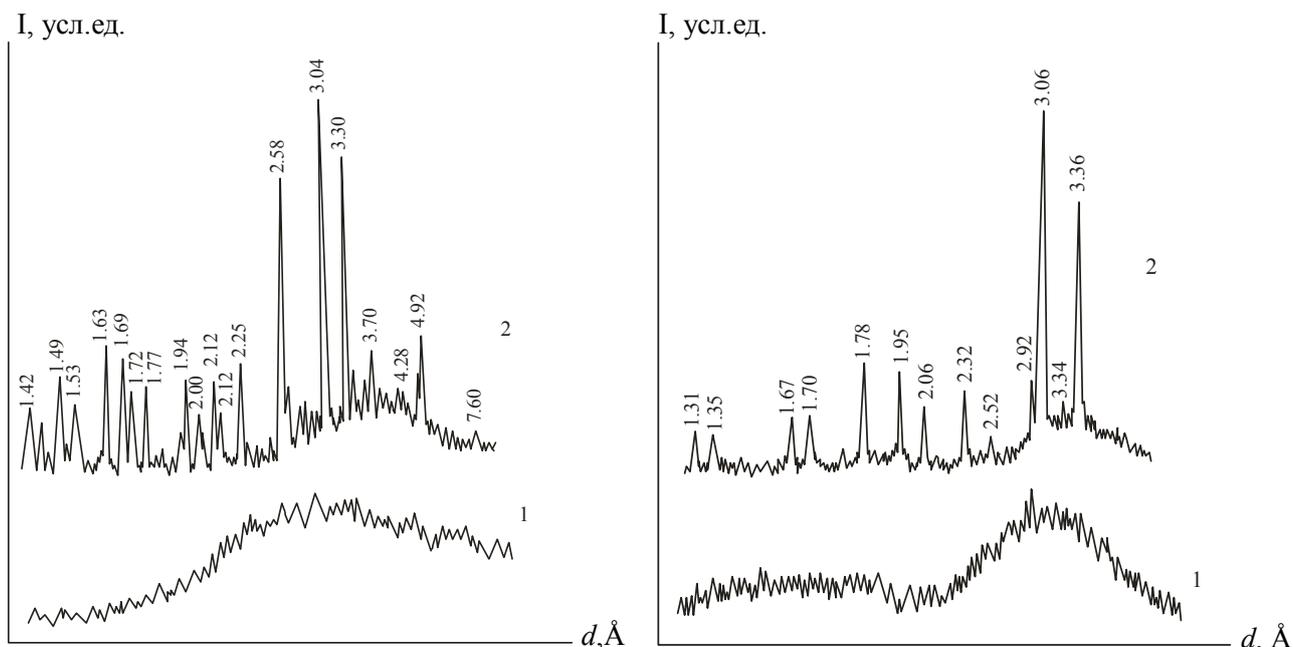


Рис.3. Диффрактограммы насыщенного катионами Na^+ (а) и Cs^+ (б) сорбента состава $\text{TiOHPO}_4 \cdot 3.17\text{H}_2\text{O}$ до (1) и после (2) термообработки

Таблица 4

Сорбция цезия и стронция сорбентом $\text{TiOHPO}_4 \cdot 2.72\text{H}_2\text{O}$
 при Ж:Т=100 в зависимости от pH из раствора состава, г·л⁻¹:
 Na^+ – 10.7; Cl^- – 19.35; K^+ – 0.42; Ca^{2+} – 0.41; Mg^{2+} – 1.35; Cs^+ – $0.85 \cdot 10^{-3}$; Sr^{2+} – $10 \cdot 10^{-3}$

pH сорбции	Остаточное содержание, мг·л ⁻¹		Извлечение, %		K_d , мл·г ⁻¹	
	Cs	Sr	Cs	Sr	Cs	Sr
2	0.1	9.8	88	-	750	-
6	0.21	2.29	75	77	300	340
8	0.41	0.27	52	97	107	3600

На растворах, моделирующих жидкие стоки, образующиеся на предприятиях цветной металлургии и содержащие повышенные концентрации катионов меди и никеля, проведены исследования по сорбционному извлечению Cu^{2+} и Ni^{2+} на оксигидрофосфатах титана(IV) немодифицированных и модифицированных цирконием (табл.5).

Таблица 5

Извлечение сорбентами различного состава катионов меди(II) и никеля(II)
 при их совместном присутствии в растворе (pH=5.1-5.2; Ж:Т=100; исходные концентрации, г·л⁻¹:
 Cu^{2+} – 0.125, Ni^{2+} – 0.118): 1 – без фоновых электролитов; 2 – содержащем фоновый электролит
 1 моль·л⁻¹ NaCl и 1 моль·л⁻¹ Na₂SO₄

Раствор	Сорбент	Остаточное содержание, мг·л ⁻¹		Извлечение, %		K_d , см ³ ·г ⁻¹	
		Cu^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}
1	$\text{Zr}_{0.1}(\text{TiO})(\text{OH})_{0.4}(\text{HPO}_4) \cdot 1.76\text{H}_2\text{O}$	0.0005	0.0198	99.6	83.2	24900	488
	$\text{TiO}(\text{OH})_{0.24}(\text{HPO}_4)_{0.88} \cdot 1.89\text{H}_2\text{O}$	0.0008	0.1028	99	13	1463	14
2	$\text{Zr}_{0.1}(\text{TiO})(\text{OH})_{0.4}(\text{HPO}_4) \cdot 1.76\text{H}_2\text{O}$	0.0031	0.1607	98	24	6152	32
	$\text{TiO}(\text{OH})_{0.24}(\text{HPO}_4)_{0.88} \cdot 1.89\text{H}_2\text{O}$	0.0033	0.1992	98	6	5734	6

Незначительное извлечение никеля обусловлено присутствием в этой области pH его гидролитических форм, осложняющих сорбционное извлечение. В слабокислой области происходит эффективное извлечение и меди(II), и никеля(II) (табл.6).

Извлечение сорбентами катионов меди и никеля при их совместном присутствии
(pH=3.8-4.0; Ж:Т=100; исходные концентрации, г·л⁻¹: Cu²⁺ – 0.192, Ni²⁺ – 0.217)

Сорбент	Остаточное содержание, мг·л ⁻¹		Извлечение, %		K _d , см ³ ·г ⁻¹	
	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺
Zr _{0.1} (TiO)(OH) _{0.4} (HPO ₄)·1.76H ₂ O	0.0008	0.0017	99.58	99.22	24900	12700
TiO(OH) _{0.24} (HPO ₄) _{0.88} ·1.89H ₂ O	0.0016	0.0361	99.17	83.36	12400	502

Таким образом, сорбенты на основе оксогидрофосфатов титана(IV) являются перспективными соединениями для очистки от радионуклидов и катионов тяжелых металлов высокосолевых промышленных жидких отходов, обеспечивающие безопасность и надежную иммобилизацию токсичного сорбата в течение длительного времени.

Литература

1. Вишняков Ю. М., Мальшев С. П., Пчелинцев В. М., Хорошев В. Г. Малогабаритная станция комплексной переработки жидких радиоактивных отходов // Судостроение. 1999. № 3. С. 44-48.
2. Иваненко В. И., Локшин Э. П., Корнейков Р. И., Аксенова С. В., Калинин В. Т. Зависимость ионообменных свойств сорбента на основе гидрофосфата оксотитана от состава // ЖПХ. 2008. Т. 81, №. 5. С. 726-729.
3. Иваненко В. И., Локшин Э. П., Авсарагов Х. Б., Мельник Н. А., Калинин В. Т. Способ получения сорбента на основе фосфата титана. Патент 2246985 РФ, МПК⁷ B01J 20/02. Заявитель и патентообладатель Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. № 2003119673/15; заявл. 30.06.03; опубл. 27.02.05, Бюл. № 6. 10 с.
4. Иваненко В. И., Локшин Э. П., Корнейков Р. И., Калинин В. Т. Способ получения сорбента на основе фосфата титана. Патент 2401160 РФ, МПК B01J 20/02 2006.01. Заявитель и патентообладатель Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья им. И. В. Тананаева Кол. науч. центра РАН. № 2009127217/05; заявл. 14.07.2009; опубл. 10.10.2010, Бюл. № 28. 10 с.
5. Иваненко В. И., Локшин Э. П., Корнейков Р. И., Калинин В. Т. Повышение эффективности титанофосфатных сорбентов модифицированием катионами переходных металлов // Доклады Академии наук, 2011. Т. 439, № 4. С. 493-495.
6. Ласкорин Б. Н., Голдобина В. А., Копанев А. М. Сорбция ионов цветных металлов и железа неорганическими ионитами на основе титана // Цветные металлы. 1973. № 1. С. 22-24.
7. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы) = Marine Chemistry (The structure of Water and the Chemistry of Hydrosphere). Москва: Мир, 1972. (Науки о земле). 400с.
8. Шарыгин Л. М., Моисеев В. Е., Штин А. П. и др. Сорбция осколочных и коррозионных радионуклидов из водного теплоносителя реактора гранулированными фосфатом и гидроксидом циркония // Радиохимия. 1984. Т. 26, № 2. С. 156-161.

Л. Б. Кошкина, Л. П. Сулименко, Т. А. Мингалева, Д. В. Макаров

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
gonor@list.ru*

РАЗРАБОТКА СОРБЦИОННО-AКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ В ТЕХНОЛОГИИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Для действующего горно-обогатительного комплекса в районе Хибинского горного массива вопрос очистки сточных вод от молибдена особенно актуален, поскольку в поверхностных водных объектах, приуроченных к району разработки месторождения апатито-нефелиновых руд, обнаружено

присутствие молибдена в количествах, значительно превышающих ПДК. Молибденовые оруднения Хибинского массива в первую очередь связаны с молибденитом MoS_2 класса сульфидов (Минералы Хибинского... 1999). Значительные агрегации молибденита совпадают с комплексом апатито-нефелиновых руд и рудные выходы молибденита отмечаются на различных горизонтах при обработке месторождений. В процессе выщелачивания молибден в виде аниона MoO_4^{2-} поступает в подземные воды, что приводит к его повышенным концентрациям в поверхностных водных объектах. С целью достижения значений ПДК по молибдену в выпусках производственных стоков требуется разработка селективных сорбентов с учетом специфики его гидрогеохимии. Сложность очистки от молибдена заключается в том, что производственные, карьерные и шахтные воды являются слабощелочными, когда молибден представлен в растворенной форме и наиболее подвижен.

В настоящих исследованиях для этих целей нами была изучена возможность применения сорбентов на основе природных карбонатитов и материалов на их основе, поверхность которых подвергалась специфической обработке. Выбор карбонатита в качестве исходного минерала обусловлен следующими факторами: природные карбонатиты не являются дефицитным сырьем для Кольского полуострова, достаточно дешевы. Кроме того, в ряде исследований (Жижаев, 2001; Изотов, 2006) кальцит и доломит использовались для удаления тяжелых и цветных металлов (ТМЦ) из промышленных стоков.

Для увеличения удельной поверхности, концентрации активных центров и сорбционной емкости по извлечению молибдена применялись термоактивация и синтез карбоминеральных сорбентов. В качестве носителя был использован карбонатит Ковдорского месторождения, источников функциональных групп – продукты пиролиза отходов целлюлозной промышленности – лигносульфонаты (ЛС). Термоактивация карбонатита ($T \sim 450^\circ\text{C}$) приводит к увеличению его удельной поверхности за счет процессов раскалывания и декрепитации и повышению химической активности в результате декарбонизации поверхности (Ключникова, 2011). Модифицирование с применением целлюлозосодержащих материалов – к образованию дополнительных активных центров за счет формирования свободных функциональных групп в процессе пиролиза ЛС, которые могут участвовать в сорбционных процессах, описываемых следующими механизмами: ионным обменом на карбоксильных группах $-\text{COOH}$, комплексообразованием за счет взаимодействия с сульфо- и OH - группами, а также с участием всех атомов кислорода элементарного звена ЛС (Зосин, 2007; Фогель, 2011).

При изучении характера сорбции молибдена и сорбционных свойств использовали метод потенциометрического титрования (по кривым гидролитического равновесия в системе сорбент–раствор) и изотермы сорбции, полученные методом переменных концентраций в статических условиях.

Эксперимент по получению изотермы в статических условиях проводили при изменении исходной концентрации молибдена в растворе от 0.063 до 61.3 мг/дм^3 (рис.1). Полученные изотермы (за исключением природного карбонатита) в соответствии с классификацией БЭТ относятся к IVa типу, со смешанной структурой пористости. На начальном участке при низких исходных концентрациях молибдена в растворе изотерма вогнута относительно оси концентрации – тип L изотерма Ленгмюра.

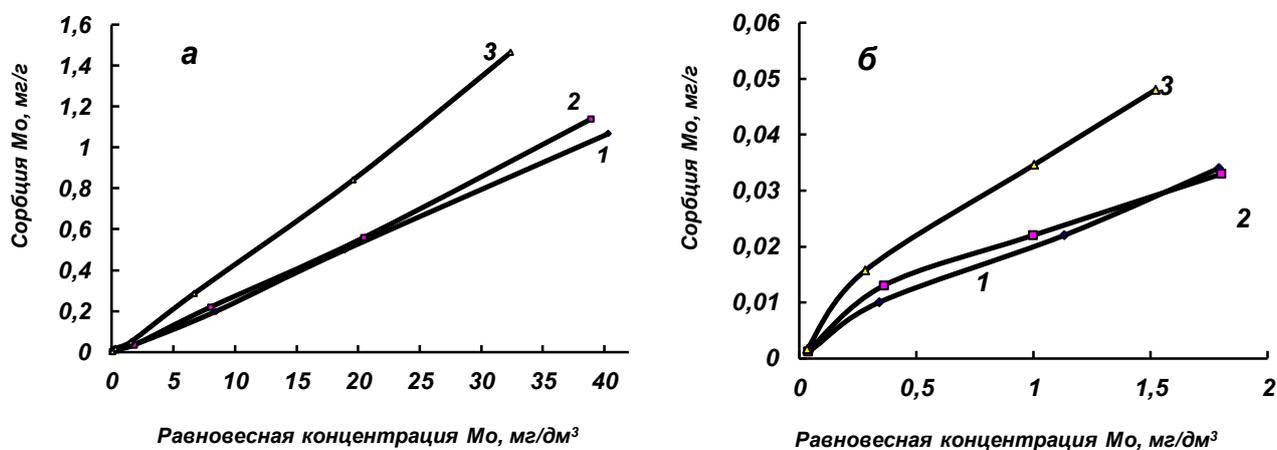


Рис.1. Изотермы сорбции синтезированных материалов при изменении концентрации молибдена в растворе, мг/дм^3 : а от 0.063 до 61.3; б – от 0.063 до 2.46.

1 – термокальцит, 2 – модифицированный кальцит, 3 – модифицированный термокальцит

Это указывает на наличие в сорбентах микропор: при малых концентрациях сорбент достигает насыщения и сорбция соответствует покрытию поверхности мономолекулярным слоем (Парфит, 1986). Кроме того, Лэнгмюровская изотерма описывает процессы физической адсорбции в микропорах за счет вандерваальсовых сил, когда связи сорбент–сорбат достаточно слабые (Большая энциклопедия нефти и газа. <http://www.ngpedia.ru/id54891p1.htm>).

Дальнейшая сорбция выше этого уровня имеет уже линейный характер (тип С изотерма Генри). Линейный рост сорбции, наблюдаемый вслед за начальным этапом, указывает на постоянное распределение растворенного молибдена между раствором и сорбентом. Такая изотерма характерна для монослойной сорбции на мезопорах, при которой число сорбционных центров остается постоянным в широкой области концентраций. Изотермы сорбции термокальцита и модифицированного кальцита практически совпадают, а сорбционная емкость (А) модифицированного термокальцита на всем участке изотерм) выше на 22÷27 %. При исходной концентрации молибдена $C_{исх.}=61.6$ мг/дм³ для модифицированного термокальцита $A=1.463$ мг/г, для модифицированного кальцита $A=1.137$ мг/г, для термокальцита $A=1.067$ мг/г. Соответственно, при концентрации молибдена $C_{исх.}=0.62$ мг/дм³ для термокальцита и модифицированного кальцита $A=0.0012$ мг/г, для модифицированного термокальцита $A=0.0016$ мг/г.

Изотермы сорбции природного карбонатита могут быть отнесены к I типу и описаны как мономолекулярная сорбция в микропорах. Степень извлечения молибдена для него при $C_{исх.}=61.6$ мг/л составляет всего 0.24 мг/г, что в 4.5 раза меньше, чем для термоактивированного кальцита, и в 6 раз меньше, чем модифицированного термокальцита. Это подтверждает факт увеличения удельной поверхности в процессе термоактивации природного карбонатита, что приводит к развитию пористой структуры и формированию дополнительных сорбционных центров при модифицировании. Учитывая аниогенный характер присутствия молибдена в слабощелочной среде, помимо физической сорбции на микропорах, в качестве дополнительного механизма на модифицированном карбонатите возможен ионный обмен на карбоксильных группах. Не исключается и комплексообразование за счет взаимодействия с поверхностным кислородом и группами ^-OH , характерное для целлюлозосодержащих сорбентов (Фогель, 2011). Таким образом, наиболее перспективным для наших целей является термокальцит, поверхность которого прошла модифицирование специальной обработкой легирующими компонентами.

Поскольку pH среды определяет форму присутствия молибдена в водном растворе и является одним из определяющих факторов механизма сорбции, нами были проведены исследования по изучению гидролитического равновесия в системе сорбент–раствор. Кривые гидролитического равновесия изучали на модифицированном термоактивированном карбонатите методом потенциометрического титрования 0.1N растворами HCl и NaOH с использованием отдельных навесок: Т:Ж=1:50, $C_{Mo}=0$ и 10мг/л, изменение pH от 2 до 11.8. Результаты приведены на рис.2.

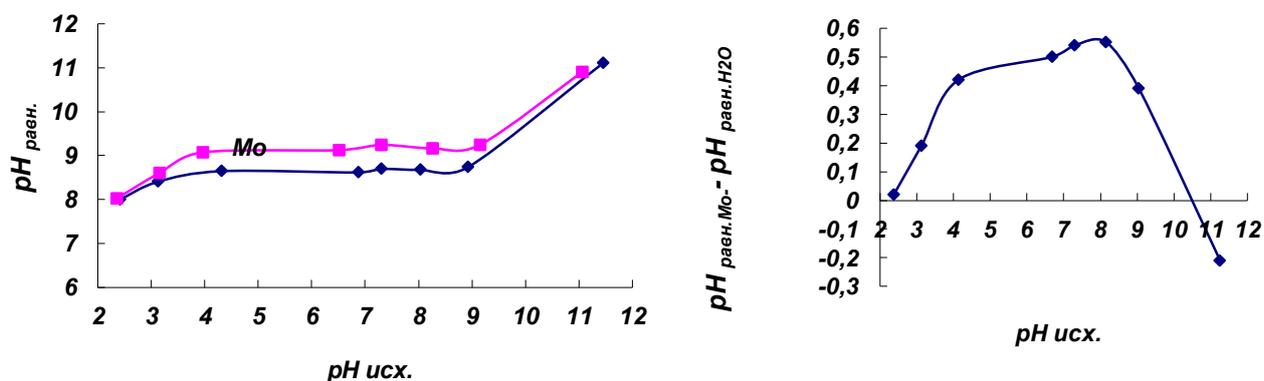


Рис.2. Влияние исходных параметров контактного раствора (pH и $C_{Mo}=10$ мг/дм³) на гидролитическое равновесие

При концентрации молибдена $C_{Mo}=0$ между сорбентом и раствором наблюдается гидролитическое равновесие по так называемому щелочному гидролизу. Концентрация OH^- в растворе в области $pH_{исх.} < 4$ увеличивается, в сильно щелочной среде ($pH > 9$) в процессе гидролиза происходит подкисление раствора. При $4 > pH < 9$ концентрация OH^- остается практически постоянной и устанавливается на уровне $pH_{равн.} \sim 8.65$.

В присутствии молибдена в растворе общие тенденции процессов гидролиза сохраняются, однако наблюдаются следующие различия: в области $4 > pH < 9$ концентрация OH^- также остается постоянной, но увеличивается до ~ 9.12 по отношению к раствору с $C_{Mo}=0$; при $pH < 4$ и $pH > 9$ кривые гидролитического равновесия практически совпадают.

Приведенные результаты объясняются, по-видимому, следующими факторами. Карбонат кальция является щелочным реагентом, исключая изменение щелочности раствора в широком диапазоне pH с максимальным значением $pH_{равн.} \sim 8.5$ (Исаева, 2006). Увеличение концентрации OH^- в процессе сорбции, по-видимому, предполагает наличие ионообменного механизма между анионом MoO_4^{2-} , присутствующим в растворе, и поверхностными OH^- в составе свободных фенольных и карбоксильных групп модифицированного сорбента что способствует увеличению сорбционной емкости по сравнению с термоактивированным природным карбонатитом. Об этом же частично говорит линейный характер изотерм в области концентраций молибдена $0.60 \div 62$ мг/дм³.

На практике сорбционные процессы осуществляют, как правило, в динамических условиях, это обеспечивает непрерывность технологического процесса и повышение эффективности сорбции. При этом статические процессы распределения вещества между фазами сорбент-раствор повторяются многократно. В отличие от статической, динамическая сорбция является неравновесным процессом, в котором первостепенную роль играет сорбция на поверхности, а диффузия в объем требует более длительного времени прохождения сорбата через колонку. Подбор оптимального гидродинамического режима и снижения сопротивления во внутридиффузионной области осуществляется изменением диаметра колонки и размеров зерен сорбента. (Парфит, 1986).

Для изучения процессов сорбции в динамических условиях использовалась сорбционная установка с неподвижным фильтрующим слоем и загрузкой из термоактивированного и модифицированного карбонатита. Параметры колонки и условия сорбции были приближены к реальным. Раствор подавался в безнапорном режиме, самотеком. Слой термоактивированного карбонатита был использован для удешевления процесса, так как предварительные исследования показали достаточную эффективность извлечения молибдена этим сорбентом. Параметры колонки, условия динамической сорбции и характеристика сорбента даны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика условий сорбции в динамическом режиме

Сорбент	Характеристика колонки				Характеристика сорбента			
	диаметр, d, см	сечение S, см ²	линейная скорость, м/ч	объемная скорость, мл/ч	уд. вес, г/см ³	высота слоя, см	вес, г	размер зерна, мм
Термоактивированный карбонатит	2.6	5.307	0.25	156.0	1.5	28.1	223.7	0.5÷2
Модифицированный карбонатит					1.45	29.4	226.2	0.5÷2

Динамическая активность сорбента характеризуется значениями полной динамической емкости (ПДЕ) или динамической проскоковой емкости (ДПЕ). Полная динамическая емкость – это масса поглощенного вещества за время до проскока, т.е. до равновесной концентрации, равной исходной, в единице объема или массы сорбента. При определении динамической проскоковой емкости фиксируется время до момента появления сорбируемого вещества или концентрации, равной ПДК. За динамическую проскоковую концентрацию было принято значение ПДК по молибдену для водоемов рыбохозяйственного значения. Выходная кривая сорбции молибдена в фильтруемом растворе ($C_{ПДК}=0.001$ мг/дм³) приведена на рис.3

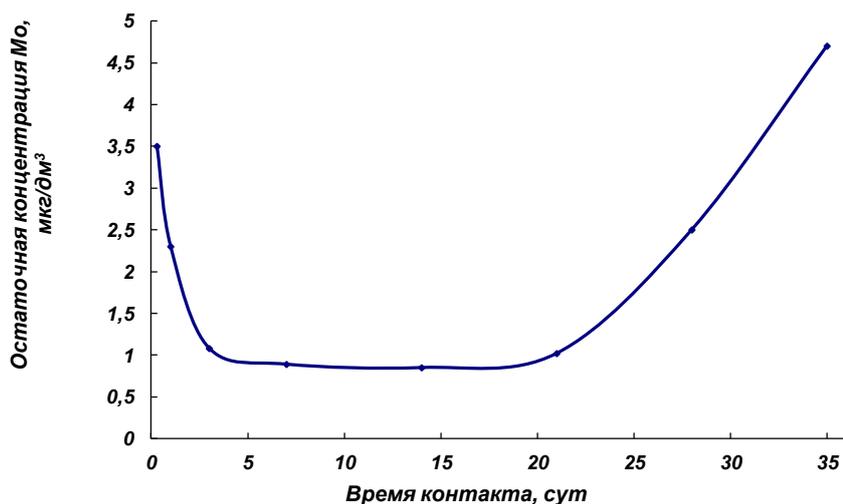


Рис.3. Выходная кривая сорбции Mo при постоянной линейной скорости потока $V_{\text{лин.}}=0.25$ м/ч и $C_{\text{Mo исх.}} = 0.120$ мг/дм³

Время отработки сорбента до проскоковой концентрации, равной ПДК молибдена, составило при выбранных условиях 21 сут. Все данные, полученные в результате эксперимента, относятся к конкретным условиям, являются характеристикой колонки и демонстрируют принципиальную возможность очистки водных растворов от молибдена при использовании разработанного сорбента на основе карбонатитов.

Таким образом, модифицирование карбонатитов приводит к повышению пористости и увеличению количества сорбционно-активных центров; в зависимости от условий модифицирования наблюдается различие в сорбционных свойствах полученных сорбентов. Предложенный способ сорбционного извлечения молибдена из водных растворов достаточно эффективен и экономичен, основное достоинство разработанных сорбентов в том, что сорбция молибдена идет в щелочной среде, когда миграционная способность молибдена высокая.

Литература

1. Большая энциклопедия) нефти и газа. <http://www.ngpedia.ru/id54891p1.htm>.
2. Жижжаев А. М. Осаждение меди с использованием природных карбонатов кальция / А. М Жижжаев, В. И. Брагин, А. Г. Михайлов // Обогащение руд. 2001. № 5. С. 13-17.
3. Зосин А. П. Влияние катионов модификаторов на каталитические и сорбционные свойства органо-минеральных материалов с закрепленными металлокомплексами // Зосин А. П., Приймак Т. И., Кошкина Л. Б., Калинин В. Т / VIII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Москва. 2007. Т 3. С. 109.
4. Изотов А. А. Способы снижения воздействия дренажных вод на окружающую среду в горнодобывающих районах // А. А. Изотов, О. Н. Ковердяев, О. О. Вершинина // Горный журнал, 2006. № 10. С. 103-106.
5. Исаева О. А. Исследование перспективных методов очистки сточных вод с целью создания эколого-геохимических барьерных зон / Диссертация. Специальность 03.00.16 «Экология», Уфа. 2006. 170 с.
6. Ключников В. Н. Исследование процессов термолитиза природных карбонатов кальция / В. Н. Ключников // Вестник «Наука и практика». Белгород, 2011. С. 469
7. Минералы Хибинского массива / В. Н. Яковенчук, Г. Ю. Иванюк, Я. А. Пахомовский, Ю. П. Меньшиков. М.: Земля, 1999. 326 с.
8. Парфит Г. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / Г. Парфит, К. Рочестер. М.: Мир, 1986. 448 с.
9. Фогель А. А. Изучение сорбционных свойств материалов на основе отходов производства древесины и минерального сырья / А. А. Фогель, В. А. Сомин, Л. А. Комаров // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. № 19. С. 461-465.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И РАЗРАБОТКА ОБОГАТИТЕЛЬНО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

В настоящее время в переработку все в большей мере вовлекаются труднообогатимые сульфидные руды цветных металлов, а также нетрадиционное, в частности, техногенное сырье. Вследствие особенностей форм нахождения полезных минералов, их высокой степени дисперсности, изменений физических и физико-химических свойств поверхности такое сырье, как правило, не может эффективно и комплексно перерабатываться с помощью традиционных методов.

Актуальной геоэкологической и экономической проблемой является разработка новых наукоемких и экологически безопасных технологий, снижающих нагрузку от сульфидсодержащих отходов на окружающую среду, обеспечивающих эффективное и комплексное извлечение ценных компонентов из руд и техногенного сырья.

Рациональное и комплексное использование недр предусматривает научную классификацию горнопромышленных отходов, в основу которых положены различные классификационные принципы, учитывающие экологические аспекты, изменение технологических свойств, проблемы складирования и хранения отходов. Существующие подходы представлены в работах Ахундова, Боженова и Барского (Ахундов В. Ю. и др., 1979; Боженов П. И., 1994; Ласкорин Б. Н. и др. 1984), Чантурия и др. (Чантурия В. А. и др., 2000; Маслобоев В. А. и др., 2014).

Предложенные классификации проанализированы в работах В. Т. Калининкова и В. Н. Макарова (Калинников В. Т. и др., 1997; Макаров В. Н., 1998). Ими выделены три класса горнопромышленных отходов по степени их экологической опасности:

- грубодисперсные отходы (вскрышные породы, шлаки), оказывающие неблагоприятное воздействие на природу главным образом вследствие отчуждения земель под их хранение, нарушение гидрологического и гидрогеологического режима и воздушных массопереносов;

- горнопромышленные отходы, являющиеся источником вторичного загрязнения воздушного бассейна и открытых водоемов пылью (хвосты безреагентного обогащения, не содержащие сульфидов, золошлаковые смеси ТЭЦ и др.);

- отходы, содержащие водорастворимые загрязнители и токсичные вещества, материалы, переходящие в водорастворимые соединения в процессе хранения в отвалах и хвостохранилищах.

Сульфидсодержащие отходы горно-металлургического комплекса относятся к третьей группе наиболее экологически опасных.

В зарубежной научной литературе используют термины «acid mine drainage» (AMD) и «acid rock drainage» (ARD), обозначившие проблему закисления вод с объектов горнорудной промышленности, при котором происходит загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами.

В этой связи, разработка физико-химических геотехнологий, обеспечивающих доизвлечение полезных компонентов из некондиционных медно-никелевых руд и отходов горно-металлургического комплекса Мурманской области является актуальной научно-технической задачей. Ее решение позволит расширить минерально-сырьевую базу стратегических цветных металлов и снизить нагрузку на окружающую среду.

В качестве объектов исследований были выбраны:

- руды техногенного образования отвала Аллареченского месторождения медно-никелевых руд, расположенного в Печенгском районе Мурманской области;

- забалансовые руды месторождений медно-никелевых руд Нюд-II и Морошковое озеро, расположенных в Мончегорском районе;

- хвосты обогащения медно-никелевых руд комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК»;

- шлаки текущего производства и лежалые шлаки комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК».

Руды отвала Аллареченского месторождения представлены двумя морфологическими типами: массивными (сплошными) и вкрапленными. Основные рудные минералы обоих типов – пирротин, пентландит и реже халькопирит, которые находятся в тесной парагенетической связи с магнетитом (Маслобоев В. А. и др., 2014).

Главными рудными минералами месторождения Нюд-II являются пирротин (до 90 %), пентландит, халькопирит, магнетит. Сульфиды представлены вкрапленностью, гнездами, шширами и прожилками. Руды месторождения Морозовское представлены вкрапленностью, линзами и жилками, редко гнездами до 20 см. Характерным в составе оруденения является высокое содержание в руде никеля, а в минеральном составе – пентландита и пирита с примесью никеля (Припачкин и др., 2013).

В составе хвостов обогащения комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК» преобладают серпентины (≈ 60 %) (Чантурия В. А. и др., 2004). В заметных количествах присутствуют пироксены, амфиболы, тальк, хлориты, кварц, полевые шпаты. Основными рудными минералами являются магнетит, пирротин, пентландит, халькопирит. Общее содержание сульфидных минералов составляет 1-3 %. Сульфиды в шлаках отвалов плавильного цеха медно-никелевого производства комбината «Печенганикель» чаще всего округлой формы (шарики, капли), встречаются овальные выделения, также наблюдаются срастания отдельных зерен сульфидов (Макаров Д. В. и др., 2013).

Методы кучного выщелачивания цветных металлов при переработке бедного природного и техногенного сырья являются наиболее перспективными (Чантурия В. А., Козлов А. П., 2014).

Для оценки скорости гипергенеза сульфидных минералов и вероятной экологической опасности были проведены две серии экспериментов с породой отвала Аллареченского месторождения. В первой серии изучено взаимодействие руды с выщелачивающим реагентом в динамическом режиме, длительность эксперимента 90 суток. Руда данной фракции содержала (%): Ni 0.52, Cu 0.74, Co 0.012. Растворы на выходе из колонок анализировали методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Наиболее интенсивно выщелачивается никель. Более низкие показатели характерны для меди. За 90 суток извлечения металлов при выщелачивании раствором без окислителя составили (%): никель 11.9, медь 4.3, кобальт 8.0; с окислителем (%): никель 11.8, медь 4.0, кобальт 7.9. Во второй серии опытов было проведено моделирование гипергенеза в ускоренных условиях в режиме попеременное увлажнение – высыхание руды при температуре $45 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 30 суток. Руда содержала (%): Ni 0.35, Cu 0.33, Co 0.02. Растворы выщелачивания анализировали методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В отличие от опытов с дистиллированной водой, при увлажнении – высыхании сернокислых растворов пробы руды уже в течение вторых суток экспериментов покрылись зеленовато-желтой коркой новообразованных фаз, которая препятствовала проникновению реагентов вглубь образца руды при последующих циклах обработки, поэтому образцы подвергали перемешиванию. Подобные процессы самоконсервации наблюдаются на старогодних сульфидсодержащих хвостохранилищах и связаны с образованием кварц-сульфатных корок. Анализ растворов выщелачивания позволил рассчитать переход цветных металлов в растворимые формы. Извлечения металлов в раствор составили, %: опыт с дистиллированной водой Ni 2.19, Cu 0.02, Co 1.67; с серной кислотой Ni 18.15, Cu 11.49, Co 8.19; с серной кислотой и окислителем Ni 19.92, Cu 11.73, Co 8.94.

Исследовано взаимодействие руды месторождения Нюд-II с выщелачивающим реагентом в динамическом режиме, длительность эксперимента – 130 суток. Руда содержала, %: Ni 1.70, Cu 0.50, Co 0.07 (для экспериментов использовали образец густовкрапленной руды). Растворы на выходе из колонок анализировали методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Твердую фазу исследовали методами рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре ДРОН-2 (излучение Cu K α). Данные РФА показывают, что рудное вещество из колонок по окончании опытов в динамическом режиме качественно не отличается от исходного вещества. Можно отметить снижение интенсивности рефлексов пирротина в результате его выщелачивания относительно рефлексов силикатов, особенно проявляющееся в верхнем слое колонки. В то же время на поверхности колонок образовался тонкий слой зеленого налета, который был проанализирован. Установлено, что основная фаза налета – новообразованный сульфат, принадлежит к структурной группе галотрихита $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ (пиккерингит $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, вупаткиит $(\text{Co}, \text{Mg}, \text{Ni})\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$). Результаты ИК спектроскопических исследований также свидетельствуют об образовании сульфатов. Кинетика выщелачивания металлов из образцов руды представлена следующими результатами: наиболее интенсивно, в отличие от руды отвала Аллареченского месторождения, выщелачивается кобальт. Вероятно, это связано с тем, что в руде кобальт присутствует только в составе сульфидов, причем часть его содержится в пирротине. Также как и для руды отвала Аллареченского месторождения более низкие показатели характерны для меди. За 130 суток извлечения металлов при выщелачивании раствором без окислителя составили, %: никель 12.4, медь 7.2, кобальт 13.2; с окислителем: никель 12.4, медь 6.9, кобальт 13.3.

Взаимодействие руды месторождения Морошковое озеро исследовано в динамическом режиме, длительность эксперимента – 130 суток. Руда содержала, %: Ni 0.72, Cu 3.09, Co 0.039. Кинетика выщелачивания металлов из образцов руды показывает, что никель и кобальт выщелачиваются с одинаковой интенсивностью. Медь переходит в раствор медленно. Халькопирит, находящийся в сростках с пирротинном и пентландитом, выступает в роли катодных участков, на которых происходит восстановление окислителей. Ожидать приемлемого извлечения меди можно после окисления сульфидов железа и никеля (Watling et al., 2009).

С целью оценки воздействия хранящихся в отвалах хвостов обогащения и гранулированных шлаков на окружающую среду, а также возможностей гидрометаллургических методов переработки данного техногенного сырья, была изучена возможность выщелачивания хвостов обогащения и отвальных шлаков. Стоит отметить, что при переработке тонкодисперсных техногенных продуктов (хвосты) или природного сырья с высоким содержанием слоистых гидросиликатов (глинистых минералов) возникают проблемы коагуляции, приводящие к ухудшению проницаемости штабеля выщелачивающими растворами и к остановке процесса (Макаров Д. В. и др., 2004; Макаров В. Н. и др., 2005). С учетом избытка производимой предприятиями АО «Кольская ГМК» серной кислоты и проблем с ее реализацией, перспективным представляется процесс агломерации, в котором серная кислота используется в качестве связующего. Были поставлены лабораторные эксперименты по оценке воздействия на окружающую среду хранящихся в отвалах гранулированных шлаков, выполнено изучение возможностей гидрометаллургических методов переработки данного техногенного сырья (методом кучного выщелачивания); исследован гипергенез в ускоренных условиях. Анализ растворов выщелачивания позволил рассчитать переход цветных металлов в растворимые формы. Извлечения металлов в раствор из лежалого шлака составили, (%): опыт с дистиллированной водой Ni 0.38, Cu 0.01, Co 0.05; с серной кислотой Ni 16.14, Cu 5.16, Co 21.90; с серной кислотой и окислителем Ni 11.00, Cu 3.32, Co 14.34. Для шлаков текущего производства зафиксированы следующие показатели (%): опыт с дистиллированной водой Ni 0.11, Cu 0.10, Co 0.04; с серной кислотой Ni 15.50, Cu 6.01, Co 22.51; с серной кислотой и окислителем Ni 18.79, Cu 4.94, Co 27.71. Результаты опытов, моделирующие гипергенез шлаков в ускоренных условиях, показывают резкое, на два и более порядка увеличение скорости перехода цветных металлов в растворимые формы при обработке кислыми растворами, что свидетельствует об их экологической опасности. На основании проведенных исследований представляется перспективной следующая схема переработки шлаков: измельчение с целью раскрытия сульфидных включений, и флотация сульфидов с селективной флокуляцией сульфидных минералов.

Поскольку хвосты обогащения представляют сложный материал для простого выщелачивания, то была проведена работа с получением гранул из хвостов обогащения. Хвосты содержали, %: Ni 0.17, Cu 0.07, Co 0.01. Выполнено перколяционное выщелачивание в колонках, длительность эксперимента – 110 суток. За время эксперимента в раствор перешло около 60 % содержащегося в гранулах никеля, 44 % меди и 41 % кобальта.

Ввиду того, что сульфиды цветных металлов шлака находятся внутри силикатной матрицы, для лучшего доступа выщелачивающего реагента к минералам необходимо его измельчение и последующее окомкование измельченного в агломераторах. Проведены эксперименты с получением окатышей из измельченного шлака. Исходный шлак содержал, %: Ni 0.155, Cu 0.115, Co 0.09. Перколяционное выщелачивание вели в течение 110 суток. Растворы на выходе из колонок анализировали методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Концентрации металлов в продуктивных растворах в течение эксперимента, в целом, приемлемы для промышленной реализации метода при условии оборота растворов и интенсификации выщелачивания с использованием окислителей. Наиболее интенсивно, выщелачивается никель (17%), показатели кобальта составили 8.6 %, медь ~4.6 %.

Для утилизации техногенного сырья целесообразно применение комбинированных флотационно-гидрометаллургических методов. В сотрудничестве с Институтом проблем комплексного освоения недр РАН проведены исследования флотационного доизвлечения цветных металлов из хвостов текущего производства. Анализ результатов показывает, что для более полного извлечения рудных минералов в концентрат необходимо совершенствование схем флотации, более тонкое измельчение и применение селективной флокуляции сульфидов. Вместе с тем, полученные концентраты пригодны для последующей гидрометаллургической переработки.

Флотацию отвальных шлаков вели после тонкого измельчения (до 100% -40 мкм). С целью улучшения показателей флотации в ряде экспериментов использовали предварительное

электроимпульсное дробление (ЭИД) гранул шлака (Usov A., Potokin A., 2014). Извлечение никеля в концентрат при флотации шлака с применением ЭИД увеличились на 21-24 %, меди – на 18-22 %.

В приведенных материалах исследований на примере ряда техногенных объектов Мурманской области показано, что экологическую опасность представляют не только мелкофракционные, но и грубодисперсные сульфидсодержащие отходы («Отвалы Аллареченского месторождения»). Рекультивация отвалов и хвостохранилищ, хотя и снижает экологическую нагрузку, не обеспечивает их полную безопасность. Процесс окисления сульфидов может растягиваться на многие десятки лет, соответственно отвальные продукты представляют долгосрочную угрозу окружающей среде.

Проведены минералого-технологические исследования бедных медно-никелевых руд Мончеплутона: месторождений Нюд-П и Морошковое озеро. Установлено, что руды могут быть переработаны методом кучного выщелачивания. Необходим поиск оптимальных технологических решений, обеспечивающих интенсификацию процессов растворения сульфидных минералов, в первую очередь, халькопирита.

Выполнены эксперименты по сернокислотной агломерации хвостов обогащения медно-никелевых руд и измельченных отвальных шлаков. Изучено перколяционное выщелачивание хвостов обогащения медно-никелевых руд и шлаков серной кислотой концентрацией 1-3%. Показано, что за 110 суток в раствор из хвостов обогащения извлекается более 60% никеля.

Показана возможность флотационного доизвлечения цветных металлов из хвостов и шлаков. Использование предварительного ЭИД гранул шлака обеспечивает прирост извлечений цветных металлов в концентрат на 18-24 %. Необходимы дальнейшие исследования по совершенствованию схем флотации и оптимизации реагентного режима.

Полученные данные послужат научной основой для разработки оптимальных условий и параметров гидromеталлургических процессов переработки руд и техногенных отходов. Это позволит обосновать вовлечение в промышленную переработку забалансовые медно-никелевые руды, хвосты обогащения и шлаки, содержащие стратегические цветные металлы.

Литература

1. Ахундов В. Ю., Сеидов И. М., Кадымова Н. Н. и др.. Безотходная технология переработки полезных ископаемых. Ч. 1. М.: ИПКОН АН СССР, 1979. С. 11-13.
2. Боженов П. И. Комплексное использование минерального сырья и экология. М.: Ассоциация строительных ВУЗов, 1994. 268 с.
3. Калинин В. Т., Макаров В. Н., Кременецкая И. П. Классификация горнопромышленных отходов по степени их экологической опасности // Химия в интересах устойчивого развития, 1997. № 5. С. 169-178.
4. Ласкорин Б. Н., Барский Л. А., Персиц В. З. Безотходная технология минерального сырья. Системный анализ. М.: Недра, 1984. 320 с.
5. Макаров В. Н., Васильева Т. Н., Макаров Д. В., Алкацева А. А., Фарвазова Е. Р., Нестеров Д. П., Лацук В. В. Потенциальная экологическая опасность выведенных из эксплуатации хранилищ хвостов обогащения медно-никелевых руд // Химия в интересах устойчивого развития, 2005. Т. 13. № 1. С. 85-93.
6. Макаров Д. В., Макаров В. Н., Васильева Т. Н., Фарвазова Е. Р. Изменения содержания Ni, Cu, Co, Fe, Mg в хвостах обогащения медно-никелевых руд в процессе их хранения // Инженерная экология, 2004. № 1. С. 18-28.
7. Макаров Д. В., Потапов Д. С., Потапов С. С., Светлов А. В. Исследование экологической опасности и потенциальной возможности извлечения полезных компонентов из гранулированных шлаков комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК» // Экология промышленного производства, 2013. № 2. С. 54-58.
8. Макаров В. Н. Экологические проблемы утилизации горнопромышленных отходов. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 1998. Ч. 1. 132 с.
9. Маслбоев В. А., Селезнев С. Г., Макаров Д. В., Светлов А. В. Оценка экологической опасности хранения отходов добычи и переработки медно-никелевых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2014. № 3. С. 138-153.
10. Припачкин П. В., Нерадовский Ю. Н., Федотов Ж. А., Нерович Л. И. Cu-Ni-ЭПГ и Cr месторождения Мончегорского района, Кольский п-ов, Россия. Путеводитель геологической экскурсии. Апатиты: ГИ Кольского НЦ РАН, 2013. 44 с.

11. Чантурия В. А., Козлов А. П. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья // Горный журнал, 2014. № 7. С. 79-84.
12. Чантурия В. А., Макаров В. Н., Макаров Д. В. Классификация горнопромышленных отходов по типу минеральных ассоциаций и характеру процессов окисления сульфидов // Геоэкология, 2000. № 2. С. 136-143.
13. Чантурия В. А., Макаров В. Н., Макаров Д. В., Васильева Т. Н. Формы нахождения никеля в лежалых хвостах обогащения медно-никелевых руд // Доклады РАН, 2004. Т. 399. № 1. С. 104-106.
14. Usov A., Potokin A. Improving electrical and technical base of electric pulse destruction materials // 18th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2014. Part II. P. 19-24.
15. Watling H. R., Elliot A. D., Maley M., van Bronswijk W., Hunter C. Leaching of a low-grade, copper-nickel sulfide ore. 1. Key parameters impacting on Cu recovery during column bioleaching // Hydrometallurgy, 2009. V. 97. N 3-4. P. 204-212.

Л. П. Сулименко, Т. А. Мингалева, Л. Б. Кошкина

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
gonor@list.ru*

РОЛЬ ПОЧВОГРУНТОВ И СНЕГОВОГО ПОКРОВА В ЗАГРЯЗНЕНИИ МОЛИБДЕНОМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЙОНА ХИБИН

Одной из составляющих загрязнения природных вод района является поступление повышенных концентраций химических элементов и соединений из снегового покрова и почв вследствие пространственного распределения загрязняющих веществ, переносимых воздушным путем от площадок горно-технических работ. Кроме того, на территорию горнопромышленного комплекса поступают воздушные выбросы с Кольской ГМК, что расширяет спектр поступления в почвы региона загрязняющих элементов, значительно превышающих фоновые значения (Ni, Cu, Co, Al, Be, Sr) (Кашулина, 2002).

Отсутствие линейной зависимости содержания загрязняющих веществ в почве от концентрации их в выбросах и атмосферных осадках подтверждает сложность и многообразие, происходящих в почве процессов, что затрудняет изучение почвы как объекта антропогенного воздействия. Тем не менее, анализ снежного покрова дает возможность оценить границы и уровень загрязнения, динамику происходящих процессов на период опробования; анализ почвы дает интегральные значения загрязняющих веществ за весь период генезиса почвенного слоя, что и является характеристикой антропогенного воздействия.

Снеговой покров депонирует не только влажные выпадения атмосферы, но и сухие пылевые выбросы от техногенных источников. При таянии снега не происходит трансформации загрязняющих веществ, а лишь их перераспределение между компонентами экосистем (Гемеров, 2006). Твердые частицы снежной массы являются наиболее информативным компонентом, так как они содержат наибольшее количество микроэлементов. Взвешенные вещества аэрозольных выбросов с промплощадок горно-промышленного комплекса содержат пылеватые частицы нефелина (до 80 % от общего состава), легко трансформирующегося в адсорбционно-активные минеральные продукты. В присутствии гуминовых кислот растворение щелочных и щелочноземельных элементов нефелина приводит к подщелачиванию талых вод в период снегового паводка (Никонов, 1999; Приймак, 2013), что способствует активной миграции водорастворимых соединений молибдена.

В почвенных горизонтах содержание отдельных элементов наиболее заметно меняется во время вегетационного периода: минимальные количества молибдена в почве приходятся на конец теплого сезона, а максимальная подвижность, обусловленная низким окислительно-восстановительным потенциалом и значительным содержанием лабильного органического вещества, отмечается в первой половине вегетационного периода (Шихова, 2005). Поэтому в рамках геохимического обследования территории в зоне влияния горно-промышленного комплекса района Хибин отбор проб почв проводился в конце вегетационного периода.

Для выяснения роли техногенного воздействия на загрязнение водных объектов молибденом пробы почв и снега были отобраны в пределах промплощадок горно-промышленного комплекса

в непосредственной близости к основным источникам загрязнения, и примыкающих к ним условно фоновых районах, с учетом основных направлений розы ветров. Пробоотбор был проведен в сухой период (начало сентября), гидрологическая фаза – летне-осенняя межень, когда на дневную поверхность водосборов осело основное количество атмосферных взвесей, еще не смытое поверхностным стоком и не вынесенное из почвенных горизонтов. При отборе проб ограничились органометрическим горизонтом (А) и иллювиальным горизонтом (В). Основными типами опробованных почв были альфегумусовые подбуры, подзолы и торфяно-подзолы. Отбор снега поводился в конце зимнего периода – в момент максимального снеготаяния, на территориях в отдалении от лесного массива, для исключения его влияния. Расположение опробованных участков представлено на рис.1.

Содержание органического вещества в отдельных типах почв различно. Подзолы иллювиально-железистые характеризуются малым содержанием гумуса (2-3 %), в подзолах иллювиально-гумусовых, – 5-6 % гумуса и более в горизонте вымывания. Мощность горизонта подстилки сильно варьирует от полного отсутствия на верхних частях склонов, до 20 см на пойменных и пониженных участках. В отличие от подзолистых почв, в иллювиально-гумусовых подбурах нет явно выраженного подзолистого горизонта, тогда как в подзолах наблюдается его наличие, основная роль которого как раз состоит в аккумуляции аморфных соединений алюминия и железа, что является диагностическим признаком интенсивности элювиально-иллювиальных процессов в почвах (Переверзев, 2013). Почвенные растворы слоев подстилки, как правило, имеют слабокислую реакцию вследствие обогащения высокомолекулярными (гумусовыми) и низкомолекулярными органическими кислотами. Заметная кислотнo-щелочная зональность по горизонту не наблюдается (табл.1). Изменение рН с глубиной происходит по разному в зависимости от содержания нефелина в пылевых выбросах и подщелачивания вод в процессе их растворения. (Приймак и др., 2013).

Миграция элементов по почвенному профилю определяется наличием органического слоя, основными составляющими в этом процессе являются гуминовые и фульвокислоты, поскольку именно гумус переводит элементы питания в формы хелатов с образованием сложных органоминеральных комплексов (Переверзев, 2013).

По данным анализа почвенных проб (табл.1) в подзолах наблюдается значительное снижение концентраций всех определяемых элементов по горизонтам. Перераспределение концентраций железа по слоям А и В отвечает общей закономерности элювиально-иллювиального внутрипрофильного распределения с коэффициентом профильной дифференциации 1.9-3.6 в силу различия мощности горизонтов. При этом часть железа, связанная с подвижными комплексными гетерополярными солями фульвокислот, вымывается из подстилочного горизонта, а часть в виде аморфных форм полуторных оксидов задерживается из-за отсутствия достаточной мощности подзолистого слоя (Никонов, 1999). В конечном счете, процесс определяется соотношением гумуса и фульвокислот, характерного для иллювиально-железистых подзолов (Переверзев, 2013). В подбурах характер распределения концентраций железа иной. В пробах наблюдается накопление железа в горизонте в зависимости от содержания гумуса: на участке 2 в горизонте В, на участке 7 – в горизонте А. Для кремния соотношение концентраций $C_A : C_B$ для всех типов почв значительно различается, но для всех проб характерна высокая аккумуляция в горизонте А. Коэффициент профильной дифференциации углерода в подзолах (3.5-4.5) выше, чем в подбурах участков 2 и 3 (1.4-3), что подтверждает обедненность подбуров органическим веществом. Изменение концентраций молибдена по горизонтам (рис.2) слабо коррелирует с изменением концентраций железа, кремния и углерода, его содержание меняется с коэффициентом профильной дифференциации, близким к 5. Исключение составили почвы на территории Расвумчоррского рудника (площадка № 2), где коэффициент близок к 8. Можно признать, что для отобранных проб аккумулятивное накопление молибдена в подстилочном горизонте почв по молибдену достаточно высокое. В условиях повышенного увлажнения почв и их высокой кислотности анионные формы Мо могут восстанавливаться гуминовыми кислотами и связываться с последними в виде катионных форм (MoO_2^{2+}). Именно это способствует аккумуляции молибдена в подстилочном горизонте и снижению его миграционной активности. В то же время, иллювиальный горизонт отличается значительным превышением содержания фульвокислот над гумусовыми кислотами (Переверзев, 2013), что способствует вымыванию из него молибдена. Степень подвижности Мо при различных условиях среды можно оценить по данным табл.1. Кроме того, нельзя исключать избирательное поглощение элементов

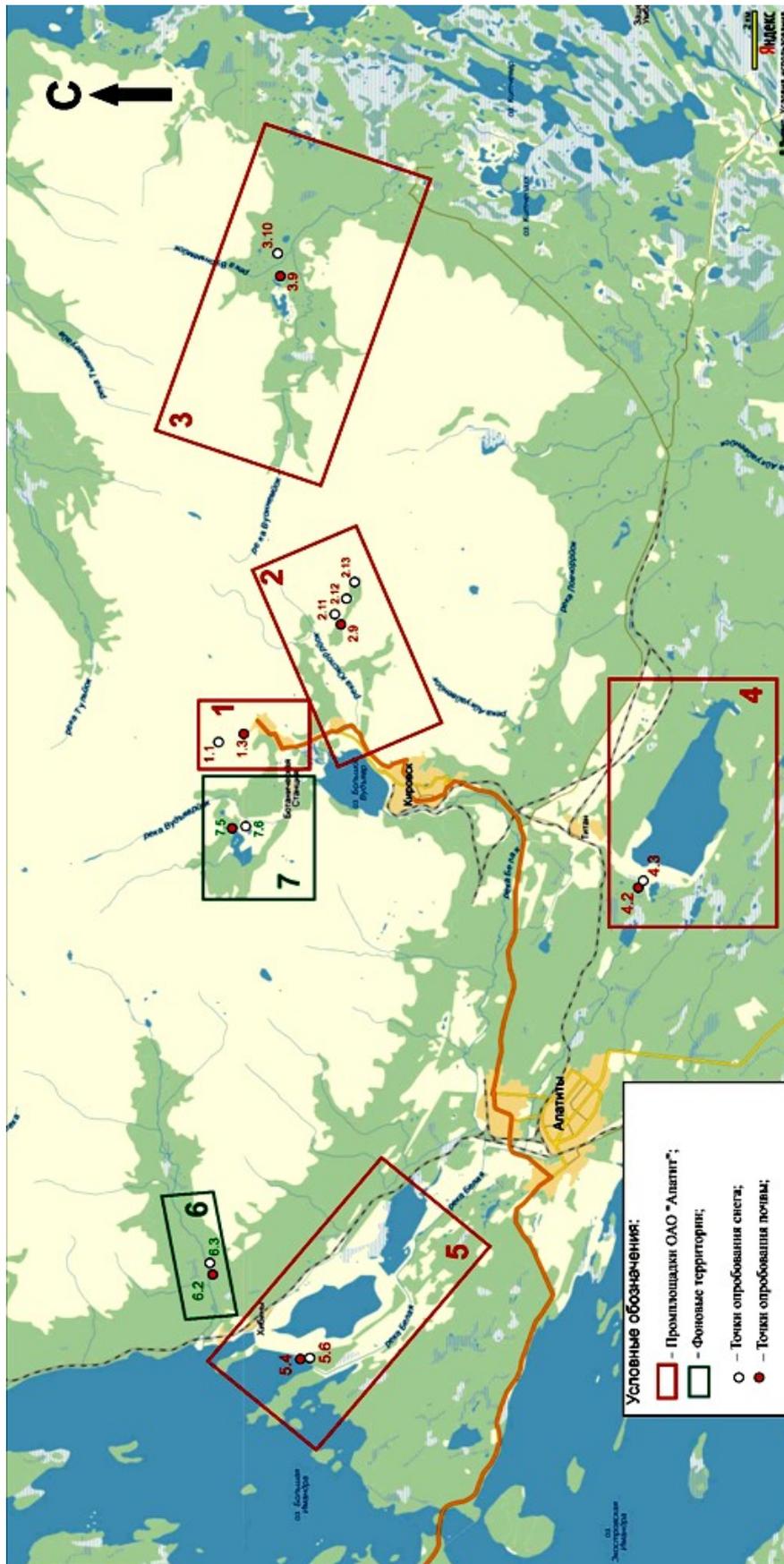


Рис.1. Точки отбора снеговых кернов и почво-грунтов на территории исследований

растительными организмами, когда поступление элементов из почв в растения регулируется биологическими процессами. Если марганец и медь относятся к элементам с барьерным типом поглощения, т.е. физиологический барьер ограничивает избыточное поступление в корни и листья, то молибден относится к элементам с безбарьерным типом поглощения и в зависимости от дозы может накапливаться в растениях до высоких концентраций (Шихова, 2005). Поскольку молибден участвует в фотосинтезе, он интенсивно поступает во все органы растений, включая генеративные, и задерживается там. Процесс накопления Мо в растительном напочвенном покрове наблюдается, как для на кислых малобуферных почв, так и для нейтральных высокобуферных почв. Именно активное вовлечение молибдена в биохимический круговорот способствует накоплению его соединений в поверхностном слое органогенного горизонта почв. (Азаренко, 2013).

Таблица 1

Результаты химического анализа почв района обследования

Место отбора (№ площадки)	Тип почвы	Гори- зонт	Мощ- ность ±, см	Содержание в почвах, мг/кг										Щелоч- ность, мг-экв/100г
				pH	Fe	Mo	Si	C _{общ}	SO ₂ ₄	Ca	Na	Mn	Cu	
Кировский рудник (1)	Подзолы	1А	13	6.5	1.7	0.0091	32	535	102	9	144	0.3	0.44	0.31
		1В	17	5.7	0.9	0.0022	14	155	21	4	28	0.075	0.11	0.03
Расвумчоррский рудник (2)	Подбуры	2А	29	6.8	0.6	0.0047	42	140	44	5	62	0.3	0.44	0.17
		2В	11	6.5	1.05	0.0006	19.5	100	24	2	34	0.075	0.11	0.05
Восточный Рудник (3)	Подбуры	3А	11	6.7	1.7	0.0023	56	295	78	9	102	0.3	0.44	0.24
		3В	15	6.5	1.6	0.0004	20	100	19	3	32	0.075	0.11	0.04
АНОФ-3 (4)	Подзолы	4А	11	5.2	1.25	0.002	12	297	80	20	34	0.3	0.44	0.08
		4В	12	5.4	0.35	0.0004	5	75	19	4.5	12	0.075	0.11	0.02
АНОФ-2 (5)	Подзолы	5А	8	4.9	2.05	0.002	16	305	80	27.5	58	0.3	0.44	0.06
		5В	7	5.6	0.35	0.0004	10	80	10	6	17	0.075	0.11	0.03
Долина р.Малая Белая (6)	Подзолы	6А	12	4.7	1.9	0.002	37	375	85	42	24	0.3	0.44	0.04
		6В	8	5.0	0.7	0.0004	7	80	25	6.5	6	0.075	0.11	0.02
Долина оз. М. Вудьявр (7)	Подбуры	7А	13	5.9	1.95	0.002	78	160	202	14	84	0.3	0.44	0.08
		7В	16	5.5	0.15	0.0004	5	45	18	4.5	24	0.075	0.11	0.02

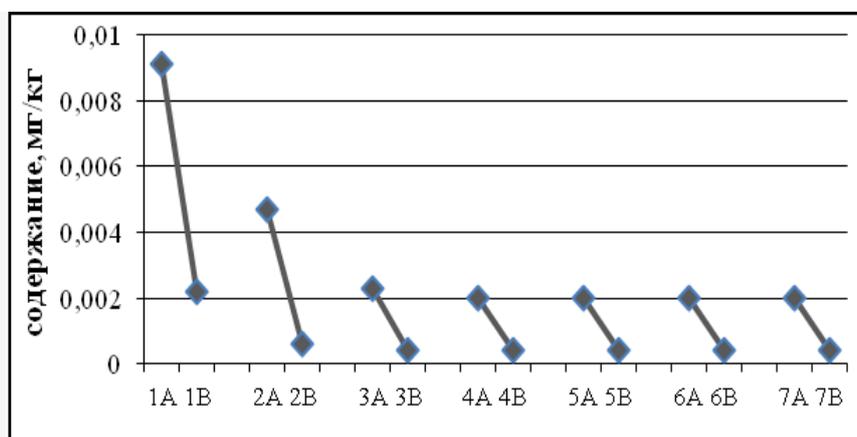


Рис.2. Содержание молибдена в различных горизонтах почв.
1-7 – номера опробованных площадок

Таким образом, по результатам анализа наблюдается типичный для подзолистых почв профиль с ярко выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией профилообразующих элементов, в том числе и молибдена, степень, которой определяется наличием органогенного слоя. Подвижные формы определяемых ТМ не демонстрируют заметной взаимозависимости парагенных ассоциаций (Мо-Fe, Мо-Si, Мо-Mn) в силу их низких концентраций.

Снеговые пробы анализировались на содержание определяющих компонентов в талой составляющей и в твердой части пробы. Мощность снегового покрова на разных участках составляла от 60 до 180 см. Результаты анализа снеговых вод представлены в табл.2.

Результаты химического анализа талой воды

Площадка	Объект	рН	Концентрация, мг/л									Щелочность, моль/л
			Ca	Na	Fe	Cu	Mn	SO ₄ ²⁻	C _{общ}	Si _{общ}	Пыль	
1	Кировский рудник	5.24	0.47	0.34	< 0.05	0.0008	0.0018	1.07	2.96	0.045	7.55	0.012
2	Расвумчоррский рудник	4.78	0.31	0.47	< 0.07	0.0011	0.0015	1.33	5.45	0.029	2.82	0
3	Восточный рудник	5.60	0.28	2.93	< 0.05	0.0007	0.0025	1.05	2.33	0.082	25.83	0.02
4	АНОФ-3	5.23	0.47	0.66	< 0.08	0.0010	0.0008	0.93	2.79	0.038	14.03	0.012
5	АНОФ-2	5.04	0.44	0.34	< 0.08	0.0010	0.0011	1.03	2.31	0.025	6.10	0.004
6 (усл. фон)	Долина р. Малая Белая	5.07	0.59	0.72	< 0.010	0.0017	0.0021	1.62	3.14	0.023	90.58	0.004
7 (усл. фон)	Долина оз. Малый Вудьявр	4.42	0.41	0.50	< 0.085	0.0020	0.0009	1.42	8.57	0.012	2.00	0

В талых снежных водах на всех площадках рН лежит в области слабокислых значений (4.42-5.6). Самое низкое значение рН (4.42) отмечено в точке отбора 7 (долина оз. Малый Вудьявр), самое высокое – на территориях промзон Кировского и Восточного рудников вследствие большего содержания в них пылевых и аэрозольных нефелинсодержащих частиц. Эти данные соответствуют диапазону фоновых значений для региона (Свистов, 2010) с некоторым превышением регионального фона на отмеченных участках.

Наибольшие количества твердой части в пробе снега обнаружены в долине р. М. Белая. Здесь же самые высокие концентрации Cu^{2+} , Mn^{2+} , что является следствием аэротехногенного переноса. Достаточно высокие значения и в районах промышленных площадок района. Но факт большей загрязненности опробованных площадок горных долин, выбранных как «условный фон» по отношению к зоне действия горнодобывающего комплекса, объясняется тем, что в районе Хибинского горного массива влияние атмосферного переноса проявляется для наветренных и внутренних долин, где воздушные массы задерживаются, а переносимые ими взвешенные частицы осаждаются или вымываются осадками.

Как показали исследования (рис.3), концентрации молибдена в снеге по различным производственным площадкам горно-промышленного комплекса близки. В жидкой фазе растопленного снега молибден во всех образцах находится ниже предела обнаружения (<0.001 мкг/л). В твердой части: наибольшее значение в точке отбора на территории Кировского рудника, что объясняется большим объемом открытых горных работ, наименьшее – на территории хвостохранилища АНОФ-2. По количеству же массы взвешенных веществ в снеге наблюдается обратная зависимость – наибольшее значение приходится на хвостохранилище АНОФ-2. Высокое содержание Мо в долине р. М. Белая по сравнению с другими площадками отбора объясняется орографией района, значение которой изложено выше. Анализ твердой части проб снежного покрова (табл.3) показывает неравномерность выпадения молибдена на подстилающую поверхность, обусловленную воздействием антропогенных источников. Очевидно, что наибольшие значения по молибдену здесь относятся к промышленным площадкам рудников. Корреляции между поступлением молибдена в растворенной форме из снега и из почвы не наблюдается.

Таким образом, подтверждается процесс накопления молибдена в верхнем слое почвы. Наличие органогенного почвенного горизонта и участие молибдена в геохимическом круговороте снижает его миграционную активность.

Концентрации молибдена в почвенных и талых водах значительно ниже, чем в подземных водах, процесс частичного вымывания его из почв под действием паводковых вод и атмосферных осадков не может оказывать определяющего значения на формирование качества поверхностных водотоков района по молибдену.

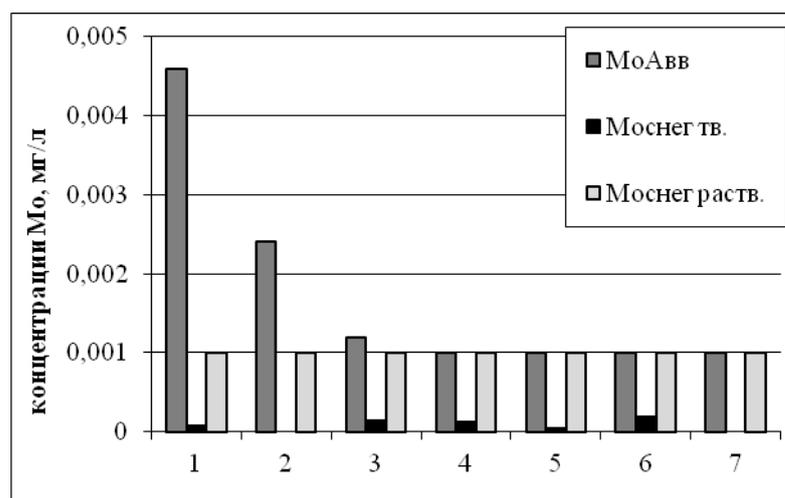


Рис.3. Концентрации Mo в водной вытяжке из поверхностного почвенного горизонта (Mo Авв), твердой составляющей пробы снежного покрова (Mo снег тв.), в отфильтрованной части снежной пробы (Mo снег раств.); 1-7 - номера опробованных площадок

Таблица 3

Концентрации Mo во взвешенной части проб снега

Площадка	Объект	Mo (пыль), мкг/л
1	Кировский рудник	0.083
2	Расвумчоррский рудник	Не определяется
3	Восточный рудник	0.132
4	АНОФ-3	0.118
5	АНОФ-2	0.045
6 (условный фон)	Долина р. М. Белая	0.193
7 (условный фон)	Долина оз. Малый Вудъявр	Не определяется

Литература

1. *Азаренко Ю. А.* Закономерности содержания, распределения, взаимосвязи микроэлементов в системе почва-растение / Ю. А. Азаренко. Омск, 2013. 232 с.
2. *Кашулина Г. М.* Аэрогенная трансформация почв Европейского Субарктического региона / Г. М. Кашулина. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2002. Ч. 1. 158 с., Ч. 2. 234 с.
3. *Никонов В. В.* Рассеянные элементы в Al-Fe-гумусовых подзолистых почвах в условиях воздушного загрязнения апатито-нефелиновым производством / В. В. Никонов, Н. В. Лукина, М. В. Фронтасьева // Почвоведение, 1999. № 12. С. 1492-1502.
4. *Переверзев В. Н.* Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в северной Фенноскандии / В. Н. Переверзев. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2013. 158 с.
5. *Приймак Т. И.* Экологические аспекты гипергенеза минерального сырья в условиях Субарктики / Т. И. Приймак, А. П. Зосин, В. А. Маслобоев. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2013. 108 с.
6. *Свистов П. Ф.* Качественная оценка загрязнения окружающей среды / П. Ф. Свистов, А. И. Полищук, Н. А. Першина // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. СПб. 2010. 19 с.
7. *Темерев С. В.* Микроэлементы в поверхностных водах бассейна Оби / С.В Темерев. Монография. Под ред. В. М. Савкина, Барнаул, 2006.
8. *Шихова Л. Н.* Содержание и динамика тяжёлых металлов в почвах Северо-Востока европейской части России / Л. Н. Шихова. Киров. 2005 (на правах рукописи).

А. В. Лосев¹, В. А. Маслобоев¹, П. В. Амосов²

*¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Анапиты
aleksandrthelosev@gmail.com; masloboev@ksc.ru*

*²Горный институт Кольского НЦ РАН, г. Анапиты
vosoma@goi.kolasc.net.ru*

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ПО ВЫБРОСАМ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ РЕГИОНА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ОСНОВЕ ОНЛАЙН-СЕРВИСА ЕССАД

Введение в проблему

В 2011–2012 гг. вышел ряд обзорных исследований по воздействию на климатическую систему короткоживущих «климатических факторов» (ShortLivingClimateFactors, SLCF). Имеется в виду снижение выбросов в атмосферу веществ, которые находятся в атмосфере от нескольких дней до нескольких лет, а не десятки лет как, например, CO₂. Активную пропаганду необходимости срочных действий инициировала ООН в своей программе ЮНЕП. Проблема очень серьезно обсуждалась арктическими странами. После этого постепенно начала создаваться Рамочная коалиция стран, которые хотят изучить данную проблему и начать практические действия. Она получила название «Климат и чистый воздух» (ClimateandCleanAirCoalition, CCAC) и охватывает три типа веществ: CH₄ (метан), «черный углерод» (blackcarbon (BC)) и HFCs (гидрофторуглероды). ЮНЕП выполняет функции секретариата (Агентство по защите ..., 2012). В этом ряду есть новый и не входящий в сферу рассмотрения РКИК (Рамочная конвенция ООН об изменении климата) загрязнитель – «черный углерод».

Что же такое черный углерод? Черный углерод (англ. BlackCarbon) – крохотные твердые частицы размером 2.5 мкм (PM_{2.5}), в основном состоящие из чистого углерода, образующие в результате неполного сгорания органического топлива (биомассы, солянки и т.д.). Фактически, синонимом определения «черный углерод» является термин «элементарный углерод».

Термин «черный углерод» рассматривается с двух позиций. Во-первых, с чисто химической: «черный» и «элементарный» углерод имеют практически идентичный химический состав. Во-вторых, к термину черный углерод должен быть подход «геоэкологический», т. е. его следует рассматривать как ту часть взвешенных в атмосфере частиц, которая оказывает вредное воздействие.

Черный углерод выбрасывается вместе с другими взвешенными частицами и газами и оказывает смешанное воздействие на климат. Поэтому при оценке возможностей сокращения выбросов BC необходимо учитывать побочные эффекты от выбросов других частиц и газов. Например, черный углерод составляет около 75 % выбросов взвешенных частиц от мобильных дизельных двигателей, в то время как в процессе сгорания биомассы выбрасывается в основном органический углерод.

Являясь компонентом взвешенных частиц PM_{2.5}, черный углерод представляет непосредственную опасность, как для «здоровья планеты», так и для здоровья людей, оказывает комплексное негативное воздействие как на атмосферу и климат, так и на здоровье людей.

Черный углерод оказывает два воздействия на климат практически во всех масштабах. Выпадая на снега-ледовую поверхность, он изменяет её отражающие свойства (альбедо), тем самым, усиливая её прогрев и ускоряя таяние. Второе же важное воздействие черного углерода на климат и атмосферу – взаимодействие с облаками, что сказывается на их стабильности, количестве осадков и отражающей способности. Так же BC сказывается на ухудшении видимости.

Отрицательно влияет черный углерод и на здоровье человека. Всемирная организация здравоохранения установила, что кратковременное и долговременное воздействие взвешенных частиц PM_{2.5} приводит к возникновению респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также к преждевременной смерти. Взвешенные частицы PM_{2.5}, содержащие BC, также связывают со снижением урожайности и нанесением ущерба материалам и зданиям. Частицы черного углерода попадают в организм человека через легкие в процессе дыхания, через желудочно-кишечный тракт с водой и пищей, а также через кожу и слизистые оболочки. В исследовании Российской академии наук выявлена положительная связь взвешенных частиц PM_{2.5} с ростом смертности от ишемической болезни сердца и цереброваскулярных заболеваний в Москве. Отсюда можно сделать вывод о «медицинской актуальности» исследования проблемы черного углерода.

Источники черного углерода на Кольском полуострове

Из всех потенциальных источников черного углерода для Кольского полуострова были выбраны 6: энергетика, промышленность, наземный транспорт, морской транспорт, бытовое использование ресурсов и обработка отходов. Все эти источники представлены в выбранной нами базе данных (<http://eccad.sedoo.fr/>). Каждый из этих источников соответствует одной или нескольким группам источников, выделенных IPCC. Соответствие каждого выбранного источника можно увидеть в таблице. Наименование источника указано в том виде, в каком он представлен на сайте.

Соответствие источников в базе MACCity кодам источников IPCC

Наименование источника	IPCC код	Состав
Energy	1A1 +1B	Производство тепла и электричества
Industry	1A2+ 2A+2B+2C+2D+2E	Металлургия
Landtransport	1A3b+1A3c+1A3e	Дорожный и железнодорожный транспорт
Maritime	1A3d	Местная сезонная навигация
Residential	1A4	Бытовой черный углерод
Wastetreatment	6A+6B+6C+6D	Сжигание ТБО

Методика оценки выбросов

Для анализа источников черного углерода на Кольском полуострове была выбрана база эмиссий MACCity, опубликованная 5 декабря 2012 г. и размещенная на онлайн-сервисе ECCAD (EmissionsofatosphericCompounds&CompilationofAncillaryData).

Все источники выбросов в ECCAD инвентаризованы и разделены по разделам (Lamarque, J.-F., 2010). Доступ к ним может осуществляться как по каталогу, так и через раздел базы данных, предоставляющей информацию по этому типу источников.

Пространственное покрытие сервиса охватывает весь мир. Данные, поступающие в сервис, проходят процедуру регридинга и предоставляются конечному пользователю с пространственным разрешением $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ или $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Привязка данных происходит по широте и долготе в системе координат WGS-84 и соответствует центру ячейки с заданным разрешением. Таким образом, учитывая пространственное разрешение, говорить о точном картировании в региональном аспекте нельзя, но данная база прекрасно может использоваться для оценочных и статистических региональных работ. Этому способствуют и форматы, в которых предоставляются данные конечному пользователю – текстовая ASCII таблица или NetCDF, поддержка которого реализована практически во всех ГИС.

Временное разрешение в данном сервисе может быть задано на этапе получения данных и составляет месяц или год. Для выбранной авторами базы данных началом отсчета является 1960 г. В работе использован временной охват 1960–2015 гг. с шагом равным одному месяцу. Это обусловлено тем, что данные, представленные в базе являются модельными значениями (сценарий RCP8.5, составленный группой межправительственных экспертов IPCC), и поэтому требуют доработки.

Для оценки общей эмиссии черного углерода с территории Кольского полуострова, каждая ячейка пересчитывалась с учетом изменяющейся с широтой площади.

Результаты оценки эмиссии черного углерода

Общая картина по типам источников за период 1960-2015 гг. приведена на рис.1. Согласно результатам расчетов, за весь выбранный период суммарный выброс ВС составил порядка 100 тыс. т.

Оказывается, что основным источником черного углерода на Кольском полуострове являются выбросы бытовой деятельности населения. В целом, структура процентного распределения выбросов ВС на Кольском полуострове, представленная на рис.1, не противоречит данным работы (Report to Congress ..., 2012), без учета лесных пожаров и палов, которые не актуальны для нашего региона.

Годовая динамика эмиссии черного углерода за обозначенный выше временной интервал представлена на рис.2. Как видно на графиках рис.1 и 2, доминирующим источником эмиссии является бытовая деятельность населения. На втором и третьем местах располагаются транспортная и металлургическая отрасли. Остальные виды источников эмиссии черного углерода (производство тепла и электричества, местная сезонная навигация, сельскохозяйственная деятельность) для региона Кольского полуострова существенного вклада не несут.

Сравнение рассчитанного выброса черного углерода с данными работы (Report to Congress ..., 2012) за 2000 г. показывает, что вклад Кольского региона в общий российский выброс ВС незначителен и составляет примерно 0.4 %.

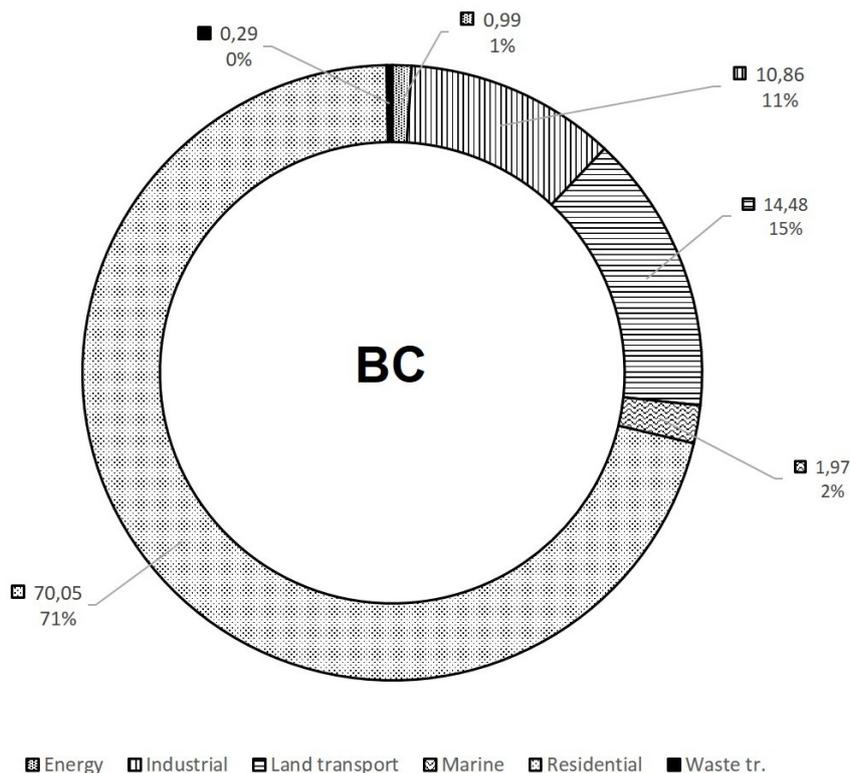


Рис.1. Вклад различных источников (в тыс. тонн и процентах) в эмиссию ВС на Кольском полуострове за период 1960-2015 гг.

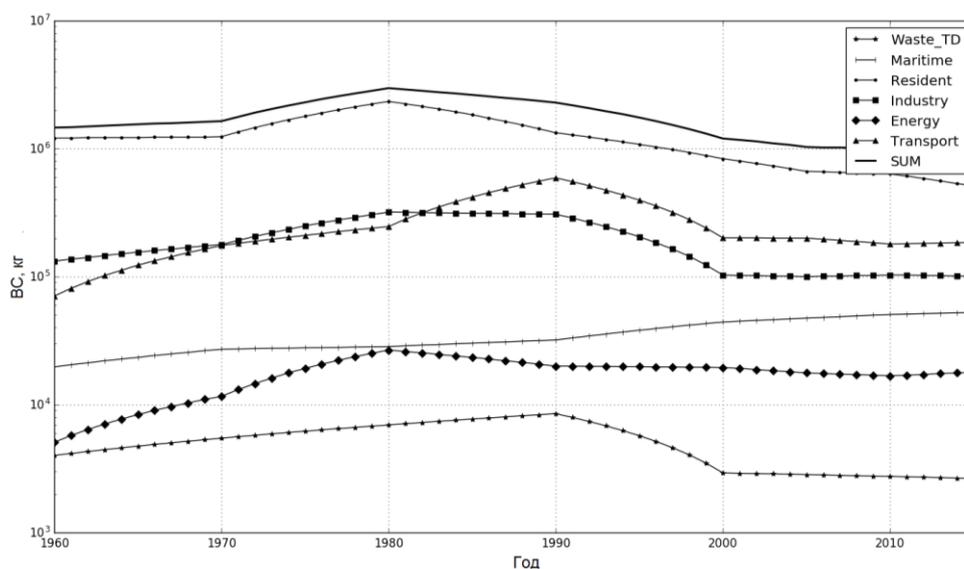


Рис.2. Динамика выбросов черного углерода за период 1960-2015 гг.

Для дальнейшего исследования были выбраны 10 пунктов, которые соответствуют 9 городам Кольского п-ова. Исключение составляют Кандалакша и Полярные Зори. Эти города были объединены в один пункт, т.к. их близкое расположение не позволило разделить ячейки сетки, в которых они попадают.

Для каждого пункта были выбраны «свои» источники эмиссии черного углерода, обусловленные расположением пункта. Так, например, для пунктов, находящихся в глубине Кольского полуострова, очевидно, не нужно было считать черный углерод, источником которого был морской транспорт. Так же для некоторых пунктов не проводился учет по категории «Обработка отходов» в связи с отсутствием данных по категории.

В качестве примера на рис.3 приведен результат расчета эмиссий ВС для пункта «Апатиты».

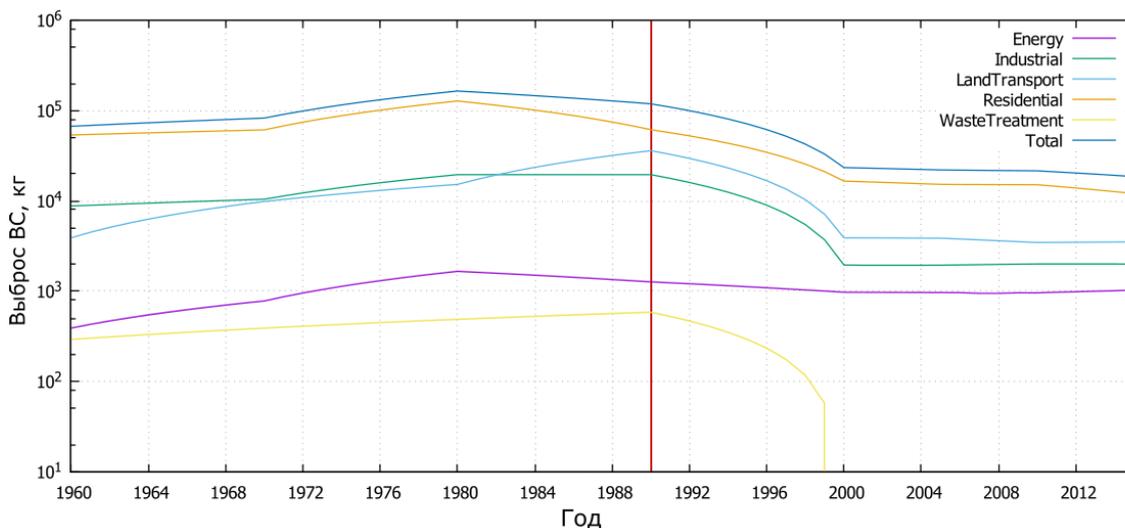


Рис.3. Годовая динамика выбросов ВС для пункта «Апатиты» (по источникам и суммарная)

На рис.3 четко прослеживается падение величины массы выброшенного черного углерода, которое началось примерно в 1990-1991 годы и замедлилось в 2000 г. Выбросы ВС, обусловленные сжиганием бытовых отходов, практически сошли на нет в 1999-2000 гг., что хорошо видно из графика. Максимальный показатель массы годовичного выброшенного черного углерода относится к 1980 г. и составил практически 165 т.

Выводы

В настоящее время онлайн-сервис ECCAD предоставляет большие возможности для оценки степени загрязнения территории практически любого масштаба (несмотря на довольно-таки большой шаг сетки в 0.5°). В базе содержатся сведения о пространственном распределении не только черного углерода, но и многих других поллютантов. Предоставление этой информации в различных форматах обеспечивает гибкость в работе как картировочной, так и оценочной направленностей.

Выбранный авторами подход с использованием файлов в текстовом формате позволил оценить выбросы черного углерода не только для всего Кольского полуострова, но и для конкретно выбранных пунктов. Используя свободно распространяемое ПО, мы смогли не только установить годовую динамику эмиссии ВС, но и выполнить предварительный анализ данных.

На основе анализа базы MACCity авторами сделаны определенные выводы:

максимальный годовой выброс ВС на Кольском полуострове относится к 1980 г.;

по объему выбросов ВС лидирует бытовой сектор, который включает в себя приготовление пищи и обогрев;

вклад Кольского полуострова в эмиссию черного углерода в целом по России не значителен.

Литература

1. Агентство по защите окружающей среды. (2012). Доклад Конгрессу по черному углероду. Вашингтон, Агентство США по защите окружающей среды. Размещено на сайте: <http://www.epa.gov/blackcarbon/>.
2. Lamarque J.-F., Bond T. C., Eyring V., Granier C., Heil A., Klimont Z., Lee D., Lioussé C., Mieville A., Owen B., Schultz M.G., Shindell D., Smith S. J., Stehfest E., Van Aardenne J., Cooper O.R., Kainuma M., Mahowald N., McConnell J.R., Naik V., Riahi K., and van Vuuren, D.P. (2010): Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7017-7039, doi:10.5194/acp-10-7017-2010.
3. Report to Congress on Black Carbon March 2012 (2012). Department of the Interior, Environment, and Related Agencies Appropriations Act, 2010. Размещено на сайте: <https://www3.epa.gov/blackcarbon/2012report/fullreport.pdf>
4. ECCAD – the GEIA database [Электронный ресурс]: Emissions of atmospheric Compounds & Compilation of Ancillary Data – Режим доступа: <http://eccad.sedoo.fr/> (дата обращения: 19.01.2016).

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В АРКТИКЕ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПАЗ

В связи с истощением запасов пресных вод и ухудшением их качества в результате антропогенного воздействия на экосистемы Арктики, вопросы изучения формирования качества поверхностных и подземных вод, их взаимодействия с горными породами, разработка основ их рационального использования и охраны имеют большое фундаментальное и прикладное значение, и требуют продолжения детальных исследований, в том числе с применением методов физико-химического моделирования [3].

Река Паз является крупнейшей рекой Северной Фенноскандии и протекает по территории трех государств (Россия, Норвегия, Финляндия). Река на всем протяжении соответствует природному для вод Кольского Севера порядку распределения главных ионов: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ и относится к классу гидрокарбонатов [5, 7-9]. Формирование химического состава вод связано с выветриванием горных пород, которое в условиях земной поверхности обусловлено климатом, литологией, рельефом, временем, циклами смачивания и высыхания, деятельностью человека, но все эти факторы могут быть описаны основными термодинамическими параметрами: температурой, давлением химическим и минералогическим составом пород и временем взаимодействия воды с породой [2]. Распространены граниты на северо-западной части Кольского полуострова [1]. На основании многолетних данных мониторинга химического состава поверхностных вод реки и исследования химического состава пород было проведено физико-химическое моделирование (ФХМ) (ПК Селектор) [6]. В ФХМ включено 34 независимых компонента (Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-Fe-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-Ni-Pb-V-Ba-Co-Cr-Hg-As-Cd-H-O-e), 996 зависимых компонента, в том числе, в водном растворе – 369, в газовой фазе – 76, жидких углеводородов – 111, твердых фаз, органических и минеральных веществ – 440. Набор твердых фаз мультисистемы сформирован с учетом минерального состава Балтийского щита.

Процессы формирования поверхностных вод в системе «вода – порода – атмосфера», исследовались в зависимости от степени взаимодействия (ξ) пород с водными растворами в открытых условиях, порода – биотитовый гранит (мас. %): SiO_2 73.92, TiO_2 0.58, Al_2O_3 13.66, Fe_2O_3 0.71, FeO 0.59, MnO 0.01, MgO 0.40, CaO 1.02, Na_2O 3.47, K_2O 4.60, P_2O_5 0.05 [4]. Состав этих пород содержит относительно большие концентрации кальция и натрия, концентрации которых влияют на химический состав поверхностных вод и значения pH.

В таблице 1 представлены результаты моделирования «вода-порода-атмосфера»

Таблица 1

Компьютерный аналог состава поверхностных вод и новообразованных фаз в результате взаимодействия «вода-порода-атмосфера» при $T^\circ\text{C} = 25$, $P = 1$ бар

ξ	Al	Ca^{+2}	K^+	Na^+	HCO_3^-	Mg^{+2}	pH
Состав поверхностных вод, мг/л							
1	1.58E-04	7.28E-02	3.81E-01	1.78E-01	1.40	2.41E-02	6.71
0.8	9.28E-05	1.15E-01	6.05E-01	2.76E-01	2.19	3.82E-02	6.91
0.6	6.42E-05	1.83E-01	9.59E-01	4.37E-01	3.45	6.05E-02	7.12
0.4	8.79E-05	2.90E-01	1.52	6.93E-01	5.45	9.59E-02	7.33
0.2	1.02E-04	4.59E-01	1.75	1.26	8.04	1.52E-01	7.52
0	1.47E-04	7.27E-01	1.73	2.26	11.8	2.41E-01	7.71
ξ	Ill	MnO_2	FeO(OH)	Msc	Apt	Mnt	SiO_2
Минеральный состав новообразованных фаз, моль							
1	5.32E-04	1.41E-05	1.71E-03	1.59E-05		1.10E-02	
0.8		2.23E-05	2.71E-03			1.82E-02	6.50E-06
0.6		3.54E-05	4.30E-03			2.89E-02	1.54E-02
0.4		5.61E-05	6.81E-03	5.88E-05		4.57E-02	1.33E-01
0.2		8.89E-05	1.08E-02	1.69E-02		5.08E-02	3.50E-01
0		1.41E-04	1.71E-02	5.35E-02	4.33E-05	4.61E-02	7.11E-01

Примечание. Msc – мусковит, Apt – апатит, Mnt – монтмориллонит. Ill – иллиты.

В таблицах 2 и 3 представлены результаты моделирования химического состава вод верхнего (исток из оз. Инари) и среднего (Jordanfossen) течения р. Паз.

Таблица 2

Аналитические данные и компьютерный аналог химического состава истока р. Паз из оз. Инари

Параметры	Анализ	Модель	Параметры	Анализ	Модель	Параметры	Анализ	Модель
T		25	K	0.38	3.80E-01	Si	0.00211	2.11E-03
P		1	K ⁺		3.80E-01	SiO ₂		1.57E-03
pH	7.06	7.0628	KCl		1.12E-07	HSiO ₃ ⁻		6.07E-06
Eh		0.799287	KHSO ₄		9.08E-14	H ₄ SiO ₄		4.71E-03
Al	0.0089	8.90E-03	KOH		2.32E-08	Sr	0.0185	1.85E-02
AlO ₂ ⁻		8.79E-03	KSO ₄ ⁻		2.48E-04	Sr ⁺²		1.84E-02
HAIO ₂		2.17E-03	Mg	1.05	1.05E+00	SrOH ⁺		1.27E-08
Al(OH) ⁺²		3.59E-06	Mg ⁺²		1.04E+00	SrCO ₃		2.21E-06
Al(OH) ₂ ⁺		1.33E-04	MgOH ⁺		4.26E-05	SrHCO ₃ ⁺		9.44E-05
Al(OH) ₃		1.99E-03	MgCO ₃		3.34E-04	SrCl ⁺		7.66E-07
Al(OH) ₄ ⁻		1.11E-02	Mg(HCO ₃) ⁺		7.16E-03	Zn	0.001	1.00E-03
AlSO ₄ ⁺		1.11E-10	MgCl ⁺		1.01E-04	Zn ⁺²		8.58E-04
Al(SO ₄) ₂ ⁻		2.69E-13	MgSO ₄		2.23E-02	ZnCl ⁺		1.09E-07
Al ⁺³		1.71E-08	MgHSiO ₃ ⁺		6.19E-09	ZnCl ₂		9.07E-12
Ca	2.65	2.65E+00	Mn	0.0017	1.70E-03	ZnCl ₃ ⁻		3.33E-16
Ca ⁺²		2.64E+00	Mn ⁺²		1.70E-03	ZnOH ⁺		1.79E-04
CaOH ⁺		6.37E-06	Mn ⁺³		1.86E-15	ZnO		1.65E-07
CaCO ₃		1.36E-03	MnOH ⁺		6.08E-07	HZnO ₂ ⁻		3.61E-10
Ca(HCO ₃) ⁺		1.33E-02	MnO		1.83E-11	Ni	0.0005	5.00E-04
CaHSiO ₃ ⁺		6.18E-09	MnSO ₄		9.68E-06	Ni ⁺²		5.00E-04
CaCl ⁺		1.35E-04	MnCl ⁺		1.07E-07	NiOH ⁺		1.16E-07
CaCl ₂		4.69E-09	CO ₃ ⁻²		6.02E-03	NiO		1.66E-10
CaSO ₄		2.88E-02	HCO ₃ ⁻	11.3	1.12E+01	HNiO ₂ ⁻		1.22E-13
Cu	0.0006	6.00E-04	HNO ₂		1.58E-08	PO ₄ ⁻³	0.001	2.38E-09
Cu ⁺		7.87E-15	NO ₂ ⁻		1.06E-04	H ₂ P ₂ O ₇ ⁻²		2.96E-14
Cu ⁺²		5.28E-04	HNO ₃		3.58E-11	H ₂ PO ₄ ⁻		5.90E-04
CuOH ⁺		9.11E-05	NO ₃ ⁻	0.011	1.10E-02	H ₃ PO ₄		7.59E-09
HCuO ₂ ⁻		3.45E-10	NH ₄ ⁺	0.043	4.30E-02	HPO ₄ ⁻²		4.27E-04
CuCl		1.45E-16	Na	1.42	1.42E+00	P ₂ O ₇ ⁻⁴		4.98E-16
CuCl ⁺		1.08E-07	Na ⁺		1.42E+00	HP ₂ O ₇ ⁻³		8.77E-14
CuCl ₂		6.49E-13	NaOH		1.80E-07	Ar		5.06E-01
Fe	0.0195	1.95E-02	NaAlO ₂		1.32E-07	HCl		3.35E-08
Fe ⁺²		2.97E-12	NaCl		3.24E-05	HClO		1.12E-16
FeSO ₄		1.76E-14	NaSO ₄ ⁻		9.18E-04	Cl ⁻	1.94	1.94E+00
Fe(OH) ₃		2.65E-03	NaHSiO ₃		3.31E-08	Pb	0.00034	3.40E-04
FeSO ₄ ⁺		7.39E-12	CO ₂		1.52E+00	Pb ⁺²		4.03E-05
Fe(OH) ₄ ⁻		2.11E-04	N ₂		1.43E+01	PbCl ⁺		6.94E-08
Fe ⁺³		1.03E-11	O ₂		8.29E+00	PbCl ₂		1.58E-11
FeOH ⁺²		9.57E-07	HSO ₄ ⁻		2.09E-05	PbCl ₃ ⁻		4.73E-16
FeOH ⁺		2.17E-14	SO ₄ ⁻²	2.58	2.54E+00	PbOH ⁺		3.24E-04
FeO ⁺		3.85E-03				PbO		7.28E-08
HFeO ₂		2.38E-02				HPbO ₂ ⁻		8.87E-12
FeO ₂ ⁻		6.69E-05						

Таблица 3

Аналитические данные и компьютерный аналог вод р. Паз (Jordanfossen)

Параметры	Анализ	Модель	Параметры	Анализ	Модель	Параметры	Анализ	Модель
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T		25	K	0.36	3.60E-01	Si	0.00196	1.96E-03
P		1	K ⁺		3.60E-01	SiO ₂		1.46E-03

1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	6.8	6.80265	KCl		5.35E-08	HSiO ₃ ⁻		3.15E-06
Eh		0.814577	KHSO ₄		1.53E-13	H ₄ SiO ₄		4.37E-03
Al	0.035	3.50E-02	KOH		1.21E-08	Sr	0.0146	1.46E-02
AlO ₂ ⁻		2.96E-02	KSO ₄ ⁻		2.27E-04	Sr ⁺²		1.46E-02
HAIO ₂		1.33E-02	Mg	0.89	8.90E-01	SrOH ⁺		5.49E-09
Al(OH) ⁺²		7.28E-05	Mg ⁺²		8.85E-01	SrCO ₃		1.01E-06
Al(OH) ₂ ⁺		1.47E-03	MgOH ⁺		1.98E-05	SrHCO ₃ ⁺		7.99E-05
Al(OH) ₃		1.22E-02	MgCO ₃		1.65E-04	SrCl ⁺		3.04E-07
Al(OH) ₄ ⁻		3.73E-02	Mg(HCO ₃) ⁺		6.42E-03	Zn	0.0008	8.00E-04
AlSO ₄ ⁺		3.4E-09	MgCl ⁺		4.22E-05	Zn ⁺²		7.34E-04
Al(SO ₄) ₂ ⁻		8.74E-12	MgSO ₄		1.77E-02	ZnCl ⁺		4.59E-08
Al ⁺³		6.47E-07	MgHSiO ₃ ⁺		2.68E-09	ZnCl ₂		1.87E-12
Ca	2.63	2.63E+00	Mn	0.0032	3.20E-03	ZnOH ⁺		8.37E-05
Ca ⁺²		2.62E+00	Mn ⁺²		3.19E-03	ZnO		4.25E-08
CaOH ⁺		3.47E-06	Mn ⁺³		6.38E-15	HZnO ₂ ⁻		5.11E-11
CaCO ₃		7.82E-04	MnOH ₊		6.37E-07	Ni	0.0011	1.10E-03
Ca(HCO ₃) ⁺		1.40E-02	MnO		1.04E-11	Ni ⁺²		1.10E-03
CaHSiO ₃ ⁺		3.12E-09	MnSO ₄		1.68E-05	NiOH ⁺		1.42E-07
CaCl ⁺		6.65E-05	MnCl ⁺		1.01E-07	NiO		1.10E-10
CaCl ₂		1.17E-09	CO ₃ ⁻²		3.55E-03	HNiO ₂ ⁻		4.43E-14
CaSO ₄		2.73E-02	HCO ₃ ⁻	10.6	1.19E+01	PO ₄ ⁻³	0.001	8.95E-10
Cu	0.001	1.00E-03	HNO ₂		1.57E-08	H ₂ P ₂ O ₇ ⁻²		4.52E-14
Cu ⁺		7.85E-15	NO ₂ ⁻		5.85E-05	H ₂ PO ₄ ⁻		7.28E-04
Cu ⁺²		9.30E-04	HNO ₃		4.74E-11	H ₃ PO ₄		1.70E-08
CuOH ⁺		8.80E-05	NO ₃ ⁻	0.008	8.00E-03	HPO ₄ ⁻²		2.90E-04
HCuO ₂ ⁻		1.01E-10	NH ₄ ⁺	0.012	1.20E-02	P ₂ O ₇ ⁻⁴		2.40E-16
CuCl ⁺		9.41E-08	Na		1.35E+00	HP ₂ O ₇ ⁻³		3.29E-14
CuCl ₂		2.77E-13	Na ⁺	1.35	1.35E+00	Ar		5.06E-01
Fe	0.075	7.50E-02	NaOH		9.40E-08	HCl		3.01E-08
Fe ⁺²		3.40E-11	NaAlO ₂		4.28E-07	HClO		1.00E-16
FeSO ₄		1.88E-13	NaCl		1.53E-05	Cl ⁻	0.96	9.60E-01
Fe(OH) ₃		9.08E-03	NaSO ₄ ⁻		8.41E-04	Pb	0.00026	2.60E-04
FeSO ₄ ⁺		1.43E-10	NaHSiO ₃		1.61E-08	Pb ⁺²		5.13E-05
Fe(OH) ₄ ⁻		4.06E-04	CO ₂		2.93E+00	PbCl ⁺		4.35E-08
Fe ⁺³		2.13E-10	N ₂		1.43E+01	PbCl ₂		4.90E-12
FeOH ⁺²		1.09E-05	O ₂		8.20E+00	PbOH ⁺		2.26E-04
FeOH ⁺		1.36E-13	HSO ₄ ⁻		3.57E-05	PbO		2.82E-08
FeO ⁺		2.40E-02	SO ₄ ⁻²	2.43	2.40E+00	HPbO ₂ ⁻		1.87E-12
HFeO ₂		8.16E-02						
FeO ₂ ⁻		1.29E-04						

Сопоставление растворов, полученных в результате взаимодействия «вода-гранит-атмосфера» с водами реки Паз в разных географических точках, показывает, что концентрации Na, K, HCO₃⁻, значения pH достаточно близки. Хотя химический состав горных пород гранитовой группы колеблется в нешироких пределах, он довольно разнообразен. В работе [1] представлен средний состав щелочноземельных гранитов (мас. %): SiO₂ 69.21, TiO₂ 0.41, Al₂O₃ 14.41, Fe₂O₃ 1.98, FeO 1.67, MnO 0.12, MgO 1.15, CaO 2.19, Na₂O 3.08, K₂O 4.23, P₂O₅ 0.3. Как видно эти два химических состава гранитов отличаются по содержанию Ca, Mg, Fe в 2-3 раза. Именно этим и объясняется относительно высокие концентрации Ca, Cl, SO₄⁻² в водах реки Паз.

Результаты свидетельствуют, что химический состав вод верхнего и среднего течения р. Паз сформирован в результате выветривания гранитов района северной Фенноскандии.

Литература

1. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 480 с.
2. Кашик С. А., Мазилев В. Н. Физико-химические модели новейших процессов выветривания. Новосибирск: Наука, 1987. 92 с.
3. Мазухина С. И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты. Изд-во Кольского НЦ РАН, 2012. 173 с.

4. Минеральный и химический состав гранитов Кольского полуострова / Отв. ред. Белопицкий А. П. Сост.: Батиева И. Д., Бельков И. В., Ветрин В. Р., Виноградов А. Н., Виноградова Г. В., Дубровский М. И. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1978. 119 с.
5. *Сандимиров С.С.* Современное гидрохимическое состояние озерно-речной системы реки Пасвик (Кольский полуостров) // Тр. Кольского научного центра РАН, 2/2012 (9). Прикладная экология Севера. Вып.1. С. 87-97.
6. *Чудненко К. В.* Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2010. 287 с.
7. Экологический каталог озер Мурманской области. Северо-западная часть Мурманской области и приграничные территории сопредельных стран / Отв. ред. Кашулин Н. А. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. Ч. 1. 226 с., Ч. 2. 262 с.
8. *Nikolay A. Kashulin, Per-Arne Amundsen, Thomas Bohn et al.* Environmental monitoring in the Pasvik watercourse. University of Tromso, 2003. 36 p.
9. *Nikolay A. Kashulin, Vladimir A. Dauvalter, Sergey S. Sandimirov, Petr M. Terentjev, Irina M. Koroleva.* Catalogue of Lakes in the Russian, Finnish and Norwegian Border Area. Kopijyvä Oy, Jyväskylä, 2008. 142 p.

М. В. Маслова¹, С. И. Мазухина², Л. Г. Герасимова¹

¹*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского НЦ РАН,*

г. Апатиты

maslova@chemy.kolasc.net.ru

²*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты*

mazukhina@inep.ksc.ru

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ БАРЕНЦ-РЕГИОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕОРГАНИЧЕСКОГО ИОНООБМЕННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФОСФАТА ТИТАНА

Предприятия цветной металлургии, имеющие гидрометаллургические и электрохимические производства, являются источниками жидких стоков, содержащих значительное количество тяжелых цветных металлов. Вредные химические элементы, попадая в водоемы, ухудшают их санитарное состояние и вызывают необходимость специальной очистки воды перед ее дальнейшим использованием. Традиционные методы очистки воды, такие как осаждение, отстаивание, коагуляция не позволяют снизить концентрации ионов тяжелых металлов до значений ПДК, что требует введения в комплексную технологическую схему водоподготовки стадии сорбционной доочистки. Как правило, эта стадия является заключительным этапом в технологическом процессе очистки сточных вод, позволяя добиться нормативных показателей без внесения дополнительного количества реагентов, при этом качество сточной воды может быть повышено до природного уровня или более высокого, соответствующего качеству подготовленной воды. В первом случае вода может быть сброшена в водоем, во-втором – повторно употреблена для хозяйственных целей. Эта общепризнанная перспективная схема водоснабжения наиболее полно отвечает требованиям рационального использования и охраны водных ресурсов.

Исследования, проведенные в последние годы, показали, что более 70 природных и синтетических сорбентов можно использовать для удаления металлов из водных сред (Dabrowski, 2004). При использовании природных сорбентов не всегда удается получить воспроизводимые результаты, что обусловлено нестабильным химическим и гранулометрическим составом таких материалов. Использование синтетических сорбентов дает более надежные результаты по очистке стоков, и позволяет увеличить срок эксплуатации за счёт возможности их регенерации и утилизации. Наиболее перспективными сорбентами для удаления ионов тяжелых металлов являются материалы, содержащие комплексообразующие функциональные группы, способные не только ионизировать, но и проявлять электродонорные свойства. При контакте таких ионитов с ионами переходных металлов, имеющих вакантные орбитали, сорбция происходит за счет донорно-акцепторного (координационного) взаимодействия. К комплексообразующим группам относятся триокарбаматы, тиоловые (Dujardin 2000), аминифосфонные группы (Trochimiczuk 1999, Shah 1998), фосфатные (Солдадзе 1960).

Отличительной особенностью функциональных групп фосфорнокислотных катионитов является наличие кислотных группировок и фосфорильного кислорода. Следует отметить, что природа этих центров различна: фосфорильный кислород обладает неподеленными электронными парами и может вступать во взаимодействие с ионами и молекулами, имеющими вакантные орбитали, по типу координационного взаимодействия. Протоны фосфатных остатков в результате диссоциации способны к ионному обмену. В реальных процессах при сорбции ионов металлов ионитами сравнительно редко осуществляется чисто ионное или координационное взаимодействие, чаще всего реализуется промежуточная связь с неравным обобществлением электронов (Солдатов 1976). Чем больше ковалентность связи O-Me, тем прочнее образующийся комплекс и тем сильнее металл удерживается ионитом.

В Институте химии КНЦ РАН была разработана технология получения нового сорбента композиционного состава на основе фосфата титана (TiP) (Маслова 2004, 2006). В качестве исходного сырья использовались техногенные отходы комплексной переработки апатит-нефелиновых руд, что значительно снижает себестоимость конечного продукта.

В данной работе представлены результаты исследований по изучению ионообменных свойств фосфата титана по отношению к катионам, присутствующим в сточных водах горно-обогатительных комбинатов Баренц-региона. Состав сточной воды одного из таких предприятий приведен в табл.1. Значение pH представленной воды составляет 7.16.

Таблица 1

Исходный состав сточной воды

Элемент	Концентрация	Ед. измерения
Ca	178	мг/л
Fe	46.3	мг/л
K	4.05	мг/л
Mg	17.5	мг/л
Na	21.4	мг/л
S	323	мг/л
Al	16.2	мг/л
Pb	0.125	мг/л
Mn	13.5	мг/л
Zn	6.57	мг/л
As	4.72	мкг/л
Ba	22.4	мкг/л
Cd	57.1	мкг/л
Co	86.7	мкг/л
Cr	2.56	мкг/л
Cu	641	мкг/л
Hg	0.0390	мкг/л
Mo	<0.5	мкг/л
Ni	51.2	мкг/л
Sr	234	мкг/л
V	<0.2	мкг/л
SO ₄	901	мг/л

Осадительные методы, например известкование стоков, не позволяет достичь требуемых показателей по основным контролируемым элементам. В частности, нормативные показатели для сброса воды в водоемы составляют: 1 мкг/л по Cd, 15 мкг/л по Cu, 5 мкг/л по Pb и 150 мкг/л по Zn. Поскольку промышленные сточные воды имеют достаточно сложный состав, то селективность сорбента по наиболее токсичным элементам будет определяющим фактором целесообразности его применения. Поскольку сорбент относится к катионообменным материалам, то эффективность его использования будет зависеть от состояния элементов в растворе.

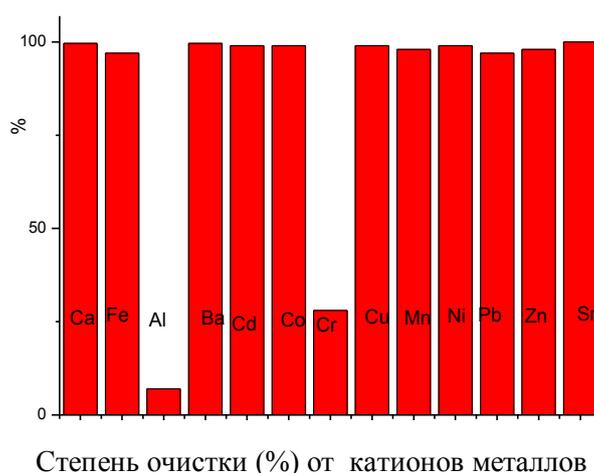
С помощью физико-химического моделирования (ФХМ) (ПК «Селектор», Чудненко, 2010) определены формы миграции элементов раствора. В ФХМ включено 33 независимых компонентов (Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-Ni-Pb-V-Co-Cr-As-Hg-Ba-Cd-H-O-e),

в водном растворе – 377. в газовой фазе – 76. Термодинамические данные индивидуальных веществ и соединений взяты из баз данных ПК «Селектора». Модели уже были опробованы на других объектах (Мазухина и др., 2015; Горбачева и др., 2015). Полученные данные представлены в табл.2.

Таблица 2

Результаты компьютерного моделирования состава воды изучаемой системы

Элемент	Концентрация, мг/л	% от исходного	Элемент	Концентрация, мг/л	% от исходного
Ca	177.38	100	Mn ²⁺	1.13E+01	83.7
Ca ²⁺	1.77E+02	100	MnSO ₄	6.01E+00	16.3
Fe	46.297	100	Zn	6.57	100
Fe ²⁺	3.83E+01	82.81	Zn ²⁺	5.60E+00	85.2
Fe ³⁺	2.11E+01	16.71	ZnOH ⁺	1.22E+00	14.8
FeOH ²⁺	6.48E-11	0.48	As	4.72E-03	100
K	4.05	100	HAsO ₂	6.68E-03	98.3
K ⁺	3.96E+00	97.8	AsO ₂ ⁻	5.82E-05	0.87
KSO ₄ ⁻	3.10E-01	2.2	H ₂ AsO ₃ ⁻	6.83E-05	0.83
Mg	17.5	100	Ba	22.4E-03	100
Mg ²⁺	1.75E+01	100	Ba ²⁺	2.24E-02	100
Na	21.4	100	Cd	57.1E-03	100
Na ⁺	2.11E+01	98.6	Cd ²⁺	5.70E-02	100
NaSO ₄ ⁻	1.63E+00	1.4	Co ²⁺	8.66E-02	99.9
Al	16,2	100	CoOH ⁺	1.29E-04	0.1
Al(OH) ²⁺	7.62E-02	0.32	Cr	2.56E-03	100
AlO ₂ ⁻	1.68E+01	47.36	Cr(OH) ₂ ⁺	3.05E-03	93.1
HAIO ₂	3.23E+00	8.98	CrO ₂ ⁻	1.41E-06	3.4
Al(OH) ₂ ⁺	4.45E-03	0.21	CrOH ²⁺	1.16E-04	3.5
Al(OH) ₃	2.96E+00	6.31	Cu	0.641	100
Al(OH) ₄ ⁻	2.12E+01	37.12	Cu ²⁺	0.641	100
Pb	0.125	100	Ni	51.2	100
Pb ²⁺	1.20E-01	88.5	Ni ²⁺	5.12E-02	100
PbOH ⁺	1.44E-02	11.5	Sr	234E-03	100
Mn	13.5	100	Sr ²⁺	2.34E-01	100



Очевидно, что фосфат титана позволяет эффективно очищать сточные воды сложного состава (рис.). За исключением алюминия и хрома, присутствующие в воде ионы сорбируются более чем на 99 %. Согласно данным компьютерного моделирования основная часть алюминия присутствует в системе в виде анионных форм, не сорбируемых данным материалом. Низкие показатели сорбции хрома – 26 %, также обусловлены его формами существования в водной среде. Термодинамические данные

показывают, что редокс-потенциал Eh исследуемой системы отрицательный и наиболее устойчивой формой будет являться хром(III) в виде гидролизных соединений. Большой размер гидроксокаатионов хрома вызывает стерические затруднения при обмене и снижает кинетические характеристики процесса сорбции.

Полученные данные послужили основой для проведения испытаний на пилотной установке в динамическом режиме в нисходящем потоке. Линейная скорость прохождения раствора через слой сорбента сохранялась постоянной и соответствовала 6 л/ч. В результате проведенных испытаний было очищено 1000 колоночных объемов воды. Полученные данные свидетельствуют о селективном извлечении комплексообразующих катионов металлов. Катионы жесткости вначале поглощаются сорбентом, а затем вытесняются элементами, способными образовывать более прочные связи с фосфатными группами. Концентрация основных контролируемых предприятием элементов (Zn, Mn, Pb, Cu) на выходе из колонны в десятки раз была ниже значений ПДК.

Таким образом, результаты испытаний свидетельствуют, что данные сорбенты могут успешно использоваться для решения ряда природоохранных задач.

Литература

1. Горбачева Т. Т., Мазухина С. И., Иванов С. В., Черепанова Т. А. Элементный состав талых вод в зоне влияния медно-никелевого комбината и реконструкция форм нахождения элементов методом физико-химического моделирования // Химия в интересах устойчивого развития. 2015, № 23. С. 339-345.
2. Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Чудненко К. В., Максимова В. В. Результаты моделирования взаимодействия "вода-нефть" в морских и речных системах Дальнего Востока // Вестник МГТУ. 2015, т. 18, № 2. С. 322-327.
3. Маслова М. В., Герасимова Л. Г., Чугунов А. С. Синтез и применение ионообменных материалов на основе фосфата титана // Сорбционные и хроматографические процессы. 2006. Т. 6. Вып. 6. Ч. 2. С. 1006-1011.
4. Маслова М. В., Герасимова Л. Г., Охрименко Р. Ф., Матвеев В. А. Способ переработки сфенового концентрата. Патент РФ 2228907, 2004, БИ №14.
5. Солдадзе К. М., Пашиков А. Б., Титов В. С. Ионообменные высокомолекулярные соединения. М., 1960. 187 с.
6. Солдатов В. С. Простые ионообменные равновесия. Минск: Изд-во «Наука и техника», 1976. 224 с.
7. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 287 с.
8. Dabrowski A., Hubicki Z., Podkoscielny P., Robens E. Selective removal of the heavy metal ions from water and industrial wastewaters by ion-exchange method // Chemosphere. 2004. V. 56. P. 91-106.
9. Dujardin M. C., Caze C., Vroman I. Ion-exchange resins bearing thiol groups to remove mercury. Part 1: synthesis and use of polymers prepared from thioester supported // React. Funct. Polym. 2000. V. 43. P. 123-132.
10. Shah R., Devi S. Chelating resin containing s-bonded dithizone for the separation of copper(II), nickel(II), and zinc(II) // Talanta. 1998. V. 45. P. 1089-1096.
11. Trochimiczuk W.A., Streat M. Novel chelating resins with aminothiophosphonate ligands // React. Funct. Polym. 1999. V. 40. P. 205-213.

В. А. Маслобоев¹, А. А. Бакланов^{1,2}, П. В. Амосов³

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
masloboev@ksc.ru

²Всемирная Метеорологическая организация, г. Женева
aabaklanov@yahoo.com

³Горный институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
vosota@goi.kolasc.net.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА И ВЫСОТЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ (НА БАЗЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Данная работа является естественным продолжением исследований специалистов КНЦ РАН по проблеме пыления хвостохранилища АНОФ-2 (г. Апатиты, Мурманская обл.) на базе методов

численного моделирования (Бакланов, 1987; Baklanov&Rigina, 1998; Амосов и др., 2014; Amosov et al., 2014; Маслобоев и др., 2014). На предыдущем этапе авторами выполнен анализ существующих подходов по оценке интенсивности пыления (пустыни, хвостохранилища и др.). Некоторые результаты выполненного исследования представлены в докладах на российских и международных конференциях (Амосов и Бакланов, 2015а; Амосов и бакланов, 2015б; Amosov&Baklanov, 2015).

Рассмотрены подходы по оценке интенсивности пыления, приемлемые для решения практических задач по исследованию влияния скорости ветрового потока и высоты пылящей поверхности на загрязнение атмосферы для района г. Апатиты от воздействия близлежащего хвостохранилища АНОФ-2. По результатам анализа сделан предварительный вывод, что наиболее приемлемыми для последующих исследований загрязнения приземного слоя атмосферы вниз по ветровому потоку могут быть признаны зависимость Westphal D.L. et al. (Westphal et al., 1988) и схема DEAD (Marticorena&Bergametti, 1995). Именно эти зависимости дают минимальное расхождение результатов на всем рассмотренном диапазоне скорости ветрового потока. Отметим, что оба подхода базируются на функциональной зависимости потока массы от динамической скорости на высоте пыления в 4-й и 3-й степенях, соответственно.

При рассмотрении турбулентного переноса пыли с хвостохранилища АНОФ-2 представляется разумным ограничиться частицами, размер которых не превышает 70 мкм.

Авторский подход к оценке динамической скорости

На рис.1 представлена схема модели, которая принимается для обоснования величины скорости, необходимой для оценки вертикального потока массы частиц (интенсивности пыления). Основная идея – динамическая скорость на высоте пылящей поверхности u_* определяется через осредненную горизонтальную компоненту скорости ветра на высоте +10 м над пылящей поверхностью u_{10} .



Рис.1. Схема модели под обоснование методики определения интенсивности пыления

На входной границе модели рассмотрим диапазон значений референтной скорости ветра u_{ref} на высоте 10 м над основанием модели (от 5 до 23 м/с, например, с шагом 3 м/с). Задавая логарифмический профиль скорости на входной границе области (шероховатость принимается на уровне 0.05 м) выполняем расчет аэродинамики на базе стационарной стандартной $(k - \varepsilon)$ -модели турбулентности (Амосов и др., 2014; Amosov et al., 2014; Маслобоев и др., 2014). Далее выполняем обработку расчетных аэродинамических параметров вдоль пунктирной линии рис. 1: операцию осреднения горизонтальной компоненты скорости на высоте +10 м над пылящей поверхностью u_{10} . Результаты обработки численных экспериментов для горизонтальной скорости на высоте +10 м над пылящей поверхностью, а также переход к динамической скорости u_* обобщены в табл.1.

Таблица 1

Осредненные значения горизонтальной скорости на высоте +10 м u_{10} , динамической скорости u_* на высоте поверхности пыления и турбулентной динамической вязкости η_t

Скорость ветра, м/с	u_* , м/с	u_{10} , м/с	η_t , Па·с
5	0.623	8.246	0.4086
8	0.996	13.19	0.6563
11	1.370	18.14	0.9053
14	1.743	23.09	1.1554
17	2.117	28.04	1.4067
20	2.490	32.98	1.6593
23	2.863	37.93	1.9136

Дополнительно для последующего использования при численном решении уравнения конвективно-диффузионного переноса пыли выполнено осреднение (по области моделирования) значений коэффициентов динамической турбулентной вязкости. Результаты этой операции обобщены в табл.1. Последующий переход к значениям коэффициентов турбулентной диффузии стандартен, ранее использован и описан авторами в работах (Бакланов, 1987; Амосов и др., 2014).

Гранулометрический состав (в графической форме) отвалных хвостов с поверхности устоявшегося пляжа хвостохранилища АНОФ-2 приведен в диссертационной работе Стриженок А. В. (Стриженок, 2015). Обработка информации позволила авторам получить количественные показатели по долям («вес» интервала) каждого моделируемого интервала размера частиц пыли (см. табл.2). В таблице 2 также приведены значения пороговой скорости u_*^p для пыли интервала крупности p до 70 мкм в диаметре с шагом 10 мкм, рассчитанные по методике авторов работы (Marticorena&Bergametti, 1995), а также скорости оседания разнокалиберной пыли, вычисленные в Стоксовом приближении (Бакланов, 1987; Baklanov&Rigina, 1998; Амосов и др., 2014) и необходимые для последующих вычислений конвективно-диффузионного переноса.

Таблица 2

Значения «веса» интервала, пороговой скорости и скорости оседания
в зависимости от среднего диаметра частиц пыли

Срединный диаметр (диапазон интервала), мкм	«Вес» интервала, -	Пороговая скорость u_*^p , м/с	Скорость оседания w_g , м/с
5 (0 – 10)	0.022	0.951	0.00195
15 (10 – 20)	0.083	0.420	0.0175
25 (20 – 30)	0.142	0.295	0.0487
35 (30 – 40)	0.194	0.243	0.0955
45 (40 – 50)	0.209	0.218	0.1580
55 (50 – 60)	0.189	0.206	0.2360
65 (60 – 70)	0.161	0.201	0.3290

Интенсивность пыления

Проанализированы результаты вычислений по соотношениям схемы DEAD (Marticorena&Bergametti, 1995) и зависимости Westphal D.L. et al. (Westphal et al., 1988) поинтервальных (по размерам песчинок) и суммарных вертикальных потоков массы при вариации скорости ветрового потока. В частности, для суммарной интенсивности пыления до величины скорости ветрового потока 11 м/с доминирует кривая интенсивности пыления по схеме DEAD, а при более высокой скорости – кривая по зависимости Westphal D.L. et al. Естественно, что анализируемые кривые описываются степенными функциями AV^n в 4-й (зависимость Westphal D.L. et al.) и 3-й (схема DEAD) степенях либо скорости ветрового потока (в рамках решаемой задачи), либо расчетной величине динамической скорости на высоте пыления. Коэффициенты пропорциональности A в степенных зависимостях от динамической скорости следующие: схема DEAD – 3.877 и зависимость Westphal D.L. et al. – 2.896. Размерность скорости V м/с.

Представляется, что 1) предлагаемый методический подход достаточно объективен и работоспособен; 2) при высоких скоростях ветрового потока прогнозируемые значения интенсивности пыления будут существенно выше тех величин, которые принимаются проектировщиками в оценках воздействия объектов пыления на окружающую среду.

Распределения концентрации пыли

В силу того, что конвективно-диффузионное уравнение является линейным, достаточно выполнить численные эксперименты по пространственно-временному распределению концентрации пыли в исследуемой области, например, для данных зависимости Westphal D.L. et al. Зная соответствующие отношения интенсивностей пыления, получаем значения концентрации пыли, отвечающие эмиссии пылевых частиц по схеме DEAD. В результате прогноз пространственно-временного распределения концентрации пыли будет определяться в некотором диапазоне значений.

На рис.2а и 2б представлены суммарные концентрации пыли на высоте +2 м над поверхностью в центре модели г. Апатиты при вариации либо скорости ветрового потока (строго по решаемой задаче), либо расчетной величине динамической скорости на высоте пыления (более общая форма), соответственно. Поведение кривых концентраций пыли следует за поведением кривых интенсивности пыления: до величины скорости ветрового потока 11 м/с (и соответствующей динамической скорости) превалирует кривая отвечающая схеме DEAD, а при более высокой скорости – кривая по зависимости Westphal D.L. et al.

Кривые рис.2а и 2б описываются, как и функции интенсивности пыления, посредством степенных функций со своими коэффициентами аппроксимации. Например, для кривых рис.2б наилучшим образом подходят следующие: для схемы DEAD $C_D = 1.21 \cdot 10^{-5} \cdot u_*^{1.77}$; для зависимости Westphal D.L. et al. $C_W = 8.96 \cdot 10^{-6} \cdot u_*^{2.81}$.

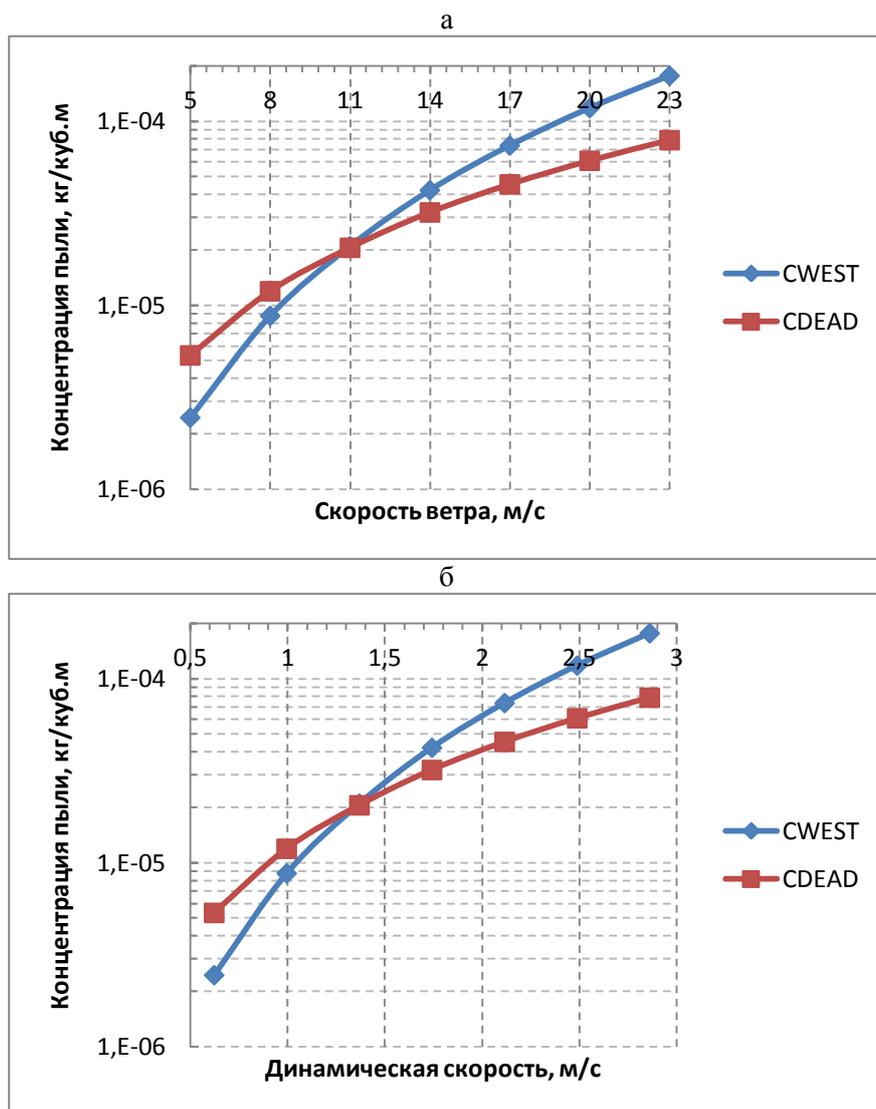


схема DEAD (ромб); зависимость Westphal D.L. et al. (квадрат)

Рис.2. Суммарные концентрации пыли в зависимости от: а) скорости ветрового потока на референтной высоте и б) динамической скорости на высоте пыления

Эффект высоты хвостохранилища

Обосновав и апробировав описанный выше «инструмент» для прогноза уровня концентрации пыли в районе г. Апатиты при вариации скорости ветрового потока, авторы, естественно, не могли пройти мимо, не применив описанный выше подход для различных высот хвостохранилища. Напомним, что ранее авторы (Амосов и др., 2014; Amosov et al., 2014; Маслобоев и др., 2014)

попытались ответить на вопрос о влиянии изменения высоты хвостохранилища АНОФ-2 со 180 м до 200 м (в абсолютных высотных отметках) на загрязнение приземного слоя атмосферы г. Апатиты. По нашим оценкам, сделанным на базе трехмерного численного моделирования, для мелкодисперсной пыли (до 60 мкм) при скорости ветра 6 м/с увеличение высоты хвостохранилища на 20 м должно привести к росту концентрации пыли примерно на 15 %.

Поскольку в данном исследовании для высоты хвостохранилища 200 м модель была «заточена» под скорость ветрового потока 5 м/с, авторами выполнена подготовка компьютерной модели и проведена серия расчетов для высоты хвостохранилища 180 м при той же скорости ветрового потока и условии постоянства площади пыления за счет изменения размера пруда-отстойника. Анализ результатов показывает (см. рис.3), что увеличение высоты хвостохранилища на 20 м при референтной скорости ветра 5 м/с приводит к росту интенсивности пыления примерно на 17 % и увеличению уровня концентрации пыли на высоте +2 м над поверхностью в центре модели г. Апатиты примерно на 20 %.

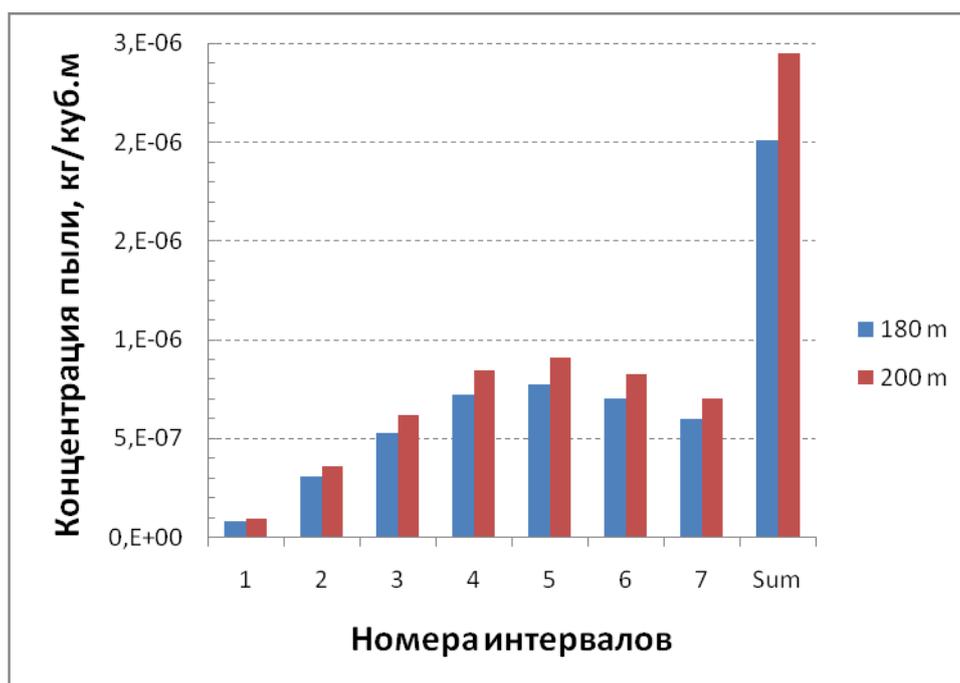


Рис.3. Поинтервальное и суммарное распределение суммарной концентрации пыли на высоте +2 м в центре модели г. Апатиты при референтной скорости ветра 5 м/с (проварьирована высота хвостохранилища 180 и 200 м)

В заключении отметим, что представленные на рис.3 суммарные концентрации пыли на высоте +2 м над поверхностью в центре модели г. Апатиты при референтной скорости ветра 5 м/с для двух значений высоты хвостохранилища (180 и 200 м) можно интерпретировать следующим образом: для высоты хвостохранилища 180 м прогнозируемый диапазон суммарной концентрации пыли составляет $2.01 \cdot 10^{-6} - 4.52 \cdot 10^{-6}$ кг/м³, а для высоты 200 м – $2.41 \cdot 10^{-6} - 5.51 \cdot 10^{-6}$ кг/м³.

Литература

1. Амосов П. В., Бакланов А. А. К вопросу оценки интенсивности пыления хвостохранилищ // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28: сб. трудов XXVIII междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 1 / под общ. ред А. А. Большакова. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2015; Ярославль: Ярослав. гос. техн. ун-т; Рязань: Рязанск. гос. радиотехн. Ун-т, 2015. С. 3-5.
2. Амосов П. В., Бакланов А. А. Оценка вертикального потока массы пыли на хвостохранилище на базе схемы DEAD» // Проблемы недропользования. 2015. № 3. С.80-85.
3. Амосов П. В., Бакланов А. А., Ригина О. Ю. Численное моделирование процессов пыления хвостохранилищ. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 109 с.
4. Бакланов А. А. Численное моделирование в рудничной аэрологии. Апатиты: изд-во КФ АН СССР, 1987. 200 с.

5. *Маслобоев В. А., Бакланов А. А., Мазухина С. И., Ригина О. Ю., Амосов П. В.* Численное моделирование процессов пыления хвостохранилища АНОФ-2 // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 2. С. 376-384.
6. *Стриженок А. В.* Управление экологической безопасностью намывных техногенных массивов ОАО «Апатит» в процессе их формирования: Дис ...канд. техн. наук. 2015. http://www.spmi.ru/system/files/lib/sci/aspirantdoctorant/avtoreferaty/2015/dissertaciya_strizhenok.pdf (дата обращения 12.09.2015).
7. *Amosov P. V., Baklanov A. A., Masloboev V. A., Mazihkina S. I.* CFD-model developing of dust transfer at a tailings dump // Proceedings of the 4-th International Conference on Hazardous and Industrial Waste Management – CRETE-2014, 2-5 September 2014, Chania, Crete, Greece. Executive Summaries. Chania: Technical University of Crete, 2014. P. 279-280.
8. *Amosov P. V., Baklanov A. A.* Assessment of dusting intensity on ANOF-2 tailing by using a Westphal D.L. dependency // Proceedings / X International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, 4-7 November 2015, Bor, Serbia; [organizer] University of Belgrade, Technical Faculty Bor; editor Zoran S. Markovic. Bor: University of Belgrade, Technical Faculty, 2015 (Bor : Tercija). P. 39-43.
9. *Baklanov A., Rigina O.* Environmental modeling of dusting from the mining and concentration sites in the Kola Peninsula, Northwest Russia // The XI World Clear Air and Environment Congress, 14-18 September 1998, Durban, South Africa, IUAPPA-NACA. Durban, .1998. Vol. 1. 4F-3. P. 1-18.
10. *Martcorena B., Bergametti G.* Modeling the Atmospheric Dust Cycle .1. Design of a Soil-Derived Dust Emission Scheme // Journal of Geophysical Research-Atmospheres. 1995. Vol. 100, No. D8. P. 16415-16430.
11. *Westphal D. L., Toon O. B., Carlson T. N.* A Case-Study of Mobilization and Transport of Saharan Dust. Journal of the Atmospheric Sciences. 1988. No. 45. P. 2145-2175.

А. В.Маслобоев^{1,2}, А. В.Бокарева³

¹Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
masloboev@iimm.ru

³Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты
bokareva@arcticsu.ru

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА

Одним из приоритетных направлений государственной политики России в Арктике, согласно «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» (Стратегия, 2013), является обеспечение экологической безопасности. Арктические регионы характеризуются суровыми природно-климатическими условиями и низкой устойчивостью экологических систем. Специфики добавляет наличие большого количества предприятий оборонно-промышленного комплекса.

Исследования проводятся применительно к стратегически значимому региону Арктической зоны Российской Федерации – Мурманской области. Этот регион подвержен влиянию множества внутренних и внешних угроз экологической безопасности. Для Мурманской области характерно возникновение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для решения проблемы управления экологической безопасностью особую значимость приобретает создание и использование интеллектуальных информационных систем, реализующих функции мониторинга показателей состояния воздушной среды, земельных и водных ресурсов, а также поддержки принятия управленческих решений в сфере экологической безопасности региона.

Целью работы является разработка мультиагентной системы информационной поддержки управления экологической безопасностью для повышения оперативности решения задач управления и принятия решений в сфере промышленной экологии региона.

Информационная база исследования включает открытые источники данных: сборники нормативно-правовых и нормативно-технических документов, методические пособия по расчёту, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ, данные статистики, отчетные материалы природоохранных ведомств и предприятий, экспертные оценки.

В ходе исследований по проекту Российского фонда фундаментальных исследований № 15-07-04290-а «Разработка когнитивных методов и технологий информационного мониторинга жизненного цикла угроз региональной безопасности (на примере Арктической зоны Российской Федерации)» разработан прототип программной мультиагентной системы информационной поддержки управления экологической безопасностью региона. Система представляет собой тренажерно-моделирующий комплекс и предназначена для информационной поддержки принятия управленческих решений в сфере обеспечения экологической безопасности региона.

В системе реализованы средства автоматизированной децентрализованной обработки данных и имитационного моделирования, сокращающие время на сбор, обработку и анализ разноплановой информации о влиянии разнородных факторов на состояние экологической системы региона и повышающие оперативность выработки и реализации управленческих решений. Эффект достигается за счет использования интеллектуальных автономных программных агентов, имеющих гибридную архитектуру (Маслобоев, 2009).

Система имеет распределённую клиент-серверную архитектуру с выделенным веб-сервером и ориентирована на открытые сети агентов.

Отличительной особенностью разработки от аналогичных систем является возможность формирования в автоматизированном режиме комплекса альтернативных природоохранных мероприятий для минимизации наносимого экологического ущерба с учетом затрат промышленных предприятий региона на их проведение, а также с учетом оценки и анализа текущего состояния окружающей среды по ряду нормативных показателей экологической безопасности.

Функциональные и технологические характеристики системы:

- модульная структура и расширяемость;
- одноранговая архитектура;
- агентная реализация;
- возможность работы с показателями атмосферного ресурса
- возможность работы с показателями почвенного ресурса
- возможность работы с показателями водного ресурса
- мониторинг состояния показателей экологической безопасности критически важных объектов региона;
- проблемно-ориентированный поиск в открытых информационных базах статистической отчетности и веб-ресурсов;
- оценка экологических рисков (ущербов) на основе имитационного моделирования;
- автоматизированное формирование перечня рекомендуемых природоохранных мероприятий для определенного промышленного объекта (предприятия) в заданных условиях обстановки;
- формирование отчётности.

Система состоит из четырех функциональных блоков:

- 1) модуль знаний;
- 2) модуль анализа;
- 3) модуль интерфейса;
- 4) модуль принятия решений.

Структура и функциональные компоненты системы представлены на рис. 1.

Модуль знаний представлен базой данных и базой знаний. База данных предоставляет информацию о показателях и диапазонах их допустимых значений. База знаний содержит знания о решении поставленной задачи.

Модуль анализа включает агентов-ресурса и агента-предприятия. Агенты-ресурса выполняют сбор и поиск данных, полученных из внешней среды. Ресурс можно представить как элемент окружающей среды. Таким образом, можно выделить следующие виды агентов-ресурса: агент атмосферного воздуха, агент водного ресурса, агент земельного ресурса. Агент-предприятия отстаивает интересы своего предприятия и руководствуется следующими стратегиями: минимизация затрат, связанных с природоохранной деятельностью; минимизация вреда, который наносится окружающей среде в ходе основной производственной деятельности предприятия.

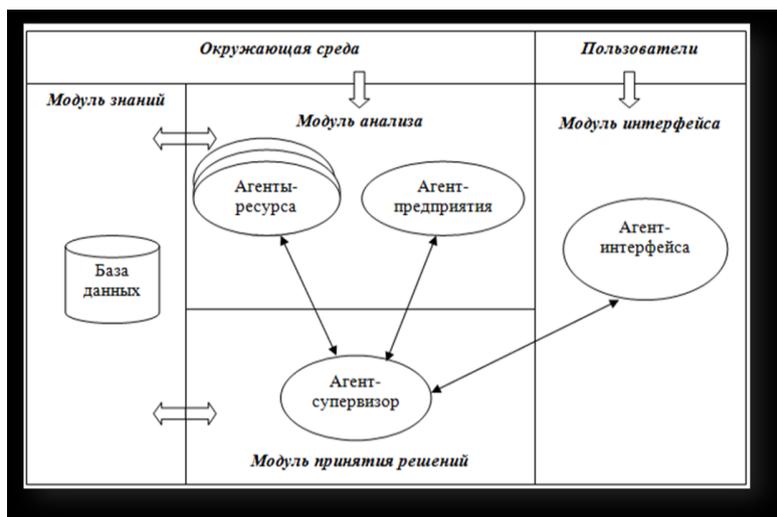


Рис.1. Функциональная структура и компоненты системы

Модуль интерфейса содержит агента-интерфейса, который является промежуточным звеном между конкретным пользователем и системой, то есть это визуальное отображение данных и результатов работы системы.

Модуль принятия решений представлен агентом-супервизором, который получает информацию от других агентов и, взаимодействуя с модулем знаний, выводит некий результат своей деятельности: оценивает уровень экологической безопасности региона, экологический ущерб, наносимый отдельным предприятием, а также выдает рекомендации конкретному предприятию по проведению природоохранных мероприятий.

Система разработана в соответствии со стандартом разработки многоагентных систем FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) (Wooldridge, 2009) в инструментальной среде AgentBuilder (AgentBuilder, 2016) с использованием платформы JADE (Java Agent Development Environment) (Bellifemine, Caire, Greenwood, 2007), языка программирования Java и инструментария интегрированной среды разработки приложений Eclipse.

Бизнес-логика системы при необходимости может быть расширена за счет совместного использования открытых веб-сервисов в сети Интернет и сервисов агентов (Sallam, 2011).

Экранные формы пользовательского интерфейса системы и процесса реализации спецификаций программных агентов приведены на рис.2-5.

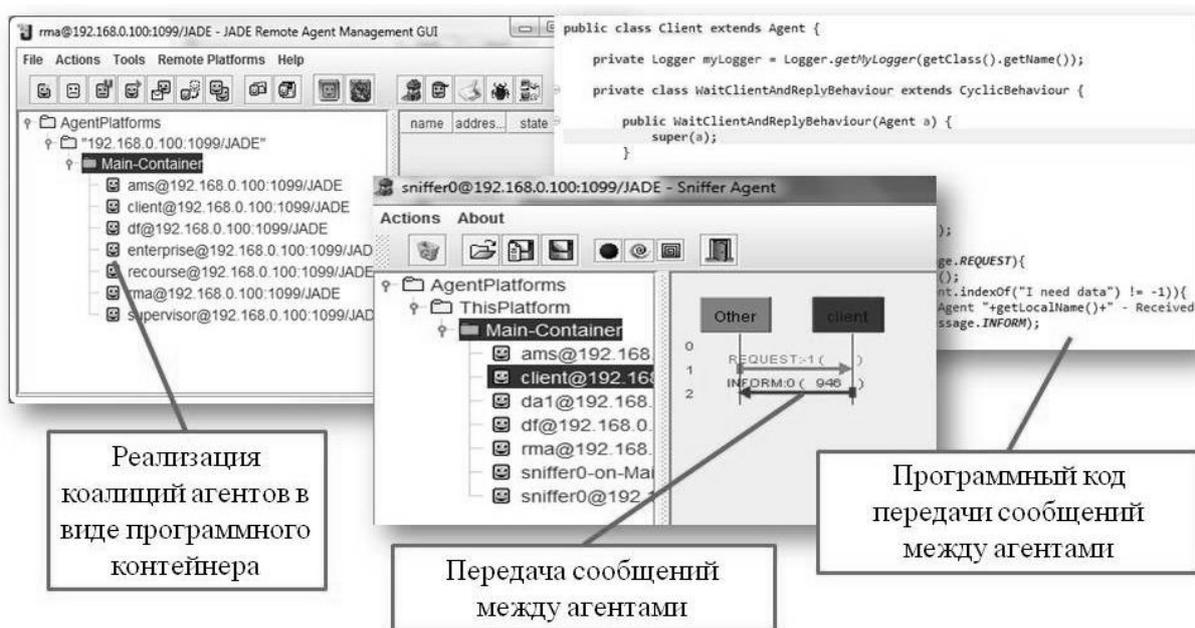


Рис.2. Экранные формы создания и настройки агентов системы

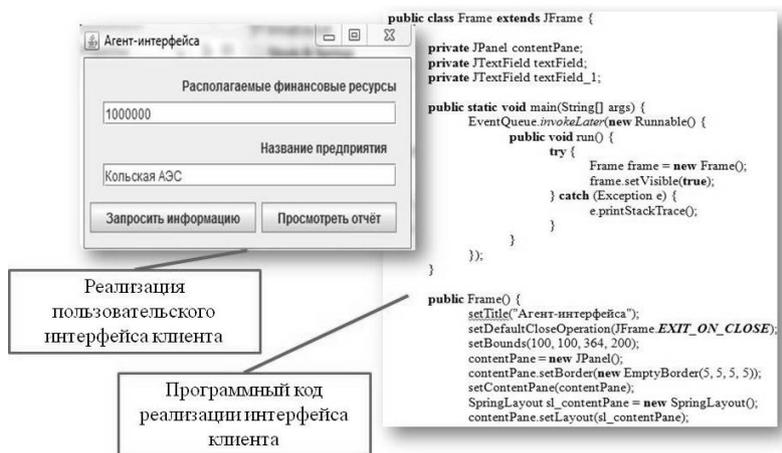


Рис.3. Реализация спецификации программного агента-интерфейса

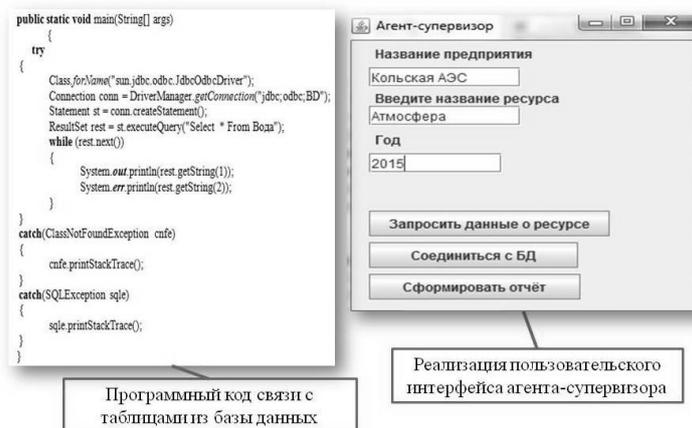


Рис.4. Реализация спецификации программного агента-супервизора

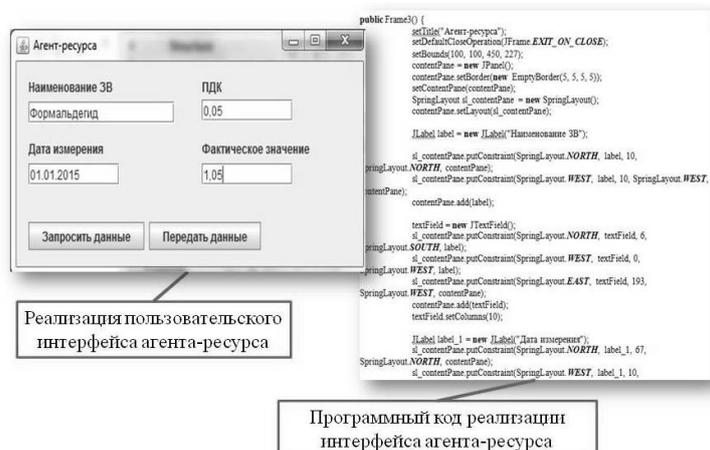


Рис.5. Реализация спецификации программного агента-ресурса

Система рекомендуется к использованию органам государственной исполнительной власти муниципального и регионального уровня, а также научным организациям и промышленным предприятиям, профиль деятельности которых связан с управлением промышленно-экологической безопасностью и экологической экспертизой.

Возможный эффект от внедрения – повышение оперативности решения задач управления экологической безопасностью, что обеспечивается за счет сокращения времени на сбор, обработку и анализ актуальной информации о влиянии разнородных факторов на состояние экологической системы региона и автоматизации рутинных операций по формированию оптимальных планов природоохранных мероприятий в динамически изменяющихся условиях и с учетом имеющихся в наличии материальных ресурсов.

В настоящее время разработанный прототип мультиагентной системы информационной поддержки управления экологической безопасностью используется для научно-исследовательских целей в Институте проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН и проходит апробацию в Министерстве природных ресурсов и экологии Мурманской области.

В частности, система прошла апробацию при решении ряда практических задач, связанных с мониторингом и индикаторным оцениванием показателей экологической безопасности региона с учетом влияния разнородных факторов (на примере Мурманской области). Использование системы обеспечило возможность комплексной оценки экологических рисков (ущербов) антропогенного воздействия промышленных предприятий региона на окружающую среду, а также автоматизацию процессов стратегического и оперативного планирования природоохранных мероприятий.

Разработка зарегистрирована в Объединенном фонде алгоритмов и программ ФГАНУ «ЦИТиС» (гос. рег. № АААА-А16-616022510065-8 от 25.02.2016 г.).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-07-04290-а).

Литература

1. *Маслобоев А. В.* Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. № 1. С. 113-125.
2. Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. URL: <http://government.ru/news/432>.
3. AgentBuilder – an integrated software toolkit that allows software developers to quickly develop intelligent software agents and agent-based applications. URL: <http://www.agentbuilder.com>.
4. *Bellifemine F., Caire G., Greenwood D.* Developing Multi-Agent Systems with JADE. John Wiley & Sons, 2007. 300 p.
5. *Sallam A.* Integration of Web Services and Agent technologies: Web Services supervision system based on JADE. LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 96 p.
6. *Wooldridge M.* An Introduction to Multi-Agent Systems. Second Edition. John Wiley & Sons, 2009. 484 p.

А. В. Маслобоев^{1,2}, Е. А. Семакова³

¹Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
masloboev@iimm.ru

³Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты
katyasetak@mail.ru

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ МОНОГОРОДА

На современном этапе развития экономики растут требования к рациональному обоснованию управленческих решений, влияющих на различные аспекты функционирования социально-экономических систем. В процессе индустриализации страны создавались промышленные предприятия, вокруг которых строились новые города. Типичная картина для промышленных регионов России: одно (или два) крупных предприятия и рядом с ними – город с населением численностью 20-70 тыс. чел. Наиболее ярким примером промышленного региона Арктической зоны России является Мурманская область, процесс индустриализации которой начался еще в 1930-х гг. Регион является главным и определяющим поставщиком сырьевых ресурсов, как для внутренних потребностей России, так и на экспорт.

В современных условиях для монопрофильных муниципальных образований северных регионов России актуальна проблема перехода на модель устойчивого поступательного социально-экономического развития. Решение этой проблемы обусловлено сложностью гармонизации основных показателей устойчивого развития социально-экономических систем. Решение проблемы может быть получено на основе адекватной информационно-аналитической поддержки процессов принятия управленческих решений по оптимизации данных показателей, как на муниципальном, так и региональном уровнях. Для решения задач информационной поддержки управления развитием

социально-экономических систем, сегодня, широко используются современные информационные технологий и методы компьютерного моделирования (Емельянов, 2004).

Моногород является развивающейся социально-экономической системой. Экспериментальные воздействия на такие системы нежелательны по многим причинам, в первую очередь, из-за высоких экономических и социальных рисков. Поэтому основным методом исследования и прогнозирования поведения таких систем служит имитационное моделирование. Одним из эффективных методов имитационного моделирования является системная динамика (Форрестер, 1986), позволяющая строить имитационные модели, описывающие процессы так, как они бы проходили в действительности. В работе исследуемая система заменяется динамической моделью, с которой проводятся эксперименты и которая с достаточной точностью описывает динамику развития реальной системы с целью получения информации о развитии системы и выработки антикризисных стратегий управления ее развития на основе имитационного моделирования.

Целью работы является разработка мультиагентной системы информационной поддержки принятия решений в сфере управления устойчивым развитием монопрофильных муниципальных образований (моногородов) арктических регионов (на примере Мурманской области).

В ходе реализации проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-29-06973-офи-м «Развитие методологии, модельного инструментария и информационных технологий системной оценки рисков нового освоения Арктики» разработан исследовательский прототип программной мультиагентной системы информационной поддержки управления экономической безопасностью моногорода Севера России на примере Мурманской области. Система предназначена для поддержки принятия решений в сфере управления устойчивым развитием моногорода и представляет собой тренажерно-моделирующий комплекс. В системе совместно используются имитационная модель устойчивого развития моногорода и автономные программные агенты для мониторинга и прогнозирования показателей экономической безопасности.

Функциональные возможности системы обеспечивают построение и анализ сценариев развития моногорода, расчет и прогнозирование показателей экономического риска для различных сценариев развития моногорода на основе имитационного моделирования. Система предоставляет эксперту/ЛПР возможность вариативного расчета и оперативного корректирования показателей социально-экономического развития моногорода в рамках существующей статистической отчетности.

Технологической основой (ядром) системы являются имитационная модель устойчивого развития моногорода (Путилов, Горохов, 2002), которая моделирует поведение экономических агентов моногорода, и программные агенты с имитационным аппаратом (Маслобоев, 2009), которые осуществляют мониторинг показателей безопасности развития моногорода и оценивают экономические риски при различных сценариях его функционирования на основе имитационной модели. В модели используется оригинальная система показателей устойчивого развития, созданная в результате обобщения существующих индикаторных систем и формирования интегральных показателей, полученных путем свертки ряда групп общепринятых индикаторов безопасности.

Модель включает в себя три основных модельных блока, моделирующих динамику развития базовых составляющих устойчивого развития города: экономическую, социальную и промышленно-экологическую. В модели формализуются базовые показатели социально-экономического развития моногорода и основные экономические риски.

Система обеспечивает сокращение времени на сбор и анализ актуальной информации о влиянии разнородных факторов на состояние социально-экономической системы моногорода и координацию локальных решений по оптимизации показателей экономической безопасности на разных уровнях управления.

Отличительной особенностью разработки от современных аналогов является возможность координации показателей экономической безопасности развития моногорода, оптимизируемых различными элементами многоуровневых систем управления региональной безопасностью (Маслобоев, Путилов, Сютин, 2015).

Система имеет модульную структуру и реализована в рамках архитектуры «тонкий клиент» (Маслобоев, Олейник, Шишаев, 2015).

Система обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- 1) организация интерактивного диалога с пользователем в стиле «запрос - ответ» с применением автономных программных агентов;
- 2) построение сценариев развития моногорода;

3) определение значений экономического риска для различных сценариев развития моногорода на основе имитационного моделирования;

4) формирование отчетов.

В состав системы входят следующие функциональные компоненты (рис.1):

1) блок пользовательского интерфейса;

2) блок настройки параметров;

3) блок решения;

4) блок представления результатов;

5) база данных;

6) множество программных агентов, имитирующих работу муниципальных ситуационно-кризисных центров управления моногородом в виртуальной среде региональной безопасности;

7) системно-динамическая модель развития моногорода (рис.2).

Архитектура и функциональные блоки системы представлены на рис.1.

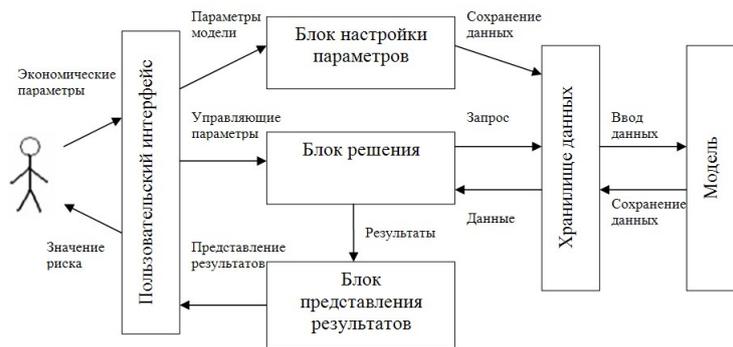


Рис.1. Архитектура и функциональные блоки системы

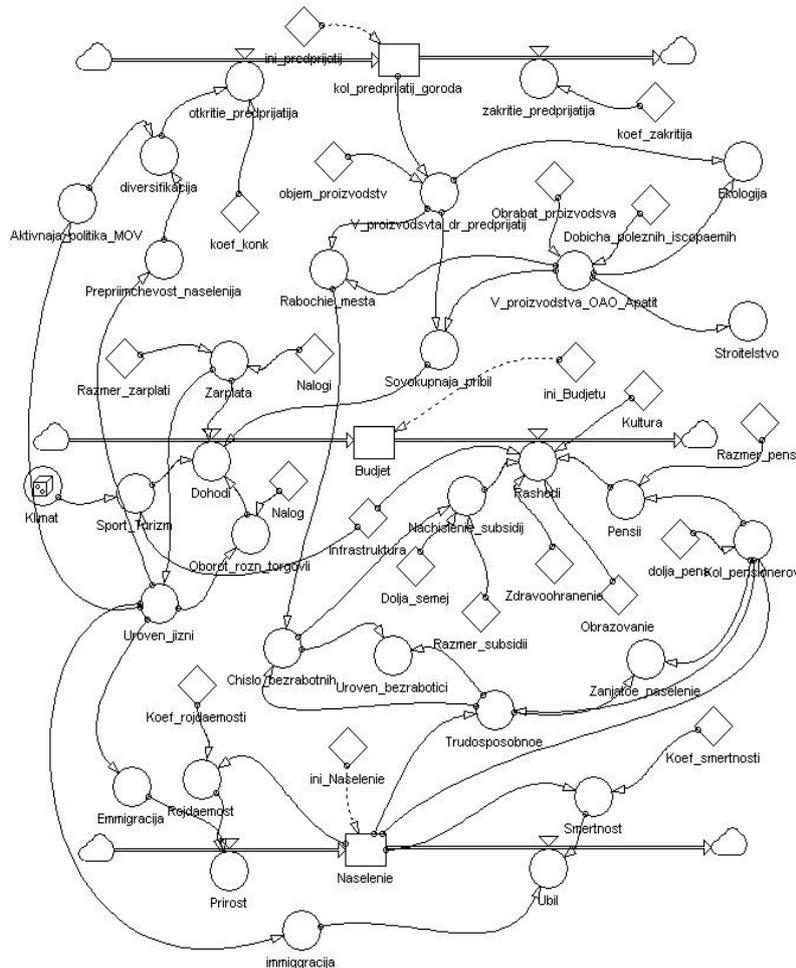


Рис.2. Фрагмент имитационной модели развития моногорода

Система рекомендуется к использованию органам государственной исполнительной власти муниципального и регионального уровня, руководителям градообразующих предприятий для сценарного анализа и прогнозирования динамики социально-экономического развития моногорода.

Программная реализация системы выполнена в среде программирования Embarcadero RAD Studio XE10 на языке Java. Для создания имитационной модели устойчивого развития моногорода использована инструментальная среда агентного имитационного моделирования AnyLogic (Карпов, 2005). В качестве серверной базы данных использована СУБД MySQL Server.

Бизнес-логика системы при необходимости может быть расширена за счет интеграции новых имитационных моделей в единый полимодельный комплекс системы, а также за счет совместного использования сторонних веб-сервисов и сервисов агентов.

Экранные формы пользовательского интерфейса системы приведены на рис.3.

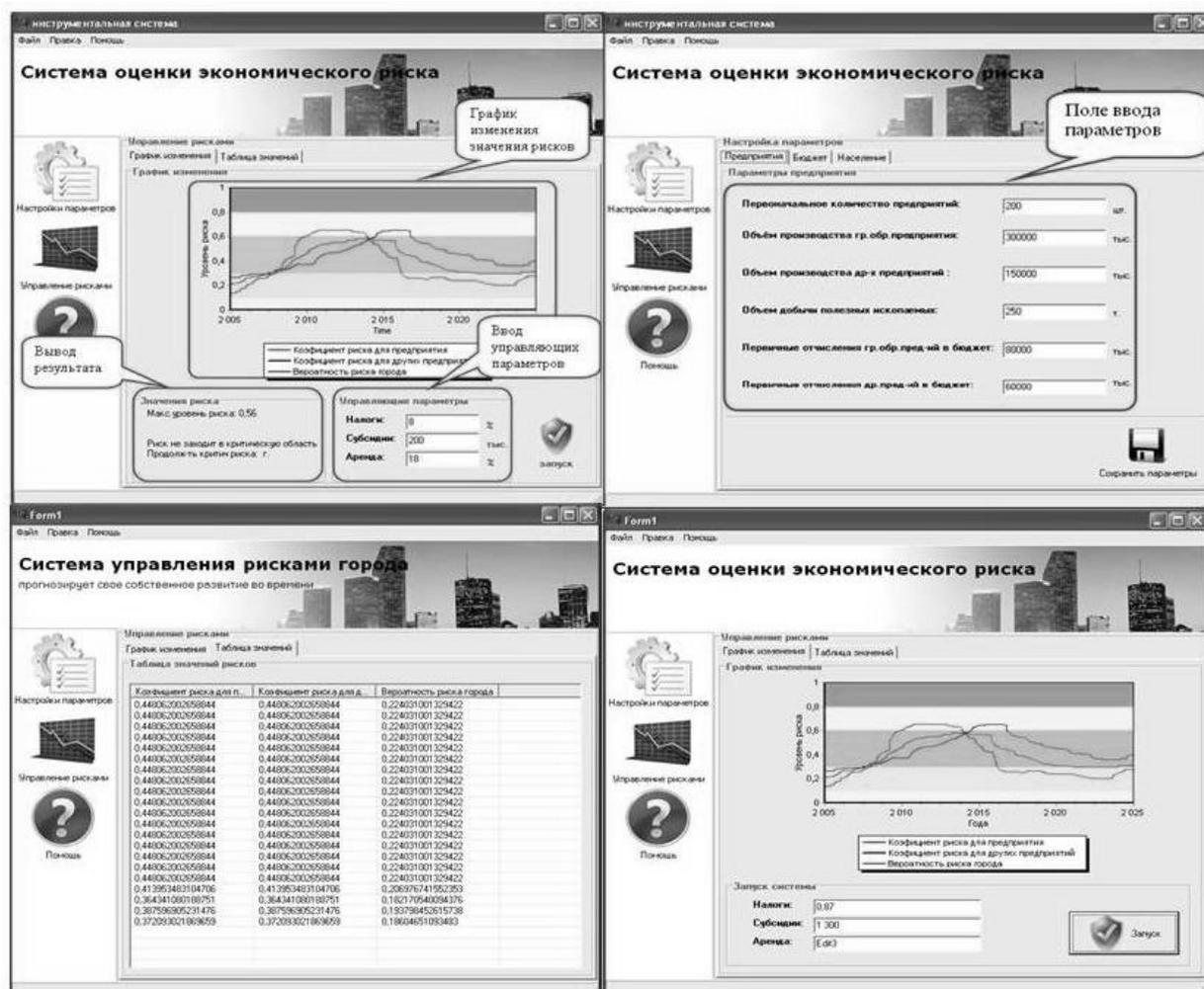


Рис.3. Экранные формы пользовательского интерфейса системы

На основе экспертно-имитационного моделирования с применением созданной системы предложены стратегии обеспечения устойчивого развития моногорода:

1) повышение экономической безопасности развития моногорода за счет увеличения производственных мощностей и повышения качества выпускаемой продукции при условии минимального негативного воздействия на окружающую среду;

2) снижение негативного влияния на окружающую среду (минимизация экологических рисков) за счет увеличения количества высококачественных и высокотехнологичных производств, утилизации отходов и очистки сточных вод;

3) повышение качества жизни населения и снижение социальных рисков за счет увеличения числа рабочих мест (расширение рынка труда), уменьшение размера коммунальных выплат и увеличения числа образовательных учреждений и заработной платы рабочих;

4) увеличение ассигнований в научно-исследовательскую деятельность должно привести к увеличению количества потенциально эффективных инновационных проектов и появлению конкурентоспособной наукоемкой продукции, применимой в практической деятельности промышленных предприятий региона.

В настоящее время разработанный прототип программной мультиагентной системы информационной поддержки управления экономической безопасностью моногорода используется для научно-исследовательских целей в Институте проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН и проходит апробацию в Министерстве экономического развития Мурманской области на задачах оценки результативности реализации рекомендаций комплексных инвестиционных планов развития монопрофильных муниципальных образований Мурманской области.

В частности, система прошла частичную апробацию при решении задач оценки экономической безопасности развития моногородов Мурманской области на примере города Кировска (градообразующее предприятие ОАО «Апатит»). Использование системы обеспечило возможность комплексного анализа и прогнозирования вариантов развития моногорода и результатов реализации различных сценариев управления экономической безопасностью с учетом влияния разнородных факторов.

Возможный эффект от внедрения – повышение оперативности решения задач управления устойчивым развитием монопрофильных муниципальных образований за счет сокращения времени на сбор, обработку и анализ актуальной информации о влиянии разнородных факторов на состояние социально-экономической системы моногорода и координации локальных решений по оптимизации показателей экономической безопасности на разных уровнях управления.

Разработка зарегистрирована в Объединенном фонде алгоритмов и программ ФГАНУ «ЦИТИС» (гос. рег. № АААА-А16-616022510065-8 от 25.02.2016 г.).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-29-06973-офи-м).

Литература

1. Емельянов С. В., Попков Ю. С., Олейник А. Г., Путилов В. А. Информационные технологии регионального управления. М.: Едиториал УРСС, 2004. 400 с.
2. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
3. Маслобоев А. В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. № 1. С. 113-125.
4. Маслобоев А. В., Олейник А. Г., Шишаев М. Г. Информационная технология дистанционного формирования и управления моделями системной динамики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 4. С. 748-755.
5. Маслобоев А. В., Путилов В. А., Сютин А. В. Координация в многоуровневых сетевых системах управления региональной безопасностью: подход и формальная модель // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 1. С. 130-138.
6. Путилов В. А., Горохов А. В. Системная динамика регионального развития. Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. 306 с.
7. Форрестер Дж. Динамика развития города. М.: Прогресс, 1986. 309 с.

Н. Н. Мельников, П. В. Амосов, С. Г. Климин

Горный институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
vosoma@goi.kolasc.net.ru

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РАЗМЕРА ОБЛАСТИ ОТТАИВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ

Постановка задачи

Предполагается, что камера большого объема (КБО) создается в условиях многолетнемерзлых пород под подземную атомную станцию малой мощности (АСММ). Основная идея создания такого объекта: в КБО будут располагаться модули подземного комплекса АСММ с необходимой защитой

от ионизирующего излучения. В этом случае именно обделка КБО контактирует с многолетнемерзлыми породами, а значит, температура атмосферы КБО и коэффициент теплопроводности обделки будут определять размер области оттаивания вокруг выработки.

Цели исследования: 1) оценить динамику размеров области оттаивания многолетнемерзлых пород вокруг КБО (в форме прямоугольного параллелепипеда) в зависимости от продольного размера выработки; 2) получить аналитические зависимости, позволяющие существенно упростить выполнение таких оценок.

Модельные представления

В компьютерной модели схематично геометрия выглядит следующим образом (рис.1): имеем блок многолетнемерзлых пород размером 200x200x110 м; практически по центру блока размещается КБО размером 30x L x30 м ($L=30, 50, 70, 90$ и 110 м); толщина слоя обделки принята равной 1 м.

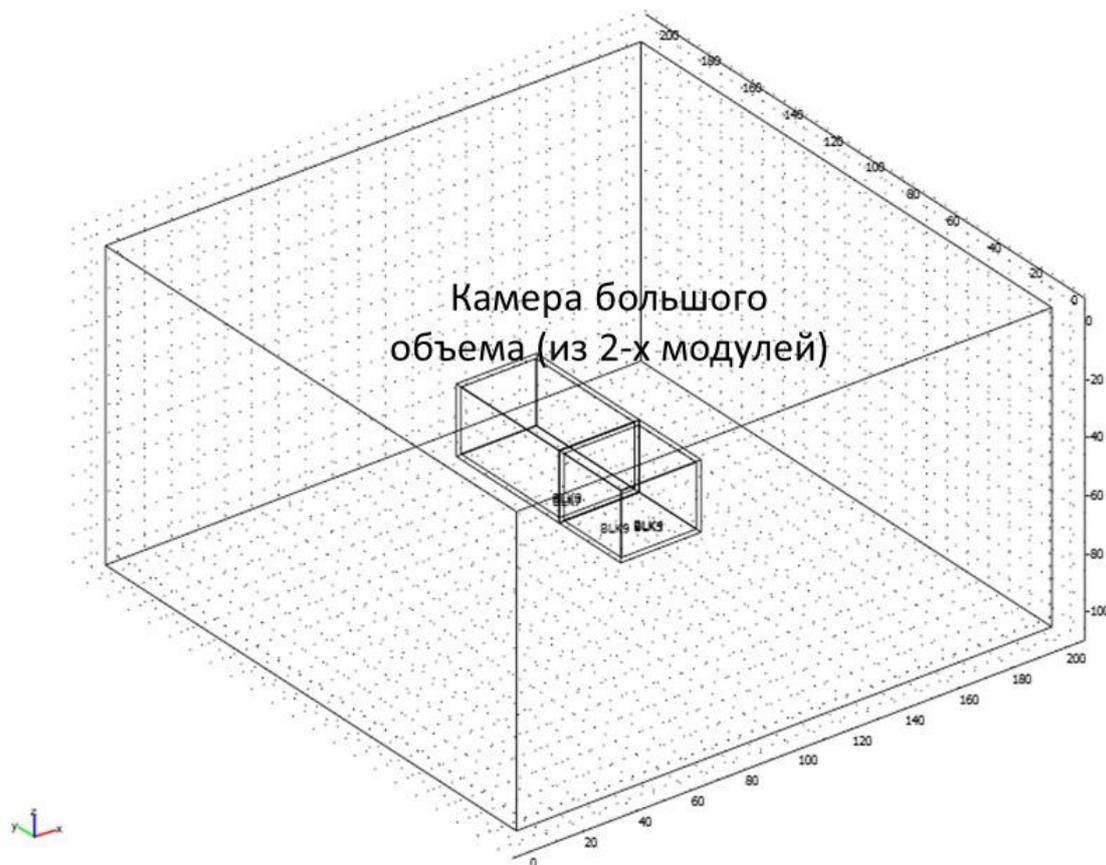


Рис.1. Примерная схема размещения КБО в многолетнемерзлых породах

Как и в работе (Мельников и др., 2015), для достижения поставленной цели использован тот же исследовательский «инструмент» – программный код COMSOL. Задействован модуль программы, позволяющий промоделировать процессы теплопереноса с учетом фазового перехода «лед-вода».

В качестве граничных условий на боковых сторонах параллелепипеда установлено условие симметрии (нулевой поток). На нижней грани параллелепипеда зафиксирована температура -7.8°C . На верхней границе (земная поверхность) «работает» теплообмен с коэффициентом теплоотдачи $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ и температурой воздуха -10°C , что соответствует показателям месторождения Песчанка (Чукотка) (Мельников и др., 2015). Пористость многолетнемерзлых пород принята равной 5 %.

В качестве начальных условий для многолетнемерзлых пород при указанной температуре на нижней границе использован геотермический градиент $0.02^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Температура обделки установлена равной 5°C , а внутри КБО зафиксирована температура в 20°C . Коэффициент теплопроводности обделки принят равным $2.0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Продолжительность моделирования, т.е. непрерывное функционирование подземной АСММ (генерация энергии, перезагрузки, ремонтные работа и пр.), составила 16 лет.

Результаты расчетов и их анализ

Анализ результатов численных экспериментов показал, что для оценки объема оттаивания криолитозоны весьма удобно воспользоваться опцией программы, осуществляющей интегрирование ряда физических параметров. В частности, для области многолетнемерзлых пород удобно осуществлять контроль интегрирования плотности, теплоемкости и теплопроводности. Известно, что плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность воды и льда различаются. А значит, при изменении объема оттаявшей породы интегрированные величины плотности, теплоемкости и теплопроводности будут также изменяться. Именно это и наблюдалось при анализе динамики интегрированных параметров. Дальнейший переход к объему оттаявшей породы тривиален. При этом следует учесть, что в случае интегрированной теплоемкости необходимо оперировать объемной теплоемкостью, а в случае интегрированной теплопроводности следует помнить о пористости криолитозоны.

Проанализированная информация позволила перейти к оценке величины области оттаивания. В частности, анализировалась динамика объема области оттаивания при вариации продольного размера КБО в течении периода времени от 2 до 16 лет. Полученная информация свидетельствует, что при принятых значениях параметров модели прогнозируются достаточно значительные количества оттаявших пород: порядка нескольких сотен тысяч кубических метров.

Оказалось, что для всех трех указанных теплофизических параметров графики динамики объема оттаивания прекрасно описываются с высокой степенью достоверностью посредством степенной функции $V1 = A1 \cdot (t)^{B1}$, где $V1$ – объем оттаивания, м³; t – время, годы; $A1$ и $B1$ – коэффициенты аппроксимации (свои для каждого продольного размера КБО и для теплофизического параметра) (см. табл.).

Полученная аналитическая зависимость динамики объема оттаивания позволяет легко получить функциональную зависимость скорости объема оттаивания во времени $V2 = A2 \cdot (t)^{B2}$, где $V2$ – скорость объема оттаивания, м³/год; $A2$ и $B2$ – коэффициенты аппроксимации (свои для каждого продольного размера КБО и для теплофизического параметра). Естественно, кривые скорости объема оттаивания находятся в полном согласии с графиками динамики объема оттаивания. Для кривых скорости объема оттаивания характерно на всем протяжении моделирования процесса иметь положительную производную с постепенным замедлением скорости объема оттаивания. Значения скорости объема оттаивания минимальны для самой маленькой КБО с постепенным ростом вслед за увеличением размера КБО.

Следующий шаг для достижения цели исследования – проанализировать поведение указанных выше коэффициентов аппроксимации при вариации длины выработки. Графическая интерпретация анализа на примере интегрирования плотности представлена на рис.2 (а, б). Как видно на указанных графиках все коэффициенты имеют линейную аппроксимацию. Причем для коэффициентов $A1$ и $A2$ достоверность очень высокая, а для $B1$ и $B2$ всего лишь на уровне 0.68. Аналогичные результаты были получены и по другим теплофизическим параметрам.

Коэффициенты аппроксимации степенной функции объема оттаивания при вариации продольных размеров КБО

Длина КБО, м	Теплофизические параметры интегрирования					
	плотность		теплоемкость		теплопроводность	
	A1	B1	A1	B1	A1	B1
30	34721	0.535	32426	0.598	30905	0.534
50	49646	0.549	45666	0.590	44101	0.549
70	65861	0.549	62772	0.558	58463	0.550
90	78705	0.566	71898	0.589	71685	0.556
110	96820	0.556	78445	0.631	85916	0.557

Обобщая представленную информацию, можно констатировать, что в рамках используемых модельных представлений (КБО в форме прямоугольного параллелепипеда) и указанных диапазонах варьируемых ($30 \text{ м} \leq L_y \leq 110 \text{ м}$; $2 \text{ года} \leq t \leq 16 \text{ лет}$) параметров через интегрирование плотности получаем следующие аналитические зависимости оценки объема оттаивания многолетнемерзлых пород

$$V1(L, \lambda = 2, 0, t) = (766,2L + 11511) \cdot (t)^{(2,9510^{-4}L + 0,53)}$$

и их скорости объема оттаивания

$$V2(L, \lambda = 2, 0, t) = (439,0L + 5342,3) \cdot (t)^{(2,9510^{-4}L - 0,47)}$$

В случае интегрирования теплоемкости получаем следующие зависимости

$$V1(L, \lambda = 2, 0, t) = (591,3L + 16847) \cdot (t)^{(3,2610^{-4}L + 0,57)}$$

и их скорости объема оттаивания

$$V2(L, \lambda = 2, 0, t) = (377,9L + 8174,3) \cdot (t)^{(3,2610^{-4}L - 0,43)}$$

В случае интегрированной теплопроводности соотношения таковы

$$V1(L, \lambda = 2, 0, t) = (688,0L + 10052) \cdot (t)^{(2,5910^{-4}L + 0,53)}$$

и их скорости объема оттаивания

$$V2(L, \lambda = 2, 0, t) = (391,3L + 4711,4) \cdot (t)^{(2,5910^{-4}L - 0,47)}$$

Таким образом, в выполненном исследовании в объемной постановке на базе компьютерных моделей предложен методический подход, позволяющий выполнять оценки объема оттаивания и скорости объема оттаивания многолетнемерзлых пород.

Если описанный подход признать справедливым (степенная зависимость объема оттаивания от времени, а коэффициенты функции описываются линейными зависимостями от длины выработки), то можно существенно упростить и сократить время выполнения аналогичных оценок при вариации коэффициента теплопроводности обделки. Достаточно выполнить расчеты и отследить динамику объема оттаявшей породы для минимального и максимального продольного размера КБО. Далее воспользоваться линейной зависимостью для коэффициентов аппроксимации A1 и A2, B1 и B2.

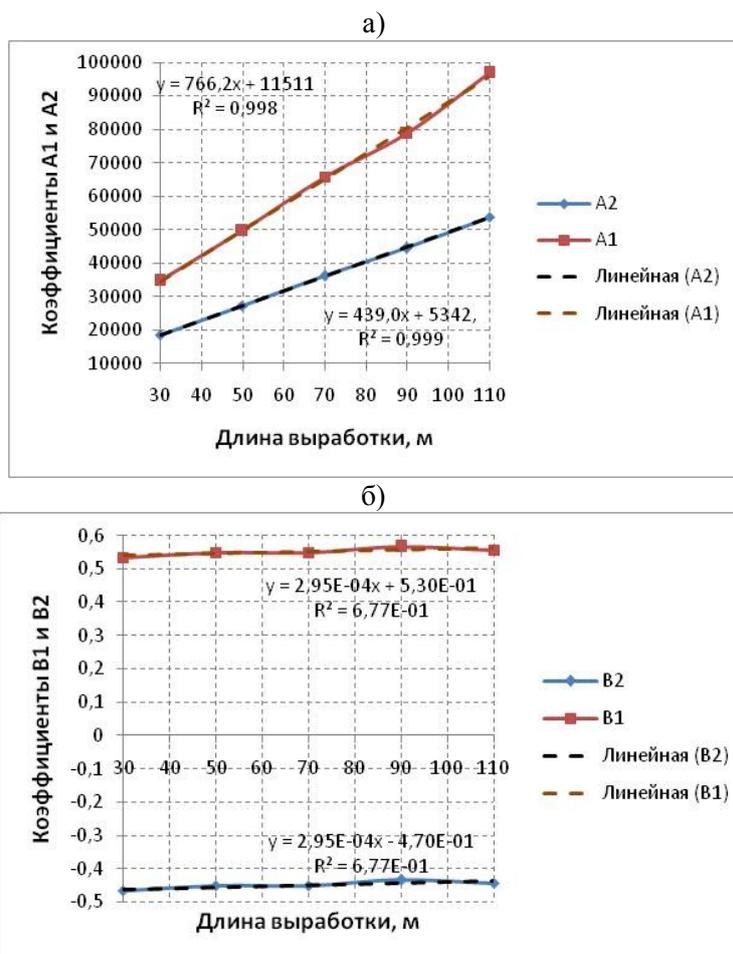


Рис.2. Зависимости коэффициентов аппроксимации динамики объема оттаивания и скорости объема оттаивания от длины выработки при интегрировании плотности: а) A1 и A2; и б) B1 и B2

Заключение

Таким образом, на базе численного моделирования в объемной постановке реализован и апробирован методический подход, позволяющий выполнять достаточно строгие оценки некоторых параметров областей оттаивания, которые возникают в криолитозоне при размещении в ней источников тепловыделений (подземная АСММ, объекты подземного хранения/захоронения опасных тепловыделяющих отходов и другие). В основе оценки объема области оттаивания лежит интегрирование теплофизических параметров в объеме криолитозоне, а также известные различия в их значениях для воды и льда.

На примере КБО в форме прямоугольного параллелепипеда при фиксированной температуре внутри объекта выполнена оценка (в форме аналитических зависимостей) объема оттаивания и скорости объема оттаивания многолетнемерзлых пород во времени при вариации продольного размера подземной выработки.

Литература

Мельников Н. Н., Амосов П. В., Новожилова Н. В., Климин С. Г. Экология подземных объектов ядерной энергетики в условиях криолитозоны. Ярославль: ООО «Принтхаус-Ярославль», 2015. 119 с.

В. Г. Миненко¹, О. В. Суворова², В. Е. Плетнева², Д. В. Макаров³, А. Л. Самусев¹, А. Р. Силикова¹

¹Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва

vladi200@mail.ru

²Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева

Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

suvorova@chemy.kolasc.net.ru

³Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

makarov@inep.ksc.ru

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ САПОНИТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ОАО «СЕВЕРАЛМАЗ»

С 2005 г. после сдачи в эксплуатацию обогатительной фабрики № 1 (ОФ № 1) ПАО «Севералмаз» ведутся добычные работы на трубке Архангельская, расположенной в южной части месторождения им. М. В. Ломоносова в Архангельской области. Породы трубок месторождения практически полностью замещены глинистыми минералами (преимущественно сапонитом). В водной среде данный минерал образует тонкодисперсную гелеобразную суспензию, частицы которой характеризуются крупностью менее 7 мкм и, как следствие, низкой скоростью осаждения, что создает большие сложности при обеспечении замкнутого водооборота на ОФ № 1. Высокое содержание глинистых частиц в оборотных водах приводит к снижению эффективности процессов извлечения алмазов, повышению расхода реагентов и чистой природной воды, снижению срока службы оборудования и экологической безопасности производства в целом. Известные гравитационные, фильтрационные, реагентные, физические и другие методы не позволили полностью решить проблему осветления оборотных вод предприятий ПАО «Севералмаз».

Следует отметить, что сапонит является ценным товарным продуктом с широким спектром применения в различных отраслях:

- в литейном производстве и металлургии как сырье для окомкования железорудных концентратов и смазки при прокате металлов и др.;
- в строительстве для производства керамики, керамзита и др.;
- в химической промышленности для очистки сточных выбросов;
- в легкой промышленности для производства адсорбентов, бумаги и утяжелителей для тканей; как стабилизатор эмульсионных систем;
- в медицине и фармакологии при производстве медпрепаратов (сорбентов) для общей дезинтоксикации организма, лекарственных препаратов эфферентного действия и др.;
- в пищевой промышленности для очистки жидких органических сред и питьевой воды.

В последние годы уделяется большое внимание вопросам исследования сапонита и модифицирования его свойств (Villa-Alfagemea et al., 2014; Gebretsadik et al., 2015). Так, например,

авторами (Nityashree et al., 2014; Wang et al., 2015) описано использование сапонитов для синтеза слоистых нанокompозитов – перспективных материалов с широким спектром свойств и разнообразными областями применения.

Таким образом, актуальность работы обусловлена как необходимостью организации качественной системы водооборота, обеспечивающей высокое извлечение алмазов в процессах обогащения, так и снижением экологической нагрузки на окружающую среду с попутным получением товарного продукта – сапонита, сырья для промышленности строительных материалов.

Для извлечения сапонитсодержащего продукта и осветления техногенных вод предприятий ПАО «Севералмаз» в ИПКОН РАН разработан и апробирован безреагентный электрохимический метод – электрохимическая сепарация, в котором реализованы процессы электрофоретического извлечения сапонитсодержащего продукта на аноде и осмотического выделения воды на катоде (Миненко, 2014; Чантурия и др., 2014).

Проведенные на ОФ № 1 ПАО «Севералмаз» с использованием сепаратора ЭХМ-0.1 (конструкции ИПКОН РАН) опытно-промышленные испытания процесса обесшламливания различных сапонитсодержащих техногенных вод, характеризующихся содержанием твердого от 50 г/дм³ до 250 г/дм³, показали возможность получения из них до 75 % осветленного слива с содержанием твердой фазы 0.5-30 г/дм³ и извлечения более 80 % сапонита. При этом получаемый концентрат (сгущенный сапонитсодержащий продукт) характеризуется содержанием твердой фазы до 600 г/дм³ (Чантурия и др., 2014). Разработанные рациональные параметры сепарации: величина потребляемого постоянного линейного тока на 1 метр барабана-анода 9-12 А/м; производительность по твердому осадку с 1 метра барабана-анода 5-20 кг/ч; линейная скорость барабанов – катодов до 10.4 см/с, барабана – анода 0.05-0.1 см/с; величина рабочего напряжения 30 В. обеспечивают удельный расход электроэнергии менее 7 кВт·ч/м³ воды.

Исследованиями минерального состава пробы сапонитсодержащего концентрата электрохимической сепарации установлено повышение содержания минералов монтмориллонитовой группы с 68 до 74.5 %, при снижении содержания кварца и доломита на 4 % (таблица).

Минеральный состав исходных шламов и полученного методом электрохимической сепарации сапонитсодержащего продукта

№	Минерал	Содержание, %	
		исходные шламы	модифицированный сапонит
1	Сапонит + монтмориллонит	68.0	74.5
2	Кварц	14.0	12.0
3	Доломит	7.0	5.0
4	Кальцит	2.0	2.0
5	Гематит	2.5	2.5
6	Фторapatит	2.0	1.0
7	Рутил	1.5	1.0
8	Анализ	1.0	1.0
9	Иллит	2.0	1.0
	Сумма	100.0	100.0

В последние годы накоплен большой практический опыт вовлечения в производство широкого спектра промышленных отходов, в том числе хвостов обогащения и шламов, для получения керамических материалов (Суворова и др., 2012; Contreras et al., 2014; Yang et al., 2014; Santos et al., 2015 и др.).

Соответствие химического состава модифицированного сапонита требованиям к глинистому сырью для производства строительных материалов, плотная упаковка и высокое содержанием минералов монтмориллонитовой группы предполагает его использование для производства различных строительных керамических материалов.

Методика подготовки образцов, обжига и исследований свойств керамических материалов в основном соответствует описанной ранее (Суворова и др., 2012). Образцы для исследований готовили следующим образом: обезвоженный продукт сушили на воздухе до оптимальной влажности и формовали прессованием при удельном давлении 20 МПа. После сушки при 120 °С образцы

обжигали в муфельной печи при температурах 800, 900 и 1000 °С с изотермической выдержкой в течение 1 ч. Далее осуществляли снижение температуры до 500 °С со скоростью 2-3.5 °С/мин. Остывание проводили в печи в течение 8 часов. Обожженные образцы испытывали на прочность при сжатии и изгибе. Также определяли среднюю плотность, огневую усадку и водопоглощение.

Керамические образцы, полученные из сапонитсодержащих продуктов, характеризовались однородной и гладкой поверхностью без каких-либо дефектов (рис.1).

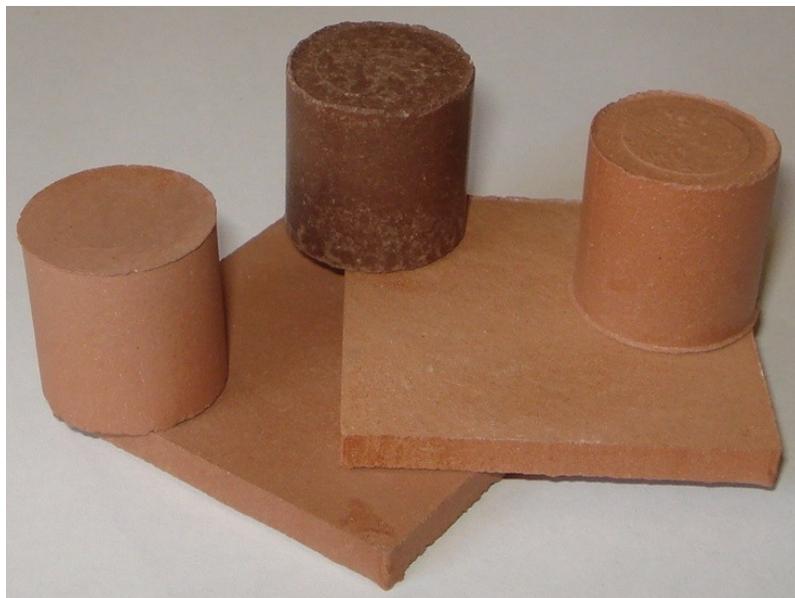


Рис.1. Образцы керамических материалов из сапонитсодержащего продукта

Важным положительным моментом является относительно низкая температура обжига, а также широкий интервал спекания – не менее 150 °С. Об этом свидетельствует зависимость прочности при сжатии и изгибе керамических материалов от температуры обжига (рис.2). Прочностные характеристики образцов (прочность на сжатие составляет от 35 до 80.9 МПа, на изгиб – от 8 до 26.7 МПа) в диапазоне температур обжига от 800 до 1000°С отвечают показателям высокомарочного керамического кирпича марки М-300. Материалы пригодны также для получения керамической плитки. Плотность образцов незначительно растет с повышением температуры обжига от 1.9 г/см³ до 2.2 г/см³. Водопоглощение снижается с 14.2 и 13.6 до 11 %. Величина огневой усадки образцов в исследованном диапазоне температур обжига составила 1.15-3.2 %.

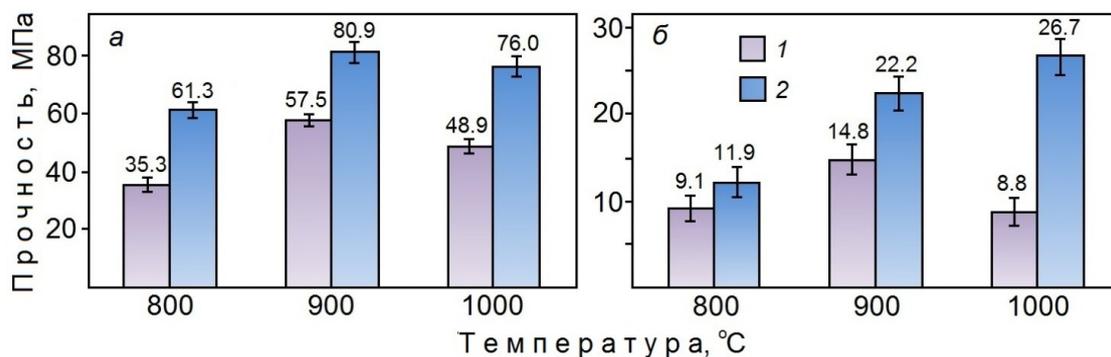


Рис.2. Зависимости предела прочности при сжатии (1) и изгибе (2) керамических материалов из исходного сапонитсодержащего продукта (а) и продукта, полученного методом электрохимической сепарации (б) от температуры обжига

Представляло интерес сопоставление свойств керамических материалов, полученных из исходного сапонитсодержащего продукта (исходные шламы) и модифицированного продукта, полученного методом электрохимической сепарации техногенных шламосодержащих вод. Результаты

исследований свидетельствуют о заметном улучшении физико-механических характеристик образцов – росту предела прочности при сжатии и изгибе (рис.2). Так, например, керамические образцы из модифицированного сапонитсодержащего продукта характеризуются повышенной в 1.4-1.7 раза прочностью на сжатие и в 1.3-3.4 раза на изгиб.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Научная школа академика В. А. Чантурия» НШ-7608.2016.5.

Литература

1. *Миненко В. Г.* Обоснование и разработка электрохимического метода извлечения сапонита из оборотных вод предприятий ОАО «Севералмаз» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2014. № 3. С. 180-186.
2. *Суворова О. В., Мелконян Р. Г., Бокарева В. А., Макаров Д. В., Беляевский А. Т., Плетнева В. Е.* Обоснование получения керамических строительных материалов из отходов горнопромышленного комплекса // Техника и технология силикатов, 2012. № 2. С. 19-25.
3. *Чантурия В. А., Миненко В. Г., Самусев А. Л., Тимофеев А. С., Островская Г. Х.* Электрохимическая сепарация сапонитсодержащих вод предприятий ОАО «Севералмаз» // Обогащение руд, 2014. № 1. С. 49-52.
4. *Contreras M., Martín M. I., Gázquez M. J., Romero M., Bolívar J. P.* Valorisation of ilmenite mud waste in the manufacture of commercial ceramic // Construction and Building Materials, 2014. V. 72. P. 31-40.
5. *Gebretsadik F., Mance D., Baldus M., Salagre P., Cesteros Y.* Microwave synthesis of delaminated acid saponites using quaternary ammonium salt or polymer as template. Study of pH influence // Applied Clay Science, 2015. V. 114. P. 20-30.
6. *Minenko V. G.* Justification and design of electrochemical recovery of saponite from recycled water // Journal of Mining Science, 2014. V. 50. No 3. P. 595-600.
7. *Nityashree N., Gautam U. K., Rajamathi M.* Synthesis and thermal decomposition of metal hydroxide intercalated saponite // Applied Clay Science, 2014. V. 87. P. 163-169.
8. *Santos P., Martins C., Júlio E.* Enhancement of the thermal performance of perforated clay brick walls through the addition of industrial nano-crystalline aluminium sludge // Construction and Building Materials. 2015. V. 101. P. 227-238.
9. *Villa-Alfagemea M., Hurtado S., Castro M., Mrabet S., Orta M., Pazosc M., Alba M.* Quantification and comparison of the reaction properties of FEBEX and MX-80 clays with saponite: Europium immobilisers under subcritical conditions // Applied Clay Science, 2014. V. 101. P. 10-15.
10. *Wang W., Zhen W., Bian S., Xi X.* Structure and properties of quaternary fulvic acid–intercalated saponite/poly(lactic acid) nanocomposites // Applied Clay Science, 2015. V. 109-110. P. 136-142.
11. *Yang C., Cui C., Qin J., Cui X.* Characteristics of the fired bricks with low-silicon iron tailings // Construction and Building Materials, 2014. V. 70. P. 36-42.

Л. А. Табуркин, И. Г. Сванидзе, А. А. Ефимова

Тюменский государственный университет, г. Тюмень

taburkin92@mail.ru; svaigor@mail.ru; alisaefimovatmn@mail.ru

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕХНОГЕННОГО ГАЛОГЕНЕЗА НА ИОННЫЙ И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕКИ АРЕМЗЯНКА (ТОБОЛЬСКИЙ РАЙОН ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)

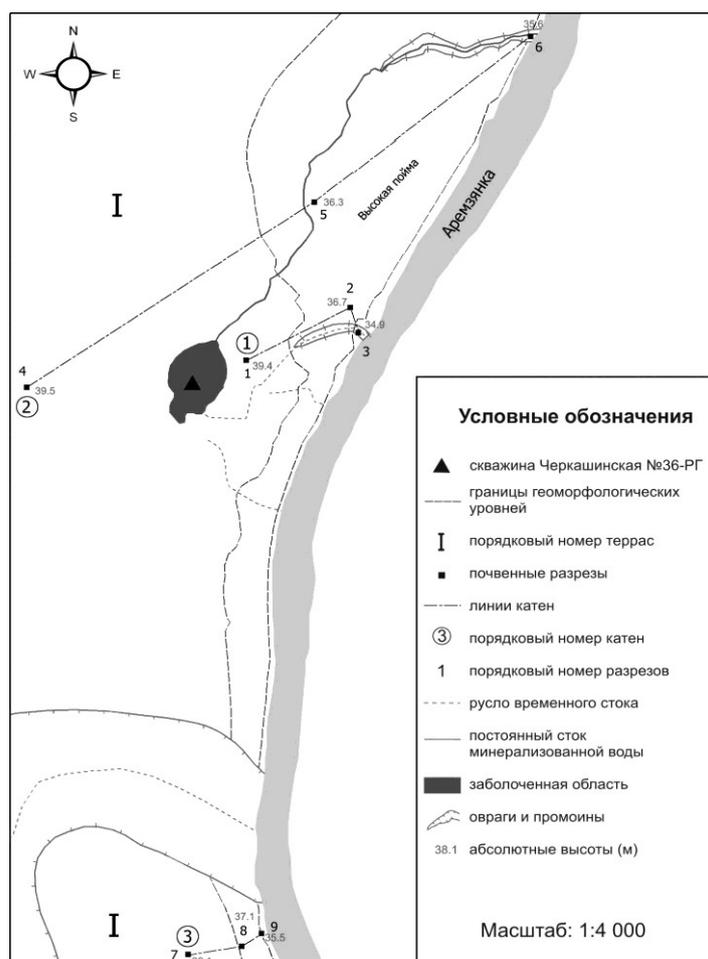
В настоящее время одной из актуальных экологических проблем является изменение макро- и микроэлементного состава речных вод в результате загрязнения пластовыми водами, обладающими высокой минерализацией и специфическим химическим составом.

На юге Тюменской области проблема воздействия пластовых вод Западно-Сибирского артезианского бассейна на водотоки является крупной экологической проблемой в связи со сбросом сточных вод геотермального рыбного хозяйства (Коваленко, Князева, 2004), бальнеологических здравниц (Сванидзе, 2011), а также фонтанирования бесхозных геологоразведочных скважин (Коновалов, 2012).

Территория Тюменской области богата ресурсами минерализованных вод (Старков, Тюлькова, 1996). Эти воды были вскрыты почти на всей территории юга Тюменской области разведочными

скважинами в 1950-1960-х гг. при масштабных геологоразведочных работах по разведке нефтяных и газовых месторождений. Скважины были законсервированы в годы бурения вследствие отсутствия запасов искомого сырья. Через десятилетия коррозия устья законсервированных скважин привела к прорыву устья, в результате чего началось поступление из недр на пластовых минерализованных вод. Следствием поступления на поверхность минерализованных техногенных потоков является техногенный галогенез почв и вод как геохимический процесс преобразования природных систем, представляющий собой засоление почв, поверхностных и почвенногрунтовых вод (Солнцева, 1998). Техногенный галогенез почв через почвообразовательный процесс, несомненно, оказывает влияние на минерализацию и ионный состав водотоков.

Для исследования воздействия пластовых вод на водотоки была выбрана скважина Черкашинская № 36-РГ (рисунок), расположенная на первой надпойменной террасе реки Аремзянка. Она фонтанирует с дебитом 1000 м³/сут (Коновалов, 2012) и формирует поверхностный сток пластовой воды, поступающий в реку.



Карта-схема территории скважины Черкашинская № 36-РГ

По классификации О. А. Алекина (Алекин, 1953) пластовые воды относятся к категории солоноватых вод с минерализацией 15 г/л (табл.1).

Ионный состав отличается хлоридным классом, натриевой группой. Формула Курлова М. Г. для этих вод выглядит следующим образом:

По классификации Алекина О. А. (Алекин, 1953) фоновые воды реки Аремзянки выше по течению от участка скважины (1-2 км) относятся к категории речных вод со средней минерализацией (до 0.2-0.5 г/л) (табл.2). Ионный состав отличается гидрокарбонатным классом группой кальция.

В результате поступления в водоток минерализованной воды изменяется ионный состав и минерализация реки. Ниже по течению от участка скважины (100-2000 м) происходит повышение концентрации анионов Cl^- и катионов Na^+ по сравнению с фоновыми значениями (табл.2). В 100 м ниже по течению происходит смена группы кальция на группу натрия и кальция

Таблица 1

Ионный состав и минерализация воды скважины Черкашинской № 36-РГ

Скважина		Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Σионов	рН
										мг/л
Черкашинская № 36-РГ	мг/л	8353	510	30.5	5751	252	59	60	15016	7.4
	ммоль/л	235.6	8.4	0.6	251	12.6	4.8	1.5		

Таблица 2

Ионный состав и минерализация вод реки Аремзянки
в период летне-осенней межени (июль 2012 г.)

Ионы	Точки опробования					
	выше по течению (фон)			ниже по течению		
	2 км	1 км	100 м	500 м	1 км	2 км
	мг/л					
Cl	10.8	8.2	127	57.1	40.3	38.8
HCO ₃	351.4	344.5	345	344.3	342.9	344.5
SO ₄	10.9	10.3	11.4	11.3	12.3	12.4
Na	20.2	18.9	101.7	50.7	39.2	37.9
Ca	79.9	79.9	83.1	80.7	79.5	79.1

По мере удаления от источника загрязнения происходит разбавление раствора речной воды, что приводит к уменьшению содержаний ионов Cl⁻ и Na⁺, но даже на удалении 2 км ионный состав вод отличается от фонового.

Возрастание концентраций ионов Cl⁻ и Na⁺ ниже по течению приводит к увеличению минерализации (табл.2), и воды относятся к категории речных вод с повышенной минерализацией (0.5-1.0 г/л).

Кроме того, пластовая вода скважины Черкашинская № 36-РГ характеризуется богатым микроэлементным составом, а концентрации Br, B, F, Sr, Ba, S, Si превышают 1 мг/л (табл.3).

Таблица 3

Скважина	Br	B	F	Sr	Ba	Zn	Li	Rb	Cs	S	Mn	Si	Fe
	мкг/л												
Черкашинская № 36-РГ	51466	8296	2228	23478	18483	19.5	249	64	8.4	1188	246	15290	306

В результате поступления в реку Аремзянка воды такого микроэлементного состава приводит к увеличению концентраций Br, B, F, Sr, Ba, (табл.4). По мере удаления от источника загрязнения ниже по течению концентрации микроэлементов уменьшаются, но остаются выше фоновых значений.

Таблица 4

Концентрации микроэлементов в р. Аремзянка (июль 2012 г.)

Микроэлементы	Точки опробования					
	выше по течению (фон)		ниже по течению			
	2 км	1 км	100 м	500 м	1 км	2 км
	мкг/л					
Br	87	71	872	397	277	234
F	-	-	13	11	10	7
B	125	69	237	140	119	106
Sr	376	375	773	501	463	459
Ba	117	111	364	221	189	171

Литература

1. *Алексин О. А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат. 1953. 295 с.
2. *Коваленко А. И., Князева Н. С.* Влияние сброса минеральных вод на химический состав реки Балды. Тезисы докладов Второй Всероссийской конференции «Экосистемы малых рек: биоразнообразие, биология, охрана». Борок, 2004. С. 36-37.
3. *Коновалов И. А.* Экологические последствия воздействия пластовых вод из устья геологоразведочных скважин: автореф. дис. ... канд. биол. наук, Омск, 2012.
4. *Сванидзе И. Г.* Засоление речного стока геотермальной скважиной Черкашинская 30-РГ // Мат-лы XI межвуз. молодежной науч. конф «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб., 2011. С. 274-276.
5. *Солнцева Н. П.* Добыча нефти и геохимия ландшафта. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
6. *Старков В. Д., Тюлькова Л. А.* Геологическая история и минеральные богатства Тюменской земли. Тюмень, 1996. 190 с.

Н. Г. Федоренко

*Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
ngfed@mail.ru*

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА В АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОДЗОЛАХ КАРЕЛИИ

В настоящее время при большом интересе к проблеме сохранения почв как незаменимого компонента биосферы, разработка представлений о почвообразовательных процессах остается актуальной. Выступая на III съезде Докучаевского общества почвоведов в 2001 году Блюм В. сформулировал четыре основные задачи почвоведения в XXI веке: необходимо акцентировать внимание на изучении почв в пространстве и времени, почвенных свойствах и процессах, оптимальных методах использования почв, природоохранных аспектах почвоведения на местном, региональном и глобальном уровнях. Установление закономерностей почвообразования и выветривания на различных почвообразующих породах продолжает оставаться одной из точек роста современного генетико-географического почвоведения и представляет интерес для понимания глобальных закономерностей распространения процессов, идущих в педосфере, а также биологических и биогеохимических процессов, в т.ч. имеющих прикладное значение (Лебедева и др., 2012).

Имеющаяся на территории Республики Карелия сеть постоянных мониторинговых станций, наличие длительного полевого эксперимента позволяет давать современные оценки почвообразовательных процессов в экологических системах таежных лесов на значительной территории. Важным, на наш взгляд, является проведение сравнительного анализа специфики преобразования минеральной составляющей почвы в различающихся биоклиматических условиях северо- и среднетаежной подзон Карелии. В связи с различием климатических показателей, а также минералогического и химического состава почвообразующих пород изучались особенности трансформации минеральных веществ почвы и формирования почвенного плодородия. В северо- и среднетаежной подзонах Карелии проведено исследование фракционного состава соединений алюминия и железа в альфегумусовых песчаных подзолах, являющихся основными составляющими почвенного покрова региона. Исследования проводились в профиле почв, различающихся по уровню увлажнения и трофности.

Объекты и методы

По сочетанию природных условий и характеру почвообразования на территории Карелии Марченко А.И. (1962) выделил две почвенные зоны: а) северную (северная и средняя климатические) и б) южную (южная и юго-западная). Граница между ними проходит около 63 ° с.ш. и более менее соответствует современной условной границе между северной и среднетаежной подзонами.

Северная почвенная зона отличается неблагоприятными климатическими условиями (Романов, 1961), а также значительной пестротой форм рельефа, грубым и сравнительно однообразным гранулометрическим составом почвообразующих пород. Для этой территории республики

характерны частые выходы на дневную поверхность кристаллических пород, достигающих в отдельных случаях 600 м над уровнем моря. Малая мощность толщи покрывающих их рыхлых отложений обуславливает малую мощность почвенного профиля. Восточная часть этой подзоны характеризуется более равнинным и менее расчлененным рельефом. Почвообразующие породы имеют более тяжелый гранулометрический состав. Происходят и изменения почвенного покрова: наряду с песчаными подзолами, составляющими основной фон, увеличиваются площади гидроморфных почв, появляются другие типы почв. Эти изменения особенно резко проявляются на побережье Белого моря.

Средняя глубина промерзания песчаных и супесчаных почв 50-70, суглинистых 45-60 см. Наибольшая глубина промерзания почв легкого механического состава 150 см. Почва продолжительное время находится в мерзлом состоянии. Оттаивание почвы происходит медленно и продолжается до июня. Частые зимние оттепели, замерзание и оттаивание почв, а также суточные перепады температур способствуют физическому выветриванию, особенно в поверхностных горизонтах, в связи с чем в них больше накапливается тонкие частиц. Низкие температуры тормозят химическое выветривание и приводят к замедленному разложению растительного опада. В связи с этим здесь формируются почвы с укороченным профилем и мощной лесной подстилкой, продуцирующей большое количество кислых органических веществ, которые способствуют формированию мощных подзолистого и иллювиально-гумусового горизонтов.

Как показали исследования, в условиях северотаежной подзоны наряду со слабым выветриванием минералов почвообразующих пород, происходит медленный распад растительных остатков и быстрое промывание продуктов распада органического вещества, которые оседают в нижележащих горизонтах. Результат этого процесса четко выражен при формировании иллювиальных горизонтов иллювиально-гумусовых подзолов, имеющих охристо-бурую окраску. Отсутствие закрепления продуктов распада органического вещества в верхних почвенных горизонтах и грубый гранулометрический состав почвообразующих пород и почв (представленный первичными слабо выветрившимися минералами), а также их специфический гидротермический режим являются главными причинами накопления гумусово-железистых соединений в иллювиальных горизонтах почв северной тайги. Несмотря на однообразие развития почвообразования на всей территории подзоны почвообразовательные процессы связаны с формами рельефа. На вершинах песчаных холмов и гряд преобладают подзолы иллювиально-железистые песчаные, а на склонах песчаные подзолы с иллювиально-гумусовым горизонтом. На хорошо дренированных песчаных равнинах распространены песчаные сухоторфяно-подбуры. Понижения рельефа заняты болотами и полугидроморфными и гидроморфными почвами. Азональные особенности почвенного покрова проявляются на побережье Белого моря, где формируются маршевые глеевые почвы. В северотаежной подзоне на древнеморских или озерных террасах, сложенных глинами, распространены глееподзолистые почвы (Разнообразие почв и биоразнообразие, 2006).

Резкой смены строения почвенного покрова при переходе к среднетаежной подзоне на территории Карелии не происходит, однако, почвенный покров здесь более сложный. Это объясняется сменой биоклиматических условий, широким распространением возвышенностей и плоских озерно-ледниковых равнин, а также некоторой сменой почвообразующих пород, хотя в основном, также преобладают водно-ледниковые отложения. Здесь появляются типы почв, отсутствующие в северной зоне, например – буроземы.

В среднетаежной подзоне в связи с лучшими климатическими условиями и большей испаряемостью автоморфные почвы занимают значительно большие площади, чем в северной тайге, а тофяно-подзолы глеевые и торфяные и торфяно-глеевые олиготрофные – почти в 2 раза меньшие площади. Песчаные подзолы в среднетаежной подзоне Карелии относятся к группе почв с длительным сезонным промерзанием. Среднегодовая температура на глубине 0.2 м равна +5.7 °С. Максимальное промерзание не превышает глубины 1 м. Почва в мерзлом состоянии находится 4-5 месяцев. Иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые подзолы относятся к почвам с промывным водным режимом, но периоды промывания кратковременны, оно наблюдается в весенний и позднесенний периоды.

В почвенном покрове среднетаежной подзоны альфегумусовые подзолы занимают 2/3 территории. Наиболее распространены подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые, а также подзолы языковатые. На долю подзолов иллювиально-гумусовых приходится лишь 5 % площади, в то время как в северной тайге они преобладают среди альфегумусовых и текстурно-дифференцированных почв. Для среднетаежной подзоны, особенно ее южной части, характерно широкое распространение кислых грубогумусных буроземов, формирование которых

связано с богатством некоторых почвообразующих пород соединениями железа, кальция и магния. Преобладание железа и кальция в основных и средних (по содержанию диоксида кремния) почвообразующих породах тормозит развитие подзолообразовательного процесса, наиболее характерного ЭПП для бореальной зоны (Морозова, Федорев, 1992). В районе Заонежья на элювии шунгитовых сланцев или морене с большим участием в ее составе шунгитовых пород развиваются своеобразные шунгитовые почвы.

Несмотря на имеющуюся значительную информацию о почвах и почвенном покрове северотаежной и среднетаежной подзоны Карелии целесообразным является проведение глубокого анализа особенностей почвообразования методом катен, включающих спектры почв с различным уровнем плодородия и других экологических функций, в которых можно проследить непосредственное воздействие основных факторов почвообразования. Трансформация минеральных соединений проявляется в характере сформировавшихся генетических горизонтов, в особенности подзолистых и иллювиальных, фракционном составе соединений железа и алюминия, играющими важную роль в формировании песчаных подзолов в почвах бореального пояса, интенсивности процесса лессиважа, образования минеральных солей и распределении их по почвенному профилю (Таргульян, 1971; Сысо, 2007).

Исследования проводили в течение 2004-2012 гг. На территории заповедника «Кивач» в среднетаежной подзоне Карелии исследовались процессы почвообразования в подзолах иллювиально-железистых под сосняками брусничными, в подзолах иллювиально-железистых и иллювиально гумусовых под сосняками черничными, торфяно-подзолах под сосняками кустарничково-долгомощными. Аналогичные исследования проведены в северотаежной подзоне на территории государственного природного заповедника «Костомукшский». Объектами служили подзолы иллювиально-железистые под сосняками воронично-брусничными, подзолы иллювиально-гумусовые под сосняками воронично-черничными, подзолы иллювиально-гумусовые под ельниками черничными влажными, торфяно-подзолы глеевые в ельниках хвощово-сфагновых. Полученные количественные показатели для почв северной и среднетаежной подзон под сосновыми и еловыми лесами сопоставлены и статистически обработаны при помощи статистических программ Microsoft Excel 2003, Statistica 6.

Результаты и обсуждение

Железо является одним из основных элементов, участвующим в почвообразовании подзолистых почв и определяющим внешний облик почвы. От количества и форм железа в почвах зависит плотность и цвет иллювиальных горизонтов подзолов. Диагностические признаки и классификационная принадлежность почв зависит от содержания в них различных форм железа. Количественное соотношение различных форм железа используют в качестве диагностических критериев для разделения почв на уровне типов и подтипов. Почвы Карелии богаты соединениями железа, валовое содержание его оксидов составляет 3.5 % на прокаленное вещество.

Большое значение для диагностики почв придается профильному распределению различных форм. Известно, что для подзолистых альфегумусовых почв характерно обогащение профиля валовым и несиликатным железом (Добровольский и др., 2010). Тонконогов В.Д. (1972) предложил разделять подзолистые песчаные почвы на две группы в зависимости от характера иллювиальных горизонтов: несиликатно – подзолистые, в иллювиальном горизонте которых накапливаются несиликатные формы оксидов, и силикатно-подзолистые, в иллювиальном горизонте которых преобладают силикатные и аморфные соединения железа. В подзолах и торфяно-подзолах глеевых соединения железа могут находиться в аморфном и окристаллизованном состоянии, количество которых можно определить при помощи вытяжки Тамма (щавелевая кислота и щавелевокислый аммоний). Вытяжка хлористого аммония (1N) позволяет выделить из почвы наиболее подвижные соединения железа. Преобладающей формой железа в исследованных почвах северотаежной подзоны является силикатная, составляющая более 90% от валового содержания. На втором месте по содержанию стоят аморфные соединения железа.

Элювиально-иллювиальное распределение по профилю почв силикатного железа наиболее ярко выражено в подзолах иллювиально-гумусовых по сравнению с подзолами иллювиально-железистыми, поскольку отношение валового количества оксидов железа в иллювиальном горизонте к содержанию его в элювиальном составляет 2.95. Соотношение содержания аморфного железа в вышеуказанных горизонтах возрастает по мере увеличения степени увлажнения почв. Накопление как силикатного, так и аморфного железа в иллювиальных горизонтах подзолов превышает содержание этих форм в почвообразующих породах.

Исследование форм железа в подзолах среднетаежной подзоны под сосновыми лесами показало следующее: в подзолах иллювиально-железистых песчаных профилейное распределение валового, силикатного и аморфного железа имеет элювиально-иллювиальный характер, а аккумулятивный и элювиально-иллювиальный – легкооблизуемое. Максимумы накопления общего и силикатного железа находятся в нижней части горизонта BF, а наибольшее накопление аморфного железа отмечено в верхней части этого же горизонта, но непосредственно под элювиальным.

В профиле подзола иллювиально-гумусового все формы железа имеют элювиально-иллювиальное профилейное распределение. Максимальное содержание валового и силикатного железа выявлено в нижней части горизонта BF, а аморфные и легкооблизуемые соединения приурочены к верхней части гумусово-железистого горизонта. Содержание валового и силикатного железа уменьшается в профиле почв с глубиной. Подзолистый горизонт обеднен всеми формами железа, количество которого ниже его содержания в породе.

В профиле торфяно-подзола все формы железа распределены по элювиально-иллювиальному типу. Максимум накопления валового и силикатного железа отмечен в лесной подстилке и гумусово-иллювиальном горизонте. Подзолистый горизонт содержит мало железа всех форм.

Таким образом, для подзолистых почв северо- и среднетаежной подзон Карелии можно отметить общие закономерности: подзолы относятся к подзолистым силикатным почвам. Легкооблизуемых соединений (в вытяжке NH_4Cl) содержится в почвах незначительно количество. Распределение по профилю как силикатных, так и аморфных соединений железа носит элювиально-иллювиальный характер, иллювиальный максимум осуществляется за счет аморфного железа. Однако прослеживаются и различия: в подзолах северотаежной подзоны отмечено высокое ожелезнение лесных подстилок, причем оно становится более интенсивным по мере увеличения увлажнения. В среднетаежной – в подстилках меньше железа, а взаимосвязь с уровнем увлажнения прослеживается менее четко. Силикатное железо в подзолах северной тайги составляет более 90 % от валового, в среднетаежной этот показатель ниже (кроме иллювиально-железистого подзола). По абсолютным показателям в почвах северной тайги аморфного железа больше, чем в средней и его относительная доля в составе валового тоже выше, что свидетельствует о более высокой подвижности соединений железа в подзолах средней тайги.

Содержание соединений алюминия, как и железа, играет большую роль в формировании почвенного профиля песчаных подзолистых почв. Алюминий в виде органо-минеральных и минеральных комплексов выносятся из верхних горизонтов почвы, при снижении кислотности выпадает в осадок, образуя на песчаных частицах органо-минеральные пленки, придающие буроватую или коричневую окраску иллювиальным горизонтам.

При исследовании форм алюминия в подзолах северотаежной подзоны установили, что в почвах преобладают силикатные соединения алюминия, а аморфного алюминия содержится в почвах значительно меньше. Для песчаных подзолов характерен элювиально-иллювиальный характер профилейного распределения всех соединений алюминия. Интенсивность выноса зависит от степени увлажнения почв: с увеличением увлажненности почв от подзола иллювиально-железистого к подзолу иллювиально-гумусовому отношение содержания валового алюминия в иллювиальном и подзолистом горизонтах становится шире, соответственно эти отношения составляют 1.1; 1.7; 1.4.

То же можно сказать и о силикатной форме алюминия (1.07; 1.3; 1.11). Аморфные соединения алюминия выносятся значительно более интенсивно, чем силикатные: отношение их содержания в иллювиальном и элювиальном горизонтах составляет в подзолах иллювиально-железистых 3.8, в подзолах иллювиально-гумусовых 23-30.0. Содержание валового алюминия в элювиальных горизонтах всех исследованных подзолов ниже, чем в почвообразующей породе. Что касается иллювиальных горизонтов, то в них количество валового алюминия в подзолах иллювиально-гумусовых превышает его количество в почвообразующей породе.

Исследование форм алюминия в подзолах среднетаежной подзоны показало элювиально-иллювиальное распределение по профилю его валового содержания. Так же, как и в подзолах северной тайги, в почвах преобладают силикатные формы алюминия, аморфных соединений значительно меньше.

Как говорилось выше, интенсивность выноса алюминия из подзолистого горизонта зависит от степени увлажнения почв: с увеличением увлажненности почв от подзола иллювиально-железистого к торфяно-подзолу отношение содержания валового алюминия в иллювиальном и подзолистом горизонтах становится шире, соответственно эти отношения составляют 1.2 и 1.6.

То же можно сказать и о силикатной форме алюминия (1.1; 1.3). Интенсивно выносятся аморфные соединения алюминия, значительно более интенсивно, чем силикатные: отношение их

содержания в иллювиальном и элювиальном горизонтах составляет в подзолах иллювиально-железистых 4,7, а в подзолах гумусовых 11, 4. Содержание валового алюминия в элювиальных горизонтах подзолов ниже, а в иллювиальных – выше, чем в почвообразующей породе. Таким образом, сравнивая фракционный состав соединений алюминия в подзолах северо- и среднетаежной подзон установили общие элювиально-иллювиальные закономерности распределения по профилю валового содержания, а также силикатных и аморфных его соединений. Однако следует отметить, что отношение аморфных форм алюминия в подзолистом и иллювиальном горизонтах почв в северотаежной подзоне шире, чем в средней тайге, что свидетельствует о более интенсивных процессах его перераспределения по профилю. В среднетаежной подзоне отмечено более высокие показатели накопления всех соединений алюминия в лесных подстилках.

Литература

1. Добровольский Г. В., Карпачевский Л. О., Криксунов Е. А. Геосферы и педосфера. М.: ГЕОС, 2010. 189 с.
2. Лебедева И. И., Овечкин С. В., Королюк Т. В., Герасимова М. И. Почвенно-генетическое районирование: принципы, задачи, структура, приложение // Почвоведение, 2012, № 7. С. 715-727.
3. Марченко А. И. Почвы Карелии. М.-Л., 1962. 310 с.
4. Морозова Р. М., Федорец Н. Г. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1992. 282 с.
5. Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги (Под ред. Н. Г. Федорец). М.: Наука, 2006. 287 с.
6. Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1961. 140 с.
7. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 274 с.
8. Таргульян В. О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.
9. Тонконогов В. Д. Подзолообразование на кварцевых песках. Автореф. дис....канд. биол. наук. М., 1972. 38 с.

Е. С. Янишевская¹, А. Ш. Гершенко², Г. А. Евдокимова¹, Ю. С. Каменева², Н.В. Фокина¹

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
voronina@iner.ksc.ru

²Горный институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
Dgeremi@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ АО «КОЛЬСКАЯ ГМК»

АО «Кольская горно-металлургическая компания» – дочернее предприятие АО ГМК «Норильский Никель» – ведущий производственный комплекс Мурманской области, представляет собой единое горно-металлургическое производство по добыче сульфидных медно-никелевых руд и производству цветных металлов в Арктическом регионе.

На обогатительной фабрике АО «Кольская ГМК» в результате многолетних наблюдений отмечены сезонные понижения остаточной концентрации ксантогената и аэрофлота в оборотной воде. Как следствие этих изменений, увеличивается расход соответствующих реагентов в технологическом процессе. В летне-осенний период на хвостохранилище фабрики наблюдалось сильное «цветение» воды, поэтому одной из возможных причин понижения остаточной концентрации вышеупомянутых реагентов рассматривается вариант микробиологического воздействия на отдельные составляющие оборотной воды.

Существует много литературы о значимости микробиологического фактора в трансформации сульфидных руд и использованию бактерий в процессах их обогащения путем чанового или кучного выщелачивания (Каравайко и др., 1972; Фомченко и др., 2015; Bryner, Anderson, 1957). Для несulfидных апатит-нефелиновых руд на Кольском полуострове выполнена работа по определению роли бактериальной составляющей в непрерывном цикле переработки минерального сырья

(Евдокимова Г. А. и др., 2008; Патент РФ, 2006). Роль бактерий во флотационных процессах обогащения сульфидных руд практически не изучена.

Цель данной работы – исследование численности, разнообразия микроорганизмов и их влияния на процесс флотации сульфидных медно-никелевых руд на обогатительной фабрике Кольской ГМК.

Объекты и методы

Изучение численности и трофического разнообразия микроорганизмов в цикле обогащения сульфидных руд проводили на фабрике в городе Заполярный. Были исследованы образцы руды, межциклового флотации, пенных продуктов основной и I контрольной флотации, пенных продуктов I и II перерешетки, хвостов, оборотной воды на входе, концентрата до спекания, всех флотореагентов в зимний, летний и осенний периоды времени. Изучение численности, структуры и биоразнообразия микробиоты проводили методом посева на плотные питательные среды. Численность сапротрофных аэробных бактерий, определяли на мясо-пептонном агаре; количество олиготрофных бактерий – на слабоминерализованной среде Аристовской. В дальнейшем учитывали также специфические бактерии, развивающиеся на среде, основу которой составил пенный продукт II основной перерешетки и бактерии, использующие минеральные формы азота (на крахмало-аммиачном агаре).

В коллекцию выделены доминирующие штаммы бактерий. Для идентификации использовали метод ДНК-анализа, выполненный в Петербургском институте ядерной физики (ПИЯФ РАН).

Для исследования влияния микроорганизмов на процесс были поставлены опыты по флотации медно-никелевых руд на лабораторной установке 237-ФЛ-А, которые вели по схеме, предусматривающей измельчение исходной руды до крупности 60% с размером частиц мельче 74 мкм, межциклового флотацию, контрольную флотацию и I перерешетку пенного продукта.

В работе использовали реагенты, применяемые на фабрике: аэрофлот (дибутилдитиофосфат натрия) и ксантогенат. Эта группа является наиболее важным типом флотореагентов, поскольку обеспечивает полноту извлечения металлов и качество концентратов. Ксантогенат и соду подавали в измельчение. В межциклового флотацию вводили аэрофлот и карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), в I перерешетку – аэрофлот, в контрольную флотацию – ксантогенат, аэрофлот и КМЦ.

Опыты проводили на водопроводной воде (холостые опыты) и воде, содержащей доминирующие штаммы бактерий численностью порядка 10^3 - 10^7 кл/мл, при одинаковом расходе реагентов.

Результаты и обсуждение

Исследование образцов, взятых в цикле процесса обогащения сульфидных медно-никелевых руд, показывает, что бактерии, поступающие с рудой и оборотной водой, идущей с хвостохранилища, увеличивают свою численность в процессе флотации.

Наименьшая численность как сапротрофных, так и других трофических групп бактерий, наблюдалась в образцах руды и оборотной воды в зимний период, составляя 33 кл/г и 190 кл/мл соответственно (табл.1). Это связано с низкой температурой (+3 °С) и недостатком питательных веществ. В летний и осенний периоды с ростом температуры численность бактерий в оборотной воде увеличивалась до 460 ... 650 кл/мл, в руде – до 733 ... 930 кл/г.

В пенном продукте численность бактерий составляла в зимний период $n \cdot 10^3$ кл/мл, в летний и осенний периоды $n \cdot 10^4$ - 10^6 кл/мл, что связано с улучшением условий их обитания за счет поступления флотореагентов, аэрации и более высокой температуры. Осенью наблюдалось снижение численности микроорганизмов по сравнению с летним периодом, несмотря на одинаковые температуры оборотной воды и пенных продуктов. Возможно, это было связано с изменениями в реагентном режиме.

Сами флотореагенты в используемых концентрациях не являются источником бактериального загрязнения и не токсичны для бактерий. Лабораторные исследования показали, что флотореагенты являются источником питательных элементов для сапротрофных бактерий. Так, бактерии, выращиваемые в растворе аэрофлота, увеличивали свою численность почти в 30 раз за 7 суток. Значения pH растворов флотореагентов и анализируемых образцов колеблются в диапазоне от 8 до 12.

Анализ последовательностей, амплифицированных 16S рДНК генов, показал, что все четыре доминирующих штамма бактерий, выделенные из исследуемых образцов, относятся к роду *Pseudomonas*. Микроскопические грибы, встречающиеся в единичных случаях, представлены видами: *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium aurantiogriseum* и *Penicillium glabrum*.

Результаты, полученные в ходе лабораторных опытов на флотационной установке, свидетельствуют о влиянии бактерий на флотацию медно-никелевых руд, что выражается в изменении времени флотации по операциям. Как видно из таблицы 2, с увеличением численности бактерий в жидкой фазе пульпы время флотации возрастает по сравнению с опытами, поставленными без бактерий.

Таблица 1

Сезонная динамика численности бактерий (тыс. кл/мл) в оборотной воде и продуктах обогащения сульфидных медно-никелевых руд, 2015 г.

Образец	Сапротрофные			Олиготрофные			Потребляющие минеральный азот июль	Специфические сентябрь
	февраль	июль	сентябрь	февраль	июль	сентябрь		
Руда	0.03±0.03	0.73±0.30	0.93±0.03	0.65±0.22	3.97±1.65	0.80±0.23	17.43±0.96	6.67±0.82
Оборотная вода	0.19±0.03	0.46±0.10	0.65±0.29	0.15±0.04	0.97±0.09	0.12±0.044	5.20±1.62	0.06±0.004
Межцикловая флотация	0.23±0.07	0.88±0.07	0.60±0.10	1.03±0.42	2.96±1.09	1.37±0.42	27.90±1.22	1.45±0.37
Пенный продукт основной флотации	0.47±0.19	1422±276	2.50±0.41	2.17±0.64	2012±180	6.53±2.47	727±219	5.30±1.88
Пенный продукт I контрольной флотации	1.21±0.49	415±45	13.43±4.59	1.10±0.49	316±23	20.50±6.12	206±51	34.70±9.68
Пенный продукт II перечистки	1.83±0.63	1549±350	9.67±0.88	1.17±0.44	3088±125	18.97±5.54	3768±26	22.40±9.07
Пенный продукт I перечистки	1.08±0.39	490±11	53.67±17.91	1.05±0.08	2384±203	10.00±2.60	3704±359	46.33±7.06
Хвосты	1.07±0.31	138±12	36.67±8.41	1.55±0.53	149±40	37.00±17.15	938±492	71.37±20.33
Пенный продукт II основной перечистки	0.49±0.16	449±4	16.63±3.88	0.16±0.06	129±391	12.53±2.74	1488±65	3.80±1.11
Концентрат до сушки	0.57±0.22	418±48	13.13±5.50	1.25±0.25	1525±61	41.37±18.33	1983±117	97.23±23.72

Таблица 2

Изменение времени флотации в зависимости от концентрации бактерий в жидкой фазе флотации

Концентрация бактерий, кл/мл	Время флотации по операциям, мин		
	межцикловая флотация	I перечистка	контрольная флотация
0	27.42	6.32	8.34
10 ³	27.15	6.50	7.07
10 ⁵	27.15	7.45	7.45
10 ⁶	26.45	7.30	8.00
10 ⁷	28.40	9.00	10.30

Выявлена также тенденция к изменению извлечения меди и никеля, которая может быть вызвана как изменением времени флотации по операциям, так и изменением численности бактерий в оборотной воде (табл.3).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что в процессе флотации сульфидных медно-никелевых руд численность бактерий, поступающих в процесс обогащения с оборотной водой, значительно возрастает за счет благоприятного температурного режима и дополнительных питательных веществ флотореагентов. В летний сезон численность микроорганизмов увеличивается на два порядка. Доминируют в процессе бактерии рода *Pseudomonas*. Отрицательное влияние бактерий, поступающих с оборотной водой и увеличивающих свою численность в пенном продукте, проявляется в возрастании времени флотации.

Показатели флотации Cu-Ni руд при постоянных расходах реагентов
в зависимости от численности бактерий (в жидкой фазе флотации)

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Ni	Cu	Ni
Холостой опыт					
Пенный продукт I перечистки	3.46	4.63	4.91	48.60	24.56
Камерный продукт I перечистки	10.32	0.34	0.93	10.36	13.94
Пенный продукт контрольной флотации	2.49	0.42	1.39	3.15	6.64
Камерный продукт контрольной флотации	83.73	0.15	0.45	37.89	54.86
Итого	100.00	0.33	0.69	100	100
Опыт с бактериями 10 ³					
Пенный продукт I перечистки	3.14	4.78	5.43	50.97	25.19
Камерный продукт I перечистки	7.46	0.38	1.09	9.61	12.01
Пенный продукт контрольной флотации	2.44	0.48	2.10	3.97	7.56
Камерный продукт контрольной флотации	86.96	0.12	0.43	35.45	55.24
Итого	100.00	0.29	0.68	100.00	100.00
Опыт с бактериями 10 ⁵					
Пенный продукт I перечистки	3.89	4.15	4.49	54.27	26.30
Камерный продукт I перечистки	10.89	0.31	1.00	11.37	16.40
Пенный продукт контрольной флотации	2.34	0.47	2.10	3.70	7.39
Камерный продукт контрольной флотации	82.88	0.11	0.40	30.66	49.91
Итого	100.00	0.30	0.66	100.00	100.00
Опыт с бактериями 10 ⁶					
Пенный продукт I перечистки	4.00	3.98	4.53	52.37	26.57
Камерный продукт I перечистки	10.14	0.34	1.04	11.35	15.47
Пенный продукт контрольной флотации	2.68	0.39	1.71	3.45	6.72
Камерный продукт контрольной флотации	83.18	0.12	0.42	32.83	51.24
Итого	100.00	0.30	0.68	100.00	100.00
Опыт с бактериями 10 ⁷					
Пенный продукт I перечистки	3.86	4.37	5.60	54.45	30.91
Камерный продукт I перечистки	9.36	0.30	0.93	9.07	12.44
Пенный продукт контрольной флотации	3.07	0.41	2.00	4.07	8.78
Камерный продукт контрольной флотации	83.71	0.12	0.40	32.41	47.87
Итого	100.00	0.31	0.70	100.00	100.00

Литература

1. Евдокимова Г. А., Гершенков А. Ш., Воронина Н. В. Микробиологические процессы в системе добычи и переработки апатит-нефелиновых руд с использованием оборотного водоснабжения. Изд-во «Наука», 2008. 102 с.
2. Каравайко Г. И., Кузнецов С. И., Голомзик А. И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. М.: 1972/
3. Патент на изобретение № 2318606. Способ флотации несulfидных руд. Заявка № 2006105062. Приоритет изобретения 17 февраля 2006 г. Срок действия патента истекает 17 февраля 2026 г.
4. Фомченко Н. В., Муравьев М. И., Кондратьева Т. Ф. Комплексная переработка некондиционных сульфидных концентратов с применением двухстадийного выщелачивания // Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья / Матер. межд. совещ. Плаксинские чтения. Иркутск, 21-25 сентября. Иркутск . 2015. С. 353-357.
5. Bryner L., Anderson R. Microorganisms in leaching sulfide minerals // Ind. Eng. Chem. 1957. V. 49. P. 1721-1724.

Секция 4

ЧЕЛОВЕК В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА: СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ

О. М. Благодетелева

*Московский архитектурный институт, г. Москва
blagodetel3@yandex.ru*

ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В последнее время был принят ряд основополагающих государственных документов, определяющих стратегию развития северных территорий³. Сегодня государством ставится задача не только освоения ресурсов Севера, но и обеспечения военного, а также интеллектуального присутствия в регионе. Неизбежно Север в ближайшем будущем будут осваивать и обживать, не смотря на тяжелые для человека климатические и социальные условия.

После распада Советского союза трудовой потенциал на Севере страны значительно сократился, поэтому в нынешних условиях необходимо по-новому взглянуть на проблему привлечения и закрепления населения на северных территориях. По мнению В. В. Фаузера «прежними методами (числом, а не умением) осваивать Север не представляется возможным» (Фаузер, 2013). Приоритетным при реализации новых проектов будет привлечение высокообразованного квалифицированного человеческого потенциала, а также использование трудового и инфраструктурного ресурса уже существующих поселений Крайнего Севера. Однако, сегодня социально-экономический механизм закрепления населения на северных территориях, не может основываться лишь на высоких денежных компенсациях. Немаловажным является предоставление благоприятных условий для работы и проживания населения. Поэтому перед архитекторами и градостроителями сегодня стоит задача как с помощью архитектурно-планировочных средств сократить воздействие экстремальных факторов окружающей среды на здоровье проживающего населения и сделать среду северных поселений наиболее комфортной и привлекательной.

Многие исследования доказывают, насколько влияние сурового климата неблагоприятно сказывается на здоровье населения (Казначеев, 1980, Квашина, 2001, Тихонов, 2009, Цыган, 2013). Очень часто у людей, работающих на Севере, встречаются заболевания дыхательных путей, сердечнососудистой системы, опорно-двигательного аппарата. На самочувствие влияют не только низкие отрицательные температуры и суровые ветры, но и постоянные магнитные бури, наличие таких явлений – как полярный день и ночь. Кроме того, физическое и эмоциональное состояние проживающих ухудшается из-за отсутствия активной подвижности, недостатка солнечного света, низкого уровня коммуникативного общения. Все это подтверждает необходимость создания качественно новых условий жизнедеятельности, работать в которых было бы комфортно и безопасно, где не ущемлялись бы привычные жизненные потребности и желания человека, оказавшегося в суровых климатических условиях. В свою очередь внедрение новых, уникальных решений по организации жизненного пространства, во взаимодействии с существующим природными ландшафтами могло бы послужить стимулом для приезда на Север высококвалифицированных кадров.

³1) “Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу”, Москва, 2008 г.; 2) Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, Москва, 2010г.; 3) Государственная программа Российской Федерации “Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года”, Москва, 2014г.; 4) Указ президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 об утверждении границ сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации.

Важность применения особого подхода к вопросу формирования особой среды обитания человека на Крайнем Севере стала осознаваться уже в 60-е годы прошлого столетия, когда началось активное освоение северных территорий. За последующие три десятилетия архитектурным сообществом проводилось много исследований, направленных на поиск оптимальных решений в области северного градостроительства. Однако, к сожалению, реализовать полученные идеи практически так и не удалось: экономически выгоднее было застраивать города Севера типовыми жилыми домами, без учета особенностей климата и социальных факторов. Такая политика приводила к ухудшению условий проживания человека на Севере, порождала чувство «временщичества».

Сегодня многие высказываются в пользу политики не «освоения», а «обживания» северного пространства, и, исходя из этого, необходимо по-новому взглянуть доктрину развития поселений Севера. В годы Советской власти на Севере активно создавались новые города и поселения, поэтому в настоящий момент в России самый высокий уровень урбанизации северных территорий по сравнению с Канадой, США и северной Европой. Скорее всего, строительства новых крупных городов на Севере России уже не будет, и дальнейшее развитие и освоение территории будет вестись на основе уже существующих базовых поселений с созданной инфраструктурой. Однако, ввиду износа жилого фонда, в скором времени потребуются их реконструкция, в ходе которой возможным будет применение особых архитектурно-планировочных принципов, направленных на улучшение средовых условий. Также в настоящее время актуально создание автономных вахтенных поселков с искусственным микроклиматом при освоении удаленных районов Севера. Все это создает предпосылки для дальнейшего изучения проблем планировочной организации поселений Крайнего Севера.

При формировании градостроительных образований крайне важен учет климатических условий местности, так как различный уровень экстремальности природно-климатических условий определяет специфику планировки и застройки поселений. На Севере, процесс усложняется тем, что в виду широкой географии местности, существуют качественные отличия климатических условий для отдельных районов.

В 1970-1980-х гг. многие исследовательские организации занимались проблемой строительного-климатического районирования зоны Севера СССР⁴. Особое внимание заслуживает разработанная в ЛенЗНИИЭПе под руководством канд. archit. А. В. Яковлева сводная схема архитектурно-климатического районирования Севера. Она основана на учете ряда факторов, определяющих градостроительные принципы формирования территории, среди них такие, как: снегоперенос, зимние биотермические условия, пурговые условия, летние биотермические условия, ультрафиолетовая радиация солнца (Яковлев, 1987). В результате была определена граница суровой зоны страны, характеризующаяся крайне дискомфортными погодными условиями, внутри которой было выявлено три основных района:

I район – пурговый – отличается особо сильными ветрами и большими снегопереносами;

II район – ветренный – умеренно холодный с преобладанием сильных ветров;

III район – особо морозный – характеризуется наличием низких температур, безветрием или слабыми ветрами (Поздняков, 1978).

Однако, на наш взгляд, целесообразно было бы выделить еще один район в составе пургового – это тундровые территории и территории полярных пустынь, расположенные в прибрежной части Северного Ледовитого и Тихого океана. Условно данный район может быть обозначен как IV район – арктический.

Специфика каждого района в первую очередь определяет ряд архитектурно-планировочных принципов организации среды жизнедеятельности. Именно на уровне принятия градостроительных решений можно управлять процессом смягчения климата и улучшения среды обитания человека в суровых климатических условиях.

По совокупности климатических факторов, можно выделить три принципиальных модели организации городского пространства северного поселения. Первая модель предусматривает создание ветрозащитной застройки, может быть применима на территориях пургового и ветреного района. Вторая схема строится на применении морозозащитной застройки и соответствует особо морозному району. Третья модель подразумевает создание автономной микроклиматической среды обитания человека, которая необходима в арктическом районе.

⁴ Ленфилиал АС и А СССР, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИЭП жилища, Красноярский Промстройниипроект, Ленморниипроект и др.

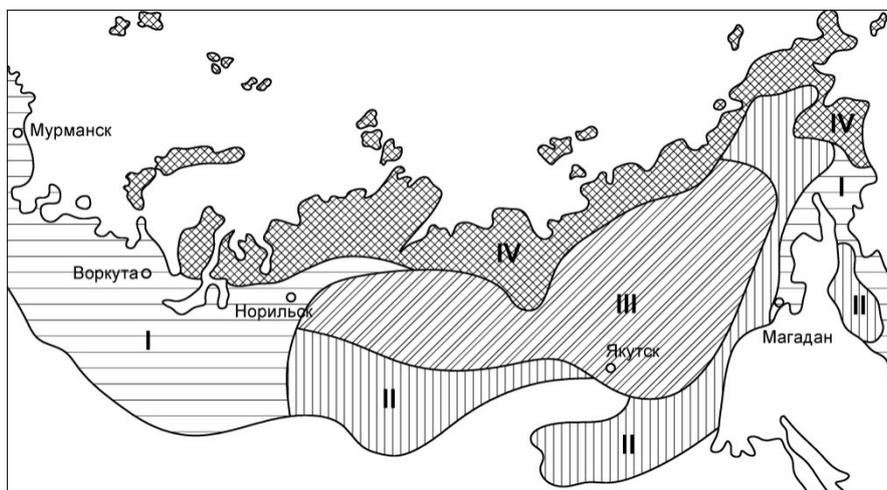


Рис.1. Четыре основных района архитектурно-климатического районирования Севера:
 I – пурговый район; II – ветренный район; III – особо морозный район; IV – арктический район

Прибрежные территории европейского Севера, а также побережья Берингова и Охотского морей относятся к пурговому району, и характеризуется наличием частых сильных ветров, метелей и снеговых заносов. Ветренному району принадлежат области таежной природной зоны, в которых наблюдается наличие сильных ветров на протяжении всего года. Поэтому основной задачей при планировке поселений в данных районах является снижение скорости ветра и регулирование снеготранспорта. Решить эту проблему можно с помощью антропогенного изменения ветрового режима в условиях застройки, за счет применения ветрозащитных зданий, дополнительных ветровых преград, создания снеговых каналов и специальных участков для естественного отложения снега

Ветрозащитные здания могут формировать целые жилые группы, внутри которых создавалась бы защищенная от порывов ветра зона, образуя тем самым своеобразные оазисы затишья в агрессивной природной среде. Группа зданий, входящая в зону аэродинамического влияния основного ветрозащитного здания, определяется А.В. Яковлевым как аэродинамическая группа (Яковлев, 1987). Отдельная аэродинамическая группа зданий смягчает климатическую среду, но не удовлетворяет полностью социальные потребности общества. Поэтому аэродинамические группы лучше всего объединять в аэродинамические комплексы, внутри которых бы обеспечивалась доступность образовательных учреждений и элементов культурно-бытового обслуживания населения.

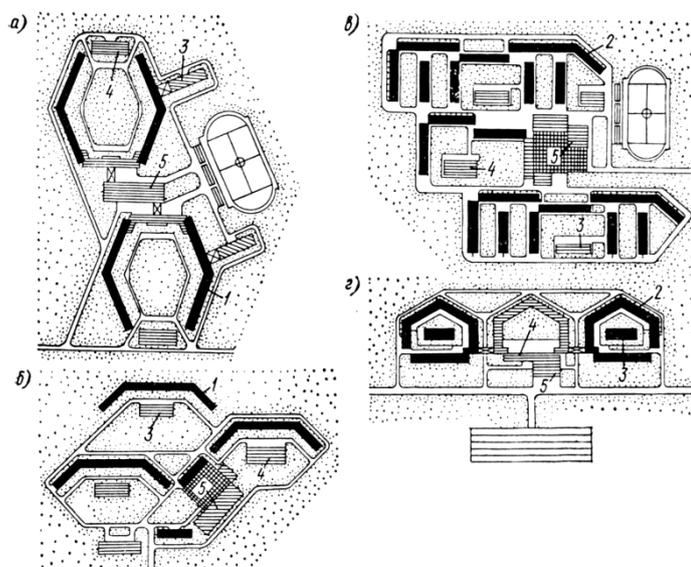


Рис.2. Модель решения сложного аэродинамического комплекса применительно к условиям:
 а – мыса Биллингса; б-в – пос. Марково; г – пос. Улен; 1 – 9-ти этажные жилые дома;
 2 – то же, 4-этажные; 3 – детские ясли-сад; 4 – школа; 5 – общественно-торговый центр

В особо морозный район входят центральные континентальные районы северо-востока страны (главным образом территории республики Саха). Для района характерен весьма продолжительный период суровых погод с крайне низкими температурами. В результате создаются условия, превышающие допустимый гигиенический предел нахождения человека в открытой внешней среде. Все это обуславливает применение в данном районе так называемой морозозащитной застройки, в основе которой заложена система пешеходных теплых переходов, связывающих различные функциональные части поселений. По мнению П.П. Позднякова, в условиях жестких и продолжительных морозов, очень важно создавать не только комфортные жилищные условия, но и обеспечивать возможность сохранения социальных контактов, а также повседневного ритма жизни (Поздняков, 1978). Понятно, что невозможно обеспечить социальные контакты в условиях проживания в отдельно стоящем жилом здании. Поэтому в данном районе необходимо формировать застройку, которая бы объединяла различные здания с помощью сквозных проходов или пристроенных крытых пешеходных галерей, главным образом жилые структуры с объектами обслуживания и образовательными учреждениями.

Существует несколько принципиальных компоновочных схем формирования таких комплексов. Первая схема – это объединение нескольких отдельных зданий застройки пешеходными теплыми галереями, во второй – жилые здания связываются в единый комплекс при помощи объединяющего блока учреждений обслуживания, третья схема – это решение всего комплекса (населенного места) в виде единого здания с атриумным двором, и, наконец, четвертая схема – это объединение жилых и общественных зданий прямым примыканием друг к другу с возможным включением шарнирных переходных звеньев (Яковлев, 1987).

В областях восточного сектора арктического побережья и на островах Северного Ледовитого океана, ввиду наиболее жестких и суровых погодных условиях, имеющих отрицательное воздействие на здоровье человека, необходимо создавать автономные вахтенные поселения с искусственным микроклиматом и высоким уровнем социального обслуживания.

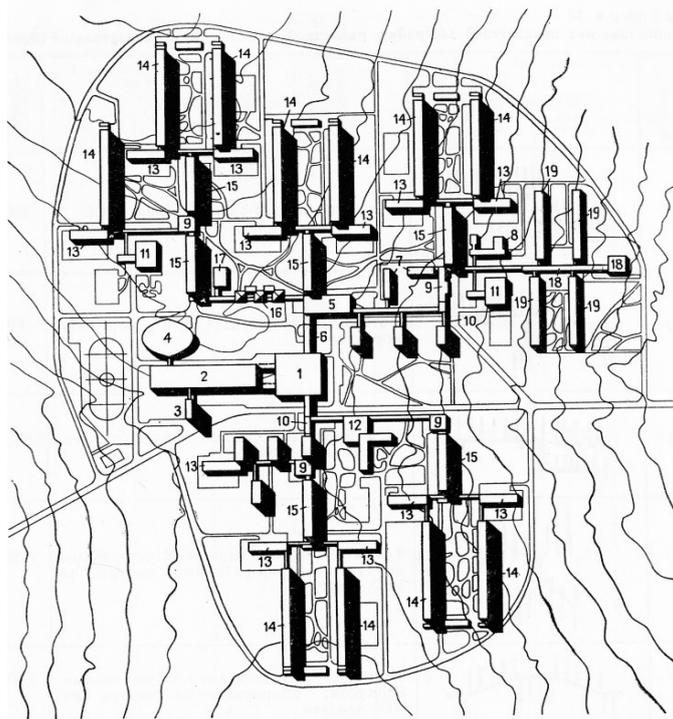


Рис.3. Жилой комплекс: "Удачная" в Якутии. Архит. К. Карташова, М. Иошпа, В. Коробов, П. Орлов и др. Пример создания морозозащитной застройки:

- 1 – городской торговый центр; 2 – городской культурно-спортивный центр; 3 – гостиница; 4 – зал холодного режима; 5 – общественно-торговый центр первой очереди строительства; 6 – специализированные магазины; 7 – поликлиника; 8 – техникум с библиотекой; 9 – блок повседневного обслуживания; 10 – транспортные павильоны; 11 – 12 - школа; 13 - детский сад-ясли; 14 – 9-ти этажный секционный дом; 15 – 9-ти этажный коридорный дом; 16 – оранжерея; 17 – баня; 18 – предприятия обслуживания пионерного строительства; 19 – 5-ти этажные дома пионерного строительства

Формировать такие поселения можно из так называемых кластерных образований, построенных из отдельных жилых групп и общественного центра, которые соединяются между собой пешеходными галереями. Каждый кластер может иметь свою функциональную составляющую в зависимости от программы поселения, и связываться с другими частями территории с помощью системы челночного рельсового транспорта, что позволит обеспечить их взаимную доступность.

В общественных центрах под светопрозрачной оболочкой будут размещаться объемы зданий культурно-бытового обслуживания и офисов, между которыми обустроены зимние сады, площадки для отдыха и занятий спортом, элементы благоустройства. Здесь будет сформирована полноценная городская среда, привычная для человека, удовлетворяющая всем его необходимым потребностям и защищающая от влияния сурового климата (Шубенков, 2012). Жилые структуры при этом вынесены за пределы общественных зон, из них формируется среда другого типа – более камерная, обеспечивающая психологический комфорт человеку.

Сегодня, после распада СССР, в России наступил новый период пространственного развития. Теперь практически две трети территорий нашей страны относятся к территориям Крайнего Севера, который стал неотъемлемой частью нашей идентичности. Все больше приходит осознание того, что Россия и северность – неотделимые понятия. Так, по словам В.Смыка: «Хотим мы того или нет, но наша национальная самоидентификация, наше чувство родины в последнее десятилетие стали смещаться на север. Русские люди сегодня себя больше чувствуют северянами, чем раньше» (Татаркин, 2014).

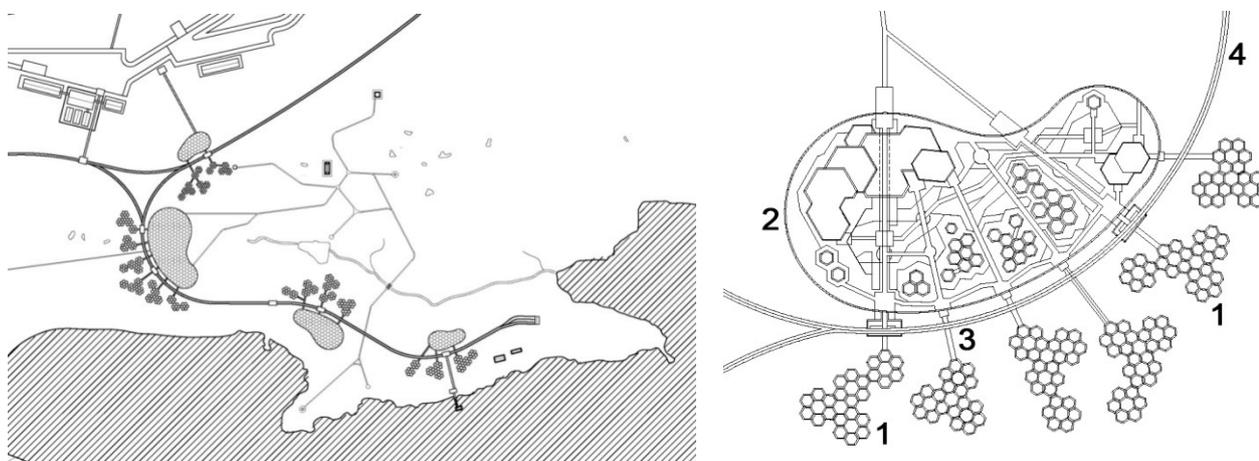


Рис.4. Предложение по планировке и застройке поселка Диксона автономной застройкой с искусственным микроклиматом. Архит. М. В. Шубенков, О. М. Благодетелева. Каждое из четырех кластерных образований имеет свою функцию и соединено между собой транспортно-коммуникационной системой. 1 – жилые структуры; 2 – общественный центр; 3 – пешеходные галереи; 4 – транспортно-коммуникационная система

Несмотря на масштабный миграционный отток населения последние 20 лет, Российский Север считается наиболее заселенным, чем другие страны циркумполярного региона. Наличие адаптированного кадрового потенциала дает нам преимущество в перспективном освоении северных регионов. Однако без создания благоприятной среды для жизни и работы населения, говорить об «обживании» северных территорий пока невозможно. Поэтому, необходима дальнейшая работа по поиску путей формирования наилучших условий жизнедеятельности северян.

Литература

1. *Казначеев В. П.* Современные аспекты адаптации. М.: Наука, 1980. 191 с.
2. *Карташова К. К.* Обслуживание населения жилых комплексов Крайнего Севера. М.: Стройиздат, 1972. 136 с.
3. *Квашина С. И.* Здоровье населения на Севере России, 2001. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://lib.ugtu.net/sites/default/files/books/2001/kvashnina_s.i._zdrove_naseleniya_na_severe_rossii_socialno-gigienicheskie_i_ekologicheskie_problemy_2001.pdf.

4. Тихонов Д. Г. Арктическая медицина. М.: URSS, 2009. 324 с.
5. Поздняков П. П. Жилище нового типа для Севера. Л.: Стройиздат, 1978. 155 с.
6. Российская Арктика: современная парадигма развития / под ред. Акад. А. И. Татаркина. СПб.: Нестор – История, 2014. 844 с.
7. Фаузер В. В. Демографический потенциал северных регионов России как фактор экономического освоения Арктики [Электронный ресурс] // Арктика и Север. 2013. № 10. Режим доступа: <http://narfu.ru/upload/iblock/961/3.pdf>
8. Цыган В. Н., Богословский М. М. Проблемы адаптации человека к условиям Крайнего Севера, 2013, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rofsfr.blogspot.ru/2013/08/blog-post.html>.
9. Шубенков М. В., Благодетелева О. М. Диксон – арктический форпост России [Электронный ресурс] // Международный электронный научно-образовательный журнал по научно-техническим и учебно-методическим аспектам современного архитектурного образования и проектирования с использованием видео и компьютерных технологий. 2012. Специальный выпуск. Режим доступа: http://www.marhi.ru/AMIT/2012/special_12/shubenkov/shubenkov.pdf.
10. Яковлев А. В. Градостроительство на Крайнем Севере. Л.: Стройиздат, 1987. 182 с.

М. М. Буркин¹, Е. В. Молчанова²

¹ФГБОУ Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск
burkin@onego.ru

²Институт экономики Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
tolch@yandex.ru

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫСОКОЙ СМЕРТНОСТИ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ

Демографическая ситуация в России имеет серьезные социально-экономические и политические последствия, которые будут влиять на развитие российского общества на протяжении всего XXI века. По данным Росстата общая численность населения России на 1 января 2016 г. составила 146.5 млн чел. Увеличение численности населения произошло не только за счет миграционного и естественного прироста, но и за счет образования двух новых субъектов Федерации – Республики Крым и г. Севастополь (Крымский ФО) с численностью населения 2.3 млн чел. Большинство граждан России проживают в Центральном ФО – 39.1 млн чел., причем 74 % населения являются городскими жителями.

Несмотря на наметившиеся положительные тенденции (рост населения в России за 2015 г. составил 0.14 %), медико-демографическую ситуацию нельзя назвать благополучной. Россия по-прежнему отстает от развитых стран мира по уровню средней продолжительности жизни, но опережает по заболеваемости и смертности, особенно от предотвратимых причин. Особую тревогу вызывают значительные потери населения в трудоспособном возрасте, что отражается на социально-экономическом благополучии нашей страны. Оценка качества человеческого потенциала, как ведущего фактора социально-экономического развития страны, требует комплексного подхода к анализу основных демографических индикаторов, которые напрямую связаны со здоровьем населения.

Для оценки состояния здоровья населения в докладе ВОЗ (World ..., 2000) предложен показатель продолжительности жизни, скорректированной с учетом нарушений здоровья (DALE – Disability Adjusted Life Expectancy). Подход ВОЗ допускает использование и других индикаторов для анализа состояния здоровья. Наиболее известен проект по оценке глобального бремени болезней (ГББ), который на протяжении 25 лет является самой большой аналитической научной работой по количественному измерению потерь здоровья на глобальном, национальном и региональном уровне (Глобальное ..., 2013; Murgay, 1996). Координатором данного исследования выступает Институт по измерению и оценке показателей здоровья (Institute for Health Metrics and Evaluation, IHME) Университета Вашингтона в Сиэтле. Статистическая база данных ГББ находится в открытом доступе (Institute ..., 2015).

Идеология проекта ГББ предлагает использовать показатель потерянных лет здоровой жизни (DALY – Disability Adjusted Life Years), который наиболее удобен для выделения вклада различных причин потерь здоровья в общую величину таких потерь. Индекс DALY для некоторого заболевания

или расстройства здоровья представляет сумму двух величин: $DALY=YLL+YLD$. Показатель YLL (years life lost – годы потерянной жизни) характеризует потери вследствие преждевременной смертности, второй компонент – индекс YLD (years lost due to disability) – годы жизни, потерянной вследствие нарушений здоровья (без учета смертельных исходов) (Глобальное ..., 2013; Ермаков, 2013; Murray, 1996).

Показатель DALY основан на утверждении, что наилучший подход к измерению бремени болезней состоит в использовании единиц времени. Достоинством данного показателя является его интегральный характер. Он обеспечивает многоаспектность анализа смертности, повышает уровень информированности, соизмеримости и сопоставимости оценок. С его помощью проводится оценка смертности от всех причин, в разбивке по отдельным причинам и с учетом структуры смертности по полу, возрасту, а также территории и определенного периода времени.

Проблемы высокой смертности и заболеваемости во всех возрастных группах остаются для России чрезвычайно актуальными. Индекс DALY позволяет достоверно определить конкретные причины и факторы риска, оказывающие влияние на высокую смертность и заболеваемость, выделив наиболее уязвимые категории населения. В таблице 1 показана роль основных причин смертности и заболеваемости в формировании сводного показателя DALY в России для всего населения и трудоспособного населения в возрасте от 15 до 49 лет за 2013 г. (Institute ..., 2015). Эта возрастная группа выбрана в связи с тем, что она составляет значительную часть трудоспособного населения страны и высокая смертность и заболеваемость в них наносит максимальный демографический, социальный и экономический ущерб.

Таблица 1

Роль основных причин в формировании показателя DALY в России в 2013 г. (%)

Причины	Население (все возраста)			От 15 до 49 лет		
	всего	муж.	жен.	всего	муж.	жен.
Сердечно-сосудистые заболевания	31.18	31.34	31	13.8	16.55	8.84
Внешние причины	12.67	17.95	6.08	25.45	32.61	12.48
Злокачественные новообразования	11.95	12.03	11.84	5.95	4.54	8.5
Психические расстройства и расстройства поведения (в том числе алкоголизм и наркомания)	8.69	8.33	9.12	16.18	14.61	19
Болезни нервной системы	4.95	2.78	7.66	5.24	2.66	9.91
Сахарный диабет, болезни мочеполовой и эндокринной системы	3.69	2.65	4.99	4.1	2.2	7.53
Хронические респираторные заболевания	2.08	2.24	1.89	1.44	1.27	1.74
Болезни органов пищеварения	1.78	1.93	1.58	1.85	2.1	1.41
СПИД/ВИЧ	1.26	2.01	0.32	2.87	3.93	0.95
Туберкулез	1.09	1.59	0.48	2.09	2.56	1.23

Показатель DALY (потерянные годы здоровой жизни) повышает значимость тех причин, которые присущи более молодым возрастным группам. Данная закономерность ярко выражена в группе сердечно-сосудистых заболеваний: несмотря на то, что эти болезни занимают первое место в общем показателе потерянных лет здоровой жизни для всех возрастов (31 %), в молодом возрасте (15-49 лет) они оказывают значительно меньшее влияние (13.8 %). Обратим особое внимание на формирование показателя DALY в возрастной группе от 15 до 49 лет, рассмотрим главные его составные части. В России первую позицию занимают «внешние причины» (25 %), вторую – психические расстройства и расстройства поведения (в том числе алкоголизм и наркомания, 16 %), третью – сердечно-сосудистые заболевания (14 %).

Основные причины потерь DALY в России должны стать объектом самого пристального внимания ученых и ответственных за принятия решений в области демографической и социально-экономической политики. Кроме выявления основных причин потерь здоровья для населения России целесообразно рассмотреть факторы риска, которые во многом определяют медико-демографические процессы, происходящие на анализируемой территории. На первом месте стоят поведенческие факторы риска, на втором – процессы, связанные с нарушением обмена веществ, на третьем –

проблемы экологии и окружающей среды. В свою очередь из поведенческих факторов риска ведущую роль играют проблемы, связанные с нерациональным питанием, на втором месте – алкоголь и наркотики, третья позиция у курения, четвертая причина напрямую зависит от низкой физической активности.

Особенно остро проблема высокой смертности и заболеваемости встает в северных регионах, к числу которых относится Республика Карелия. По состоянию на 1 января 2016 г. численность постоянного населения в республике составила 629.8 тыс. чел., удельный вес городского населения – 80 %. В состав Республики Карелия входят 127 муниципальных образований, в том числе 16 муниципальных районов, 2 городских округа (Петрозаводский и Костомукшский), 22 городских поселения и 87 сельских поселений. Демографическая ситуация на территории региона отличается особой остротой – за последние 15 лет население сократилось приблизительно на 80 тыс. чел., сохраняется естественная убыль населения. Уменьшение численности отмечено практически во всех муниципальных образованиях (кроме г. Костомукша), но в некоторых оно ощутимо особенно остро. В Карелии показатели смертности существенно выше, чем в среднем по России (табл.2).

Таблица 2

Смертность по основным классам причин смерти в Карелии (на 100 тыс. чел.)

Причина смерти	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Всего умерших от всех причин	1618.7	1477.7	1535.9	1460.7	1459.4
<i>В том числе от:</i>					
инфекционных и паразитарных болезней	22.1	17.6	20.5	15.9	14.7
новообразований	231.6	224.8	241.3	235.3	247.4
болезней системы кровообращения	871.8	791.7	828.4	803.7	783.2
болезней органов дыхания	57.0	50.1	43.4	44.7	48.8
болезней органов пищеварения	77.8	65.5	80.5	69.4	70.2
внешних причин смерти, в т.ч.	193.9	171.9	155.3	140.3	138.0
случайных отравлений алкоголем	24.8	19.0	12.7	12.6	9.5
самоубийств	27.1	25.6	25.8	24.5	22.7
убийств	13.3	15.4	10.3	9.9	12.0

В данном случае (табл.2), следует обратить внимание на проблему большого числа самоубийств, которая характерна не только для России, но и в особенности для Республики Карелия. Проблема суицида чрезвычайно сложна, и количество самоубийств в каждой стране зависит от множества характерных именно для этого народа факторов. Причины высокого уровня самоубийств в финно-угорской группе исследователи пытались выявить неоднократно, среди них назывались и смена сезонов (угнетающий климат, «невзрачная», «серая» погода), употребление алкоголя, экономическая нестабильность, тип личности, религиозные традиции. Показатели количества самоубийств в России заметно превышают среднемировые (10-20 случаев на 100 тыс.чел. населения). Подобные негативные тенденции имеют место и в Республике Карелия. В регионе отмечается превышение общероссийского показателя по уровню зафиксированных самоубийств.

Для изменения негативных тенденций необходима реализация приоритетных направлений в области развития психиатрической и психотерапевтической помощи в Республике Карелия, в том числе:

- оказание психолого-психотерапевтической и социально-психологической поддержки населения в условиях социально-экономического кризиса, проведение мероприятий по первичной и вторичной профилактике психических расстройств;

- внедрение в работу психоневрологических ЛПУ современных технологий амбулаторного, полустационарного и стационарного лечения и психосоциальной реабилитации больных с широким использованием полипрофессиональных бригад по оказанию психиатрической помощи;

- реализация психообразовательных программ для различных групп населения с целью просвещения и информирования о психическом здоровье, возможностях современной терапии и правах людей, имеющих психические заболевания, уменьшение стигматизации и дискриминации психически больных;

- расширение возможностей психиатрических кабинетов медицинских организаций районов и городов Республики Карелия по оказанию психологической и социальной помощи населению с включением в штатное расписание учреждений должностей медицинских психологов и социальных

работников, а также использование ресурсов учреждений социальной защиты, для оказания полипрофессиональной помощи;

- оказание психиатрической и психотерапевтической помощи детям и подросткам с использованием принципов межведомственного подхода.

Анализ факторов суицидального поведения в России имеет важное социально-экономическое и геополитическое значение, оказывая неоценимую помощь в разработке действенных мероприятий по снижению смертности в России, а также в наиболее проблемных регионах, к числу которых относится Республика Карелия. Интересен в этом отношении опыт Финляндии, которая была первой страной в мире, разработавшей и внедрившей программу по предотвращению самоубийств в период с 1986 по 1996 гг. При составлении программы тщательно изучался каждый случай самоубийства, были составлены отчеты о причинах смерти в отношении 1397 человек. В рамках этой программы были изучены и предотвращены самоубийства по всей Финляндии (уровень суицидов сократился на 40 %). Программа является уникальной в масштабах всего мира, поскольку она давала рекомендации и оказывала помощь людям в сложной жизненной ситуации (Сто ..., 2015).

Наиболее сложной задачей медико-демографических исследований является оценка комплексного (интегрального) влияния различных факторов на состояние здоровья человека. Большинство заболеваний имеют многофакторную природу, поэтому математическая оценка действия нескольких факторов риска одновременно представляется наиболее интересной. В статистических моделях регрессионного типа используется первичная информация трех типов: временные ряды, пространственные совокупности и их объединение. Временные ряды – это набор данных о здоровье населения данной территории и факторах его определяющих в разные моменты времени (time-series data). В пространственных совокупностях используется информация на конкретный (заданный) момент времени по различным территориям (cross-section data). Третий подход – это использование панельных данных (Panel Data), которые состоят из наблюдений одних и тех же экономических единиц или объектов (индивидуумы, домашние хозяйства, фирмы, регионы, страны и т. п.) в последовательные периоды времени. Они сочетают в себе как показатели пространственного типа (cross-section data), так и информацию о временных рядах (time-series data).

Для оценки состояния здоровья населения Республики Карелия в зависимости от социально-экономических и экологических факторов использовался временной ряд за 2003-2013 гг. В результате была построена регрессионная модель, которая имеет вид:

$$Q = AK^{\alpha}L^{\beta}, \quad (1)$$

где Q – ожидаемая продолжительность предстоящей жизни (лет), K – среднедушевой денежный доход в ценах 2010 г. (руб.), L – выбросы загрязняющих веществ от всех источников (тыс. т), A, α, β – параметры модели.

Модель (1) является модификацией производственной функции Кобба-Дугласа, которая достаточно широко используется в социально-экономических исследованиях. Ожидаемая продолжительность предстоящей жизни (ОППЖ) – демографический показатель, который часто используется как интегральная характеристика популяционного здоровья населения. При построении регрессионной модели применялся именно этот индикатор для оценки влияния различных факторов на состояние здоровья населения региона. При проведении расчетов были получены следующие значения параметров модели: $\alpha = 0.1651$; $\beta = -0.664$, $A = 29.32$. Данный факт еще раз подтверждает, что социально-экономическое благополучие населения (уровень доходов) оказывает позитивную роль на состояние здоровья, в то время как плохая экологическая ситуация провоцирует ухудшение самочувствия. В данном случае были использованы только два ключевых показателя, которые характеризуют уровень материального благополучия населения (среднедушевой денежный доход) и экологическую ситуацию в регионе (выбросы загрязняющих веществ). Такой подход позволяет достаточно просто прогнозировать изменение основного демографического индикатора в зависимости от изменения условий и уровня жизни.

Меры по улучшению медико-демографической ситуации должны носить комплексный характер, связанный с переориентацией целевых программ на решение задач демографической политики с учетом региональной специфики. Результаты исследования позволяют выявить направления для снижения социально-экономического бремени болезни и улучшения качества жизни населения. На наш взгляд, основные направления демографической политики должны включать мероприятия по социально-экономическому развитию территории, формированию здорового образа жизни, развитию системы здравоохранения, пропаганде морально-этических ценностей, экологическому регулированию.

В связи с чем, возникает вполне закономерный вопрос, какие социально-экономические мероприятия, программы в области демографической политики и общественного здоровья позволят достичь наилучших результатов. Для Республики Карелия можно эффективно использовать систему бенчмаркинга (процесса непрерывной оценки и сравнения территории с любым из мировых лидеров с целью получения информации, которая поможет этой территории улучшить свои показатели). Бенчмаркинг можно рассматривать как одно из направлений стратегически ориентированных исследований в области общественного здоровья. Внедрение бенчмаркинга может быть эффективно использовано в российской и региональной практике для снижения потерь от основных причин смертности. Для Карелии наиболее интересен в этом отношении успешный опыт Финляндии при реализации проектов по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний (проект «Северная Карелия»), а также по снижению уровня суицидальной смертности (Пуска, 2011; Молчанова, 2012; Сто ..., 2015).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ № 15-06-03978а).

Литература

1. Глобальное бремя болезней (GLOBAL BURDEN OF DISEASE): порождение доказательств, направление политики. Региональное издание для Европы и Центральной Азии. США: Институт по измерению здоровья и оценки состояния здоровья университета Вашингтон, Сеть человеческого развития Всемирного банка, 2013. 70 с.
2. *Ермаков С. П.* Прогноз потерь лет здоровой жизни населения РФ (методология и основные результаты прогноза). М.: Palmarium Academic publishing, 2013. 388 с.
3. *Молчанова Е. В.* Медико-демографические процессы как отражение социально-экономических условий жизни общества в России, Республике Карелия и Финляндии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 163 с.
4. *Пуска Пекка.* Проект «Северная Карелия»: от Северной Карелии до проекта национального масштаба. Хельсинки: Изд-во Университета Хельсинки, 2011. 291 с.
5. Сто социальных инноваций Финляндии. Ladoga printing company. СПб. 2015.
6. Institute for Health Metrics and Evaluation. URL: <http://www.healthdata.org/results/datavisualizations> (дата обращения 15.10.2015).
7. *Murray C. J. L, Lopez A. D.* The Global Burden of Disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. Cambridge M. A: Harvard University Press on behalf of the World Health Organization and The World Bank, 1996.
8. World health report 2000, health systems: improving performance. World Health organization, 2000. URL: <http://www.who.int/whr/2000/en/index.html> (дата обращения 15.10.2015).

Т. С. Завадская¹, Р. Е. Михайлов¹, Е. Н. Чеботарева², Н. К. Белишева¹

¹НОМБП Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

²ГБОУЗ АКЦГБ, г. Кировск

Green.myrtal@mail.ru

РОСТ МИКРОФЛОРЫ В ОРГАНИЗМЕ ЖЕНЩИН, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЕВРО-АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ В УСЛОВИЯХ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ АГЕНТОВ

Евро-Арктический регион относится к области высоких широт, где заболеваемость населения обусловлена, прежде всего, высокой степенью изменчивости физической среды, в том числе, связанной со строением магнитосферы Земли в области овала полярных сияний [3, 4, 5, 6].

Многочисленные исследования по изучению связи между СА и ростом микрофлоры носят противоречивый и разрозненный характер. А. Л. Чижевский, на основе обширного материала, обобщил данные, свидетельствующие о связи между эпохами максимумов и минимумов в циклах солнечной активности (СА) и возникновением различных эпидемий [21]. Детальное изучение жизнедеятельности микроорганизмов и ее связь с СА было выполнено С. Т. Вельховером, который обнаружил параллелизм в росте микрофлоры разных штаммов, сезонный характер выраженности

патогенных свойств бактерий, периоды, связанные с феноменальным ростом вне зависимости от сезонных влияний, периодичность в росте бактерий [8, 9].

Выявлению связи между возникновением инфекционных заболеваний, эпидемий и СА были посвящены феноменологические и лабораторные исследования [1, 2, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 22]. В результате были выявлены такие феномены, как изменение характера бактериальной биолюминесценции в зависимости от геомагнитной активности (ГМА) [7], зависимость роста определенных штаммов микроорганизмов от возмущенности геомагнитного поля (ГМП)) [14, 13, 20].

Так, распространенность некоторых инфекционных и паразитарных болезней в Северо-западном регионе, включающем Мурманскую область, увеличивается при возрастании СА и ГМА [3]. Поскольку рост патогенной микрофлоры проявляется в динамике заболеваемости населения, то необходимо понять, существует ли связь между ростом микрофлоры и вариациями гелиогеофизических агентов и можно ли спрогнозировать развитие инфекционных процессов в зависимости от характера гелиогеофизического воздействия на организм.

Наиболее уязвимой категорией населения являются дети и женщины. Заболевания женской половой системы, связанные с инфекционно-воспалительными процессами, влияют не только на репродуктивную функцию жизни и уровень рождаемости, но и на общее состояние организма. Анализ микрофлоры мазка из цервикального канала женщин, который является обязательным при прохождении медицинского осмотра у гинеколога, дает бесценную информацию о взаимодействии организма с внешней средой, результат которого выражается в качественной и количественной представленности микрофлоры [15, 16].

Цель нашего исследования состояла в выявлении характера зависимости обилия и разнообразия микрофлоры мазка из цервикального канала женщин, проживающих в высоких широтах, от вариаций гелиогеофизических агентов.

Материал и методы

В исследовании использовались данные результатов анализов мазков из цервикального канала женщин, проживающих в Апатито-Кировском районе Мурманской области. База данных включала результаты ежедневных гинекологических анализов (9041 анализов), проведенных в микробиологической лаборатории Кировской городской больницы, собранных за период с ноября 2007 г. по 2014 г. включительно от 6000 женщин. Данные нормировались на 1000 обращений в месяц и в год.

Для выявления возрастных особенностей микробиоты в организме женщин, результаты всех анализов были распределены по группам, соответствующим возрасту обследуемых: до 20 лет, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40 и свыше 40 лет. Наибольший процент составляют женщины репродуктивного возраста: от 25 лет (21 %) до 35 лет (17%), включая наибольшую группу 30-летних (23 %).

Гелиогеофизические данные для исследуемых периодов времени были отобраны на сайте ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/spacecraft_data/. Данные по наземным вариациям интенсивности нейтронной компоненты вторичных космических лучей (КЛ) у поверхности земли и расчетные плотности потоков КЛ в околоземном пространстве были получены в лаборатории космических лучей в Полярном геофизическом институте Кольского научного центра РАН (г. Апатиты, Мурманской области). Статистический анализ всех данных проводили с применением программного обеспечения Statistica 10.

Результаты и обсуждение

В результате анализа записей микробиологических исследований, были определены качественные особенности состава микробиоты и выявлены наиболее встречаемые бактерии. Кроме того, в работе учитывалось и общее количество бактерий, численность которых была незначительна для исследования (Другое).

Частота встречаемости бактерий приведена в таблице.

Для выявления периодов наибольшей уязвимости женского организма, проявляющейся в возрастании обилия и разнообразия микрофлоры, была оценена сезонная динамика роста микрофлоры.

На рисунке 1 показано обилие микрофлоры в различные месяцы года. Можно видеть, что рост грамм (+) палочек, имеет пик в июне и октябре, рост стафилококков увеличился в мае, январе и марте, дифтероидов в июле и октябре. Это свидетельствует, с одной стороны о видоспецифических особенностях роста бактерий, с другой стороны, возможно, о колебаниях иммунорезистентности, обусловленных климато-географическими особенностями высоких широт и вариациями гелиогеофизических агентов, ассоциированных с СА.

Частота встречаемости микроорганизмов при анализе мазков из цервикального канала за период 2007-2014 гг.

Микрофлора	Встречаемость
Грамм(+) палочки	1848
<i>Gardnerella vaginalis</i>	1288
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1130
Дифтероиды	811
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	633
<i>Candida sp.</i>	598
другое	1855

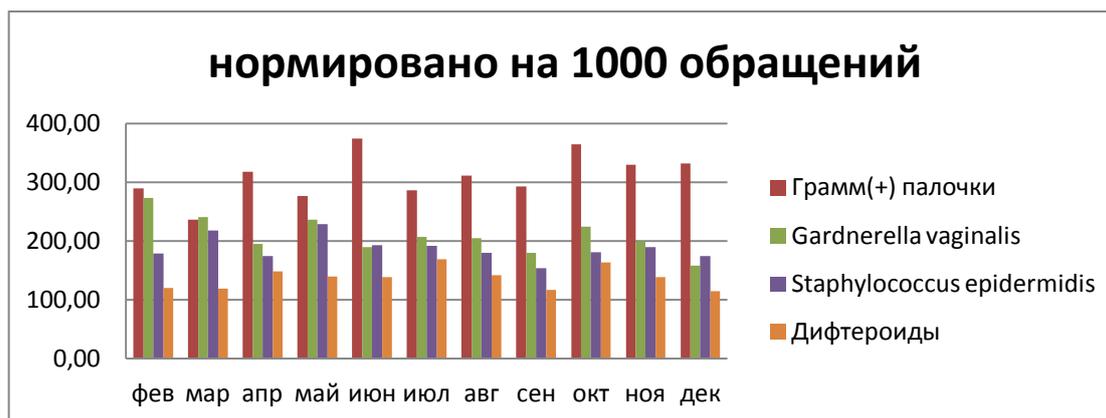


Рис.1. Распределение встречаемости наиболее распространённых микроорганизмов по месяцам

Для выявления представленного обилия микрофлоры в различных возрастных группах, и, следовательно, выявления наиболее уязвимых возрастных групп, был проведен сравнительный анализ качественного состава микробиоты у женщин разного возраста (рис.2). Обнаружено, что во всех возрастных группах наиболее встречаемыми оказались грамм(+)палочки, *Gardnerella vaginalis*, *Staphylococcus epidermidis* и *saprophyticus*, дифтероиды и *Candida sp.*

Большое содержание грамм (+) палочек во всех возрастных группах говорит о достаточно стабильном нормальном состоянии женской микрофлоры. Они препятствуют заселению враждебных для организма микробов и поддерживают кислотный баланс флоры. Как и ожидалось, наибольший рост бактерий выражен в репродуктивный период женщин (20-35), что связано с активной половой жизнью, приёмом антибиотиков и контрацептивов, неблагоприятным воздействием окружающей среды. В период менопаузы наступает снижение роста и разнообразия бактерий, обусловленных гормональным статусом женского организма. Для этого периода характерен дисбаланс в микрофлоре, сокращение численности полезных грамм (+) палочек, рост враждебной микрофлоры.

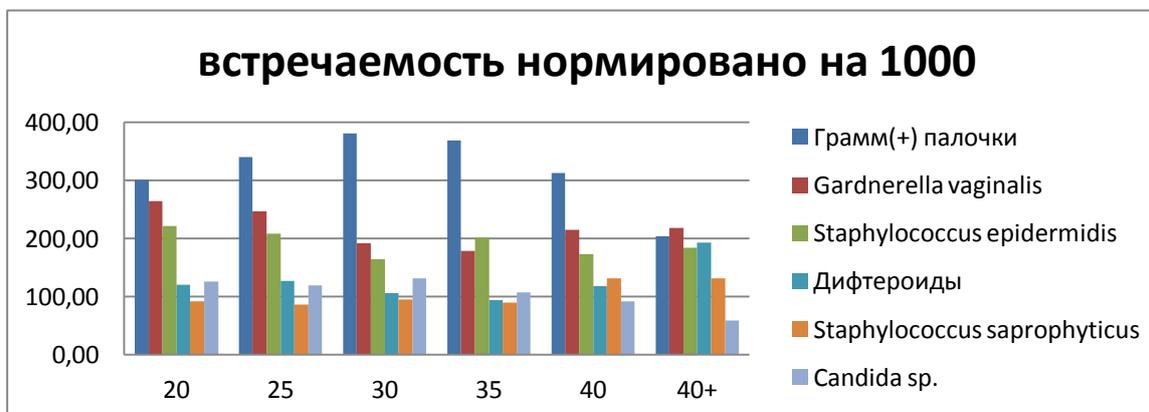


Рис.2. Распределение встречаемости наиболее распространённых микроорганизмов по возрастным группам

Коэффициенты корреляции между среднемесячными значениями частоты встречаемости определенных представителей микрофлоры и вариациями гелиогеофизических агентов показали, что рост грамм (+) палочек также, как и грибов (*Candida*) позитивно ассоциированы с солнечной активностью (СА). Коэффициенты корреляции между показателями СА (числами Вольфа – R, излучением Солнца в радиочастотном диапазоне – F 10.7) и ростом грамм (+) палочек составляют $r = 0.70$ и $r = 0.69$, соответственно, $p < 0.05$. Коэффициенты корреляции между показателями СА (R и F 10.7 - индексы) и ростом *Candida*: $r = 0.22$ и $r = 0.24$, соответственно, $p < 0.05$.

Противоположный характер связи между СА и ростом микрофлоры выявлен для *Gardnerella vaginalis*, коэффициенты корреляции с индексами R и F 10.7 составляют $r = -0.42$ и $r = -0.39$, соответственно, $p < 0.05$.

Результаты проведенных исследований показывают, что при возрастании СА, численность грамм (+) палочек и *Candida* возрастает, и, как следствие, возрастает и распространенность инфекций, вызываемых ростом данных форм микрофлоры. У *Gardnerella vaginalis*, напротив, отрицательная связь с показателями СА свидетельствует о том, что рост микрофлоры активизируется при снижении СА.

Таким образом, гелиогеофизические агенты модулируют видовой и численный состав микрофлоры организма женщин, проживающих в Евро-Арктическом регионе, предопределяя тем самым распространенность определенных инфекций. Знание характера связи между инфекционными возбудителями и вариациями гелиогеофизических агентов позволяет, на основе прогнозов СА, принимать превентивные меры для снижения риска инфицированности и заболеваемости женщин.

Литература

1. Александров Ю. В., Ягодинский В. Н., Коноваленко З. П. Структура цикличности эпидемического процесса // Солнце, электричество, жизнь. Изд-во: Московское общ-во испытателей природы, МГУ, 1972. С. 73-74.
2. Ачкасова Ю. Н., Бобова В. П., Брызгунова Н. И., Владимирский Б. М. Секторная структура ММП и размножение бактерий в лабораторном эксперименте // Солнечные данные. 1978. № 1. С. 91-102.
3. Белишева Н. К. Вклад высокоширотных гелиогеофизических агентов в заболеваемость населения Евро-Арктического региона // Вестник Уральской медицинской академической науки, №2(48), Екатеринбург, 2014. С. 5-11.
4. Белишева Н. К., Виноградов А. Н., Ващенко Э. В., Цымбалюк Н. И., Черноус С. А. Медико-биологические исследования на Шпицбергене как действенный подход для изучения биоэффективности космической погоды // Вестник КНЦ, 2010. № 1. С. 26-33.
5. Белишева Н. К., Конрадов С. А. Значение вариаций геомагнитного поля для функционального состояния организма человека в высоких широтах // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № 1/2. С. 44-52.
6. Белишева Н. К., Петров В. Н. Проблема здоровья населения в свете реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации // Труды Кольского научного центра РАН. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2013, вып. 4. С. 151-1733.
7. Бержанская Л. Ю., Бержанский В. Н., Старчевская Т. Г. Нестационарный характер бактериальной биоллюминесценции в период возмущений геомагнитного поля // Биофизика, 1995. Т. 40. Вып. 5. С. 779-783.
8. Вельховер С. Т. Годовой ход метахромазии волютина коринебактериальной клетки // Микробиология, 1936. Т. 5. Вып. 5. С. 731-733.
9. Вельховер С. Т. О некоторых функциональных свойствах коринебактерий // Ж. микробиол., эпидем. и иммунобиологии. 1935. Т. 15. № 6. С. 869-878.
10. Горшков М. М., Давыдова М. Г. Эффект Чижевского-Вельховера // Солнце, электричество, жизнь. М.: МОИП, 1972. С. 52-54.
11. Гракович Р. И., Колтикова Г. В. О влиянии 11-летнего солнечного цикла а заболеваемость микроспорией человека и животных // Солнце, электричество, жизнь. М.: МОИП, 1972. С. 95-97.
12. Левашов В. С., Горшков М. М., Белокрысенко С. С., Давыдова М. Г. Уровень спонтанной продукции фага в лизогенной системе как тест солнечной активности // Проблемы космической биологии, 1973. Т. 18. С. 189-195.
13. Меркушев И. А., Белишева Н. К., Лебедева В. В. и др. Связь роста микрофлоры с геокосмическими агентами // Научное приборостроение РАН, 1998. Т. 7. N 1-2. прилож. N 1. С. 62-63.
14. Опалинская А. М., Агулова Л. П. Влияние гелиомагнитной активности и слабых искусственных магнитных полей на агглютинацию бактерий. Сб. «Электромагнитные поля в биосфере», 1984. Т. I. С. 228-239.

15. *Перетц Л. Г.* Значение нормальной микрофлоры для организма человека. Изд-во: Государственное издательство медицинской литературы, 1955. 436 с.
16. *Петровская В. Г., Марко О. П.* Микрофлора человека в норме и патологии. М.: Медицина, 1976. 221 с.
17. *Рахно П. Х., Аксель М., Сирп Л. К., Лангсепп А. И.* Влияние солнечной активности на количественную динамику почвенных водорослей // Солнечные данные. 1968. № 11. С. 103-105.
18. *Рындич Л. Н., Чернявская Л. Н., Шефтель В. М.* Воздействие гелиогеофизических факторов на распространение острых кишечных инфекций. В сб. Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Ред. д.ф.-м.н. Н.В. Красногорская. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. Т. II. С. 63-65.
19. *Стадольник В. Е.* К развитию идей А.Л. Чижевского о связи солнечной активности и динамики инфекционных заболеваний // Солнце, электричество, жизнь. М.: МОИП, 1972. С. 64-66.
20. *Чернощеков К. А., Лепехин А. В.* Влияние геомагнитного поля на изменчивость микроорганизмов. В сб. Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Ред. Н.В. Красногорская. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. Т. II. С. 56-63.
21. *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль. 1973. 349 С.
22. *Шестопалов И. П., Поликарпов Н. А., Бреус Т. К.* Влияние гелиогеофизических факторов на биологическую активность *Staphylococcus Aureus* // Биофизика, 1997. Т. 42. Вып. 4. С. 919-925.

Т. Е. Исаченко

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
tatiana.isachenko@gmail.com:*

ПРОЯВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕВЕРНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНАХ

Во время исследований в старопромышленных регионах Европейской территории России были определены основные тенденции пространственного развития рекреационного природопользования в XXI в. и стадии его развития.

Стадии развития рекреационного природопользования в регионах:

- 1) становление рекреации: появление единичных рекреационных комплексов и территорий, детерминированное, как правило, ландшафтными особенностями региона;
- 2) формирование сети рекреационных комплексов и территорий, тяготеющих к береговым линиям водоёмов, рекам, ущельям, дорожно-транспортной сети;
- 3) формирование рекреационных зон, определяющееся ведущей ролью рекреационного природопользования на данной территории.

На первой стадии рекреационное освоение пространства имеет точечный характер, на второй – линейный и линейно-точечный, а на третьей – линейно-площадной и площадной.

Рекреационным природно-культурным комплексом (в дальнейшем рекреационным комплексом) будем называть территорию, трансформированную в процессе организации отдыха или под воздействием определённой группы рекреантов. Обустройство рекреационного комплекса осуществляется сообразно потребностям и представлению об отдыхе определенной группы людей, которые выступают как некие территориальные общности. Рекреационный комплекс включает, как природно-культурную составляющую (сопряжённый ряд природных и природно-культурных комплексов), изменённую под воздействием рекреации, так и артефакты (постройки, коммуникации и т.д.), связанные с организацией отдыха. Рекреационные комплексы, в пределах которых постройки отсутствуют, в дальнейшем будем называть рекреационными территориями. Рекреационные зоны включают в себя различные типы рекреационных комплексов и рекреационных территорий, но обладают однородным рекреационным потенциалом и сходными тенденциями развития рекреационного природопользования.

Основные тенденции пространственного развития рекреационного природопользования в XXI в. (Исаченко, 2011):

- 1) трансформация ландшафтов в зависимости от процессов, связанных с рекреационным природопользованием, приводит к формированию особой группы природно-культурных комплексов, специфика которых во многом начинает определять облик регионов;

2) рекреационное природопользование сегодня отличается значительным разнообразием типов и форм его пространственной организации; по мере вовлечения в рекреационную активность различных групп населения и дифференциации видов отдыха увеличивается не только площадь территорий, затронутых рекреацией, но и возрастает разнообразие рекреационных модификаций природно-культурных комплексов;

3) в значительной степени уменьшается роль ландшафтных условий в размещении рекреационных комплексов;

4) среди рекреационных комплексов растет доля элитных учреждений и поселений, для которых характерна высокая степень преобразования пространства и крайне низкая проницаемость территории;

5) рекреационное природопользование порождает целый ряд конфликтных ситуаций, вступая в противоречия не только с другими видами природопользования, но и создавая проблемы для развития собственно рекреационного освоения территории.

Полевые исследования по выявлению специфики развития рекреационного природопользования, проведенные в норильском регионе, позволили проследить проявление обозначенных тенденций в северных промышленных регионах. В таблице 1 представлены основные этапы развития рекреации в норильском регионе.

Таблица 1

Характеристика этапов становления и развития рекреационного природопользования в норильском регионе

Этапы развития рекреации	Характеристика этапа	Рекреационная зона	Тип освоения пространства
1	2	3	4
Точечное освоение пространства			
Первичное становление рекреации, 1940-е гг.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Появление первого рекреационного комплекса (на озере Лама). 2. Становление организованной летней рекреации, преимущественно организованного детского отдыха. 3. Зарождение спортивно-оздоровительной рекреации. 4. Формирование пространственных предпочтений для индивидуального отдыха: походов, охоты, рыбалки. 	Не сформирована	<ol style="list-style-type: none"> 1. База отдыха «Лама» 2. Лыжная база около Норильска
Линейно-точечное освоение пространства			
Становление организованной рекреации, 1950-е – начало 1960-х гг. <i>ограниченная рекреация, жестко контролируемая государством</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение количества людей, вовлеченных в организованную летнюю рекреацию. 2. Возрождение организованной летней рекреации на оз. Лама. 3. Появление первых летних рекреационных комплексов в непосредственной близости от Норильска. 4. Начало формирования сети круглогодичных рекреационно-оздоровительных и спортивно-оздоровительных комплексов. 5. Формирование городской рекреационной территории 6. Зарождение массового самоорганизованного туристского движения, начало формирования сети элементарных рекреационных территорий. 	Не сформирована	<ol style="list-style-type: none"> 1. Турбаза «Лама» 2. Базы отдыха и турбазы вдоль дороги Норильск – Валек 3. Турбаза на р. Амбарной 4. Спортивно-оздоровительный комплекс «Оганер» 5. Санатории-профилактории («Валек», «Горняк», «Заря») 6. Рекреационная территория на оз. Долгом 7. Рекреационные территории в местах проведения туристских слетов и соревнований.

1	2	3	4
Линейно-площадное освоение пространства			
Развитие массовой рекреации, середина 1960-х – 1990-е гг. <i>наивысшее развитие государственных и коллективных форм рекреации</i>	<ol style="list-style-type: none"> Увеличение количества людей, вовлеченных в организованную круглогодичную рекреацию. Формирование рекреационной зоны на оз. Лама: развитие летней организованной и становление самоорганизованной и «дикой» рекреации Формирование рекреационной зоны Норильск – Талнах: развитие организованной и становление самоорганизованной рекреации Зарождение новой формы рекреации: дачные комплексы и садоводства Стабильное функционирование городской рекреационной территории на оз. Долгом Организованное массовое туристское движение, расширение и осмысление сети «диких» рекреационных территорий. 	Рекреационная зона «Озеро Лама»	<ol style="list-style-type: none"> Турбаза «Лама» База отдыха ЦАТК База отдыха ТНРМ Частные некапитальные дачи
		Рекреационная зона «Норильск-Талнах»	<ol style="list-style-type: none"> Базы отдыха и турбазы вдоль дороги Норильск – Талнах Спортивно-оздоровительные комплексы («Оль-Гуль», «Оганер») Рекреационно-оздоровительный комплекс – профилакторий «Валек» Зона «стихийного земледелия» Дачи вдоль р. Норильской («Норильская Рублевка»)
		Не сформирована	<ol style="list-style-type: none"> Рекреационная территория на оз. Долгом Рекреационные территории в местах проведения туристских слетов и соревнований Спортивно-оздоровительный комплекс «Гора Отдельная» Садоводство около Талнаха
Линейно-площадное освоение пространства			
Развитие рекреации на постсоветском пространстве, конец 1990-х гг. – настоящее время <i>частичный уход государства из сферы рекреации и диверсификация ее форм</i>	<ol style="list-style-type: none"> Становление комплексов элитной рекреации: частных дач и рекреационных коттеджных комплексов, элитных баз отдыха или элитных коттеджей в пределах существующих комплексов. <p><i>Формирование и развитие рекреационных зон.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> Развитие рекреационной зоны на оз. Лама: расширение организованной, развитие самоорганизованной и «дикой» рекреации – <ol style="list-style-type: none"> появление частных общедоступных комплексов организованной летней рекреации; формирование закрытых и ограниченно доступных комплексов самоорганизованной рекреации. Увеличение площади рекреационной зоны Норильск – Талнах; развитие организованной, самоорганизованной и «дикой» рекреации – <ol style="list-style-type: none"> расширение сети летних и круглогодичных ведомственных рекреационных комплексов; появление комплексов элитной рекреации: частный коттеджный поселок, базы отдыха для VIP-клиентов; частичная трансформация дачной застройки; формирования территорий массовой «дикой» рекреации. Формирование рекреационной зоны «Гора Отдельная – Красные камни» 	Рекреационная зона «Озеро Лама»	<ol style="list-style-type: none"> Ведомственные турбазы и базы отдыха (турбаза «Лама», база отдыха ЦАТК, база отдыха ТНРМ) Частная база отдыха «Бунисяк» База UFOлогов Частные капитальные дачи Частные некапитальные дачи
		Рекреационная зона «Норильск-Талнах»	<ol style="list-style-type: none"> Базы отдыха и турбазы вдоль дороги Норильск – Талнах Спортивно-оздоровительные комплексы («Оль-Гуль», «Оганер») Зона «стихийного земледелия» Дачи вдоль р. Норильской – «Норильская Рублевка» Коттеджный поселок Территории «дикой» рекреации
		Рекреационная зона «Гора Отдельная – Красные камни»	<ol style="list-style-type: none"> Спортивно-оздоровительный комплекс «Гора Отдельная» Дачи-коттеджи вдоль склона горы Отдельной Территории «дикой» рекреации Территории проведения туристских мероприятий и соревнований
		Не сформирована	<ol style="list-style-type: none"> Рекреационные территории в местах проведения туристских слетов и соревнований Садоводство около Талнаха

Этап I. Предистория (1940-е гг.) характеризуется зарождением организованной летней рекреации, преимущественно организованного детского отдыха, организованной круглогодичной спортивно-оздоровительной рекреации и индивидуального отдыха (походы, охота, рыбалка).

Этап II. Становление организованной рекреации (1950-е – начало 1960-х гг.) характеризуется формированием первых рекреационных комплексов, включающих и круглогодичные оздоровительные комплексы, (преимущественно ведомственных) в непосредственной близости от промышленных центров; увеличением количества людей, вовлеченных в организованную рекреацию; формированием городских рекреационных территорий; зарождением массового самоорганизованного туристского движения и «диких» рекреационных территорий.

Этап III. Развитие массовой рекреации (середина 1960-х – 1980-е гг.) характеризуется формированием рекреационных территорий и сети ведомственных круглогодичных рекреационных комплексов, а также спортивно-оздоровительных общедоступных комплексов в непосредственной близости от промышленных центров; резким увеличением количества людей, вовлеченных в организованную круглогодичную рекреацию; появлением новой формы самоорганизованной рекреации: дачных комплексов и садоводств; стабильным функционированием городских рекреационных территорий; организованным массовым туристским движением и формированием сети «диких» рекреационных территорий

Этап IV. Современное развитие рекреации (конец XX – начало XXI вв.) характеризуется вариативностью рекреационных занятий, нашедшей отражение в резком увеличении разнообразия рекреационных комплексов и формировании рекреационных территорий, для которых свойственно дифференцированное воздействие на ландшафты; а так же появлением закрытых и ограниченно доступных комплексов элитной рекреации (баз отдыха и коттеджных поселков).

В норильском регионе выделено и описано 14 типов рекреационных территорий и комплексов (табл.2).

Таблица 2

Типы рекреационных комплексов и рекреационных территорий в норильском регионе (Исаченко и др., 2015)

Рекреационные комплексы и рекреационные территории	Количество	
	конец XX в.	XXI в.
Организованная рекреация		
Ведомственные турбазы и базы отдыха	30	33
В том числе базы отдыха для VIP-клиентов	нет	3
Частные турбазы и базы отдыха	нет	2
Ведомственные санатории-профилактории	1	нет
Общедоступные спортивно-оздоровительные комплексы	3	3
Городские рекреационные территории	1	нет
Самоорганизованная рекреация		
Ограниченно доступные некапитальные базы отдыха	нет	1
Коттеджные комплексы	нет	2
Дачные комплексы	3	3
Единичные частные капитальные дачи	нет	4
Единичные частные некапитальные дачи	не учтены	не учтены
Садоводства и «зоны стихийного земледелия»	2	2
Территории проведения соревнований и слетов	не учтены	не учтены
«Дикая» рекреация		
Территории «дикой» рекреации	не учтены	не учтены
Итого:		
Общее кол-во типов рекреационных территорий и комплексов	9	12
Общее кол-во рекреационных территорий и комплексов	более 40	более 53

Также как и в иных регионах на промышленном севере рекреационные комплексы и рекреационные территории в начале XXI в. играют важную роль в облике и образе региона. Их специфика определяется тем, что хотя рекреационные комплексы сформировались в экстремальных ландшафтных условиях, в экологически неблагоприятных районах, они занимают значительные

площади, а их разнообразие в последние годы возрастает. Все типы рекреационных комплексов, включая и рекреационно-селитебные, выделенные нами для территории Европейской России, характерны и для северных регионов. В отличие от прочих регионов роль ландшафтных условий в размещении рекреационных и рекреационно-селитебных комплексов здесь по-прежнему очень велика, однако с увеличением степени преобразования пространства она начинает снижаться. Появление слабопроницаемых элитных рекреационных и рекреационно-селитебных комплексов отражается и на культурных ландшафтах региона, обостряя конфликты внутри рекреационного природопользования.

Литература

1. *Исаченко Г. А., Исаченко Т. Е.* Рекреационная трансформация ландшафтов на рубеже XX - XXI вв. на примере окрестностей Петербурга // Изв. Русск. геогр. о-ва. 2011, т. 143, вып. С. 38-50.
2. *Исаченко Т. Е., Севастьянов Д. В., Гук Е. Н.* Становление и развитие рекреационного природопользования в Норильском регионе // География и природные ресурсы. 2015, № 2. С. 140-148.

Е. М. Ключникова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
ket@iner.ksc.ru*

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ДОБЫЧА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В АРКТИКЕ: РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С УЧАСТИЕМ МНОГИХ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Актуальная в настоящее время дискуссия о том, как организовать добычу природных ископаемых в Арктике, основываясь на концепции устойчивого развития, выводит нас на вопросы организации сотрудничества различных заинтересованных сторон. Подкрепляя важность этого аспекта, российское законодательство определяет «системное взаимодействие государства, коммерческих и некоммерческих организаций и гражданского общества» в качестве механизма реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации⁵.

Арктика в силу особенностей географического положения, природно-климатических характеристик, а также особенностей социально-экономического характера является сложным регионом для ведения хозяйственной деятельности.

В будущем при интенсивном развитии горнодобывающих проектов в Арктике вызовы, стоящие перед горнопромышленными компаниями, будут нарастать. К этим вызовам исследователи [1, 2, 3, 4, 5, 6] относят: учет интересов коренных и малочисленных народов Севера (КМНС), сохранение практик традиционного природопользования, вовлечение КМНС в обеспечение продовольственной безопасности горных проектов в Арктике; подготовка достаточного количества квалифицированных и мотивированных кадров для горных проектов в Арктике; необходимость разработки новых технологий, обеспечивающих экологическую безопасность и низкую ресурсо- и энергоемкость горных проектов в Арктике.

Без преодоления вышеназванных вызовов добыча полезных ископаемых в Арктике в рамках парадигмы устойчивого развития невозможна.

Для понимания общих проблем устойчивого развития в Арктике при условии, что этот регион и дальше будет использоваться в качестве природной кладовой, и его развитие будет проходить за счет добычи минеральных ресурсов, необходимо исследовать вопросы создания системы управления с участием многих заинтересованных сторон.

Основным методом исследования выбран метод case-study. Проводится анализ управления развитием двух горнопромышленных проектов компаний АО «Апатит» (ФосАгро) и ЗАО СЗФК (Акрон), реализуемых на территории городских округов Кировск и Апатиты. Материалами для анализа послужат годовые отчеты компаний, статьи в местных печатных изданиях, интервью

⁵ "Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года" (утв. Президентом РФ) {Консультант Плюс}

с представителями регионального правительства, местных администраций, представителями компаний, местного предпринимательского сообщества.

Теоретическую основу исследования составляют концепции устойчивого развития и корпоративной социальной ответственности. Концепция устойчивого развития дает нам ориентиры и видение желательного будущего развития территории. Начиная от самого общего «удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывающее способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности»⁶. И заканчивая детализацией того, что развитие на Севере должно гарантировать улучшение качества жизни населения, сохранение и восстановление окружающей природной среды, как основы жизнеобеспечения в целях обеспечения максимально длительного существования муниципальных образований на данной территории [7]. Детализация устойчивого развития также определяет, что при планировании развития необходимо ориентироваться на достижение минимальной зависимости от внешних поставщиков продуктов питания и строительных материалов, обеспечения энергией из возобновляемых источников, минимизации сбросов в водные объекты и выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, внедрения эффективной системы обращения с отходами, направленной на их переработку.

Поскольку бизнес является движущей силой изменений в обществе, его позиция и вклад в развитие является важным и во многом определяющим направление и характер развития территорий. Концепция корпоративной социальной ответственности (КСО) определяет обязательство корпораций осуществлять добровольный вклад в развитие общества, включая социальную, экономическую и экологическую сферы, принятое компанией сверх того, что требует закон и экономическая ситуация⁷. Для стимулирования внедрения и развития принципов КСО существует ряд международных инструментов. К таким инструментам кроме выше цитированного стандарта относятся Глобальный Договор ООН (глобальное соглашение об общих принципах и ценностях на пути к устойчивому развитию) и Инициатива по Глобальной отчетности (Global Reporting Initiative – GRI). GRI направлена на раскрытие компаниями информации о том какие мероприятия компания проводит для достижения устойчивого развития территории, где она ведет свою деятельность. Изучение практик КСО, описанных в социальных отчетах компаний, и сопоставление мнения представителей местного сообщества об этих практиках, позволит оценить влияние международных инструментов устойчивого развития на местном уровне.

Одним из инструментов повышения качества социального отчета является взаимодействие между компанией и ее заинтересованными сторонами при подготовке отчетности. В настоящее время в мировом сообществе и среди российских компаний и финансирующих организаций наблюдается рост интереса к стандартам GRI, выражающийся в стабильном увеличении отчетов, подготовленных в соответствии с данным стандартом. В рамках исследования будет дана оценка соответствия социальных отчетов компаний стандарту GRI.

В настоящее время инвесторы, осознавая риски, связанные с плохими взаимоотношениями компании с заинтересованными сторонами, и возможности, которые открывают конструктивные взаимоотношения с ними, требуют от бизнеса организации активного и устойчивого развития конструктивных взаимоотношений с заинтересованными сторонами на протяжении всего периода осуществления проекта. Международная финансовая корпорация отмечает, что в настоящее время подходы к проведению консультаций и раскрытию информации переориентируются с краткосрочного удовлетворения нормативных требований и требований кредиторов на более долгосрочное и стратегически ориентированное выстраивание взаимоотношений, смягчение рисков и выявление новых возможностей предпринимательства, развиваются новые подходы и формы взаимодействия с заинтересованными сторонами [8].

В рамках исследования будут выявлены затрагиваемые деятельностью выбранных компаний группы (заинтересованные стороны), практики (или их отсутствия) взаимодействия горнодобывающих компаний с заинтересованными сторонами и сделана попытка оценить вклад этих практик в устойчивое развитие как территории в целом так и компаний.

⁶ Доклад «Наше общее будущее, Международная комиссия по окружающей среде и развитию (МКОСР). 1987 г.

⁷ Международный стандарт ISO 26000 «Руководство по социальной ответственности».

Литература

1. Взаимодействие с заинтересованными сторонами: Руководство для компаний по надлежащей практике ведения бизнеса в странах с развивающейся экономикой. 2007. Международная финансовая корпорация.
2. Додин Д. А. Устойчивое развитие Арктики. Проблемы и перспективы. С-Пб.: «Наука», 2005.
3. Кугаевский А. Н., Сморгачева В. И. Арктика – территория инновационного поиска. М.: РАГС. 2011.
4. Минерально-сырьевые ресурсы Российской Арктики. Состояние, перспективы, направления исследований. Гл. ред. Чл.-кор. РАН Д.А. Додин. С-Пб.: «Наука». 2007.
5. Российский Север: траектория и перспективы социального развития. В 2-х т. М.: Кнорус. 2006.
6. Татаркин А.И., Литовский В.В. Россия в Арктике: стратегические приоритеты комплексного освоения и инфраструктурной политики. Вестник МГТУ, 2014. Т. 17, № 3. С. 573-587.
7. Устойчивое развитие муниципального образования в северном регионе РФ – определение [Электронный ресурс] / Е. М. Ключникова // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/111-10170>
8. Хорзов С. Е., Чалов В. И. Институционализация динамики России. М.: РАГС, 2011.

С. Н. Коломейчук¹, И. А. Шабалина², Л. И. Фрадкова³

¹Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

²ФГБОУ Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

³МБОУ «Центр развития образования», г. Петрозаводск
sergey_kolomeychuk@rambler.ru

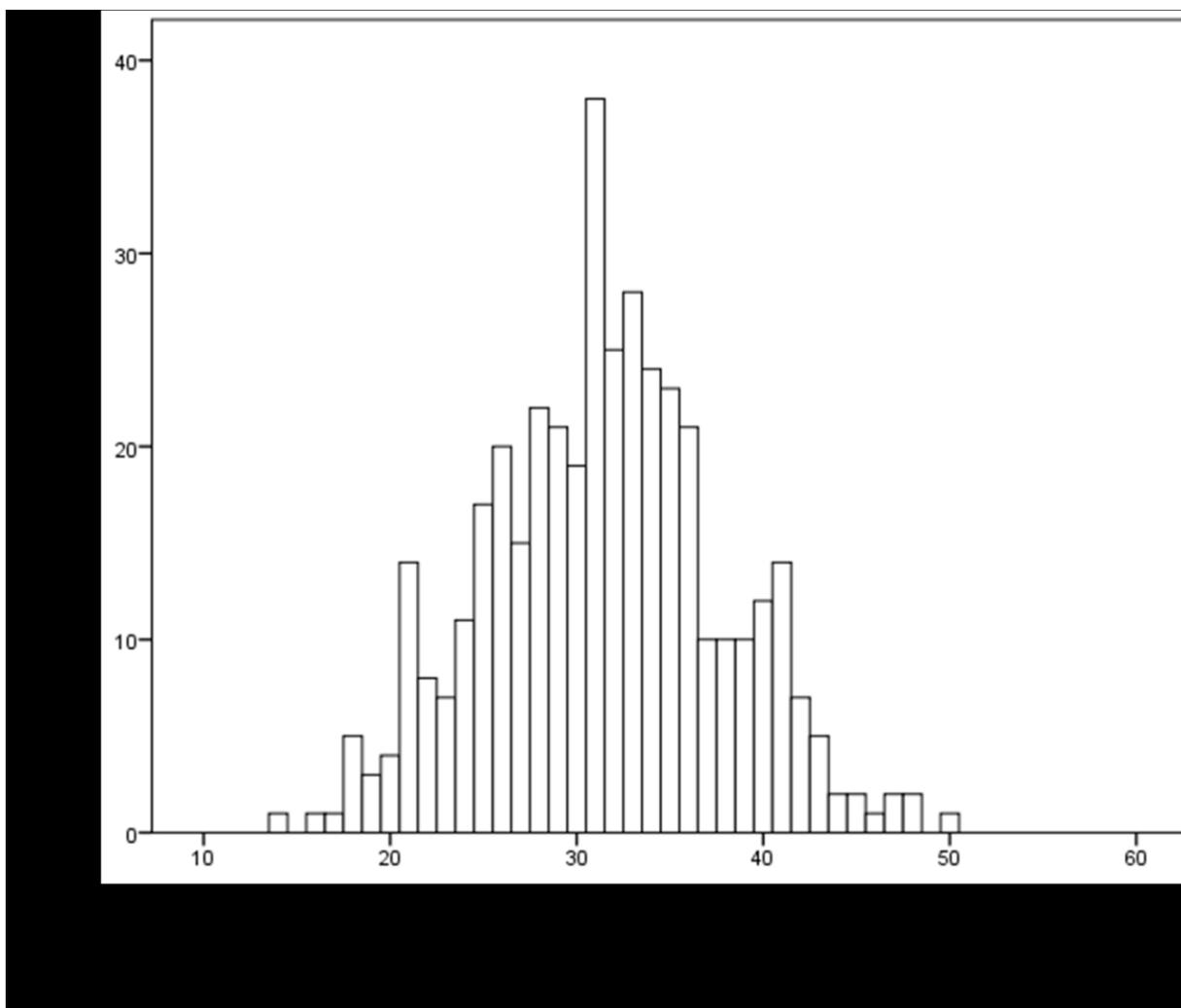
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХРОНОТИПА У СТУДЕНТОВ КАРЕЛИИ

Особенности циркадных ритмов человека определяют время максимальной или минимальной активности организма в течение суток. Рассогласование между социальным и биологическим временем и продолжительностью сна может приводить к потере внимания накоплению дефицита сна и снижению адаптационного потенциала. Целью настоящего исследования явился сравнительный анализ характеристик сна и хронотипа у студентов Республики Карелия. Была проанализирована выборка студентов ВУЗов Карелии (N=550, 16-26 лет), учащихся на очном отделении. Для определения особенностей хронотипа использовались тест Хорне-Остберга (MEQ) и русская версия опросника Смита для самооценки шкалы поведенческо-временных особенностей цикла сон-бодрствование (CSM) [1].

Исследование проведено с декабря 2015 по март 2016 гг. в г. Петрозаводске (61.77⁰ с. ш., 34.31⁰ в. д.). Студенты, относящиеся к позднему хронотипу, независимо от продолжительности сна, имеют более низкую успеваемость, чем их сверстники, относящиеся к промежуточному и раннему хронотипам. Сокращение продолжительности сна и смещение в сторону позднего хронотипа у детей с возрастом обусловлено действием ряда биологических и социальных факторов. В литературе показано, что дети в 10-летнем возрасте, как правило, имеют ранний хронотип. Затем происходит неуклонное смещение в сторону позднего хронотипа, достигающее максимума в 20-летнем возрасте. У подростков из Петрозаводска отмечено более сильное смещение хронотипа в сторону позднего, чем у школьников из Сыктывкара, хотя широта расположения этих городов примерно одинакова. Это различие обусловлено действием второго фактора: Петрозаводск и Апатиты расположены вблизи западной границы часового пояса, тогда как Сыктывкар, Инта и Воркута расположена на восточной его границе. Эти различия хронотипа у людей обусловлены расхождением между временем восхода Солнца и социальными часами. Успеваемость подростков зависит от многих внешних и внутренних причин: интеллектуальных способностей учеников, профессиональных навыков преподавателей, родительского контроля и т. д. Объяснение этому факту можно найти в рамках концепции «социального джетлага». В результате этого фаза сна в выходные дни у них сильно смещается на позднее время, а в начале учебной недели смещается в обратном направлении. Такой нестабильный режим сна-бодрствования негативно сказывается на самочувствии и снижает способность воспринимать новые знания.

Суточные ритмы генетически запрограммированы. Известно несколько генов циркадных ритмов, такие как CLOCK, PER, CRY, BMAL и др. Все они кодируют позитивные и негативные

транскрипционные факторы. Показано, что мутации в циркадных генах могут быть причиной нарушения регуляции циркадных ритмов и развития ряда заболеваний, например, метаболического синдрома [2], диабета 2 типа [3], и ряда других заболеваний [4, 5]. В литературе имеются многочисленные данные, указывающие на важную роль генов суточных ритмов в функционировании многих физиологических функций организма человека.



Распределение баллов среди опрошенных студентов согласно опроснику CSM

Ген CLOCK, кодирующий позитивный транскрипционный фактор CLOCK, относится к числу основных генов циркадных ритмов. Экспериментально доказано, что изменение структуры гена CLOCK способствует развитию некоторых заболеваний, например, метаболического синдрома [2]. Одним из полиморфных вариантов гена CLOCK, связанным с риском ожирения и предпочтением к тому или иному режиму сна-бодрствования, является однонуклеотидная замена тимина на цитозин в положении 3111 3'-НТО гена. Функциональная роль этого полиморфизма до сих пор не изучена. Транскрипционный фактор PERIOD3 (PER3), является одним из ключевых компонентов отрицательной ветви системы циркадных генов человека. Нокаут гена PER3 у мышей имеет слабое воздействие на циркадный ритм метаболизма в кардиомиоцитах. Лocus с варибельным числом tandemных повторов (VNTR), характерный для приматов и человека, находится в 18 экзоне и состоит из 4 или 5 обратных tandemных повторов, отличающихся на 54 нуклеотида [3]. Многочисленные исследования связывают этот полиморфизм с общим контролем вегетативного баланса во время циклов сна – бодрствования и косвенно с контролем сердечной вегетативной активности [3]. Однако участие данных генов в формировании хронотипа детей и подростков русской популяции практически не изучено.

Цель настоящего исследования – изучение роли полиморфных вариантов генов суточного ритма в формировании хронотипов студентов карельских учебных заведений.

В работе использованы образцы крови 150 обследуемых. Средний возраст студентов составлял 22.0±3.4 года. ДНК выделяли из 200 мкл венозной крови пациентов с помощью набора для выделения геномной ДНК AxyPrep Blood Genomic DNA Miniprep Kit («Ахуген», США) согласно инструкциям производителя. Участок гена CLOCK, содержащий маркер T3111C (rs1801260), амплифицировали методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) со следующими праймерами: прямой 5'-tccagcagtttcatgagatgc-3', обратный 5'-gaggtcatttcagctgagc-3' («Синтол», Россия). Участок гена PER3, содержащий VNTR (rs57875989), амплифицировали методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) со следующими праймерами: прямой 5'-CAAAATTTTATGACACTACCAGAATGGCTGAC-3' обратный 5'-AACSTTGTACTTCCACATCAGTGCCTGG-3'. Смесь для амплификации содержала по 10 пМ каждого из праймеров, 2 мкл 10×ПЦР буфера, 1 мМ каждого dNTP и 0.5 ед. Taq-полимеразы («Силекс», Россия). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили на приборе Robocycler («Stratagene», США) по программе: 3 мин денатурация при 94°C, а затем 35 повторяющихся циклов в режиме: 94°C – 1 мин, 59°C – 1 мин, 72°C – 1 мин. Полученный ПЦР продукт гена CLOCK (220 п.н.) подвергали обработке рестриктазой MhII («Сибэнзим», Россия) для идентификации аллелей T (220 п.н.) и C (125 и 95 п.н.). Условия проведения рестрикции описаны ранее [4]. Продукты рестрикции разделяли в 6%-ном полиакриламидном геле, окрашенном бромистым этидием, и визуализировали с помощью системы Kodak EDAS 290 («Kodak», США). Условия проведения ПЦР для гена PER3 описаны ранее [2]. Полученные продукты (401 п.н. – аллель с 5-ю повторами и 347 п.н. – аллель с 4-мя повторами) разделяли в 2 %-м агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, и визуализировали с помощью системы Kodak EDAS 290. Статистический анализ данных осуществляли с помощью программ MS Excel, SNPStat. Тест на подчинение закону Харди – Вайнберга и сравнительный анализ распределения частот аллелей и генотипов проводили с использованием критерия χ^2 . Статистически значимым считали уровень значимости $p < 0.05$.

Распределение аллелей и генотипов среди опрошенных студентов

Генотипы/Аллели	Частота	Баллы шкалы CSM	Достоверность
PER3 4/4	0.45	33.2±7.2	$p > 0.05$
PER3 4/4	0.42	32.4±6.8	$p > 0.05$
PER3 4/4	0.13	33.7±7.3	$p > 0.05$
CLOCK T3111T	0.42	38±4.6	$p > 0.05$
CLOCK T3111C	0.47	36±5.1	$p > 0.05$
CLOCK C3111C	0.11	37±5.7	$p > 0.05$

В рамках настоящего исследования был проведен анализ однонуклеотидных полиморфных вариантов в двух генах, связанных с циркадными ритмами человека – CLOCK (rs1801260), PER3 (rs57875989) – у 150 студентов ВУЗов Карелии (27 % от числа анкетированных). Распределение частот аллелей и генотипов полиморфного маркера T3111C гена CLOCK у жителей Республики Карелия близко к распределению, характерному для европейского населения [2].

Кроме того, было обнаружено, что частоты полиморфных вариантов гена PER3 у здоровых жителей Республики Карелия составляют 0.45 (генотип 4/4), 0.42 (генотип 4/5) и 0.13 (генотип 5/5), соответственно. Распределение частот аллелей и генотипов в карельской популяции близко к распределению, характерному для населения Европы [2]. Тест на соответствие равновесию Харди-Вайнберга для гена PER3 $\chi^2 = 0.04$ ($p > 0.05$).

Распределение частот генотипов исследуемого полиморфного маркера в группе студентов подчинялось закону Харди – Вайнберга: значение χ^2 составило 2.03 (df=2, $p = 0.362$).

Анализовалась связь этих полиморфизмов с хронотипом (Мюнхенский опросник для определения хронотипа и Опросник для самооценки шкалы поведенческо-временных особенностей цикла сон- бодрствование) и по различным показателям сна. Анализ связи этих полиморфизмов с хронотипом показал, что вариант "55" гена PER3 имеет тенденцию к ассоциации с более ранним хронотипом, чем варианты "45" и "44" ($r = 0.53$; $p = 0.17$). Была отмечена слабая положительная корреляция полиморфного варианта CC гена CLOCK rs1801260 с хронотипом и временем подъема в выходные дни. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о частичном детерминировании сайтом rs57875989 гена PER3 "совости" и "жаворонковости" у подросткового населения Республики Карелия.

Результаты, полученные в настоящей работе, указывают на определенную роль часовых генов в формировании хронотипов у подростков Республики Карелия. Механизмы, посредством которых часовые гены могут участвовать в формировании хронотипа, требуют дальнейшего изучения. Можно предположить, что изменения в их структуре могут влиять на уровень экспрессии генов-мишеней, белковые продукты которых вовлечены в регуляцию цикла сон-бодрствование.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РГНФ 15-16-10001 а(р) «Русский Север: традиции и современность».

Литература

1. *Kolomeichuk S. N., Randler C., Churov A. V., Borisenkov M.F.* Psychometric properties of the Russian version of the Composite Scale of Morningness. *Biol.Rhythm Research*. 2015. V. 46, № 5. P. 727-735.
2. *Scott E.M., Carter A.M., Grant P.J.* Association between polymorphisms in the Clock gene, obesity and the metabolic syndrome in man // *International Journal of Obesity*. 2008. V. 32. P. 658-662.
3. *Sookoian S., Gemma C., Gianotti T. F. et al.* Genetic variants of Clock transcription factor are associated with individual susceptibility to obesity // *Am. J. Clin. Nutr.* 2008. V. 87. P. 1606–1615.
4. *Desan P. H., Oren D. A., Malison R. et al.* Genetic polymorphism at the CLOCK gene locus and major depression // *Am. J. Med. Genet.* 2000. V. 96. № 3. P. 418-421.
5. *Robilliard D. L., Archer S. N., Arendt J. et al.* The 3111 Clock gene polymorphism is not associated with sleep and circadian rhythmicity in phenotypically characterized human subjects // *J. Sleep. Res.* 2002. V. 11. P. 305-312.
6. *Bailer U., Wiesegger G., Leisch F. et al.* No association of clock gene T3111C polymorphism and affective disorders // *European Neuropsychopharmacology*. 2005. V. 15. P. 51-55.

А. А. Мартынова, Р. Е. Михайлов, С. В. Пряничников

НОМБП Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

Martynovaalla@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЖЕНСКОГО КОНТИНГЕНТА РАБОТНИКОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение

Профилактика нарушений здоровья работающих женщин является одной из приоритетных проблем здравоохранения в современных условиях жизни общества. Ведь от женщин зависит воспроизведение здорового населения вообще и трудовых ресурсов в частности. Особенно это касается женщин работающих на комбинатах по добыче и переработки редкоземельных руд, чьи профессии связаны с интенсивным воздействием факторов рабочей среды и трудового процесса, обуславливающих высокий риск нарушения здоровья. Предварительные результаты по оценке функционального состояния организма мужского контингента работников горнорудного производства, работающих в арктических условиях, показали, наличие у них вегетативной дисфункции в регуляции ВСР, приводящей к более раннему истощению адаптационных резервов и высокой степени уязвимости к воздействующим факторам среды (Мартынова и др., 2011; Мартынова и др., 2014). Цитогенетические исследования буккального эпителия выявили более высокую распространенность цитогенетических нарушений в клетках горняков (Петрашова и др. 2014). Однако до сих пор оценивалось состояние только мужского контингента работников горнорудных производств. Цель данного исследования состояла в том, чтобы оценить функциональное состояние организма женского контингента работников горнорудного производства, содержащего примеси природных радионуклидов на основе оценки ВСР и выявить степень воздействия особенностей производственной среды на женский организм.

Материалы и методы

Исследование было выполнено в 2014-2015 гг. в рамках ежегодного профилактического осмотра работников горнорудного производства Мурманской области, связанного с подземной добычей и обогащением лопаритовой руды, содержащей естественные примеси радионуклидов. Обследовали женский контингент работников горнорудного производства работающих непосредственно на

руднике или на фабрике по переработке руды в количестве 80 чел. (группа 1). Для сравнения была взята контрольная группа женщин – 115 чел. (группа 2) не работающих на данном предприятии. Все обследуемые были ознакомлены с целью и условиями исследования и дали свое письменное согласие на участие в исследованиях.

В связи с тем, что показатели вариабельности сердечного ритма (BCP) изменяются с возрастом человека (Демидова и др., 2001; Бойцов и др., 2002), обследуемые были разделены на две возрастных группы по степени выраженности инволютивных и патологически морфофункциональных изменений (Коркушко и др., 2979)., до 45 (< 45) и после 45 (>45) лет.

Физиологические показатели состояния организма работников по вариабельности сердечного ритма (BCP). BCP измеряли в положении сидя после 5-минутной преадаптации в спокойном состоянии. Оценку BCP проводили с использованием программно-аппартного комплекса «Омега-М» (научно-исследовательская лаборатория «Динамика», Санкт-Петербург), согласно стандартам, принятым совместно заседанием Европейского общества кардиологов и Северо-американского общества электростимуляции и электрофизиологии (Task Force of the European Society of Cardiology, 1996). Для оценки BCP использовали показатели: ЧСС (уд./мин.) – частоту сердечных сокращений, RRNN (ms) – средний RR-интервал, SDNN (ms) – среднее 5-минутных стандартных отклонений всех RR-интервалов; RMSSD (ms) – квадратный корень из средней суммы квадратов разностей последовательных RR-интервалов (среднеквадратичное отклонение межинтервальных различий). Спектральный анализ осуществлялся при помощи быстрого преобразования Фурье с расчетом спектральной плотности мощности (ms^2) по следующим частотным диапазонам: высоких частот (High Frequency - HF) – 0.15–0.4 Гц (ms^2), низких частот (Low Frequency - LF) – 0.04–0.15 Гц, очень низких частот (Very Low Frequency - VLF) – 0.0033–0.04 Гц и общей мощности спектра (TP, ms^2). Симпато-парасимпатический баланс определили по отношению LF/HF.

Статистический анализ проводился с использованием программного пакета «STATISTICA 6.0». Для сравнения независимых выборок использовали U тест Манна— Уитни (Mann-Whitney U), где U – медиана возможных разностей между элементами одной и второй выборки, p – уровень достоверности.

Результаты и обсуждение

Для выявления особенностей BCP в двух возрастных группах: до 45 (< 45) лет и после 45 (> 45) лет, значимость различий между показателями в этих группах была оценена с применением U критерий Манна – Уитни. Анализ показал, что, во-первых, эти группы значимо различаются между собой по возрасту ($p < 0,001$), а во-вторых, по ряду характеристик кардиодинамики (табл.1). Независимо от места работы у женщин с возрастом отмечается снижение значений SDNN и RMSSD, причем, от возраста зависит 20-30 % вариабельности показателя SDNN, отражающего суммарный эффект вегетативной регуляции сердца. Уменьшение величины показателя SDNN после 45 лет свидетельствует о напряжении регуляторных систем организма, когда функциональная активность сердца начинает снижаться. Это проявляется в увеличении длительности систолы, ее периодов и фаз, уменьшении продолжительности диастолы, снижении частоты сердечных сокращений и мощности перекачивания крови, в повышении артериального давления. Увеличение индекса напряжения (SI) в возрастной группе старше 45 лет, свидетельствует об усилении влияния симпатического звена автономной нервной системы (АНС) в регуляции BCP с возрастом.

Снижает общий спектр мощности (TP, ms^2) и его компонентов дыхательных волн (HF, ms^2) и медленных волн первого порядка (LF, ms^2). Усиление вклада очень низких частот (VLF, %) в общий спектр мощности, говорит о повышенной чувствительности миокарда к гуморальным изменениям у лиц после 45 лет. Таким образом, возрастные изменения вносят определенный вклад в функциональное состояние работников горнорудного производства.

Помимо возрастных изменений, на функциональное состояние организма влияют и производственные условия труда, ведущие к раннему истощению и преждевременному изнашиванию функциональных систем организма (Бойко и др., 2000; Кулкыбаев и др, 2003). Для горнорабочих, работающих в шахтах, характерно изменение центральной гемодинамики, отражающей гиперфункцию миокарда, повышение тонической активности резистивных сосудов, нарушение ауторегуляторных механизмов системного кровообращения (Tharkur et al, 2001). Особый вклад в здоровье горняков вносят специфические производственные условия, связанные с характером добычи руды и ее составом, в частности, в отдельных случаях, содержащих природные примеси радионуклидов (Белишева и др., 2013).

Сравнительный анализ гемодинамических показателей показал, что частота сердечных сокращений (ЧСС) в группе 1 выше по сравнению с контролем независимо от возраста (табл.). Повышение ЧСС, вместе со снижением мощности высоких (HF, ms²) частот у женщин, работающих на горнорудном предприятии, свидетельствует об истощении вегетативной регуляции миокарда на фоне увеличения нагрузки системы кровообращения. Это подтверждается и возрастанием мощности спектра колебаний сердечного ритма медленных волн второго порядка (VLF, ms²) - чувствительного индикатора энергодефицитных состояний (Флейшман, 1999). Увеличение вклада очень низкочастотной компоненты (VLF, %) в общий спектр мощности у работников женского пола горнорудной промышленности старше 45 лет, отражает реакцию повышенного физического перенапряжения, ассоциированного с истощением энергетических ресурсов. Возрастание вклада медленных волн второго порядка VLF (%) в общий спектр мощности у женщин работающих в горнорудной промышленности, отражает влияние тяжелых физических условий труда, связанных с работой на предприятии. Снижение мощности низких частот (LF, ms²) не зависимо от возраста в группе 1 по сравнению с контролем, свидетельствует о снижении сосудистого тонуса у женщин, работающих на горнорудном предприятии. Вследствие чего увеличивается риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний.

Сравнение показателей кардиогемодинамики у работниц горнорудного производства и контрольной группой

	Группа 1, M±m		Группа 2, M±m		Достоверность различий между группами			
	<45	>45	<45	>45	<45		>45	
	(n=39)	(n=40)	(n=37)	(n=78)	U	p	U	p
Возраст	32.4±1.2*	56.3±0.8	35.7±1.1*	55.8±0.6	559	0.064	1313	0.379
ЧСС	85.1±2.1	81.4±1.6	74.3±1.6	72.3±1.2	386**	<0.001	799**	<0.001
RRNN	718.3±19.0	747.1±14.4	816.1±18.1	839.7±14.0	374**	<0.001	815**	<0.001
SI, y.e.	195.1±18.8*	341.1±50.2	139.8±15.4*	228.6±17.7	530**	0.032	1147	0.061
SDNN, ms	38.1±2.3*	28.6±1.7	43.49±2.4*	32.2±1.6	583	0.109	1244	0.196
RMSSD, ms	26.5±2.8*	13.6±1.2	32.4±2.6*	22.2±2.1	552	0.055	1032**	0.010
HF, ms ²	290.2±69.5*	67.1±10.2	430.5±75.4*	191.9±49.2	528**	0.030	1059**	0.016
LF, ms ²	500.6±68.6*	248.9±32.9	648.2±94.9*	325.0±37.9	637	0.292	1284	0.292
VLF, ms ²	707.7±109.1*	485.1±66.8	854.2±97.6	564.6±62.4	577	0.096	1315	0.386
LF/HF	3.7±0.5*	5.35±0.5	2.7±0.4*	4.4±0.5	569	0.081	1071**	0.020
TP, ms ²	1498.5±205.4*	801.16±97.48	1933.0±216.4*	1081.6±135.4	546**	0.048	1223	0.156
HF, %	15.7±1.9*	8.3±1.0	20.7±2.2*	13.5±1.3	576	0.094	983**	0.004
LF, %	34.4±2.2	30.9±2.1	32.3±1.8	30.9±1.5	645	0.331	1449	0.950
VLF, %	49.9±2.9*	60.9±2.4	47.0±2.6*	55.6±1.7	680	0.538	1122**	0.043

* Достоверность различий (по тесту Манна – Уитни) по возрасту внутри каждой группы.

** Достоверность различий (по тесту Манна – Уитни) между комбинатом и контролем среди одновозрастной группы.

У женщин работающих на горнорудном предприятии (группы 1) отмечается нарушение вегетативного баланса (LF/HF) в звеньях регуляции АНС сердечного ритма в сторону усиления симпатических влияний, независимо от возраста, что подтверждается снижением вклада дыхательной составляющей (HF, %) в суммарную мощность спектра (TP).

Из таблицы 1 видно, что у работниц горнорудного производства (группа 1), по сравнению, с группой сравнения (группа 2), занижены и временные показатели ВСР (SDNN и RMSSD), что отражает фоновое снижение интегрального влияния вегетативных механизмов регуляции на синусовый ритм и парасимпатическую активность.

Можно полагать, что более низкие временные и спектральные значения показателей ВСР у работниц горнорудного предприятия, по сравнению с группой сравнения, свидетельствуют, скорее всего, о влиянии условий труда на функциональное состояние организма, проявляющееся, прежде всего, в дизрегуляции вегетативной иннервации сердца.

Таким образом, показано, что комплексное влияние условий труда на состояние женского организма работников горнорудного производства, связанного с добычей и переработкой лопаритовой руды, приводит к проявлению вегетативной дисфункции в регуляции ВСР. Эта дисфункция выражается в повышении индексов напряжения SI, в более раннем истощении адаптационных резервов, в снижении вклада вегетативного звена в регуляцию сердечного ритма автономной нервной

системой (АНС) и, соответственно, в возрастании вклада симпатического звена регуляции в ВСП, что отражает снижение показателей ВСП, характерное для более зрелого возраста. Значительный вклад медленных волн второго порядка (VLF) в частотный диапазон ВСП у исследуемого контингента свидетельствует о гиперадаптивном состоянии организма работников предприятия, следующей стадией которого является срыв адаптации и высокая степень уязвимости к воздействующим факторам среды. Полученные результаты свидетельствуют о проявлении признаков преждевременного старения у лиц, условия труда которых ассоциированы с психоэмоциональным и физическим напряжением.

Литература

1. *Бойко И. В., Наумова Т. М., Герасимова Л. Б.* Анализ зависимости профессиональных заболеваний от стажа работы на основе мониторинга // Медицина труда и промышленная экология. 2000. № 1. С. 30-33.
2. *Бойцов С. А., Белозерцева И. В., Кучмин А. Н., Захарова И. М., Княжева Т. Ю., Черкашин Д. В., Карпенко М. А.* Возрастные особенности изменения показателей variability сердечного ритма у практически здоровых лиц // Вестник аритмологии. 2002. № 26. С. 57-60.
3. *Демидова М. М., Тихоненко В. М.* Циркадная ритмика показателей сердечного ритма у здоровых обследуемых // Вестник аритмологии. 2001. № 23. С. 52-58.
4. *Коркушко О. В., Калиновская Е. Г., Молотков В. И.* Преждевременное старение человека. Киев: Изд-во Здоров'я, 1979. 192 с.
5. *Кулкыбаев Г. А., Исмаилова А. А.* Оценка психологического статуса горнорабочих, подвергающихся воздействию шумовой нагрузки // Гигиена и санитария. 2003. № 3. С. 29-32.
6. *Мартынова А. А., Пряничников С. В., Белишева Н. К.* Особенности психофизиологического состояния горняков, занятых в подземных разработках руды // Вестник уральской медицинской академической науки. 2014. С. 76-78.
7. *Мартынова А. А., Пряничников С. В., Петрашова Д. А., Пекарь Т. С., Мельник Н. А., Белишева Н. К.* Психофизиологическое состояние организма работников горнорудного производства в высоких широтах // Известия Самарского НЦ РАН, 2011. Т. 13, № 1(7). С. 1783-1787.
8. *Петрашова, Д. А., Белишева Н. К., Пелевина И. И., Мельник Н. А., Зользер Ф.* Генотоксические источники ионизирующего излучения // Известия Самарского НЦ РАН, 2011. Т. 13. № 1(7). С. 1792-1796.
9. *Флейшман А. Н.* Медленные колебания гемодинамики: Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике. Новосибирск: Изд-во Наука, 1999. 264 с.
10. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use // Circulation. 1996. V. 93. P. 1043-1065.
11. *Tharkur V. Richards R., Reisin E.* Obesity, hypertension, and the heart // Am. J. Med. Sci. 2001. № 321 (4). P. 242-248.

Д. А. Петрашова, В. В. Пожарская

НОМБП Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

petrashova@admksk.apatity.ru

ЦИТОГЕНОТОКСИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ В БУККАЛЬНОМ ЭПИТЕЛИИ У МОЛОДЫХ ГОРНОРАБОЧИХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Подземная разработка руды, содержащей такие природные радионуклиды, как уран, торий, радий, представляет определенную опасность для здоровья горных рабочих вследствие смешанного облучения различными видами ионизирующего излучения: вдыхание/глотание пылевых частиц, содержащих радий, вдыхание радона и продуктов его распада, внешнее облучение тела, вдыхание пыли смешанных частиц радиоизотопов.

В статье приведены данные по горнорабочим в возрасте 20-30 лет, поскольку для них характерны меньший уровень патологий, накопленных со временем, и более низкая вероятность смены места работы по состоянию здоровья или за счет карьерного роста (Петрашова, Пожарская, 2015).

Материалы и методы исследования

Материалом исследования служили образцы буккального эпителия работников горно-обогатительного комплекса (ГОК), работающих на производстве, связанном с добычей и обогащением лопаритовых руд, которые, наряду с ценными металлами, содержат примеси природных радионуклидов, заряженные частицы которых оседают на пыли и взвесах, содержащихся в шахтном пространстве, и являются источником смешанных видов ионизирующего излучения. Помимо этого в шахтах содержится радон в повышенных концентрациях. Первым барьером, возникающим на пути у канцерогенов, поступающих в организм при дыхании, с водой и с пищей являются клетки буккального эпителия (Holland et al., 2008). Группа молодых работников горнорудного производства (20-30 лет) состояла из 49 мужчин со стажем работы от 1 года до 9 лет. Контрольная группа состояла из 7 мужчин (19-28 лет), чья трудовая деятельность не связана с вредными факторами.

Взятие биологического материала проводилось в 2013 году в рамках ежегодного медицинского осмотра работников горнорудного производства (Петрашова и др., 2014). Обследуемые интервьюировались по специально разработанному опроснику на наличие вредных привычек и медикаментозного лечения. Процедура приготовления препаратов буккального эпителия проводилась в соответствии с методикой, описанной в работе Мейер и др. (2010). Все полученные данные вносились в реляционную многопользовательскую базу данных (Петрашова, Бурцев, 2015). Анализ препаратов осуществлялся с помощью микроскопа Микмед-6 (ЛОМО, Россия) (увеличение 10x40; 10x100), оснащенными цифровыми камерами.

Анализ частоты встречаемости клеток с генетическими нарушениями и цитотоксическими эффектами проводился на отдельно лежащих и распластанных клетках с подсчетом не менее 1000 клеток на каждом препарате. Микроядра идентифицировали согласно стандарту (Tolbert et al., 1992). Кроме того, учитывались двуядерные клетки, ядра с насечкой, кариопикноз, кариорексис, кариолизис, фрагментация и вакуолизация ядра, нарушения типа ядерных почечек.

Статистическая обработка материала проводилась согласно рекомендациям Международной рабочей группы по оценке генотоксичности (Kirsch-Volders et al., 2000).

Результаты и обсуждение

Группа горнорабочих была разделена на подгруппы по стажу таким образом, чтобы в каждой подгруппе было не менее 7 человек. Объем выборки и производственный стаж для каждой подгруппы указан в табл.

Средние значения частот встречаемости клеток с микроядрами в контрольной группе не превышают среднепопуляционные показатели 2-5% (Tolbert et al., 1992). Имеется тенденция по увеличению частоты встречаемости клеток с микроядрами у работников с двухлетним стажем на горнорудном производстве (табл.). Микроядра (рис.1.1) являются обособленной частью генетического материала за пределами основного ядра, которая либо представлена фрагментом хромосомы, образовавшимся в результате повреждения ДНК, либо одной или несколькими целыми хромосомами, отставшими в анафазе и не вошедшими в основное ядро (Сычева, 2007). Повышение частоты клеток с микроядрами в ротовой полости является самым ранним проявлением риска рака ротовой полости (Cardozo et al., 2001).

Частота встречаемости клеток с ядерными почками (рис.1.2) существенно не отличалась между исследуемыми группами. В целом по общему количеству цитогенетических нарушений клеточного ядра сохраняется тенденция к возрастанию их частоты у работников с производственным стажем два года.

Клетки с ядрами атипичной формы (рис.1.3) обнаруживались при стаже работы 1-2 года, а также при стаже 6 и более лет. Согласно литературным данным, данная патология может быть обусловлена неправильным расположением хроматина в ядре (Баллаж, 1987), а также смещением положения интерфазных хромосом в результате хромосомных aberrаций в митозе или нарушения веретена деления и анеуплоидии (Мейер и др., 2010).

Схожая картина наблюдается и для показателей нарушения пролиферации: частоты встречаемости двуядерных клеток (рис.1.4) и клеток с круговой насечкой (рис.1.5). Помимо этого, у одного горнорабочего с двухлетним стажем в возрасте 28 лет была обнаружена трехядерная клетка буккального эпителия (рис.1.6). Есть данные, что двуядерные и многоядерные клетки образуются преимущественно в результате полиплоидизирующего ацитокинетического митоза (Бродский, Урываева, 1981) и их частота может повышаться в ответ на облучение (Koss, 1979).

Средние значения и пределы варьирования кариологических показателей клеток
буккального эпителия обследуемых групп

Показатели, %	Стаж работы на горнорудном производстве, лет					
	0	1	2	3-4	5	6-9
Выборка, человек	7	7	12	8	10	12
Цитогенетические показатели						
Частота клеток с цитогенетическими повреждениями, всего:	6.8±2.27 (0-15)	9.1±3.17 (0-20)	15.2±3.47 (3-42)	9.6±3.54 (0-30)	9.4±2.91 (0-30)	13.7±2.81 (4-39)
Частота клеток с микроядрами	5.0±1.70 (0-12)	6.5±2.56 (0-20)	8.9±1.76 (2-20)	9.3±3.64 (0-30)	7.5±2.99 (0-30)	8.2±1.75 (0-19)
Частота клеток с ядерными почками	1.7±1.20 (0-8)	0.6±0.57 (0-4)	1.7±1.01 (0-11)	0.3±0.30 (0-3)	0.4±0.37 (0-4)	0.6±0.40 (0-4)
Частота клеток с ядром атипичной формы	-	0.7±0.71 (0-5)	4.4±2.42 (0-28)	-	-	2.8±2.24 (0-24)
Показатели пролиферации						
Частота клеток с нарушениями пролиферации, всего:	1.2±0.77 (0-6)	8.4±2.94 (0-20)	5.7±3.05 (0-37)	1.9±1.35 (0-11)	4.8±1.80 (0-14)	2.8±1.66 (0-18)
Частота клеток с двумя ядрами	1.2±0.77 (0-6)	7.3±2.36 (0-15)	3.2±1.09 (0-9)	1.9±1.35 (0-11)	4.2±1.63 (0-14)	1.4±0.89 (0-10)
Частота клеток с круговой насечкой	-	1.1±1.14 (0-8)	2.2±1.92 (0-23)	-	0.6±0.59 (0-6)	1.4±1.27 (0-15)

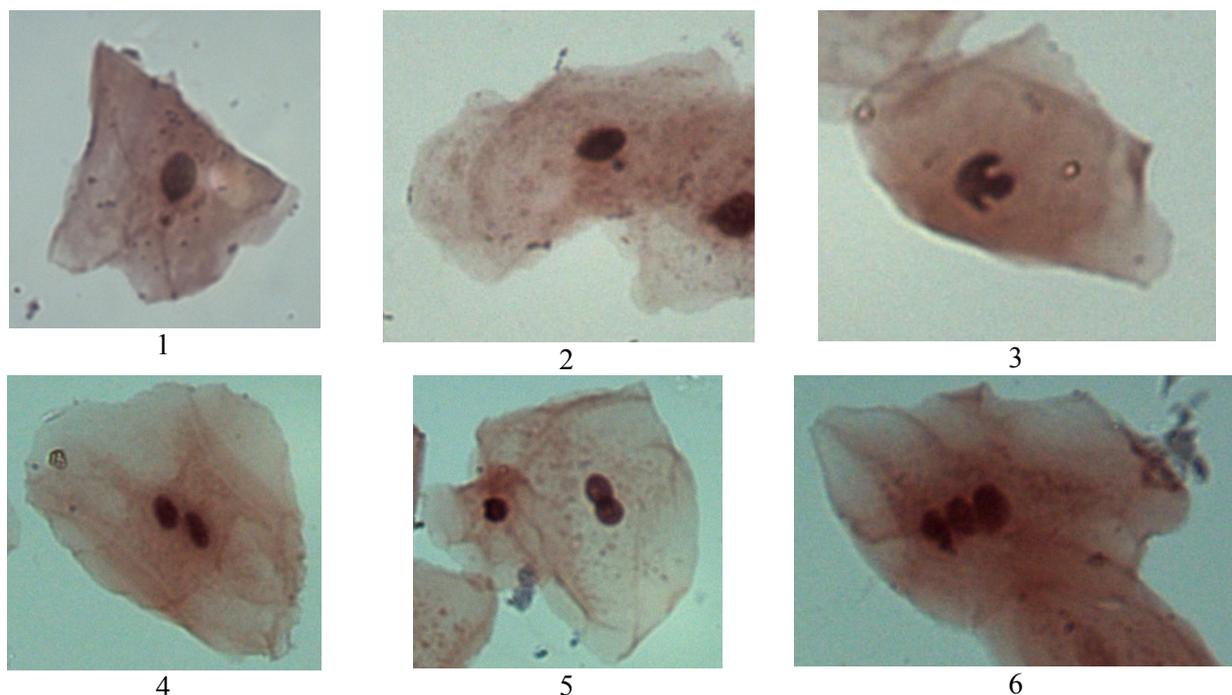


Рис.1. Микрофотографии клеток буккального эпителия человека с цитогенетическими повреждениями и нарушением пролиферации (ув. 100x10, Микмед-6 (ЛОМО, Россия)): 1 – клетка с микроядром, 2 – клетка с ядерной почкой, 3 – клетка с атипичным ядром, 4 – двуядерная клетка, 5 – клетка с круговой насечкой ядра, 6 – трехядерная клетка

Для оценки интенсивности обновления буккального эпителия в исследуемых группах проведен анализ кариологических показателей ранней и поздней стадий деструкции ядра. Установлено, что частота дифференцированных клеток возрастает при достижении двулетнего производственного стажа, а затем незначительно снижается. Клетки на ранней стадии деструкции ядра в основном

представлены клетками с конденсацией хроматина в ядре: их частота достоверно ниже в контрольной группе в два раза, что свидетельствует о большей скорости обновления клеток буккального эпителия у горнорабочих (рис.2).

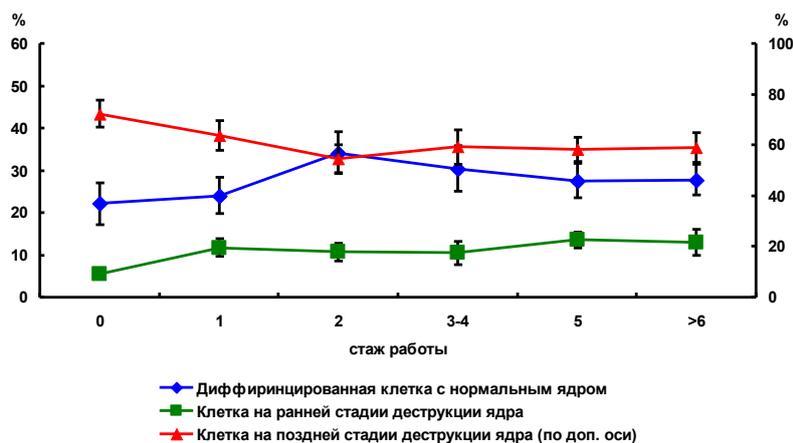


Рис.2. Частота встречаемости клеток буккального эпителия с нормальным ядром и клеток на разных стадиях деструкции ядра в зависимости от производственного стажа

Немного противоположная картина наблюдается для частоты клеток на поздней стадии деструкции ядра: при достижении двухлетнего стажа происходит ее снижение, и в дальнейшем она не меняется (рис.2). Основной вклад в частоту встречаемости клеток на поздней стадии деструкции ядра вносят кариолизис (10-85 % по образцам) и фрагментация ядра (0-24 % по образцам). На рисунке 3 видно, что частота встречаемости клеток с кариолизисом выше в контрольной группе.

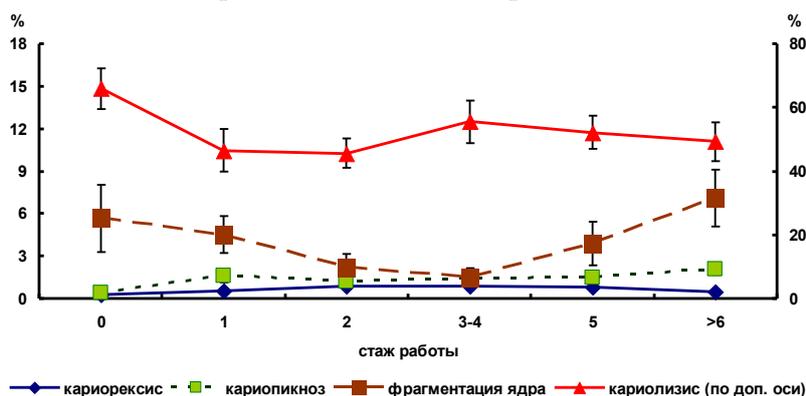


Рис.3. Частота встречаемости клеток буккального эпителия на поздних стадиях деструкции ядра в зависимости от производственного стажа

Частота встречаемости клеток с фрагментацией ядра (образование апоптотных тел) снижается при двухлетнем производственном стаже и начинает расти при стаже 5 и более лет. Известно, что интенсификация апоптоза является механизмом удаления из популяции дефектных клеток с цитогенетическими нарушениями (Джамбетова и др., 2009).

Заключение

У молодых работников горнорудного производства в первые годы трудовой деятельности возрастает общая частота цитогенетических нарушений в клетках буккального эпителия, в частности растет частота встречаемости клеток с микроядрами, а также увеличивается частота встречаемости клеток с признаками нарушения пролиферации. Эти изменения происходят на фоне снижения интенсивности апоптоза и увеличения скорости обновления буккального эпителия, которое проявляется в возрастании частоты встречаемости клеток буккального эпителия с конденсацией хроматина ядра.

Таким образом, у горнорабочих в первые годы трудовой деятельности клетки буккального эпителия с нарушениями элиминируются с меньшей скоростью и мы, вероятно, наблюдаем накопительный эффект. Полученные результаты согласуются с литературными данными о том, что

у людей цикл адаптивной перестройки в новой экологической и климатической зоне с субэкстремальными условиями длится 2-3 года (Физиология..., 2003). Следовательно, начало работы в условиях горнорудного производства можно отнести к новому стрессовому воздействию на организм, в том числе и на клеточном уровне.

Литература

1. *Баллаж А.* Биология опухолей. Сомнения и надежды. М.: Мир, 1987. 206 с.
2. *Бродский В. Я., Урываева И. В.* Клеточная полиплоидия. пролиферация и дифференцировка. М.: Наука, 1981. 237 с.
3. *Джамбетова П. М., Молочаева Л. Г., Махтиева А. Б. и др.* Оценка влияния загрязнения почв нефтепродуктами на цитогенетический статус и показатели апоптоза в клетках буккального эпителия у детей // Экол. генетика. 2009. № 4. С. 34-40
4. *Мейер А. В., Дружинин В. Г., Ларионов А. В. и др.* Генотоксические и цитотоксические эффекты в буккальных эпителиоцитах детей, проживающих в экологически различающихся районах Кузбасса // Цитология, 2010. Т. 52, № 4. С. 305-310.
5. *Петрашова Д. А., Бурцев А. В.* База данных по цитогенетическим исследованиям для систематизации фактов и оптимизации обработки // Труды XII Всеросс. науч. шк. "Математические исследования в естественных науках". Апатиты, 26-27 октября 2015 г., Апатиты: Изд-во К&М, 2015. С. 189-197.
6. *Петрашова Д. А., Пожарская В. В.* О проблеме анализа многофакторного воздействия в цитогенетических исследованиях на примере микроядерного теста в клетках буккального эпителия человека // Труды XII Всеросс. науч. шк. "Математические исследования в естественных науках". Апатиты, 26-27 октября 2015 г. Апатиты: Изд-во К&М, 2015. С. 189-197.
7. *Петрашова Д. А., Пожарская В. В., Завадская Т. С., Белишева Н. К.* Цитогенетические эффекты воздействия природных источников ионизирующего излучения на работников горно-рудного производства Мурманской области // Вестник Уральской медицинской академической науки, 2014. Т.48. № 2. С. 40-42.
8. *Сычева Л. П.* Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кариологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека // Мед. генетика. 2007. № 6(11). С. 3-11.
9. Физиология человека / Под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. М. 2003. 656 с.
10. *Cardozo R. S, Takahashi-Hyodo S., Peitl P.Jr. et al.* Evaluation of chromosomal aberrations, micronuclei and sister chromatid exchanges in hospital workers chronically exposed to ionizing radiation // Teratog. Carcinog. Mutagen. 2001. 21. P. 431-439.
11. *Holland N., Bolognesi C., Kirsch-Volders M. et al.* The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage. The HUMN project perspective on current status and knowledge gaps // Mutat. Res. 2008. Vol. 659(1-2). P. 93-108.
12. *Kirsch-Volders M., Sofuni T., Aardema M. et al.* Report from the in vitro Micronucleus assay working group // Environmental and molecular mutagenesis. 2000. 35. PP. 167-172.
13. *Koss L. G.* Diagnostic cytology and its histopathologic bases. Philadelphia. Toronto: J.B. Lippincott Co. 1, 2. 1979. 1266 p.
14. *Tolbert P. E., Shy C.M., Allen J. W.* Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development // Mut. Res. 1992. 271. P. 69-77.

В. В. Пожарская, Д. А. Петрашова
НОМБП Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
pozharskaya@admks.apatity.ru

ЦИТОГЕНОТОКСИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ МОЛОДЫХ ГОРНОРАБОЧИХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Подземная разработка руды, содержащей природные радионуклиды, представляет определенную опасность для здоровья горных рабочих вследствие смешанного облучения различными видами ионизирующего излучения: вдыхание/глотание пылевых частиц, содержащих

радий, вдыхание радона и продуктов его распада, внешнее облучение тела, вдыхание пыли смешанных частиц радиоизотопов.

Для оценки генотоксических эффектов ионизирующих источников излучения наиболее широкое распространение получил микроядерный тест, используемый при культивировании клеток периферической крови в условиях цитокинетического блока (Fenech, Morley, 1985; Yager et al., 1988; Коллюбаева и др., 1995; Mateuca R. et al., 2006; Коллюбаева, 2008; Пелевина и др., 2011). Помимо этого, микроядерный тест на лимфоцитах крови был предложен в качестве одного из простых и быстрых способов оценки дозы облучения (Thierens, 1991; Коллюбаева и др., 1993). В ряде исследований показано достоверное отличие уровня микроядер от контрольного, начиная с дозы 0.1 Гр, и неточность микроядерного теста при дозе облучения больше 2 Гр (Thierens, 1991; Коллюбаева и др., 1993). Рядом авторов установлено, что микроядерный тест может эффективно использоваться для выявления радиочувствительных групп повышенного риска (Севанкаев и др., 1994).

Целью данного исследования являлась оценка цито- и генотоксических эффектов природных источников ионизирующего излучения с помощью микроядерного теста на лимфоцитах крови горняков, пребывающих под землей в условиях смешанного ионизирующего излучения.

Материал и методы

Материалом исследования служили образцы лимфоцитов периферической крови горняков, работающих под землей в условиях повышенной концентрации радона (Мурманская область). Взятие биологического материала проводилось в 2013 году в рамках ежегодного медицинского осмотра работников горнорудного производства. Помимо взятия венозной крови, обследуемые интервьюировались по специально разработанному опроснику на наличие вредных привычек и медикаментозного лечения. Все полученные данные вносились в специально разработанную реляционную многопользовательскую базу данных (Петрашова, Бурцев, 2015). Все испытуемые были ознакомлены с целью и условиями исследования и дали на участие свое согласие. Группа добровольцев состояла из 67 мужчин, в возрасте от 21 до 68 лет, стаж работы от 1 года до 50 лет. Число молодых специалистов в возрасте 20-30 лет (стаж 1-7 лет), работающих в шахте (руднике), составляло 13 человек. Группа сравнения (14 человек) была представлена одновозрастной группой жителей города Апатиты не занятых в горнорудном производстве.

Для определения генотоксических эффектов производственной среды в клетках лимфоцитов горнорабочих был использован микроядерный тест с цитокинетическим блоком в присутствии цитохалазина Б (Fenech, Morley, 1986; Yager et al., 1988). В культуру стимулированных фитогемагглютинином лимфоцитов венозной крови, через 44 часа от начала культивирования клеток, добавляли цитохалазин Б в концентрации 7 мкг/мл. Полное время инкубации в термостате составляло 72 ч. Содержание двуядерных клеток с микроядрами оценивали на основе анализа не менее 1000 двуядерных клеток, т.е. клеток проходивших первый митоз между 48 и 72 ч после стимуляции фитогемагглютинином.

На препаратах идентифицировали: одноядерные клетки, все полиядерные клетки без нарушений (1-, 2-, 3- и 4-ядерные клетки), все полиядерные клетки с микроядром или несколькими микроядрами, а также ядра с насечкой, вакуолизацию ядра, нарушения типа ядерных почечек и протрузий. Микроядра идентифицировали как хроматиновые округлые тела с гладким непрерывным краем, размером не более 1/3 ядра, лежащие отдельно от основного ядра, не преломляющие свет, с интенсивностью окрашивания и рисунком хроматина, как у основного ядра, и находящиеся в одной плоскости с ядром (Tolbert et al., 1992).

Анализ препаратов проводили с помощью микроскопа AXIOSTAR PLUS (Karl Zeiss, Германия) (об.15 x ок.40, 100), оснащенного камерой CoolSNAPes (Photometrics) с цифровой системой регистрации и обработки изображения на базе ПЗС (Media Cebernetics, Inc.).

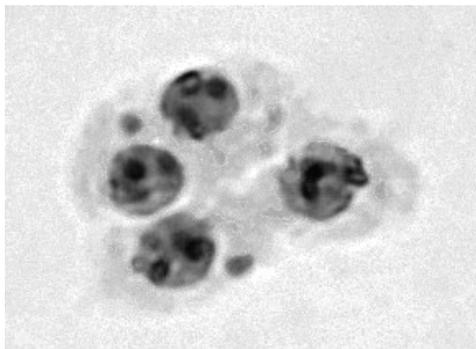
Статистическая обработка проводилась с помощью STATISTICA 6.

Статистическая обработка материала проводилась согласно рекомендациям, подготовленным на основе руководящих принципов для проведения исследований с использованием микроядерного теста, разработанных на втором заседании «Международной рабочей группы по оценке генотоксичности» (Вашингтон, США, 25-26.03.1999) (Kirsch-Volders, 2000).

Результаты и обсуждения

Анализ препаратов лимфоцитов периферической крови человека показал, что среднее арифметическое значение двуядерных клеток без идентифицированных нарушений, составляло

956.1±2.2 на 1000 двуядерных клеток. Среднее число лимфоцитов с микроядрами (рис.1) достигало 15.5±0.9 клеток, что соответствует значениям для жителей российских городов – от 8.6 до 27.0 (Ингель, 2006; Колюбаева, 2010; Пелевина и др., 2011; Серебрянный и др., 2011; Ахмадуллина, Аклеев, 2013).



Двуядерные лимфоциты с микроядрами

Наибольшее число лимфоцитов с микроядрами в проанализированных препаратах работников рудника отмечалось у мужчин в возрасте 31-40 лет (17.4±2.2).

Максимальное значение числа бинуклеарных лимфоцитов с микроядром (18.5±2.9) было характерно для работающих в условиях хронического облучения в течение 21-30 лет.

При сравнении группы обследованных горняков, в возрасте от 20 до 30 лет (стаж 1-7 лет) с одновозрастной группой жителей города Апатиты, не занятых в горнорудном производстве, установлено, что у подверженных хроническому облучению лиц наблюдается большее число клеток с микроядром (13.4±2.2 против 10.7±0.9 в контрольной группе) (табл.1.).

Такие типы нарушений как протрузии, ядерные почки и круговые насечки на ядре встречались в обеих группах. Частота встречаемости их не превышала 0.17 %. В контрольной группе регистрировалось меньшее число полиядерных клеток (табл.2), что свидетельствует о большей продолжительности клеточного цикла относительно группы добровольцев подверженных хроническому облучению, и подтверждается индексом пролиферации.

Таблица 1

Сравнение числа лимфоцитов с МЯ на 1000 клеток у подверженных хроническому облучению и контрольной группы.

	Число бинуклеарных лимфоцитов без микроядра на 1000 клеток	min-max	Число бинуклеарных лимфоцитов с микроядром на 1000 клеток	min-max
Подверженные хроническому облучению (n=13)	956.1±4.2	930-980	13.4±2.2	5-36
Контроль (n=14)	972.3±3.5	935-984	10.7±0.9	6-17

Таблица 2

Представленность лимфоцитов в культурах цельной крови на 1000 клеток

	1-яд.кл.	2-яд.кл.	3-яд.кл.	4-яд.кл.
Подверженные хроническому облучению (n=13)	359.3±39.7	620.6±38.2	9.8±2.0	1.8±0.6
Контроль (n=14)	361.4±37.4	416.9±65.0	3.4±0.7	0.1±0.1

Таким образом, в ходе обследования людей, чья производственная деятельность связана с хроническим воздействием ионизирующего излучения, установлено, что на количество цитогенетических нарушений основное влияние оказывают производственный стаж и возраст работающих в данных условиях.

Проведенные исследования показали, что цитогенетические особенности в лимфоцитах периферической крови, вызванные облучением смешанными источниками ионизирующего излучения природного происхождения, у лиц, подверженных данному воздействию в период работы, проявляются в более высоком числе двуядерных лимфоцитов с микроядрами относительно одновозрастной группы лиц, не имевших в анамнезе факторов радиационных воздействий.

Возрастание двуядерных клеток в группе горняков, по сравнению с контрольной группой, может свидетельствовать о воздействии ионизирующей радиации на процесс цитокинеза, нарушение которого может приводить к появлению многоядерных клеток. Учет всех типов лимфоцитов в культурах цельной крови показал, что в крови контрольной группы число полиядерных клеток меньше, чем у группы добровольцев подверженных хроническому облучению, что свидетельствует об уменьшении продолжительности клеточного цикла у группы горняков.

Литература

1. *Ахмадуллина Ю. Р., Аклеев А. В.* Оценка уровня лимфоцитов периферической крови с микроядрами у потомков первого поколения хронически облученных отцов // Вестник Челябинского государственного университета. 2013. Вып. 2. С. 97-98.
2. *Ингель Ф. И.* Перспективы использования микроядерного теста на лимфоцитах человека, культивируемых в условиях цитокинетического блока. Ч. 1. Пролиферация клеток / Экологическая генетика. 2006. Т. 4, № 3. С. 38-54.
3. *Колюбаева С. Н.* Использование цитогенетических методов в радиационной медицине // Вестник Рос. Воен.-мед. акад. 2008. Т. 23, № 3. С. 179-180.
4. *Колюбаева С. Н.* Хромосомные aberrации, микроядра и апоптоз в лимфоцитах при радиационных воздействиях и других патологических состояниях: автореф. дис. доктора биол. наук. Обнинск, 2010. 34 с.
5. *Колюбаева С. Н., Ракецкая В. В., Борисова Е. А., Комар В. Е.* Исследование радиационных повреждений в лимфоцитах человека методом микроядерного и хромосомного анализа // Радиационная биология. Радиоэкология, 1995. Т. 35, Вып. 2. С. 150-156.
6. *Пелевина И. И., Афанасьев Г. Г., Алещенко А. В., Антощина М. М., Готтлиб В. Я., Конрадов А. А., Кудряшова О. В., Лизунова Е. Ю., Осипов А. Н., Рябченко Н. И., Серебряный А. М.* Молекулярно-клеточные последствия аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 1. С. 154-161.
7. *Петрашова Д. А., Бурцев А. В.* База данных по цитогенетическим исследованиям для систематизации фактов и оптимизации обработки // Труды XII Всероссийской (с международным участием) научной школы "Математические исследования в естественных науках", посвящённой 100-летию со дня рождения д.г.-м.н. А. Б. Вистелиуса. Апатиты, 26-27 октября 2015 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2015. С. 179-188.
8. *Севанкаев А. В., Моисеенко В. В., Цыб А. Ф.* Возможности применения методов биологической дозиметрии для ретроспективной оценки доз в связи с последствиями аварии на Чернобыльской АЭС. Оценка доз на основе анализа нестабильных хромосомных aberrаций // Радиационная биология. Радиоэкология. 1994. Т. 34. Вып. 6. С. 782-792.
9. *Серебряный А. М., Аклеев А. В., Алещенко А. В., Антощина М. М., Кудряшова О. В., Рябченко Н. И., Семенова Л. П., Пелевина И. И.* Распределение индивидуумов по спонтанной частоте лимфоцитов с микроядрами. Особенности и следствия // Цитология. 2011. Т. 53, №1. С. 5-9.
10. *Fenech M., Morley A.* Solutions to the kinetic problem in the micronucleus assay // Cytobios. 1985. Vol .43, N 172-173. P. 233-246.
11. *Mateuca R., Lombaert N., Aka P.V., Decordier I., Kirsch M.-Volders* Chromosomal changes: induction, detection methods and applicability in human biomonitoring // Biochimie 88. 2006. P. 1515-1531
12. *Thierens H.* Biological dosimetry using micronucleus assay for lymphocytes: interindividual differences in dose response // Health Phys. 1991. Vol .61, № 5. P. 623-630.
13. *Tolbert P. E., Shy C. M., Allen J. W.* Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development // Mut. Res. 1992. 271. P. 69-77.
14. *Yager J. W., Sorsa M., Selvin S.* Micronuclei in cytokinesis-blocked lymphocytes as an index of occupational exposure to alkylating cytostatic drugs // IARC Sci Publ. 1988. Vol. 89. P. 213-216.

Научное издание

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием
(посвященная 120-летию со дня рождения Г.М. Крепса и 110-летию со дня рождения
О. И. Семенова-Тян-Шанского)

Технический редактор В.Ю. Жиганов

Подписано к печати 07.06.2016

Формат бумаги 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic

Усл. печ. л. 17,55. Заказ № 17. Тираж 300 экз.

Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Фермана, 14

Российская Академия Наук

КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Институт проблем промышленной экологии Севера
184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, 14

ECOLOGICAL PROBLEMS OF NORTHERN REGIONS AND WAYS FOR THEIR SOLUTION



The fourth All-Russian Conference with foreign participants "Ecological Problems of the Northern Regions and Ways to solve them" is dedicated to the issues of environment conservancy, studying trends and regularities in the development of biosphere and technosphere, ways organisms respond to changes in the quality of their habitat, biodiversity conservation, developing techniques and ways to rehabilitate polluted habitats.

ISBN 978-5-91137-322-1



РИО
КНЦ