

Российская академия наук

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ 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 V Всероссийской научной конференции с международным участием

23-27 июня 2014 г.

Часть 1

**Апатиты
2014**

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 № 14-05-06012-г

УДК 574.4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ:

Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук. Часть 1.

– Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2014. – 232 с.

V Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» посвящена вопросам рационального природопользования, изучения путей развития биосферы и техносферы, ответных реакций организмов на изменение качества среды их обитания, сохранения биологического разнообразия живых организмов, разработке приемов, методов и способов реабилитации загрязненных природных сред. В докладах 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, а также развитию современных подходов и ресурсосберегающих технологий в природоохранной деятельности. Сборник содержит 189 тезисов докладов, в которых обобщены знания о состоянии северных экосистем с позиций междисциплинарных оценок для возможного их использования при разработке региональных комплексных программ рационального природопользования и ресурсовоспроизводящих технологий, теоретических основ изучения и сохранения биоразнообразия; моделирования и прогноза комплексного влияния природных и антропогенных факторов на водные, наземные экосистемы и здоровье населения Арктической зоны.

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

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, 2014

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Кольский научный центр Российской академии наук, 2014

**Russian Academy of Sciences
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

KOLA SCIENCE CENTER OF RAS

**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

***Materials of the V All-Russian scientific conference
with foreign participants***

June 23-27th , 2014

Part 1

**Apatity
2014**

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. 14-05-06012-g.

UDK 574.4

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. Part 1.

– Apatity: Publ.office of the Kola Science Center RAS, 2014. – 232 p.

The fifth All-Russian Conference with foreign participants “Ecological Problems of the Northern Regions and Ways for their solution” addresses the issues of environmental management, studies of the biosphere and technosphere development, responses of organisms to changes in the quality of their habitat, biodiversity conservation, developing techniques and ways to rehabilitate polluted habitats. The presentations pay special attention to anthropogenic and natural dynamics of tundra and forest ecosystems, contemporary trends in the northern freshwater ecosystems, rehabilitation of disturbed ecosystems and technological aspects of environment protection, the ways environmental and socio-economic conditions affect human health, as well as to problems of studying and conserving biodiversity in the specially protected areas of the North and developing new methods and resource-saving technologies for the sake of conservancy. The collected volume consists of 189 abstracts containing the expertise on the condition of the northern ecosystems from the perspective of interdisciplinary analysis for the purpose of their possible application in developing regional complex programmes on environmental management and resource-reclaiming technologies, theoretical bases for studying and conserving bio-diversity in the Subarctic; modelling and forecasting the complex impact of natural and anthropogenic factors on water, terrestrial ecosystems and public health in the Arctic zone.

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

© 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, 2014

© Kola Science Centre of RAS, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Как быстро летит время... Казалось совсем недавно мы собирались на 20-летие нашего Института. Была прекрасная погода, белые июньские ночи, много гостей, и что меня особенно радовало – было много коллег-микробиологов из разных городов страны.

Чем было значимо прошедшее пятилетие для нашего Института? Немного статистики. Подготовлено и опубликовано **19 монографий**, в которых обсуждались вопросы по экологическому состоянию наземных и водных экосистем в районе Кольской АЭС (В. Маслобоев с соавт.), эволюции техногенных ландшафтов (Г. Евдокимова с соавт.), геоэкологии донных отложений озер (В. Даувальтер), вопросы влияния продуктов окисления минералов на их технологические свойства и окружающую среду (Д. Макаров) и экологические аспекты гипергенеза минерального сырья в условиях Субарктики (А. Зосин с соавт.). Опубликован «Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области» (Н. Кашулин с соавт.), каталог афиллофороидных грибов Мурманской области (Л. Исаева, Ю. Химич). Изданы аннотированные списки лишенофлоры России (Г. Урбанавичус) и диатомовых водорослей Евро-Арктического региона (Л. Каган).

Опубликовано **124 статьи** в центральных рецензируемых отечественных журналах из списка ВАК («Агрохимия», «Ботанический журнал», «Водные ресурсы», «Геоэкология», «Геохимия», «Горный журнал», «Журнал прикладной химии», «Известия РАН», «Микология и фитопатология», «Почвоведение», «Растительные ресурсы», «Химия в интересах устойчивого развития», «Цветные металлы», «Экология», «Экология промышленного производства» и др.). По одному перечню этих журналов можно судить о широте проблем, которые охватывают наши исследования.

В зарубежных журналах вышло в **62 статьи** («Chemosphere», «Environ. Monit. Assess», «Ecotoxicology and Environm. Safety», «J. Environm. Science and Health», «J. Environm.l Monitoring» «J. Natural Science», «J. Paleolimnol», «Applied Vegetation Science», «J. Environm. Science and Engineering», «J. Mining World Express» et al.).

Общий объем изданий составил около **1000** уч. изд. листов. Получено **3 патента**, в том числе «Способ получения сорбента» (А. Зосин с соавт.) и **2** свидетельства о регистрации электронных ресурсов (А. Ладик и В. Маслобоев с соавт.).

За это время на базе Института подготовлено и защищено 6 кандидатских диссертаций. Маловато, конечно, но есть еще резерв.

Произошли и всем известные перемены в системе государственного управления научным процессом. Хотелось бы верить, что направлены они на повышение эффективности научных исследований. В условиях отсутствия в значимом масштабе частного финансирования научных исследований для сохранения конкурентной способности российской науки государственные ассигнования должны быть не только многократно увеличены, но и повышен профессионализм кадров, управляющих научным и образовательным процессом в стране.

На протяжении веков наука доказывала свою профессиональную значимость. Эпоха Возрождения знаменовала подъем творчества и не в последнюю очередь - научного. Торжественны и глубоко слова великого Луи Пастера: «Наука должна быть самым возвышенным воплощением Отечества, ибо из всех народов первым будет всегда тот, который опередит другие в области мысли и умственной деятельности». Хотелось бы, чтобы народ России гордился в первую очередь научными достижениями своих сограждан. Государственные же деятели заслужат память потомков не громкими политическими речами, а созданием экономических и социальных условий для научного процветания России и продолжения традиций российского меценатства, складывавшихся на протяжении нескольких веков.

Мурманская область – экономический регион на Севере России с высоким уровнем развития горнодобывающего, металлургического, энергетического и транспортного комплексов. Исследования, проводимые в Институте проблем промышленной экологии Севера, наряду с фундаментальной направленностью решают и ряд практических задач нашего региона. Приоритетными направлениями исследований являются: получение фундаментальных знаний о путях развития биосферы и техносферы; разработка научных основ экологической оптимизации природопользования и создание биотехнологий восстановления нарушенных ландшафтов в промышленно-развитых регионах Севера; исследование механизмов обеспечения устойчивости северных экосистем и средообразующих функций живой природы;

моделирование и прогноз комплексного влияния природных и антропогенных факторов на водные и наземные экосистемы Арктической зоны.

Пятый раз собираются на базе нашего Института специалисты различных профилей для обсуждения экологических проблем Северных регионов и путей их решения. Среди постоянных участников конференции коллеги из профильных институтов и учебных заведений городов: Москвы, Санкт-Петербурга, Архангельска, Владивостока, Казани, Кирова, Красноярска, Магадана, Петрозаводска, Пушино, Сыктывкара, города Мурманской области: Мурманск, Кировск, Мончегорск; пос. Бор и с. Успенское (Московская обл.), пос. Якша, (Республика Коми). Интерес к конференции проявили наши зарубежные коллеги из исследовательских институтов Казахстана, Украины, Финляндии и Дании.

Мы рады каждому гостю, прибывшему на конференцию. Надеемся, что встреча будет интересной и полезной для каждого участника, что произойдет обмен мнениями о состоянии и перспективах развития северных регионов страны, о сохранении разнообразия биоты наземных и водных экосистем и ее функциональной активности. Судя по представленным материалам, конференция обещает быть успешной. Гости посетят лаборатории Института и совершат экскурсии по Кольскому краю на ряд ведущих предприятий Мурманской области.

На Олимпиаде в Сочи было в феврале +20⁰С, а у нас даже в июле такое редко случается. Но мы прикипели к этому краю, а многие и родились здесь, значит, здесь и будем трудиться на благо своего родного Кольского края, на благо России. В нашем Институте много молодежи, хотелось бы, чтобы все мы могли плодотворно трудиться в единой хорошо отлаженной в современных условиях эконисше, имя которой - НАУКА.

Профессор Г.А. Евдокимова

FOREWORD

Time runs fast ... It seems just a little while ago we met to celebrate the 20th anniversary of our Institute. There was fine weather, white June nights, plenty of guests and what is especially cheery for me – many colleagues-microbiologists who had come from all over the country.

What was so remarkable for our Institute during the recent decade? Here is some statistics. There were published **19 monographs** discussing the issues of the environmental state of terrestrial and aqueous ecosystems in the area of the Kola NPP (Masloboev V. et al.), evolution of technogenic landscapes (Evdokimova G. et al.), geoecology of lake sediments (V. Dauvalter), impact of oxidation products of minerals on their technological properties and the environment (D. Makarov) and environmental aspects of hypergenesis of mineral raw materials in the Subarctic (A. Zosin et al.). “Annotated environmental lake catalogue of the Murmansk region” (N. Kashulin et al.) was published together with a catalogue of aphyllorhizoid fungi of the Murmansk region (L. Isaeva, Yu. Khimich). Annotated lists of lichen flora of Russia (G. Urbanavichus) and diatoms of the Euro-Arctic region (L. Kagan) were published.

124 articles were published in principal national reviewed journals included into the list of the State Commission for Academic Degrees and Titles (“Agrochemistry”, “Botanical journal”, “Aquatic resources”, “Mining journal”, “Journal of applied chemistry”, “News of the RAS”, “Mycology and phytopathology”, “Soil science”, “Plant resources”, “Chemistry for sustainable development”, “Non-ferrous metals”, “Ecology”, “Ecology of the industrial production”, etc.). The range of the journals is the evidence of the wide scope of research issues in our Institute.

62 articles were published in foreign journals (“Chemosphere”, “Environ. Monit. Assess”, “Ecotoxicology and Environm. Safety”, “J. Environm. Science and Health”, “J. Environm. Monitoring” “J. Natural Science”, “J. Paleolimnol”, “Applied Vegetation Science”, “J. Environm. Science and Engineering”, “J. Mining World Express”, etc.).

The total volume of the published material is about **1000** published sheets. Three patents were received, including “Method of sorbent production” (A. Zosin et al.) and 2 certificates for electronic resources recording (A. Ladik and V. Masloboev et al.).

During this time 6 PhD defences were passed on the basis of the Institute. Not many, but there is still work to be done!

The well-known changes in the system of state management of scientific processes have come over the Institute. We should believe that these changes will improve the efficiency of researches. Under conditions of limited private financing of researches and in order to preserve the competitive performance of the Russian science it is necessary not only to increase manifold the government subsidy for the science but improve the competence of the staff managing the research and educational process in the country.

During centuries the science has proved its professional importance. Renaissance period was marked by an upsurge of creative effort and in no small measure of the scientific effort. Triumphant and deep are the words of the great Louis Pasteur: “Science should be the most sublime implementation of the Motherland, as out of all peoples the first one will be those which will be ahead of the others in brain work and mental performance”. I wish the people of Russia shouldn't neglect the scientific achievements of their fellow citizens. It is a good chance for political actors to stay in public memory not through their political speeches, but through establishing of good economic and social conditions for research welfare of the nation and continuing the tradition of Russian partnership which is still alive over the course of history of Russia.

The Murmansk region is an important economic region of the northern Russia characterized by highly developed mining, metal, energy production and transport industries. Being basically fundamental the studies performed at the INEP are aimed to solve a range of practical problems of the region.

The priority research areas are: fundamental knowledge on development trends in biosphere and technosphere; scientific basis for environmental optimization of nature management and development of technologies for restoration of disturbed landscapes in industrially developed regions of the North; studies of sustainability of northern ecosystems and medium-forming functions of the living nature; modeling and forecast of integrated impact of natural and technogenic factors on aqueous and terrestrial ecosystems in the Arctic.

It is the fifth time when specialists in various fields meet each other to discuss environmental issues of the northern regions and ways to solve them. The regular guests of the conference come from many Russian

cities: Moscow, St. Petersburg, Arkhangelsk, Vladivostok, Kazan, Kirov, Krasnojarsk, Magadan, Petrozavodsk, Pushchino, Syktyvkar, and cities of the Murmansk region: Murmansk, Kirovsk, Monchegorsk; Bor settle and Uspenskoe (Moscow region) and Yaksha (the Komi republic) settlements.

Our foreign colleagues from research centers of Kazakhstan, Ukraine, Finland and Denmark show a keen interest in the conference.

Every guest is welcome here. We hope that the meeting will be interesting and fruitful for each participant, that we will exchange our opinions on the state of the northern regions and their potential, on conservation of biota diversity in terrestrial and aqueous ecosystems and its functional activity. The materials submitted for the conference are full of promise. We offer our guests to visit our laboratories and excursions to several meaningful enterprises of the Murmansk region.

During the Sochi Olympic games in February the temperature was $+20^{\circ}\text{C}$, here we seldom have such temperatures even in July. Nevertheless, we love this place, it is a native region for many of us and we will work for the benefit of the Kola region and for the benefit of Russia.

There is a lot of youth in our Institute and I would like that altogether we could work effectively in our well-running profession which is Science.

Professor G. Evdokimova

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

Гершенкоп А.Ш.¹, Евдокимова Г.А.²

¹Горный институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

alex@goi.kolasc.net.ru

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

galina@inep.ksc.ru

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКУ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИЕЙ

В Мурманской области существенную значимость имеет горно-промышленный комплекс не только для региона, но и для страны в целом. Накопленные отходы в горно-промышленных регионах служат одной из причин возникновения неблагоприятных в экологическом отношении ситуаций. Они являются техногенными месторождениями, которые можно рассматривать как дополнительный сырьевой источник различного минерального сырья. Положение усугубляется тем, что долгие годы месторождения полезных ископаемых рассматривались как источник одного компонента, а остальные минералы, составляющие руду, отправлялись в отходы. Поэтому рассмотрение процессов, происходящих в хвостохранилищах, является актуальной проблемой с точки зрения их хранения и последующей переработки.

Отходы переработки различных руд являются открытой стационарной системой, где происходят различные физические и химические процессы. Жидкая фаза этой системы возвращается в технологический процесс, а с горно-обогажительного предприятия отходы поступают в хвостохранилище. Как и любая система, она стремится к равновесию, где стабилизируется ионный состав оборотной воды, к равновесию приходят и остальные параметры, характеризующие оборотную воду. Помимо ионного состава рассматриваемых оборотных вод впервые в практике переработки несulfидных руд флотацией нами был рассмотрен микробиологический фактор, в значительной степени влияющий на этот процесс. Так, при флотации апатита из апатит-нефелиновой руды отмечено отрицательное влияние различных бактерий, находящихся в оборотных водах (Евдокимова и др., 2008). Из всего многообразия присутствующих здесь бактерий было исследовано влияние на процесс флотации доминирующих видов: *Pseudomonas plecoglossicida*, *Ps. alcaliphila* и *Stenotrophomonas rhizophila*. Показано, что бактерии ухудшают флотируемость апатита за счет взаимодействия с активными центрами минералов и интенсивной флокуляции, приводящей к снижению селективности процесса флотации и ухудшению качества концентрата. Небольшие концентрации гипохлорита натрия (2-5 мг/л) ингибировали их жизнедеятельность и позволили сократить расход собирателей при флотации апатит-нефелиновых руд (Гершенкоп и др., 2005; Евдокимова и др., 2008).

Впоследствии работы, связанные с обогащением кианитовых руд, подтвердили сделанные выводы о влиянии микроорганизмов на флотацию несulfидных руд (Евдокимова и др., 2011; Evdokimova G.A. et al., 2013). В этих опытах было рассмотрено действие доминирующей в оборотных водах бактерии *Pseudomonas plecoglossicida*. При флотации с переменным титром бактерий от 10^3 до 10^8 кл/мл отмечалось падение флотируемости на 15-25% (рис. 1).

Приведенные результаты флотации кианита и выполненные ранее работы на апатите и кальците показали, что времени флотации достаточно для изменения флотационных свойств минералов несulfидных руд при воздействии бактерий. Ухудшение флотируемости, как показано ранее, вызывалось интенсивной флокуляцией материала во флотационной камере, что приводило к нарушению селективности его разделения, так и взаимодействием продуктов метаболизма с поверхностью минералов, а также образованием в жидкой фазе пульпы аналогичных соединений, что подтверждено кристаллооптикой и ИК-спектрами минералов, снятых до и после обработки бактериями.

Учитывая взаимодействие бактерий с поверхностью минералов за время, необходимое для флотации, следует ожидать изменение флотируемости минералов, находящихся в хвостохранилище.

Этому способствует их длительное пребывание в водной среде хвостохранилища, где численность бактерий значительна, особенно в летние месяцы.

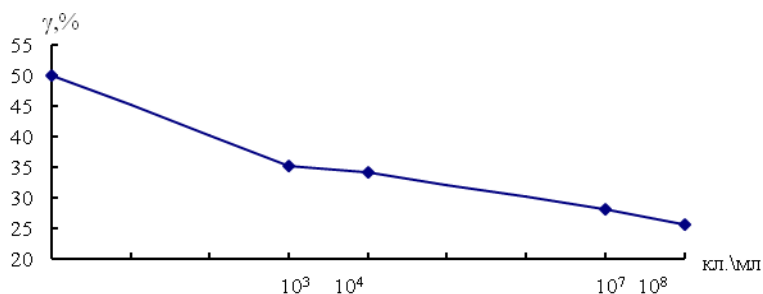


Рис. 1. Зависимость выхода кианита (γ, %) от численности бактерий *Pseudomonas plecoglossicida* (клетки/мл) при микрофлотах

Помимо вышеуказанных причин следует учитывать временной фактор пребывания здесь отходов, который исчисляется десятилетиями. Все эти причины должны вызывать трансформацию поверхности минералов, входящих в состав отходов.

Исследования по изменению поверхностных свойств минералов, входящих в состав отходов, были выполнены на примере апатита, нефелина и кианита. В этих опытах использовали бактерии *Pseudomonas fluorescens*, *Ps. plecoglossicida*, *Corynebacterium* sp., выделенные из оборотных вод и микроскопические грибы *Aspergillus niger*, выделенный из почв Кольского полуострова и, возможно, присутствующий в оборотных водах.

Наибольшая биодеструкционная активность при воздействии на апатит была выявлена у *Ps. plecoglossicida*, особенно по отношению к Р (табл. 1). Эта бактерия является доминирующей в оборотных водах, а, следовательно, и в жидкой фазе хвостохранилища.

Таблица 1

Содержание Р и Са (мг/л) в растворах с бактериями в опытах с апатитом

Время, сут	Питательная среда с апатитом стерильная	Питательная среда с апатитом и бактериями		
		Pseudomonas plecoglossicida	Pseudomonas fluorescens	Corynebacterium sp.
P ₂ O ₅				
12	43	145	13	48
CaO				
12	50	349	264	255

Аналогичные опыты были проведены в растворах с *Aspergillus niger*, где объектами исследований были нефелинсодержащие отходы (табл. 2).

Таблица 2

Динамика содержания макроэлементов (мг/л) в растворе с *Aspergillus niger* в опыте с нефелинсодержащими отходами

Время, сут	SiO ₂		Al ₂ O ₃		P ₂ O ₅		СаО	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
12	2.7	430.0	0.6	766.0	-	-	1.3	0.1
20	1.5	560.0	0.8	130.0	168.0	145.0	1.9	6.8
30	9.9	15.5	0.5	10.9	460.3	83.0	1.0	6.5
60	следы	78.5	0.9	9.7	387.2	116.0	0.3	4.9

Примечание. Контрольный вариант – с нефелинсодержащими отходами без *Aspergillus niger*; опытный вариант – с нефелинсодержащими отходами и *Aspergillus niger*.

При анализе полученных данных видно, что содержание элементов Al, P и Si определяется кислотнo-щелочным режимом среды: чем кислее среда, тем быстрее происходит деструкция минералов, входящих в состав отходов.

Добавление в исследуемую среду нефелинсодержащих отходов увеличивает грибную биомассу, по сравнению с контролем, что можно также связать с изменением значений pH в зависимости от времени (табл. 3).

Таблица 3

Динамика изменения биомассы *Aspergillus niger* (г) и значений pH
в опытах с нефелинсодержащими отходами

Время контакта, сутки	Биомасса		pH	
	контроль	опыт	контроль	опыт
0	-	-	4.09	5.68
12	0.38	0.94	1.98	5.66
20	0.47	0.81	2.15	8.91
30	0.49	0.75	2.10	8.97
60	0.44	0.73	2.28	9.20

Примечание: Контрольный вариант – среда с *Aspergillus niger* без внесения отходов; опытный вариант – среда с *Aspergillus niger* с внесением отходов.

Как видно из таблицы 3, исходное значение pH составляло 4.09. Уже через 12 суток в контрольном варианте произошло значительное снижение pH за счет активной продукции грибом лимонной кислоты, что характерно для метаболизма этого гриба (Каравайко и др., 1972). Полагают, что образование лимонной кислоты – наиболее частый биохимический процесс у грибов (Henderson, Duff. 1963). Значения pH были до конца опыта на уровне 2.1-2.3. В варианте с внесением нефелинсодержащих отходов, обладающих щелочной реакцией, значения pH в течение двух недель было на уровне 5.7. Увеличение времени контакта вызвало рост значений pH до 8.9-9.2, что, вероятно, вызвано не столько со значительным выщелачиванием SiO₂ и Al₂O₃, а с выщелачиванием щелочных и щелочноземельных элементов Na, K, Ca.

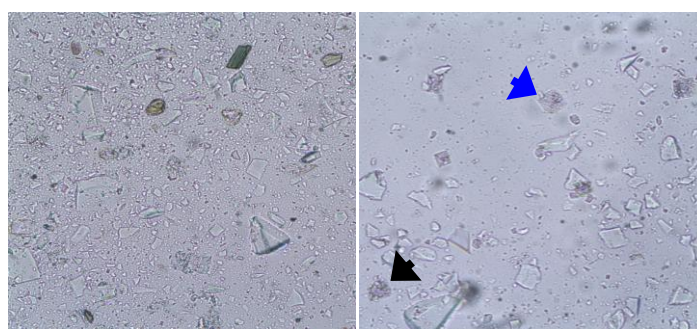
Ухудшение флотиремости кианита, как слабо растворимого алюмосодержащего представителя несulfидных руд в отличие от нефелина, как отмечалось выше, вызвано изменением поверхности кианита, влиянием бактерий на его растворимость. Изменение растворимости под воздействием этого фактора прослежено во временном интервале (табл. 4).

Таблица 4

Содержание оксидов кремния и алюминия (мг/л) в растворе
с *Pseudomonas plecoglossicida* в опыте с кианитом

Время, сут	SiO ₂		Al ₂ O ₃	
	контроль	опыт	контроль	опыт
12	20.4	152.2	18.4	293.0
40	21.8	226.7	20.1	468.2

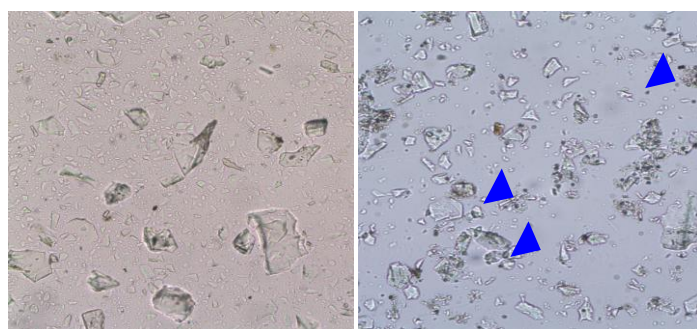
Бактерии *Pseudomonas plecoglossicida*, используемые в опытах с кианитом, также явились активными кислотообразователями, снизив значения pH питательной среды с 6.6 до 3.6 в течение первых 12 суток. Однако содержание SiO₂ и Al₂O₃ в полученных растворах с бактериями не связано с такими значениями pH, а скорее всего эти компоненты сорбируются бактериями, изменяя поверхность минерала. Так, при снятии ИК-спектров на Фурье-спектрометре Nicolet 6700 в диапазоне 4000-400 см⁻¹ видны изменения поверхности апатита и кианита под воздействием органических кислот, синтезируемых бактериями и грибами. Наибольшие изменения поверхности апатита происходят при воздействии *Aspergillus niger*. При рассмотрении жидкой фазы у апатита и нефелина под микроскопом видны кристаллы оксалата кальция и алюминия, наличие которых подтверждено рентгенофазовым анализом и оптическими методами (рис. 2, 3). На ИК-спектрах нефелина полосы поглощения 1698, 1713 и 1417 см⁻¹ относятся к образованию оксалата алюминия.



Апатит исходный Апатит + *Aspergillus niger*

Рис. 2. Воздействие *Aspergillus niger* на апатит

- ▲ - оксалат кальция в виде кристаллов
- ▲ - оксалат кальция в аморфизованном виде



Нефелин исходный Нефелин + *Aspergillus niger*

Рис. 3. Воздействие *Aspergillus niger* на нефелин ▲ - оксалат алюминия

Под воздействием бактерий изменяются поверхностные свойства минералов в результате образования труднорастворимых комплексных соединений между органическими кислотами и катионами кристаллической решетки. Как показали инфракрасные спектры кианита, наиболее значимые изменения по сравнению со спектром исходного кианита отмечены при воздействии на него кислотообразующей бактерии *Pseudomonas plecoglossicida* в течение 12 сут (рис. 4). Инфракрасные спектры кианита прямо свидетельствуют об общей аморфизации кристаллической структуры кианита в кислой среде, обусловленной жизнедеятельностью бактерии *Pseudomonas plecoglossicida*. В щелочной среде под воздействием *Rhodococcus erythropolis* значимых изменений полос поглощения по сравнению с исходным спектром кианита не отмечается.

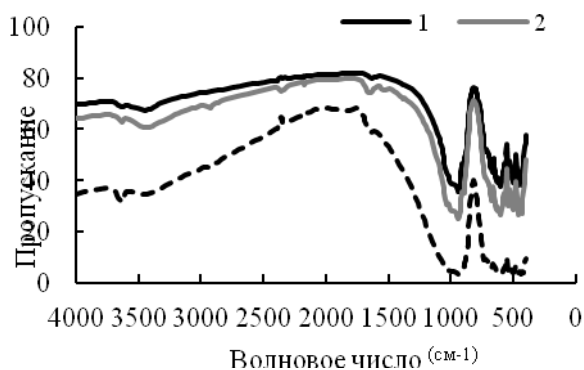


Рис. 4. Инфракрасные спектры кианита. 1 – кианит исходный; 2 – кианит после воздействия щелочеобразующей бактерии *Rhodococcus erythropolis*; 3 – кианит после воздействия кислотообразующей бактерии *Pseudomonas plecoglossicida*, (время воздействия 12 сут.)

Проведенные исследования показали изменение поверхностных свойств минералов, что подтвердилось при флотации мономинеральной разности кианита крупностью менее 100 мкм. Минерал такой крупности подвергался обработке бактериями *Pseudomonas plecoglossicida* в течение 14 суток. Такой же операции подвергался кианит без бактерий. Затем обработанные таким образом минералы флотировались в аппарате по беспенной флотации анионными собирателями. Результаты опытов приведены на рис. 5. При исследовании поверхности кианита выявлена общая аморфизация кристаллической структуры кианита под действием кислотообразующей бактерии *Pseudomonas plecoglossicida*, выделенной из оборотной воды апатитнефелиновой фабрики.

Данные этих опытов свидетельствуют об отрицательном влиянии хранения минералов на их флотацию в хвостохранилищах, где время воздействия на них бактерий будет исчисляться десятилетиями.

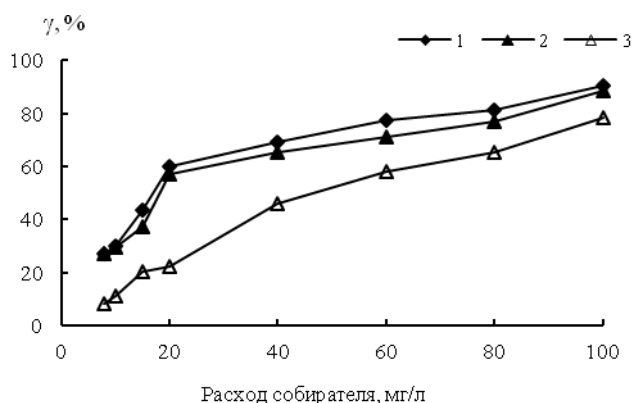


Рис. 5. Выход кианита в процессе флотации на водопроводной воде (γ , %). 1 – кианит, не обработанный бактериями; 2 – кианит, обработанный питательным раствором без бактерий; 3 – кианит, обработанный бактериями в течение 14 сут.

Так, при вовлечении в эксплуатацию хвостохранилища, где складированы хвосты обогащательной фабрики периода, когда Ковдорский ГОК выпускал только железный концентрат, наблюдалась следующая картина. За период существования этого хвостохранилища произошла сегрегация материала. Верхние слои представляли крупный материал. Обогащался он легко доизмельчением до требуемой флотационной крупности. Однако нижние слои, представляющие собой мелкий продукт, готовый к флотации, характеризовался плохой флотируемостью. Используемая здесь дезинтеграция не исправляла положения. По нашему мнению затруднения в его переработке вызваны изменениями, происходящими на поверхности под влиянием бактерий.

Следовательно, хранение отходов отрицательно влияет на последующую их переработку флотацией. На данной стадии исследований можно рекомендовать единственный путь их последующего обогащения – полное обновление поверхности минералов, которое можно достигнуть доизмельчением хвостов независимо от их крупности. Параллельно требуется искать альтернативное решение, заключающееся в ингибировании жизнедеятельности бактерий в жидкой фазе хвостохранилищ.

Литература

1. Гершенков А.Ш., Евдокимова Г.А., Воронина Н.В., Креймер Л.Л. Влияние бактериального компонента оборотных вод на флотацию несulfидных руд на примере ОАО «Апатит» // Инженерная экология, 2005. № 3. С. 51-56.
2. Евдокимова Г.А., Гершенков А.Ш., Воронина Н.В. Микробиологические процессы в системе добычи и переработки апатит-нефелиновых руд с использованием оборотного водоснабжения. Изд. «Наука», 2008. 102 с.
3. Евдокимова Г.А., Гершенков А.Ш., Мозгова Н.П., Фокина Н.В. Биогенная деструкция алюминийсодержащих материалов на примере нефелина и кианита // Цветные металлы. 2011. № 11. С. 13-16.
4. Каравайко Г.И., Кузнецов С.И., Голомзик А.И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. М.: Наука, 1972. 248 с.

5. *Henderson M.E.K., Duff R.B.* The release of metallic and silicate ions from minerals, rock and soil by fungal activity // J. Soil Sci, 1963. Vol. 14. N 2.
6. *Evdokimova G.A., Gershenkop A.Sh. and Fokina N.V.* The impact of microorganisms of circulating water on apatite-containing ores flotation and conservation of tailings // J. of Mining World Express (MWE), 2013. V. 2. Iss. 1. P. 1-8.

Калабин Г.В.

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва
kalabin.g@gmail.com*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Традиционной формой экологического контроля, как известно, является оценка изменения ландшафта и природной среды во времени, связанные с интенсивной деятельностью человека, т.е. оценка экологического риска. Именно следствие - нарушенность природных экосистем, определяющее качество среды, благоприятной для обитания человека и состояние здоровья населения в совокупности определяет статус территорий размещения предприятий по освоению георесурсов и позволяют ранжировать их по степени экологической опасности. Без знаний траектории экосистемных сукцессий нельзя предложить адекватные требования к применяемым технологиям, обеспечивающим реализацию сохранившегося природного потенциала.

Россия с середины прошлого столетия стала крупной сырьевой державой мира и обладает многочисленными промышленными запасами минерального сырья. Обострение экологических проблем при добыче и переработке полезных ископаемых, связанное с их масштабностью и географией размещения месторождений по обширной территории нашей страны требует постоянного мониторинга состояния природной среды.

Проблема усугубляется тем, что в стране отсутствует эффективная система экологического мониторинга, которая не модернизировалась с 80-х годов прошлого века и не позволяет объективно оценить состояние окружающей среды на региональном и локальном уровне в масштабе реального времени. Для этого требуются значительные ресурсы, а главное - длительный период наблюдений. Альтернативным решением проблемы могут стать методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), для которых характерны высокие темпы развития и быстрое получение практически значимых результатов.

Как известно, сбалансированность биосферы определяется круговоротом вещества и энергии во всех ее составных частях структуры. Скорость протекания обменных процессов разная в различных средах. Возможность природы восстанавливать естественный круговорот в биосфере, в первом приближении можно отождествлять с ассимиляционным потенциалом биосферы – ее способности усваивать и перерабатывать отходы хозяйственной деятельности человека, нивелировать энергетические, вещественные потоки за счет круговорота вещества и энергии. Время необходимое на воспроизводство качества окружающей среды в рамках структуры и функции биосферы (окружающей среды), представляет собой инертность системы, а возвратное состояние ее инерционность.

Из сравнения известных данных, следует, что почвы и поверхностные воды являются наиболее уязвимыми и менее инерционными сферами. Причем, если водоемы были и остаются аккумуляторами загрязняющих веществ, которые частично выносятся речными водотоками, но в основной массе концентрируются в донных осадках, то почвы в условиях снижения техногенных нагрузок становятся основным источником загрязнения поверхностных вод за счет длительного процесса накопления и не менее длительного последующего вымывания из них не связанных загрязняющих веществ, в первую очередь, тяжелых металлов. Одним из наиболее характерных негативных последствий антропогенного воздействия является фитотоксичность почв и как следствие их эрозия. Фитотоксичным считается такое содержание металла в почве, которое снижает продуктивность растений на 10% по сравнению с чистым контролем.

Используя показатель степени фитотоксичности почв, можно получить сравнительную характеристику территориальных единиц, а также определить уровень техногенной нагрузки. Таким образом, появляется возможность минимизации измерения параметров биосферы при осуществлении мониторинга состояния окружающей природной среды, исходя из концепции иерархической

инертности компонентов окружающей среды (рис.1). Поскольку режим питания и плодородие почв определяют наличие и объем биомассы на конкретной территории, необходимо и достаточно контролировать динамику растительного покрова. Растительный покров – это, возможно, самый важный биофизический индикатор деградации земель. Исследования растительности проводятся в период вегетации с использованием, так называемого, индекса растительности. Для различных климатических условий продолжительность периода вегетации будет различным. Отсюда следует, что биомасса служит интегрированной мерой биологической производительности. Ее отклонение от местной нормы можно считать мерой деградации.

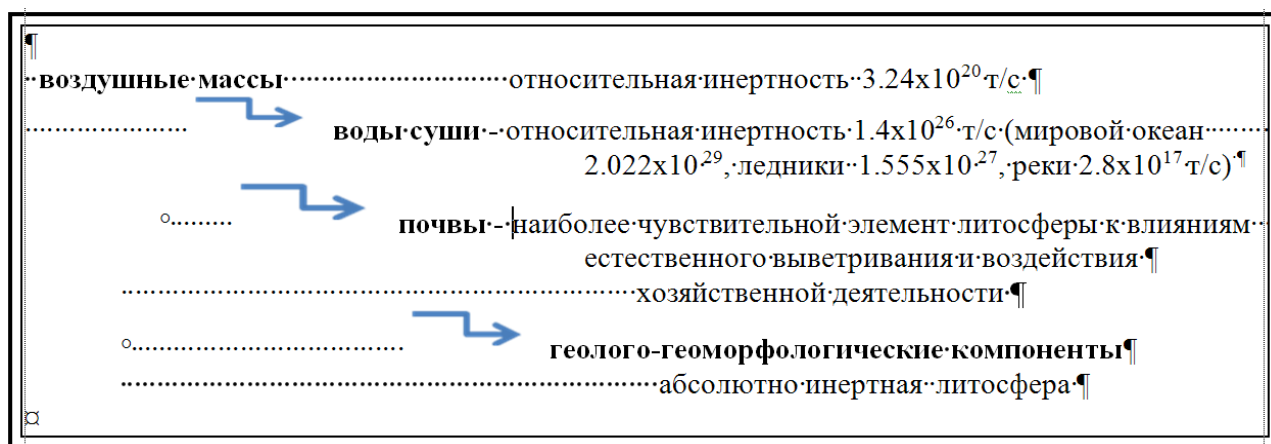


Рис. 1. Иерархический порядок инертности компонентов природы

Таким образом, объективным информативным показателем степени нарушенности территории становится состояние почвенного покрова, а критерием - динамика и тренды изменения объема биомассы. Тогда, нулевой тренд объема биомассы во времени свидетельствует о равновесии природно-техногенных сфер в целом для данной техногенной нагрузки, в климатических и геохимических условиях конкретного региона. Отрицательный тренд демонстрирует процесс деградации окружающей среды. Положительный тренд - наличие процесса восстановления растительного покрова за счет проявления сохранившегося природного потенциала территории.

Значительная неоднородность пространственного уровня фоновое загрязнение атмосферы, обусловленную неравномерностью географического размещения источников загрязнения различного масштаба воздействия и большой зависимостью качества поверхностных водоемов и почв, расположенных вблизи источников загрязнения, предопределяет необходимость более детального изучения динамики состояния природной среды на региональном уровне с выделением локальных территорий повышенного экологического риска. Однако существующая система мониторинга в России, не позволяет получать экологическую информацию локального масштаба в реальном времени.

Современные средства ДЗ позволяют по спектральным характеристикам опознавать различные виды растительности, например: хвойные и лиственные породы деревьев. Если растение испытывает стресс, его спектральные свойства изменяются. При стрессе растительности (химическом или водном) наблюдается рост КСЯ в видимом и ближнем ИК диапазонах. К простейшим спектральным методам относятся методы определения вегетационных индексов, среди которых наибольшее распространение получил Нормированный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI) (рис.2).

Результаты практического использования разработанной методологии для мониторинга растительного покрова на региональном и локальном уровне для экологической оценки деятельности конкретного предприятия или комплекса производств проиллюстрированы на примере 5 предприятий горнопромышленного комплекса России.

Выбор предприятий основывался, в первую очередь, на многообразии климатических зон их расположения. Во-вторых, различными минеральными видами полезных ископаемых с различной степенью токсичности первичных руд и отходами производства. В-третьих, различными вариантами архитектурно-планировочного построения промышленной площадки подземного рудника и генерального плана карьеров, основу которых составляет технологический комплекс, а также

применяемые геотехнологии, способ вскрытия и длительность функционирования предприятия. Кроме того, выбраны предприятия, в составе которых имеется металлургическое производство и достаточно крупный населенный пункт (ОАО «Североникель» (г. Мончегорск Мурманская обл.), Карабашмедь» (г. Карабаш, Челябинская обл.).

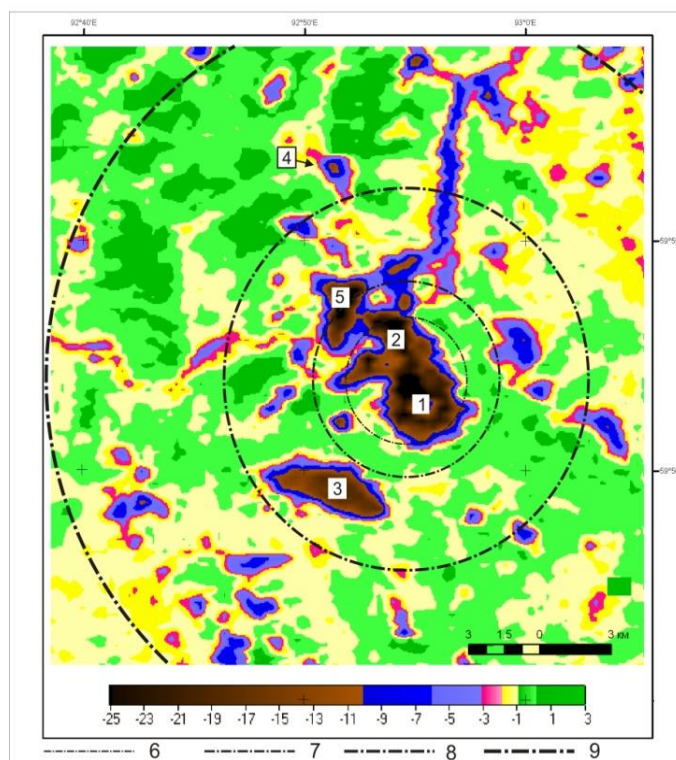


Рис. 2. Фрагмент карты летнего НДВИ, территории на которой расположен Олимпиадинский ГОК (Красноярский край)

Условные обозначения: Цветная шкала представлена в стандартных отклонениях, вычисленных для НДВИ лесов внешней (не нарушенной) кольцевой зоны, ограниченной окружностями диаметром 60 км и 120 км. Цифрами обозначены: 1 – Карьер «Восточный»; 2 – Карьер «Западный»; 3 – Голец «Енашимский Полкан»; 4 – Золоторудное месторождение «Титимухта». 5 – Хвостохранилище. Внешние границы кольцевых зон, в пределах которых изучалось влияние Олимпиадинского ГОКа на окружающие экосистемы диаметрами: 6 – 5 км; 7 – 8 км; 8 – 15 км; 9 – 30 км; Границы в 60 км и 120 км расположены за пределами данного фрагмента карты

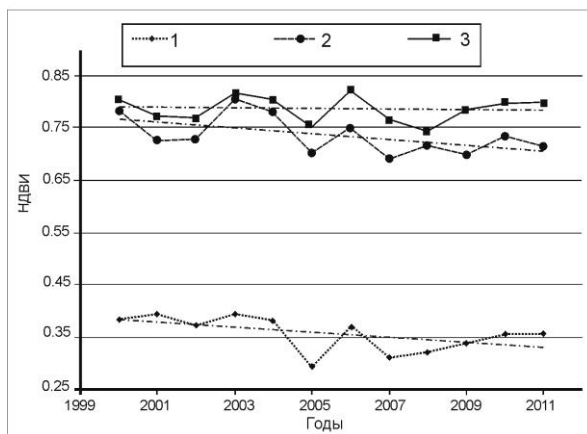


Рис. 3. Годовые вариации средних значений НДВИ в июле месяце (193-ий день года) за период с 1999 г по 2011 г для кольцевых зон территории размещения Сорский ГМК (Хакасия), ограниченных

окружностями с диаметрами (см. условные обозначения): 1 – 0-5 км; 2 – 5-8 км; 3 – 62-96 км (фон). Штрих-пунктиром показаны многолетние тренды

Полученные результаты показывают возможность использования предложенной методологии для решения ряда прикладных экологических задач, в частности – ранжирование предприятий по степени негативного воздействия на окружающую среду, проведение независимой оценки экологической эффективности модернизации того или иного производства, прогнозирование трендов состояния окружающей среды при существующей и определение величины допустимой техногенной нагрузки.

Капелькина Л.П.

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

САМОЗАРАСТАНИЕ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРА РОССИИ

В настоящее время в связи с исчерпанием и ограничением запасов полезных ископаемых в районах с благоприятным климатом северные регионы страны становятся основными центрами добычи минеральных и энергетических ресурсов. Освоение ресурсов Севера сопровождается значительным техногенным воздействием на природные экосистемы.

На Севере России в настоящее время добываются практически все виды полезных ископаемых, имеющихся в стране. На Кольском полуострове земли, нарушенные при разработке месторождений, добыче, переработке полезных ископаемых и сопутствующих работах, представлены отвалами вскрышных пород, бедных и забалансовых руд, хвостохранилищами и отстойниками, карьерами, образовавшимися в результате добычи рудного и нерудного сырья. Север Европейской части и Западной Сибири - это, прежде всего, объекты нефтяной и газовой промышленности, представленные насыпными буровыми площадками, газо- и нефтепроводами, полигонами по захоронению токсичных отходов. Чукотский автономный округ и Магаданская область - основной регион страны по добыче россыпного золота, где дражные отвалы, приуроченные к долинам рек, являются типичными ландшафтами региона. Следствием освоения минеральных ресурсов и углеводородного сырья, сопровождаемого значительным техногенным воздействием на компоненты природной среды, явилось масштабное нарушение территории и сложившегося равновесия в экосистемах не только на отведенных площадях, но и на прилегающих к разработкам территориях. Геоэкологический фактор является ведущим для экосистем Севера и функционирование природных комплексов северных регионов зависит от его изменений. В этом регионе процессы антропогенной трансформации литогенной основы ландшафта во многом определяют экологическую безопасность развития различных отраслей народного хозяйства. Одной из важных проблем, стоящих перед северными регионами, является сохранение устойчивости экосистем в условиях возрастающего техногенного воздействия.

Большое значение в вопросах оптимизации техногенных ландшафтов и естественного восстановления нарушенных земель имеет познание адаптационных способностей растений в различных регионах Севера, изучение особенностей рельефа и свойств техногенных субстратов, на которых идет наиболее активное самозарастание, с тем, чтобы используя эти факторы содействовать ускорению процессов естественного зарастания. Важное значение для поселения и роста растений на нарушенных землях имеет плотность пород, поскольку именно плотность пород часто является одним из основных лимитирующих факторов, сдерживающих как самозарастание отвалов, так и приводящим к гибели посадок на рекультивируемых землях в последующие годы.

Начальная стадия работ при разработке месторождений связана с уничтожением почвенно-растительного покрова. Растительность и почвы являются уникальными природными компонентами, обеспечивающими базальтернативную возможность существования человека и живых организмов. Сохранение и восстановление их - основное условие успешного функционирования наземных экосистем. Длительные и детальные исследования по восстановлению растительности на нарушенных землях позволяют выявить особенности формирования, структурного строения и функционирования

северных биогеоценозов и на этой основе разработать предложения по стимулированию процессов самозарастания. Восстановление почвенно-растительного покрова имеет определяющее значение для сохранения биосферной и экологической стабильности северных регионов.

Возможность и скорость восстановления растительного покрова на нарушенных землях Российского Севера не однородны и определяются многими критериями. Одни участки довольно успешно зарастают растительностью без вмешательства человека, другие требуют проведения рекультивационных работ. Главная цель рекультивации нарушенных земель на Севере – это снижение отрицательного влияния нарушенных земель на окружающую среду, восстановление стабильности поверхности, эстетической привлекательности ландшафта и возможной продуктивности земель. Важной задачей в этом регионе является упрощение и удешевление работ по восстановлению нарушенного почвенно-растительного региона и использование для этих целей сил самой природы.

Самозарастание нарушенных земель на многих месторождениях Российского Севера до настоящего времени занимает ведущее положение в процессах формирования растительности, и знание его особенностей позволит разработать мероприятия по ускорению этого процесса. Рациональное складирование горных пород и отходов производства, обеспечивающее возможность поселения и развития растений (Капелькина, 1982) должно быть основным направлением при восстановлении растительного покрова.

Восстановление растительного покрова на нарушенных землях определяется несколькими факторами, влияющими как на скорость самозарастания так и на успешность работ по биологической рекультивации.

1. Эдафические показатели: состав и свойства пород, вынесенных на поверхность. Неблагоприятные значения рН (избыточная щелочность или кислотность), наличие засоления, высокое количество доступных для растений форм тяжелых металлов, низкая степень обеспеченности питательными веществами, физические показатели: чрезмерная плотность укладки пород, их низкая влагоемкость, проявление эрозионных процессов и т.п. являются факторами, сдерживающими самозарастание нарушенных земель. Чем менее выражены отличия в свойствах грунтов нарушенных и прилегающих к ним естественных территорий, тем успешнее протекает восстановление почвенно-растительного покрова.

2. Биологические особенности растений. Правильность подбора ассортимента высеваемых трав при рекультивации нарушенных земель существенным образом влияет на скорость восстановления и устойчивость растительного покрова. Важное значение имеет осуществление посева семенами растений, адаптированными к условиям среды, учет потребности высеваемых видов растений к почвенным и экологическим условиям.

3. Природно-климатические, микроклиматические и экологические условия в зоне проведения восстановительных работ. Проявления криогенных процессов, оползневые и эрозионные процессы, наличие атмосферного загрязнения и другие факторы негативно влияют на восстановление почвенно-растительного покрова.

Среди различных по химическому составу и физическим свойствам пород, образующихся при разработке месторождений, строительстве трубопроводов, дорог и т.п. практически в каждом регионе можно выделить техногенные субстраты и отработанные нарушенные участки, зарастающие с различной скоростью, которые без риска для окружающей среды можно оставлять под самозарастание. На наш взгляд, должны быть разработаны положения и рекомендации, в которых бы была четко обоснована и нормативно закреплена возможность оставления части отработанных участков под самозарастание.

Значительные площади на Кольском полуострове занимают породные отвалы горнорудных предприятий. Их площади и высотные отметки имеют тенденцию к росту. Для разрабатываемых месторождений характерно резкое преобладание скальных пород во вскрыше, отсутствие или недостаток рыхлой массы. Литологическая неоднородность субстратов, создаваемая при проведении горных работ, различная удаленность отвалов от источников образования семян - естественных ненарушенных участков, высота и форма породных отвалов, крутизна откосов и другие факторы влияют на возможность поселения растений и скорость самозарастания. Процесс естественного формирования растительного покрова на отвалах длителен. По нашим наблюдениям и предположениям отвалы, сложенные крупнообломочными скальными породами, лишенными мелкозема, не способны к естественному зарастанию в течение столетий и даже тысячелетий.

В то же время вопрос об искусственном восстановлении растительности на отработанных породных отвалах весьма сложен. Зонально-географические и горно-геологические условия

месторождений, система их разработки, свойства складированных пород (резкое преобладание скальных пород), технико-экономические показатели восстановления свидетельствуют о не реальности повсеместного проведения рекультивационных работ. Ущерб для населения и окружающей среды, наносимый породными отвалами, по сравнению с хвостохранилищами незначительный, и сводится к исключению из производственного процесса больших земельных площадей, сведению северных лесов, выполняющих средозащитную, климаторегулирующую и почвозащитную роль. Ограниченное проведение рекультивационных работ целесообразно на участках, граничащих с жилой застройкой.

Сложной проблемой является восстановление нарушенных земель в зонах влияния выбросов металлургических предприятий. Опубликованные в научной литературе методы реабилитации включают такие технологии как промывка загрязненных земель водой и слабыми растворами кислот, выемка загрязненных грунтов и замещение их чистыми привозными почвогрунтами, связывание тяжелых металлов для снижения их доступности путем внесения химических веществ: сорбентов, мелиорантов, улучшение питательного статуса, подбор устойчивых к атмосферному загрязнению растений, выращивание видов, накапливающих в своих тканях повышенные количества тяжелые металлы и т.д. (Калацкая, 1997; Лукина и др., 2001; Никонов и др., 2005; Копчик, 2012).

Следует отметить реальную сложность практической реализации предложений. Промывание почв водой понижает количество загрязняющих веществ в почвах, но увеличивает их концентрацию в другой природной среде - воде. Промывка растворами кислот снижает в почвах содержание не только вредных, но и питательных элементов, приближая почву к горной породе. Выращивание на загрязненных землях растений, аккумулирующих металлы, обуславливает необходимость решения проблемы их последующей утилизации. Эти вопросы требуют решения.

В 2008-2013 годах на техногенной пустоши в окрестностях горно-металлургического комбината «Североникель» под Мончегорском М.В. Слуковской (2013) совместно с Л.А. Ивановой проведены экспериментальные работы по использованию отходов горного производства – карбонатитовых пород ОАО «Ковдорский ГОК» и серпентинитомagneзита вскрыши Халиловского месторождения магнезита. Получены положительные результаты по использованию этих минеральных субстратов для фиторекультивации.

В то же время говорить о длительности мелиоративного эффекта при нанесении щелочных отходов на поверхность кислых почвогрунтов, утративших под влиянием выбросов свое плодородие, сложно. Пока не ясно, каковы будут значения pH через 10-15 лет? Будет ли мелиоративный эффект в последующие годы столь же отчетливым, как в первые годы эксперимента? Насколько длительным и эффективным будет сорбционный барьер щелочных мелиорантов по отношению к задержанию в поверхностном слое тяжелых металлов или спустя определенное время он будет существенно снижен или вообще исчезнет? Каково предельное количество накопления тяжелых металлов в верхнем нанесенном слое щелочных пород? Все эти вопросы нуждаются в дополнительном изучении.

Учитывая, что коренные экосистемы под Мончегорском это северо-таежные леса, на наш взгляд, целесообразно введение в создаваемые луговые сообщества местных видов берез и ив, семена и черенки которых будут отобраны в зоне атмосферного загрязнения. Сохраняющиеся в зоне загрязнения отдельные экземпляры древесных растений свидетельствуют об их большей устойчивости по сравнению с высеваемыми многолетними травами. По данным Полярной опытной станции ВИРа многолетние луга в условиях Мурманской области нуждаются в пересеве через 6-8 лет. Хотелось бы подчеркнуть целесообразность внесения в небольших количествах отсутствующих в породах соединений азота, и проведение подкормок физиологически щелочными, а не физиологически кислыми, распространенными на северо-западе, удобрениями.

Нарушенные земли на месторождениях Севера находятся на различных стадиях. На Кольском полуострове подавляющая часть нарушенных земель находится в эксплуатации: в карьерах продолжается добыча руды, хвостохранилища обогатительных фабрик заполняются пульпой, изменяются высотные отметки породных отвалов и площади заняты ими. В Ненецком автономном округе осуществляется добыча нефти на одних месторождениях, ведется обустройство новых, активно проводятся геологоразведочные и поисковые работы. В Магаданской области, в Якутии в долинах рек можно встретить отвалы, трижды пройденные драгой, то есть неоднократно переработанные. Изменение цен на мировом и российском рынке, совершенствование технологий добычи и переработки россыпного золота обуславливают необходимость повторной переработки отдельных отвалов.

Говоря о проблеме рекультивации в условиях Севера, необходимо представлять и сопоставлять затраты на восстановление нарушенных земель и эффективность проведенных мероприятий.

К сожалению, следует признать, что это слабо проработанный вопрос. Если технологические вопросы восстановления нарушенных земель отражены в сотнях опубликованных работ, то по экономическим вопросам публикаций явно недостаточно, а эти вопросы крайне важны, так как в большинстве случаев хозяйственного эффекта от проведения рекультивации на севере не наблюдается. Здесь важен социальный и экологический аспекты восстановления нарушенных земель. В настоящее время северные районы Европейской части и Западной Сибири являются основными нефтегазодобывающими районами и одновременно местом проживания коренных народностей, для которых потеря пастбищных угодий - жизненно важный вопрос. Поэтому восстановление оленеводческих пастбищ на отработанных территориях в местах проживания народов Севера весьма актуально и важно.

Восстановление нарушенных ландшафтов должно предусматриваться на основе учета особенностей нарушений, обусловленных техногенным воздействием при разработке различных месторождений: рудных полезных ископаемых, добычи нефти и газа, общераспространенных строительных материалов и т.д. Природно-климатические условия, наличие многолетнемерзлых пород и эдафические показатели горных пород - важные критерии, определяющие возможность естественного зарастания нарушенных земель и успешность восстановительных работ при искусственной рекультивации.

На основе многофакторного анализа нами разработаны критерии, влияющие на выбор направления рекультивации в регионах Севера.

В качестве критериев рассматриваются такие показатели:

А. Социальные и хозяйственные условия региона

1. Потребность региона в площадях того или иного назначения.
2. Характер предыдущего использования земель (земли традиционного природопользования, ООПТ и т.п.).
3. Транспортная доступность, близость к населенным пунктам.
4. Реальность выполнения рекультивации.

Б. Эдафические показатели

1. Состав и свойства пород и отходов, вынесенных на дневную поверхность, пригодность их к биологической рекультивации: наличие токсичности, засоления, низкие или высокие значения pH, неблагоприятный гранулометрический состав и др.
2. Наличие плодородного слоя почвы, потенциально плодородных пород и иных субстратов, пригодных для проведения рекультивационных работ.
3. Рельеф нарушенных территорий: высота отвалов, уклоны поверхности, крутизна откосов, их устойчивость, наличие эрозионных, оползневых проявлений и др.
4. Наличие на нарушенных и прилегающих участках многолетнемерзлых пород, склонных к термокарстовым проявлениям, оврагообразованию, солифлюкции, подтоплению и т.п. Прогноз развития ситуации на нарушенных землях во времени и пространстве.
5. Вид добываемого полезного ископаемого, глубина залегания, технология разработки месторождения, определяющие характер нарушения земель.

В. Экологические факторы

1. Степень отрицательного влияния нарушенных земель на окружающую среду.
2. Прогноз возможности естественного зарастания нарушенных земель.
3. Природно-климатические условия местности, географическая зона (тундра, лесотундра, северная тайга).

Г. Техничко-экономические показатели

1. Стоимость восстановления 1 га нарушенных земель.
2. Эффективность капиталовложений.

На основе комплексного анализа критериев определены направления рекультивации нарушенных земель для северных регионов России.

Для месторождений Кольского полуострова:

- санитарно-гигиеническое направление - для отработанных хвостохранилищ обогатительных фабрик и мест аварийного сброса пульпы.
- комбинированное, включающее при близком уровне грунтовых вод создание водоемов в понижениях техногенного рельефа (водохозяйственное направление), посадку семян, саженцев, черенков на повышенных участках откосов (лесохозяйственное направление), посев многолетних трав.
- содействие естественному зарастанию отвалов, сложенных скальными породами, заключающееся в рациональном складировании вскрышных пород с учетом возможности их естественного зарастания.

Для **Ненецкого автономного округа**, где свыше 90% земель нарушено при разработке нефтяных месторождений, приняты 3 направления рекультивации:

- сельскохозяйственное – создание оленьих пастбищ на нарушенных землях традиционного природопользования и особо охраняемых природных территорий (ООПТ).
- водохозяйственное – создание в понижениях техногенного рельефа водоемов.
- санитарно-гигиеническое - создание фитоценозов противозрозионного и почвозащитного назначения на откосах промышленных площадок, отработанных полигонах по захоронению бытовых и промышленных отходов, геологоразведочных площадках с целью предотвращения эрозионных, термокарстовых и других негативных процессов.

Для Севера Западной Сибири

- выполнение технического этапа рекультивации геологоразведочных площадок;
- оставление под естественное зарастание нарушенных участков с благоприятным прогнозом их самозарастания: отдельные участки зимников, сейсмопрофили, линии электропередач, нарушенные участки незначительной площади в болотном типе ландшафта;
- лесохозяйственное - на землях лесного фонда, пригодных для лесоразведения;
- осуществление комплекса природоохранных работ по реабилитации территорий при аварийных разливах нефти.

Анализ состояния земель, экологическая ситуация в районах добычи и переработки полезных ископаемых, долгосрочный прогноз развития нарушенных, самозарастающих и рекультивированных территорий, разработка и внедрение адаптированных технологий рекультивации должны лежать в основе рационального использования земель как в северных, так и в других регионах России.

Литература

1. *Калацкая М.Н.* «Питательный режим подзолистых почв еловых лесов Кольского полуострова и его регулирование в условиях аэротехногенного загрязнения. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Апатиты, 1997. 21 с.
2. *Капелькина Л.П.* Формирование отвалов в условиях Севера с учетом их самозарастания и рекультивации // Проектирование открытой и подводной разработки месторождений. Л., 1982. С. 99-102.
3. *Копцик Г.Н.* Трансформация и устойчивость почв лесных экосистем под воздействием атмосферного загрязнения. Дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2012. 410 с.
4. *Лукина Н.В., Никонов В.В., Калацкая М.Н.* Коррекция питательного режима еловых лесов Севера в условиях аэрального загрязнения методом внесения удобрений // Лесоведение, 2001. № 6. С. 1-11.
5. *Никонов В.В., Лукина Н.В., Исаева Л.Г., Горбачева Т.Т., Белова Е.А.* Восстановление территорий, нарушенных воздушным загрязнением медно-никелевого производства на Кольском полуострове // Инновационный потенциал Кольской науки. Сб. науч. тр. Т. 2. Апатиты. Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 284-288.
6. *Слуковская М.В.* Экологическое обоснование использования минеральных субстратов для фиторекультивации техногенной пустоши в условиях Субарктики. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2013. 23 с.

Кашулин Н.А., Кашулина Т.Г.

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ РЕСУРСОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

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. Пресные воды служат источниками энергии, водоснабжения населения и промышленных объектов, транспортными артериями многих регионов, объектами коммерческого и спортивного рыболовства, рыбоводства, рекреационными объектами,

способствующих развитию туризма, отдыху и оздоровлению населения, имеют важное эстетическое и духовное значение (рис. 1).

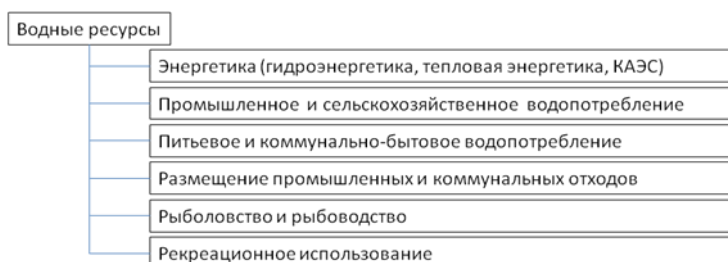


Рис. 1. Структура использования водных ресурсов Мурманской области

Выделяются два компонента этих ресурсов: собственно водные и биологические, включающие рыбные ресурсы. Ресурсный потенциал поверхностных вод определяется не только количественными показателями, но и качественными, включающими показатели качества вод, структурно-функциональные показатели сообществ гидробионтов. В Мурманской области, несмотря на значительные запасы пресных вод, наблюдается их стремительная деградация, обусловленная целым рядом причин (рис. 2).

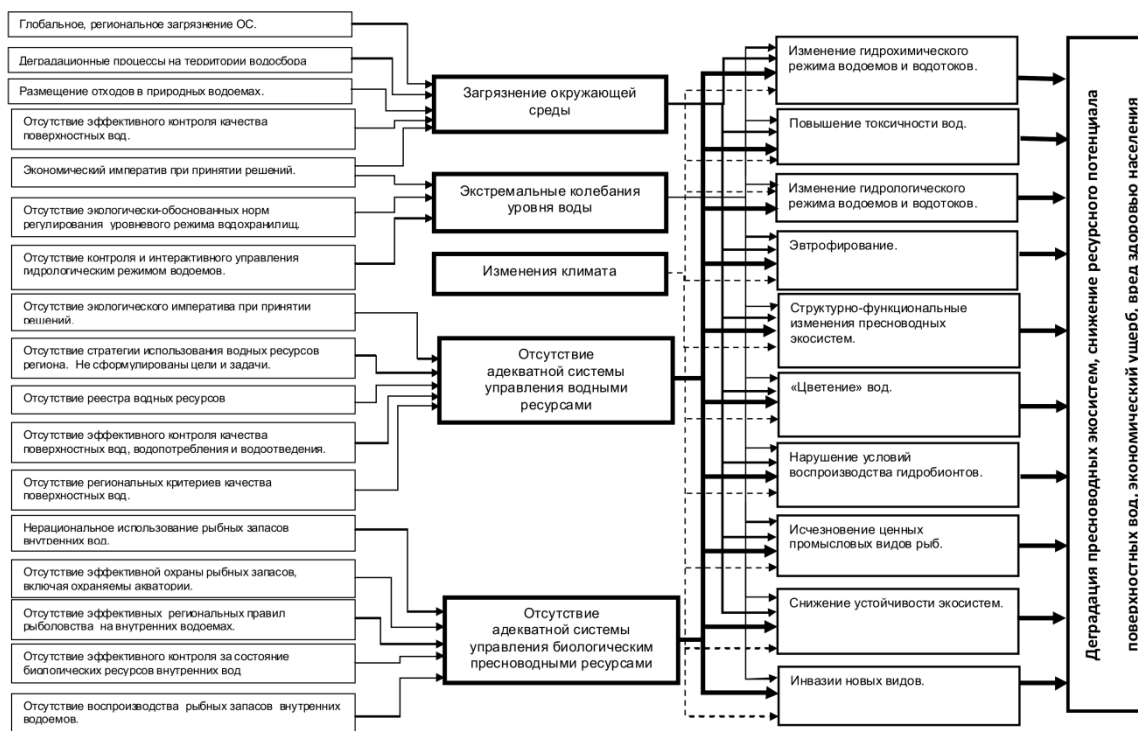


Рис. 2. Факторы и причинно-следственные связи процессов снижения ресурсного потенциала поверхностных вод Мурманской области

Необходимо отметить крайне нерациональное использование этого природного ресурса. В регионе существует целый ряд потребителей, интересы которых зачастую конфликтуют между собой, а сами природные воды являются предметом разнообразных полномочий на локальном, региональном и национальном уровнях, что снижает эффективность управления. В Мурманской области основными потребителями являются предприятия энергетики и горнодобывающей промышленности. При этом по-прежнему господствуют экономический императив при принятии решений, устаревшие водоемкие технологии, представления о низкой стоимости и неисчерпаемости ресурса. В гидроэнергетике во главу угла также поставлены принципы получения максимальной прибыли, повышение эффективности генерирующих мощностей, и совершенно не учитываются особенности функционирования водных экосистем Заполярья. Этому способствуют и давно устаревшие правила, регулирующие уровень режим водохранилищ и которые необходимо

пересмотреть. 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. К этому необходимо добавить крайне 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 этого 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 (Доклад ..., 2011). Практически полностью прекратилось промышленное рыболовство на внутренних водах.

Водные экосистемы являются наиболее уязвимыми компонентами природной среды Арктики, поскольку интегрируют все изменения окружающей среды, происходящие на территории их водосборов и аккумулируют большую часть загрязняющих веществ, попавших на территорию их водосборов. При этом их биоразнообразие очень чувствительно к нарушению гидрологического режима, ухудшению качества воды и вселению новых видов. Вследствие особенностей распространения воздушных масс Северного полушария Земли, большая часть загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в индустриально-развитых регионах, переносится в Арктику, где они осаждаются и накапливаются в экосистемах. Велико значение и местных источников загрязнения. Интенсивное развитие промышленности на Кольском полуострове в XX веке, разведка и освоение новых запасов полезных ископаемых в последние десятилетия, наряду с климатическими изменениями, привели к возрастающему воздействию на ключевые биологические, геохимические и физические процессы в пресноводных экосистемах Севера. Существенную роль в изменении условий обитания в Арктических регионах играют изменения климата. И хотя общая направленность таких изменений не однозначна, а в отдельных районах может иметь разнонаправленный характер, не вызывает сомнения разбалансировка климатической системы, снижение ее стабильности.

Совместное действие климатических изменений и загрязнения окружающей среды носит сложный характер, вызывает глубокие перестройки в арктических пресноводных экосистемах, снижающие их устойчивость и, в конечном итоге, социально-экономическую значимость, может обусловить существенные изменения в важнейших для региона отраслях экономики: энергетике, коммерческом рыболовстве (включая аквакультуру), туризме, привести к социальной напряженности вследствие ухудшения условий жизни. Можно выделить основные направления таких изменений:

- Увеличение токсичности водной среды вследствие накопления в озерах загрязняющих веществ.
- Изменение трофического статуса озер. Усиление темпов эвтрофикации.
- Изменение направленности и скорости сукцессий.
- Снижение стабильности экосистемы, повышение рисков катастрофических деградационных изменений.

Исследования внутри водоемных геохимических процессов показывают, что существует устойчивый тренд увеличения концентраций тяжелых металлов в воде. При этом, наиболее показательны процессы накопления металлов в поверхностных, сформированных за последние десятилетия, слоях донных отложений. Это наблюдается как в озерах расположенных в зоне непосредственного влияния крупных промышленных предприятий, так и в удаленных районах, ранее считавшимися «фоновыми».

В настоящее время в водоемах региона происходят радикальные перестройки структурно-функциональных характеристик альгоценозов, изменение направления и скорости сукцессий, как результат взаимозависимого действия целого комплекса регулирующих факторов. До начала интенсивного промышленного загрязнения в фитопланктоне и перифитоне водных объектов доминировали диатомовые, зеленые (десмидиевые) и золотистые водоросли. Это были типично олиготрофные и ультраолиготрофные сообщества, в которых абсолютное большинство видов развивается в условиях низкой минерализации. В настоящее время в условиях эвтрофирования в альгоценозах снижаются доли золотистых, а для зеленых отмечено сокращение доли десмидиевых водорослей, с одновременным увеличением вольвоксовых, а также усилением роли семейства

фрагиляриевых в сообществах диатомовых водорослей. В составе альгоценозов увеличилась доля синезеленых водорослей, включая и токсичные формы. Периодически наблюдаются периоды массового развития динофитовых водорослей, причем в водах с высоким трофическим статусом они частично переходят на гетеротрофное питание.

Изменения трофического статуса вод характеризуются увеличением количественных показателей водорослевых сообществ и диапазона их отклонений от средних значений. Это является следствием периодического массового развития фитопланктона («цветение вод») - явления которое регулярно наблюдается во многих водоемах в последние годы. Наиболее ярко эти процессы проявляются в крупнейшем водоеме региона – оз. Имандра. Основными массовыми видами летнего фитопланктона (июль-август) являются перидиниевые (*Ceratium hirundinella* (O.F. Müll.) Bergh f. *hirundinella*; *Peridinium goslaviense* Wolosz) и цианопрокариоты (*Anabaena lemmermannii* P. Richt.; *A. flos-aquae* Born. et Flah.). Во время массового развития синезеленых водорослей биомасса может достигать экстремально высоких значений – свыше 21 г/м³. К этим же периодам приурочена гибель молоди сиговых рыб.

Существенные перестройки происходят в зоопланктонных и зообентосных сообществах. Отмечено сокращение биоразнообразия и роли аборигенных видов донных беспозвоночных, внедрение и расселение эврибионтных видов из умеренных широт. Антропогенное воздействие приводит к нарушениям структурной организации бентосных сообществ, которые проявляются в сокращении видового разнообразия, элиминации или снижении роли стенобионтных видов, перестройке доминантного комплекса, упрощении трофической и этологической структуры. На загрязненных участках образуются сообщества из эврибионтных или устойчивых к загрязнению видов, к которым относятся личинки хирономид родов *Chironomus*, *Procladius*, олигохеты сем. *Tubificidae*, некоторые виды моллюсков родов *Lymnaea*, *Pisidium*. Структурные перестройки зоопланктона проявляются в снижении или исчезновении наиболее чувствительных к ухудшению экологических условий реликтов и типичных представителей фауны олиготрофных озер (*L. kindtii*, *B. longimanus*, *E. gracilis*, *H. appendiculata*). Их замещают и постепенно формируют состав руководящего комплекса эврибионтные мелкие виды с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения (*r*-стратегии) – коловратки (в соотношении основных таксономических групп *Rotatoria* : *Cladocera* : *Copepoda* в величине общей численности и биомассы организмов они оставляют долю более 90%), что является признаком нарушенного нестабильного состояния экосистемы. Уменьшается средняя индивидуальная масса зоопланктона (*B/N*). Снижение индекса видового разнообразия Шеннона по численности ($H_{Nбит/экз}$) происходит не только в результате сокращения числа видов в сообществе, но и за счет усиления доминантности отдельных видов и создания монокультур из устойчивых к загрязнению форм.

Таким образом, экосистемы водоемов региона переходят к новой модификации и не происходит возвращение их к природному состоянию. Это напрямую отражается и на рыбной части сообществ, структурно-функциональная организация которых, также претерпевает существенные изменения.

В настоящее время, помимо локальных источников, увеличение загрязняющих веществ в водоемах происходит и за счет процессов глобального загрязнения атмосферы и трансграничного переноса. Примерами такого рода процессов являются распространение свинца и ртути. Нами было показано, что содержание ртути в донных отложениях озер и тканях рыб Мурманской области и приграничного района Финляндии и Норвегии за последнее десятилетие характеризуется постоянным ростом, и этот процесс не связан с деятельностью металлургических комбинатов региона (State..., 2007). Несмотря на это, по-прежнему приоритетным элементом-загрязнителем региона остается никель. Уровень 5-7 мкг/г_{сух.в-ва} в почках является критическим для сигов изученных водоемов, и его превышение вызывает ряд серьезных патологических процессов в организмах рыб. Загрязнение водоемов металлами носит региональный характер, что показывают уровни накопления ряда металлов (Cu, Zn) в организмах рыб в регионально-фоновой зоне, где зачастую они имеют сопоставимые, а иногда и более высокие показатели, чем у рыб вблизи промышленных центров (оз. Куэтсъярви).

Практически во всех водоемах региона хроническое воздействие загрязняющих веществ вызывает в организмах рыб нарушение функций жизненно важных органов: жабры, печень, почки, гонады. И если раньше патологические изменения внутренних органов рыб были характерны лишь для водоемов, расположенных в так называемых «импактных» зонах крупных горно-перерабатывающих и металлургических предприятий, то в настоящее время в той или иной степени они наблюдаются практически по всей территории Мурманской области и частота их встречаемости возрастает.

Эти негативные явления отражаются и в структурных показателях отдельных популяций, для которых характерно крайнее упрощение. Популяции представлены небольшим числом возрастных групп и минимальным числом нерестящихся генераций. Наблюдается сокращение

продолжительности жизни, преобладание рыб младших возрастных групп, снижение темпов роста и уменьшение средних размеров, раннее половое созревание, наступление его при экстремально малых для вида размерах или/и блокировка процессов созревания при увеличенных темпах роста, растянутый период наступления половой зрелости. Признаки деградации популяций рыб прослеживаются как вблизи промышленных предприятий, так и в значительно удаленных районах.

Несмотря на пиковые нагрузки загрязнений во второй половине прошлого века, длительное время структура рыбной части сообществ даже наиболее техногенно-трансформированных водоемов в целом оставалась малоизмененной. Как правило, отмечалось снижение доли лососевых видов и доминирование сиговых. Однако в конце 90-х годов прошлого и в начале нынешнего столетий во многих водоемах региона наметились тенденции изменения в структуре сообщества рыбного населения. В стрессовых для аборигенных видов условиях, вселение новых видов рыб, обладающих широкой экологической валентностью, приводит к радикальным изменениям структуры ихтиоценозов. Так, вселение ряпушки внесло значительные изменения в структуру рыбной части сообщества водоемов системы р. Пасвик. Яркое выраженный планктонофаг с более эффективным цедильным аппаратом, ряпушка выигрывает в конкуренции со среднетычинковыми ситами и активно занимает их экологическую нишу. Резкое увеличение численности ряпушки создает напряженность в пищевой обеспеченности этой формы сига, что является дополнительным стрессовым фактором к уже существующим, обусловленным загрязнением тяжелыми металлами. Судьба популяций сигов, и в первую очередь среднетычинковых, представляется проблематичной.

В последние десятилетия в оз. Имандра, вселенная крупная форма европейской корюшки *Osmerus eperlanus* получила массовое распространение. Она практически полностью вытеснила ряпушку и снижает эффективность воспроизводства остальных видов, массово уничтожая молодь, создает повышенную пищевую конкуренцию. Нерестовая стратегия корюшки, идущая на нерест в реки, оказалась эффективней местных весенне-нерестящихся видов (щука, окунь, язь) которые вследствие зимне-весенней сработки воды Нивскими ГЭС, практически полностью лишаются нерестилищ в озере. Короткий жизненный цикл, отсутствие пресса хищников, малоэффективное промысловое изъятие, успешное воспроизводство делают корюшку доминирующим видом оз.Имандра. Резко возрастает численность и ерша *Gymnocephalus cernuus*. В ряде районов озера (северные районы Большой Имандры) эти два вида полностью доминируют в структуре ихтиофауны. Воспроизводство остальных видов малоэффективно и пополнение их популяций идет в основном за счет мигрантов из придаточных озерно-речных систем (полупроходная форма сига, кумжа).

Схожие изменения структуры рыбной части населения происходят и в других, ранее считавшихся лососево-сиговыми, водоемах бассейнов рек Нива (Пермусозеро) и Кола (Колозеро, Кахозеро). Доминирующими видами являются малоценные с промысловой точки зрения виды - обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus*, европейская корюшка *Osmerus eperlanus* и европейская ряпушка *Coregonus albula*. Примером значительных перестроек структуры рыбной части населения могут быть водоемы бассейна р.Поной (центральная часть Кольского полуострова). Здесь в последние годы отмечено значительное увеличение численности плотвы и язя. Ранее язь был распространен лишь в верховьях бассейна р.Поной до оз.Вульяр (Галкин, 1966; Сурков, 1966). В настоящее время язь обитает как в верхнем, так и в нижнем течении реки.

Таким образом, несмотря на то, что процесс загрязнения поверхностных вод Мурманской области длится уже не одно десятилетие, необходимо констатировать, что в настоящее время наблюдаются глубокие структурно-функциональные перестройки пресноводных экосистем. Если в прошлом веке интенсивное промышленное загрязнение водоемов отражалось большей частью на состоянии организмов и популяций рыб, то в настоящее время происходит быстрая смена структуры рыбной части сообщества. Значительное снижение качества вод субарктических водоемов, связанное с влиянием многофакторного промышленного загрязнения, интенсификация процессов эвтрофирования водоемов в условиях региональных климатических изменений приводит к развитию несвойственных для Крайнего Севера явлений. В типичных олиготрофных водоемах Субарктики отмечаются серьезные изменения, свидетельствующие о стремительных преобразованиях их трофического статуса на фоне сохраняющегося или повышающегося уровня сублетальной токсичности вод. Это может нанести существенный урон многим секторам экономики, ухудшить условия развития региона. В целом происходит снижение ресурсного потенциала поверхностных вод региона. В тоже время повышение трофического статуса озер вследствие процессов эвтрофирования может увеличить их рыбопродуктивность. Однако для этого необходимо грамотное научно-обоснованное управления водными ресурсами. Функционирование водных экосистем в этих новых условиях заставляет пересматривать методологические подходы к оценке качества

вод и состояния водных ресурсов, а также к организации системы гидроэкологического мониторинга в регионе. Прежде всего, это относится к показателям качества поверхностных вод. Необходима разработка показателей, учитывающие региональные особенности.

Литература

1. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area / K. Stebel, G.N. Christensen, J. Derome and I. Grekelä (editors). The Finnish Environment, 2007. V. 6. 88 p.
2. Галкин Г.Г., Колушев А.А., Покровский В.В. Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области. Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск, ПИНРО, 1966. С. 177-193.
3. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2010 году. Мурманск: ООО «Рекламное агентство XXI век», 2011. 152 с.
4. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Терентьев П.М., Денисов Д.Б. Экологический каталог озер Мурманской области. Часть 1. Северо-западная часть Мурманской области и приграничные территории сопредельных стран. Апатиты, Кольский НЦ РАН, 2009. 226 с.
5. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Терентьев П.М., Денисов Д.Б. Экологический каталог озер Мурманской области. Часть 2. Северо-западная часть Мурманской области и приграничные территории сопредельных стран. Апатиты, Кольский НЦ РАН, 2009. 262 с.
6. Сурков С.С. Общая характеристика особенностей видового состава ихтиофауны Мурманской области. Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск, ПИНРО, 1966. С. 147-151.

Лозовик П.А.

*Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
lozovik@nwpi.krc.karelia.ru*

НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С УЧЕТОМ ИХ ПРИРОДНОЙ АССИМИЛЯЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД

Нормирование допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты представляет собой актуальную задачу современной гидрохимии. Нормирование должно осуществляться по веществам, вызывающим как евтрофирование водоемов, так и их загрязнение. Первое обусловлено поступлением биогенных элементов (БЭ), прежде всего $P_{\text{общ}}$, и органических веществ (ОВ). Второе – выносом токсичных веществ, приводящих к загрязнению вод.

Для нормирования допустимой биогенной и органической нагрузки необходимо учитывать природную ассимиляционную способность водных объектов, а для нормирования сброса токсичных веществ – региональные фоновые концентрации элементов наряду с их ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

За ассимиляционную способность водного объекта следует принимать истинную скорость трансформации вещества в воде, определяемую как произведение концентрации (С) на константу скорости трансформации (k):

$$V=kC. \quad (1)$$

Величина ассимиляции вещества в водном объекте (A_s) рассчитывается как произведение скорости его трансформации на объем воды. Для рек ассимиляция вещества будет выражаться произведением скорости трансформации на среднегодовой сток реки в данном створе: $(A_s)_{\text{рек}}=kC_p \cdot V_{\text{сток}}$. Для озер необходимо учитывать ассимиляцию вещества как в озерной котловине, так и в стоке из озера:

$$(A_s)_{\text{оз}}=kC_{\text{оз}} \cdot V_{\text{оз}}, \quad (2)$$

$$(A_s)_{\text{сток}}=kC_{\text{оз}} \cdot V_{\text{сток}}. \quad (3)$$

Суммарная ассимиляция вещества в озерных системах будет равна:

$$A_s=kC_{\text{оз}} \cdot (V_{\text{оз}}+V_{\text{сток}})=kC_{\text{оз}} V_{\text{сток}} \cdot (\tau+1). \quad (4)$$

Уравнение (4) является общим и для озер и рек, только для последних $\tau=0$.

Отношение двух видов ассимиляции в озерных системах определяется периодом их водообмена:

$$\frac{(As)_{оз}}{(As)_{сток}} = \frac{kC_{оз} V_{оз}}{kC_{оз} V_{сток}} = \tau \quad (5)$$

Для озер с $\tau > 1$ ассимиляция в озере превышает ассимиляцию в стоке. Для озер с большим периодом водообмена ($\tau \gg 1$) фактически будет преобладать озерная ассимиляция, и эти водоемы будут обладать кумулятивным эффектом, существенно снижая вынос вещества за пределы озера. Для озер с $\tau < 1$ ассимиляция в озере будет меньше, чем в стоке из него. Фактически для высокопроточных озер не будет наблюдаться аккумуляции вещества в самих водоемах. Когда $\tau = 1$, наблюдается равенство ассимиляции вещества в озере и в его истоке.

В качестве критерия допустимой антропогенной нагрузки на водоем при его евтрофировании принимается ассимиляция вещества в природном состоянии объекта:

$$(L_{антр})_{доп} = (As)_{прир}. \quad (6)$$

Исходя из этого принципа, возможно осуществлять нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты.

Для оценки загрязнения водных объектов и нормирования сброса загрязняющих веществ учитывается их ПДК и региональный геохимический фон. Для этих целей рассчитывается региональная допустимая концентрация (РДК) (Лозовик, Платонов, 2005). Для веществ, у которых $ПДК \gg C_{фон}$, РДК рассчитывается как среднегеометрическое значение ПДК и фоновой концентрации:

$$РДК = \sqrt{ПДК \cdot C} \quad (7)$$

а для соединений, содержание которых близко к ПДК (к примеру, Cu, Zn и нефтепродукты) как сумма ПДК и фона:

$$РДК = ПДК + C_{фон}. \quad (8)$$

Вещества, отражающие региональную специфику вод, у которых $C_{фон} \gg ПДК$ (к примеру, Fe, Mn и фенолы в поверхностных водах гумидной зоны) не учитываются при оценке загрязненности водного объекта и по ним не нормируется сброс сточных вод.

Проиллюстрируем выше изложенные методические подходы на примере ряда водных объектов Карелии, подверженных евтрофированию (озера Онежское, Ладожское, Крошнозеро и Исо-Пюхьярви и Кондопожская губа Онежского озера), которые изменили или меняли природный трофический статус в результате антропогенного поступления $P_{общ}$. В бассейне оз. Исо-Пюхьярви была проведена мелиорация в 1960-ые годы и озеро из олигогумусного перешло в мезополигумусное. Нормирование поступления загрязняющих веществ рассмотрим на примере системы р. Кенти, подверженной влиянию техногенных вод Костомукшского ГОК'а (Поверхностные воды..., 2001).

Для расчета ассимиляционной способности водных объектов требуется знание константы скорости трансформации в них лабильных веществ, в том числе, $P_{общ}$ и ОВ. Эти константы получены ранее с использованием кинетической модели, разработанной автором, на основе химического баланса озер (Лозовик и др., 2011). Гидрологические параметры озер были заимствованы из справочника (Озера Карелии..., 2013), а для Кондопожской губы – из работы (Лозовик, Кулакова, 2013). Значение константы скорости трансформации вещества в озере рассчитывается по его удерживающей способности ($R = (C_{пр} - C_{оз})/C_{пр}$) с учетом периода водообмена (τ):

$$R = \frac{k\tau}{1 + k\tau e^{\frac{1}{\tau}}} \quad (9)$$

где $C_{пр}$ – средневзвешенная концентрация вещества в приточных водах (речных, атмосферных осадках, выпадающих на поверхность озера, сточных и подземных водах, поступающих в водоем).

Наиболее сложную задачу представляет оценка природной ассимиляционной способности, если нет данных по составу воды притоков или озер в доиндустриальный период. В нашем случае это имеет место для озер Онежское, Ладожское, Крошнозеро и Кондопожской губы. Для оз. Крошнозеро удалось получить природную концентрацию $P_{общ}$ в приточных водах (58 мкг/л) по анализу данных по $\Sigma_{и}$ и содержанию $P_{общ}$ в притоках озера, имеющих различную сельскохозяйственную освоенность их водосборов. Для Онежского озера в качестве природной концентрации $P_{общ}$ (6 мкг/л) принято его среднее содержание для других больших озер Карелии (Топозеро, Пяозеро, Сегозеро), не

испытывающих антропогенного влияния, а для Ладожского озера – по рекомендации Г.Ф.Расплетинной (1982) – 10 мкг/л.

Для Кондопожской губы первоначально рассчитали природную концентрацию $P_{\text{общ}}$ в приточных водах с учетом ее водообмена с Онежским озером. Для природных вод, поступающих с водосбора губы, принято содержание $P_{\text{общ}}$ 9 мкг/л, как в Нигозерском канале, а в Онежских водах – 6 мкг/л. С учетом объемов воды, поступающих с водосбора и из Онежского озера, получено, что природная концентрации $P_{\text{общ}}$ в приточных водах составляла 8 мкг/л, а в самой губе – 6 мкг/л. Последняя величина совпадает с содержанием $P_{\text{общ}}$ в воде Онежского озера в его природном состоянии.

Для оз. Исо-Пюхярви имелись данные по содержанию ОВ в озере до проведения мелиорации в его бассейне в 1960-е годы (13 мг/л) (Лозовик, 1991), что существенно упростило задачу расчета соответствующих показателей для этого озера.

Для расчета допустимой фосфорной нагрузки ($(L_p)_{\text{доп}}$) принималась сумма природной нагрузки на водоем и ассимиляция $P_{\text{общ}}$ в природном состоянии водоема: $(L_p)_{\text{доп}} = (L_p)_{\text{прир}} + (As)_{\text{прир}}$.

Все выполненные расчеты представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Показатели содержания лабильных веществ в природных озерных и приточных водах и соответствующие им ассимиляция и нагрузки

Озеро	$(C_{\text{оз}})_{\text{прир}}$	$(C_{\text{пр}})_{\text{прир}}$	$(As_{\text{оз}})_{\text{прир}}$	$(As_{\text{сток}})_{\text{прир}}$	$(As)_{\text{прир}}$	$(L)_{\text{прир}}$	$\left(\frac{As}{L}\right)_{\text{прир}}, \%$
Фосфор общий							
	мкг/л		т/год				
Онежское	6	21	247.8	15.9	263.7	396.5	67
Ладожское	10	27	1183	101	1284	2098	61
Крошноезеро	31	58	0.986	1.125	2.11	3.34	63
Кондопожская губа	6	8	10.1	10.2	20.3	42.6	48
Органическое вещество							
	мг/л		т/год				
Исо-Пюхярви	12.5	20.5	142.5	113.1	255.6	487.9	52

Таблица 2

Допустимые нагрузки и соответствующие им концентрации веществ в приточных и озерных водах

Озеро	$L_{\text{доп}}$	$(C_{\text{пр}})_{\text{доп}}$	$(C_{\text{оз}})_{\text{доп}}$
Фосфор общий			
	т/год	мкг/л	
Онежское	660.2	35.0	9.9
Ладожское	3382	43.5	16.3
Крошноезеро	5.45	94.6	50.1
Кондопожская губа	62.9	13.3	10.1
Органическое вещество			
	т/год	мг/л	
Исо-Пюхярви	743.5	31.2	19.1

По $(L_p)_{\text{доп}}$ получено, что состояние Онежского озера полностью соответствует этой нагрузке и оно в современный период отвечает верхней границе олиготрофных водоемов как по содержанию $P_{\text{общ}}$, так и по гидробиологическим показателям (Шаров и др., 2007).

Что касается Ладожского озера, то содержания $P_{\text{общ}}$ в нем в современный период соответствует допустимой фосфорной нагрузке. Это является результатом снижения внешней фосфорной нагрузки на озеро в последние годы и, как следствие этого, уменьшением концентрации $P_{\text{общ}}$ в самом озере (Сусарева, Петрова, 2012).

Для оз. Крошноезеро получено, что современная концентрация $P_{\text{общ}}$ в воде озера выше $(C_{\text{оз}})_{\text{доп}}$ в 1.3 раза.

Из всех объектов наиболее существенно отличается Кондопожская губа, в которой современная фосфорная нагрузка выше допустимой в 2 раза и, как следствие этого, средняя концентрация $P_{\text{общ}}$ в губе в настоящее время в 2 раза больше, чем при допустимой нагрузке. По последней губа соответствовала бы верхней границе олиготрофных водоемов, а по современной – приближается к эвтрофным.

Для оз. Исо-Пюхярви установлено, что по $(L_{\text{ОВ}})_{\text{доп}}$ концентрация ОВ была бы в 1.2 раз меньше, чем современная, и озеро соответствовало бы типично мезогумусному классу вод.

Для оценки загрязнения и нормирования сброса загрязняющих веществ, как уже было отмечено ранее, рассмотрена система р. Кенти, подверженная влиянию техногенных вод Костомукшского ГОК'а (Лозовик, Калмыков, 2007). Основное влияние на систему оказывают регулируемые попуски воды из хвостохранилища, осуществляемые пропорционально водности года до достижения концентрации K^+ в контрольном створе – 50 мг/л. Ежегодно сбрасывается 9-22 млн. м³ воды (в среднем 15 млн. м³/год). Из приоритетных загрязняющих веществ выделены K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Zn, Ni, кроме того, вода системы отличается повышенной минерализацией и аномальным соотношением главных катионов (Кулакова, Лозовик, 2012). Для расчета загрязненности вод использован индекс загрязнения воды (ИЗВ), который рассчитывали по ПДК и РДК (Лозовик, Кулакова, 2009):

$ИЗВ_{\text{рос}} = 1/7 \cdot \Sigma$, $ИЗВ_{\text{рег}} = 1/7 \cdot \Sigma$, где C_i , ПДК_i, РДК_i – соответственно концентрация, ПДК и РДК i-го компонента.

Для расчета использовано 7 показателей: содержание O_2 , K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li, Ni и величину БПК₅ по аналогии с методическими рекомендациями (1988). Только в нашем случае учтено 7 показателей, а не 6 как в руководстве, то есть, включены все приоритетные загрязнители. Для кислорода использовали отношение ПДК к концентрации. Результаты расчета ИЗВ по общероссийским ПДК и РДК представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание загрязняющих веществ и индексы загрязнения воды системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто зимой 2013 г.

Объект	O_2 , мг/л	БПК ₅ , мг O_2 /л	K^+ , мг/л	SO_4^{2-} , мг/л	NO_3^- , мгN/л	Li, мкг/л	Ni, мкг/л	ИЗВ _{росс}	ИЗВ _{рег}
Хвостохранилище	11.9	0.9	204	333	7.46	109	11.2	1.6	14.0
Оз. Окуновое	9.7	0.5	119	188	3.40	35	7.8	0.93	8.7
Оз. Поппалиярви	8.1	0.5	71.0	173	2.47	33	7.4	0.76	6.2
Оз. Койвас	9.1	0.9	40.5	78	0.70	22	2.0	0.43	3.1
Оз. Кенто	5.7	1.0	25.1	44	0.42	13	0.3	0.38	1.8
Оз. Ср. Куйто	12.3	0.3	3.7	6.2	0.08	2.0	0.3	0.10	0.36
ПДК	4.0	2.0	50	100	9.1	80	10		
РДК	4.0	2.0	5.0	16	0.3	6	1.0		
$C_{\text{фон}}$			0.5	2.5	0.01	0.5	0.1		

По общероссийским ПДК согласно рассчитанным ИЗВ все объекты р. Кенти относятся к чистым водам и только хвостохранилище – к умеренно загрязненным. По ИЗВ_{рег} загрязненность объектов выглядит иначе: хвостохранилище – чрезвычайно грязное, озера Окуновое и Поппалиярви – очень грязные, Кенто – умеренно загрязненное, а оз. Ср. Куйто – чистое. В последнем случае получилась более реальная картина загрязнения вод системы р. Кенти, чем в первом варианте расчета ИЗВ. Следует отметить, что загрязненность системы, оцениваемая по ИЗВ_{рег}, согласуется и с данными гидробиологических наблюдений (Вислянская и др., 2007).

За допустимый объем сброса загрязняющих веществ следует принять такой объем сточных вод, когда ИЗВ_{рег} = 1.0. Согласно данным табл. 3 во всех объектах системы р. Кенти превышен объем допустимого сброса техногенных вод, и только для оз. Ср. Куйто он меньше. Верхние озера системы (Окуновое и Поппалиярви) очень маленькие с небольшим стоком, поэтому они всецело находятся под влиянием техногенных вод. Нижние озера (Койвас и Кенто) большие со значительным годовым стоком, поэтому в них меньший уровень загрязнения и меньшее превышение допустимого объема сброса техногенных вод.

Если ориентироваться на замыкающий створ системы р. Кенти (оз. Кенто), то необходимо уменьшить объем сброса техногенных вод в 1.8 раз до достижения значения ИЗВ_{рег} равному единице. Выполнить данное требование не представляется возможным, поскольку попуски воды из хвостохранилища осуществляются по техническим причинам во избежание затопления насосной станции оборотного

водоснабжения комбината. В соответствии с действующим законодательством комбинат осуществляет повышенную плату за сброс загрязняющих веществ в связи с превышением допустимого сброса.

Таким образом, используя ассимиляционную способность водных объектов, можно осуществлять нормирование сброса веществ, вызывающих их евтрофирование, а с использованием РДК – нормировать сброс загрязняющих веществ. Рассмотренные примеры в этом плане позволили подтвердить достоверность предложенных методических подходов оценки допустимой антропогенной нагрузки, результаты которой согласуются с данными гидробиологических наблюдений по состоянию водоемов и водотоков.

Литература

1. *Вислянская И.Г., Куликова Т.П., Калинин Н.М.* Водоемы района Костомукши. Характеристика биоценозов / Состояние водных объектов Республики Карелия по результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск. 2007. С. 112-124.
2. *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, № 2, 2012. С. 18-25.
3. *Лозовик П.А.* Изменение режима озера Исо-Пюхярви под влиянием мелиорации земель. Влияние мелиорации на химический состав воды / Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск. Карелия. 1991. С. 170-173.
4. *Лозовик П.А., Калмыков М.В.* Водоемы района Костомукши. Химический состав воды озерно-речной системы р. Кенти / Состояние водных объектов Республики Карелия по результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск. 2007. С. 106-112.
5. *Лозовик П.А., Кулакова Н.Е.* Исследование процессов переноса и трансформации лигносульфонатов в воде Онежского озера / Водные ресурсы, № 2, 2013. С. 216-222.
6. *Лозовик П.А., Кулакова Н.Е.* Оценка загрязнения водных объектов с использованием различных методических подходов на примере системы р. Кенти / Материалы научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Часть 2. Азов, 8-10 июня 2009 г. Ростов-на-Дону, 2009. С. 75-78.
7. *Лозовик П.А., Платонов А.В.* Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология, 2005. № 6. С. 527-532
8. *Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабылина А.В.* Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах / Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 21-28.
9. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям № 250-895 от 21.07.1988 г. Гидрометеиздат, Л.
10. Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
11. Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия / Лозовик П.А., Марканен С.-Л., Морозов А.К. и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 165 с.
12. *Расплетина Г.Ф.* Режим биогенных элементов / Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л., 1982. С. 79-101.
13. *Сусарева О.М., Петрова Т.Н.* Многолетний мониторинг динамики содержания фосфора в Ладожском озере / Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием 10-14 сентября 2012 г. Петрозаводск. 2012. С. 62-66.
14. *Шаров А.Н., Вислянская И.Г., Куликова Т.П., Сярки М.Т.* Онежское озеро и его притоки. Характеристика биоценозов / Состояние водных объектов Республики Карелия по результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск. 2007. С. 49-62.

Макаревич П.Р.

Мурманский морской биологический институт Кольского НЦ РАН, г. Мурманск
makarevich@mmbi.info

МОРСКАЯ БИОТА АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ

АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В рамках задач сохранения биоразнообразия морских и прибрежных арктических экосистем актуальными становятся работы, связанные с изучением изменений в структуре морской биоты под воздействием биосферных процессов - глобальных и региональных климатических колебаний и факторов антропогенного воздействия.

В последние десятилетия проблема глобальных колебаний факторов среды и их влияния на экологическую ситуацию в экосистеме Баренцева моря особенно актуальна. Это не только изменения параметров окружающей природной среды - прежде всего температуры, солёности воды и свойств ледового покрова, - но и функциональных и количественных характеристик и биологического разнообразия состава морской биоты (Макаревич, Ишкулов, 2010). Аномальные экологические ситуации приводят к тому, что экосистема не функционирует в эволюционно сложившихся стационарных режимах, а все время перестраивается, что ведет к структурным изменениям сообществ.

Основные направления изменений состояния биологической структуры экосистемы Баренцева моря под влиянием внешних экологических факторов условно можно дифференцировать на следующие категории:

- изменение миграционных путей и ареалов распространения;
- появление новых видов (мигрантов) в экосистеме и исчезновение аборигенных;
- изменения популяционных характеристик отдельных видов.

В настоящее время в ММБИ существует биоокеанографическая база данных (Smolyar et.al., 2000), включающая гидрологические, планктонные, бентосные, ихтиологические и орнитологические данные. В нее включены результаты экспедиционных исследований, выполненных собственно ММБИ, а также данные из литературных источников за период 1913-2012 годы. Собранная информация позволила провести исследования влияния климатических факторов на внутригодовую, межгодовую и многолетнюю изменчивость сообществ экосистемы Баренцева моря. В результате этих исследований удалось выявить ряд тенденций изменения параметров как за относительно короткие промежутки времени, так и за весь, охваченный базой данных, почти столетний период.

Анализ имеющихся данных показал, что даже относительно непродолжительные локальные климатические колебания приводят к заметным изменениям в рыбной части сообществ отдельных районов Баренцева моря (Карамушко, 2008). Например, уменьшение адвекции тепла в Баренцево море ведет к сокращению нагульных площадей бореальной ихтиофауны, в результате чего огромная акватория высокопродуктивного для питания района становится практически недоступна, что, в свою очередь, может негативно отразиться на структурно-функциональных характеристиках популяций основных промысловых видов в будущем.

Колебания температуры морской воды играют важную роль в изменении структуры донных сообществ и отражаются как на количественных характеристиках бентосных беспозвоночных, так и на их видовом составе. Однако, благодаря определенной привязанности бентоса к местообитаниям, продолжительным срокам жизни и относительно высокой толерантности взрослых организмов к факторам внешней среды, реакция донных сообществ будет с одной стороны не столь быстрой, а с другой стороны именно донные сообщества будут наиболее показательно реагировать на многолетние температурные колебания, благодаря чему они и могут рассматриваться как значимые индикаторы колебаний факторов среды (Галкин, 1986; Денисенко, 2006).

Представители зоопланктона (часть из которых представляет собой личиночные стадии организмов, занимающих во взрослом состоянии другие экологические ниши) не способны к самостоятельным миграциям и их распределение будет определяться двумя основными факторами: влиянием температуры на скорость размножения (для аборигенных видов) и адвекцией атлантических вод (для видов, образующих в Баренцевом море зависимые популяции) (Тимофеев, 2001).

Одним из серьезнейших последствий хозяйственной деятельности человека, влияющих на состояние биологической структуры экосистемы Баренцева моря, является появление чужеродных для баренцевоморских вод видов-вселенцев.

В целом фауну вселенцев можно разделить три основные группы:

Первая группа – это естественные мигранты, появление которых никак не связано с деятельностью человека. Как правило, их появление действительно связано с климатическими изменениями, но совершенно необязательно речь должна идти о глобальных климатических перестройках. Так, например, эпизодические изменения морских течений могут принести нехарактерные для отдельного региона виды, которые в дальнейшем исчезают.

Вторая группа представляет собой плановых интродуцентов, которые были завезены человеком из других, часто весьма удаленных регионов. В Советском Союзе плановую интродукцию часто пытались использовать для решения народнохозяйственных задач, и, к сожалению, только значительно позже стало ясно, что заранее предсказать все последствия воздействия новых видов на экосистемы практически невозможно.

Третья группа, также связана с деятельностью человека, но в отличие от второй здесь интродукция носит не намеренный, спонтанный характер. Такие примеры известны еще со времен средневековья, а с развитием транспортных сетей опасность такой интродукции становится, особенно, велика. Так, например, в настоящее время одним из основных источников вселения в водные экосистемы является «транспортировка» чужеродной фауны с балластными водами. Другой причиной спонтанной интродукции являются различного рода аквахозяйства, которые по соображениям экономической целесообразности работают не с местными, а с привозными или генетически измененными видами.

Многие виды-вселенцы, обладая широкой экологической пластичностью и высокой скоростью воспроизводства, формируют в новых водоемах многочисленные популяции и существенно изменяют видовую и трофическую структуру, как отдельных природных сообществ, так и экосистем в целом.

Таким образом, перестройка структуры сообществ, происходящая вследствие воздействия глобальных и региональных климатических колебаний, инвазии вселенцев и других антропогенных причин, влечет за собой экосистемные нарушения, что в свою очередь отражается на биологической структуре экосистемы и ведет к изменению биоразнообразия и биологической продуктивности. В условиях изменения факторов среды экосистема не функционирует в эволюционно сложившихся стационарных режимах и, как следствие, реакцией биоты на эти процессы являются:

- снижение устойчивого видового разнообразия;
- формирование нехарактерных для данного региона популяций видов;
- изменения структурно-функциональных характеристик аборигенных популяций (вплоть до их полного исчезновения);
- изменения в размерах ареалов отдельных видов;
- перестройка трофической структуры сообществ;
- изменение сезонных миграций рыб и сокращению нагульных площадей;
- деградация генофонда за счет исчезновения отдельных видов.

Литература

1. Галкин Ю.И. Колебания климата и количественные изменения бентоса Баренцева моря // Тез. докл. IV съезда ВГБО. Киев, 1986. Т. № 1. С. 64-65.
2. Денисенко С.Г. Многолетние изменения зообентоса в Печорском море. Известия русского географического общества // С.-Пб., 2006. Т. 138. Вып. 2. С. 37-46.
3. Карамушко О.В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии, 2008. Т. 48, № 3. С. 293-308.
4. Макаревич П.Р., Иикулов Д.Г. Структура и видовое разнообразие пелагических и донных биоценозов Баренцева моря в условиях меняющегося климата // Вестник МГТУ. Т. 13, № 4/1. С. 633-640.
5. Тимофеев С.Ф. Влияние климатических факторов на изменчивость биомассы зоопланктона в различных частях Баренцева моря. Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 33-49.
6. Smolyar I., Makarevich P., Timofeev S., Zuyev A. Biological atlas of the Barents and Kara // Seas Earth System Monitor. 2000. Vol. 11, No. 2. P. 1-10.

Максимов А.Л.

Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, г. Магадан
arkmax@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ СОЦИАЛЬНЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА СЕВЕРЕ

Вторая половина 1990-х и начало 2000-х годов характеризовались массовым оттоком населения из северных регионов РФ, особенно на Северо-Востоке страны, где число постоянных жителей сократилось почти в 2 раза. В структуре населения происходили серьезные изменения, характеризующиеся уменьшением популяции мигрантов (пришлого населения, которое ранее активно прибывало на Север из районов с более комфортными природно-климатическими условиями) и относительным увеличением числа уроженцев-европеоидов 1-го и последующих поколений, для обозначения популяции которых мы предлагаем использовать термин «укорененные лица». В настоящее время исследователи для лиц, проживающих на Севере, но не относящихся к аборигенным этносам, используют различные определения: адаптанты, пришлые, пришло-коренные, переселенцы, ранее прибывшие, мигранты, старожилы, новоселы. Эта терминологическая путаница не позволяет однозначно определить, на каком контингенте проводились исследования и возможно ли в этой связи сопоставить результаты различных авторов, не зная являются ли обследуемые лица уроженцами Севера или впервые прибывшими и длительно там проживающие.

Отметим, что если адаптационные процессы, функциональные перестройки и механизмы формирования патологических процессов у мигрантов и аборигенного населения Крайнего Севера были достаточно хорошо исследованы, то особенности перестроек физиологических систем укорененных европеоидов в первом и последующих поколениях оставались практически неизученными. В определенной степени это было связано с тем, что статистически значимые для исследований популяции укорененных лиц из числа европеоидов на азиатском Севере РФ начали формироваться только в начале этого столетия.

Если исходить из геополитических интересов России XXI века, то важнейшей составляющей устойчивого развития страны должно стать закрепление населения в северных регионах, где сосредоточены основные запасы углеводородного сырья, морских биоресурсов, цветных и редких металлов. Через Арктику идут наиболее короткие морские пути между странами Европы, Азиатско-Тихоокеанского региона, Западным побережьем США и Канады. Для стабильного обеспечения жизнедеятельности в приполярной зоне азиатского Севера необходимо создание развитой инфраструктуры, формирование которой возможно только в случае увеличения там числа постоянных жителей. Ставка преимущественно на вахтовые методы освоения российского Севера губительна для нашей страны. Вахтовый режим труда, с одной стороны, является крайне стрессогенным и ведет к быстрому истощению функциональных резервов, а с другой – не стимулирует создания устойчивой инфраструктуры жизнеобеспечения и не предусматривает закрепления на этих территориях населения. Все это будет способствовать более активному проникновению в стратегически важные для России районы мигрантов из перенаселенных стран Юго-Восточной Азии.

В этой связи необходимо создавать для северян устойчивые преференции, стимулирующие не отъезд трудоспособного населения, а его закрепление в приарктической зоне. Одной из составляющих таких преференций должна стать новая парадигма организации северного здравоохранения, основанная не на подушевом планировании обеспечения медицинской помощью жителей Крайнего Севера, а на безусловной возможности получения ее в полном объеме и в кратчайшие сроки. Это потребует создания и поддержания в хорошем состоянии наземной, водной и воздушной транспортной сети, создаст условия, как для развития промышленности, так и для уверенности населения в своем будущем, исчезнет синдром «отложенной жизни» и чувство «временщика».

Комплексными исследованиями, проводимыми в нашем центре на различных возрастных контингентах уроженцев Северо-Востока в 1-3 поколениях, было показано, что адаптивные перестройки у них не идут по пути однонаправленного копирования процессов, наблюдаемых среди коренных этнических популяций. Более того, среди молодых контингентов аборигенных жителей Магаданской области и Чукотки отмечаются морфофункциональные перестройки, сближающие их показатели с уроженцами-европеоидами. С учетом этих процессов нами была сформулирована концепция о конвергентном типе адаптации среди современных популяций жителей Северо-Востока России. Среди аборигенов, по всей видимости, эти процессы обусловлены активной метизацией и переходом на европейский тип рациона питания, где значительный процент продуктов составляют углеводы, что ранее было абсолютно не характерно для коренных этносов.

Принимая во внимание происходящие изменения в демографической структуре жителей Крайнего Севера необходимо развернуть комплексные исследования по изучению региональных особенностей и определению физиологических границ нормы-реакции среди различных поколений укорененных северян. Это позволит объективно оценить влияние природно-климатических,

техногенных и социальных факторов на здоровье человека не только в конкретный текущий момент времени, но и в плане прогнозирования его отдаленных изменений.

К сожалению, в Государственной думе уже более 10 лет отложены в долгий ящик все научные материалы к обоснованию концепции федерального закона «О районировании территорий РФ», учитывающего методику расчета интегрального индекса дискомфорта, включающего медико-биологические критерии адаптации. Принятие закона позволило бы не произвольно искать территориальные границы Севера и Арктики, а строго на научной основе оценивать степень экстремальности той или иной территории и, с учетом этого фактора, создавать условия для формирования там постоянного или временного населения.

Принимая во внимание сильно возросший в последние годы интерес всех экономически развитых (и не только) государств к арктическим территориям России, необходимо создать долгосрочную комплексную межведомственную целевую программу по устойчивому долговременному развитию своих циркумполярных регионов. В этой программе помимо социально-экономических вопросов должна быть всесторонне отражена роль человеческого фактора в стратегическом развитии северных территорий. Оптимальной юридической основой для реализации такой программы мог бы стать свод законов, логически объединенных в «Северный кодекс» (по аналогии с Трудовым). Однако это потребует от руководства страны не только проявления политической воли, но и признания ведущей роли при долгосрочном освоении Севера и особенно Арктических регионов общечеловеческих, экологических и стратегических общегосударственных интересов над временной конъюнктурой рынка и текущим экономическим моментом.

Маслобоев В.А.

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

РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АРКТИКИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук (далее Институт) создан как Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук в соответствии с Постановлением Президиума Академии наук СССР от 27 июня 1989 года № 577, переименован в Учреждение Российской академии наук Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН в соответствии с Постановлением Президиума Российской академии наук от 18 декабря 2007 г. № 274.

В научном коллективе Института работают специалисты различных профилей: экологи, биологи, химики, географы, технологи, математики. Это позволило объединить усилия для достижения нелегкой, но высоко мотивированной задачи – разработки научных основ экологической оптимизации природопользования в условиях Севера на примере наиболее комплексно развитого и особо урбанизированного региона – Кольского полуострова.

Научные направления, определенные Уставом Института, охватывают практически весь спектр важнейших и актуальных проблем в области разработки научных основ экологической оптимизации природопользования в промышленно развитых регионах Севера, и соответствуют двум Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ: «Живые системы» и «Рациональное природопользование». Они согласуются с пятью позициями Перечня критических технологий РФ: «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы», «Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы», «Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов», «Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф», «Технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи полезных ископаемых».

В Институте сформировалась научная школа специалистов, работающих в таких направлениях как:

- исследование структуры и функций наземных экосистем Севера, в том числе биогеохимических циклов элементов и динамики органического вещества в бореальных лесах, разработка методологии и методов мониторинга, рационального использования и восстановления;
- разработка оценки процессов трансформации пресноводных экосистем под воздействием антропогенных и природных факторов, теоретических основ нормирования антропогенного

воздействия на водные экосистемы Севера; палеоэкологическая реконструкция и прогноз глобальных изменений природной среды и климата;

- исследование воздействия естественных и антропогенных факторов на климат и окружающую среду;

- оценка состояния и прогноз изменения природных сред на основе математического моделирования и применения современных информационных технологий;

- разработка научно обоснованных технологий обращения (складирования, хранения, захоронения) с экологически опасными промышленными и бытовыми отходами, ремедиации поверхностей техногенных месторождений с учетом их геохимического состава и особенностей физико-географических условий;

- оценка микробных ресурсов Севера и роли почвенной биоты в поддержании и регулировании современных биогеохимических циклов при экстремальных природных и техногенных воздействиях.

Основные достижения Института за период существования отражают *специфику* его деятельности:

- разработаны основы экологической оптимизации природопользования в промышленно-развитых регионах Севера и обеспечена их доступность для практики восстановления техногенно-нарушенных ландшафтов;

- определены допустимые техногенные нагрузки на наземные и водные экосистемы в условиях антропогенного воздействия промышленных предприятий и внедрены экологически обоснованные технологии освоения минерально-сырьевых ресурсов и использования запасов руд техногенных месторождений;

- сформулировано общее представление об особенностях формирования качества пресных вод арктического бассейна и развития антропогенно-обусловленных процессов в водной среде высоких широт;

- поставлено на службу населения долгосрочное прогнозирование возможных изменений экологических и природно-хозяйственных систем Кольского региона при различных сценариях природопользования, информационное обеспечение исследований по состоянию окружающей среды и прогноза ее элементов (в том числе – с помощью математического моделирования).

Одним из приоритетов в работе Института является подготовка кадров высокой квалификации и участие в экологическом образовании. В Институте проходят подготовку студенты различных ВУЗов. ИППЭС КНЦ РАН является базовой организацией для ВУЗов Мурманской области в области экологии, биологии, геоэкологии и рационального природопользования. Сотрудники Института проводят большую преподавательскую деятельность, включающую руководство учебным процессом, чтение лекций, проведение практических занятий и научное руководство дипломными проектами студентов, в Кольском филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный Университет» (КФ ПетрГУ) и Апатитском филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (АФ ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

К наиболее значимым научным достижениям Института можно отнести следующие:

1. Выявлены тенденции изменения химического состава почв и их плодородия в ходе сукцессий и взаимосвязи между почвами и растительностью на примере лесов северной и средней тайги.

2. Подготовлена и принята Концепция функционирования и развития сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Мурманской области до 2018 года и на перспективу до 2038 года на основе завершеного гар-анализа.

3. Выявлены основные направления трансформации пресноводных экосистем Евро-Арктического региона в условиях изменений климата и уровней антропогенной нагрузки. На основании обобщения результатов многолетних исследований водоемов региона, доказано снижение видового разнообразия гидробионтов, смена доминирующих комплексов в сообществах фито- и зоопланктона, зообентоса, рыбной части сообществ. Структурные перестройки проявляются в снижении или исчезновении чувствительных к ухудшению экологических условий реликтов и типичных представителей фауны олиготрофных озер, замещении их эврибионтными видами с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения, усилении их доминантности и создании монокультур из устойчивых к загрязнению форм. Впервые установлен феномен цианопрокариотического «цветения» высокоширотных водоемов.

4. Впервые выявлены особенности воздействия мощных вулканических извержений на региональный климат Евро-Арктического региона по дендрохронологическим данным Кольского

п-ова за 560 лет. Доказана реакция региональной климатической системы на воздействие климатообразующих факторов в прошлом.

5. С помощью термодинамических расчетов исследовано взаимодействие «нефть-вода». Результаты модельных расчетов показали, что нефтяные углеводороды в условиях поверхностных морских вод сосуществуют в метастабильном равновесии с карбонатами, CO_2 (вод.), CH_3COOH (вод.) и другими окисленными соединениями углерода.

6. Разработаны безотходные технологии синтеза гранулированных тонкослойных оксигидратных адсорбентов на основе природного алюмосиликатного сырья для создания защитных барьеров при обращении с экологически опасными отходами.

7. На основе экспериментального моделирования взаимодействия минеральных пород Ковдорского железорудного месторождения с водными растворами и технологическими стоками предложена технология хранения отвальных пород, существенно снижающая загрязнение водных экосистем компонентами гипергенного разрушения складировуемых отходов.

8. Разработан новый способ флотации апатит-нефелиновых руд с учетом бактериального фактора путем применения реагента, ингибирующего развитие бактерий, жизнедеятельность которых ухудшает показатели технологического процесса обогащения.

9. Разработана биотехнология очистки от нефти и нефтепродуктов. Подобран ассортимент растений для выращивания на почвах при нефтехимическом загрязнении.

Научные результаты Института актуальны, имеют, наряду с научной значимостью, большое **прикладное значение** и находят широкое **использование**. В течение всего периода своего существования Институт осуществляет экологическое информационное и экспертное обеспечение принятия решений федеральными и региональными органами государственной власти (Правительство Мурманской области, министерства и ведомства, администрации городов, промышленные предприятия).

Моисеенко Т.И.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

moiseenko.ti@gmail.com

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СОВРЕМЕННОЙ БИОСФЕРЕ

Учение о биологической эволюции – одна из наиболее актуальных теорий естествознания. Основные исследования посвящены изучению возникновения и развития биосферы в прошлом, эволюции видового разнообразия. Большая часть научных публикаций посвящена изложению новых или развитию устоявшихся воззрений на развитие органического мира в прошлом. Однако чрезвычайно важным для современной науки является «взгляд в будущее». Биосфера организована биогеохимическими циклами необратимых и незамкнутых круговоротов вещества и потоков энергии сквозь ее сферы и уровни организации живого.

Стремительный рост численности населения на планете, экстенсивное вовлечение в эксплуатацию минерально-сырьевых ресурсов и технический прогресс драматическим образом отразились на состоянии окружающей среды к середине прошлого столетия. Тысячи новых химических соединений с токсичными свойствами синтезированы в настоящее время и сотни ежегодно добавляются, многие природные элементы, извлеченные из недр и обогащенные в технологических циклах, включаются в биогеохимические циклы. В.И. Вернадский (1989) в начале прошлого столетия отмечал, что человеческая деятельность резким и радикальным образом изменяет течение естественных процессов и преобразует то, что мы называем законами природы.

В различных отраслях естествознания, связанных с изучением биосферы, накапливается все больше данных о том, что антропогенное воздействие изменяет геохимическое строение и энергетику биосферы, ее биогеохимические функции и круговорот веществ, приводит к эволюции органического мира. Достаточно много появилось примеров, что эволюционный процесс захватывает не только отдельные организмы, виды, экосистемы, но и высший уровень организации живого – биосферу. В свою очередь эти преобразования биосферы в целом становятся факторами дальнейшей эволюции ее важнейшего компонента - органического мира (Колчинский, 1990).

Актуальной задачей современности стало понимание, - каким образом антропогенные изменения окружающей среды, которые активно проявились в последние сто лет, повлияют на эволюцию органического мира и биосферы в целом?

Прошлые в индустриальной деятельности на планете не столь длительно, чтобы в настоящий момент можно было бы предсказать все сценарии антропогенной эволюции биосферы и ее элементов в будущем. Тем не менее – основные катастрофы и адаптация выживших организмов в прошлом, их поведение в кризисных ситуациях может дать нам ответы для прогноза будущих сценариев, в свою очередь, настоящее – дает ключ к пониманию механизмов изменчивости в прошлом. Загрязнение окружающей среды предоставило нам уникальную модель исследования эволюционного процесса в действии (Бигон и др., 1989).

Антропогенно-индуцированные процессы. В процессе своей жизнедеятельности человек изменял, изменяет, и впредь будет изменять окружающую среду. Антропогенно-обусловленные изменения в биосфере происходят под воздействием многих сопряженных факторов, наложение которых может усиливать или нивелировать действие каждого из них, к тому же развивается каскадная реакция последовательных преобразований биогеохимических циклов в биосфере, захватывающая все оболочки Земли и их население. Изменению биогеохимических циклов порождают следующие основные факторы:

- добыча и сжигание углеводородного топлива, приводящее к увеличению парниковых газов и нарушению цикла углерода;
- извлечение из недр, обогащение руд и выплавка металлов, приводящая к их рассеиванию в окружающей среде и выбросам кислотообразующих газов;
- синтез тысяч новых химических соединений с токсичными свойствами, которые включаются в биогеохимический круговорот;
- искусственное внесение в почву биогенных веществ в виде удобрений, приводящее к нарушению цикла фосфора и азота; нарушения природных ландшафтов: опустынивание из-за неправильного использования земель; расширение площади антропогенных пустошей вокруг крупных производств; ветровая и водная эрозия почв; заболачивание и вторичное засоление; отчуждения земель для строительства и других целей; активизация оползней, карста, селей, подтопления, мерзлотных и других неблагоприятных процессов.

Приведенный перечень факторов, определяющих нарушение биогеохимических циклов далеко не полон, но достаточен, чтобы сформулировать главный вопрос - каким образом антропогенные изменения окружающей среды, которые активно проявились за последние сто лет, повлияют на эволюцию органического мира и биосферы в целом?

Эволюция как целостный процесс взаимодействия живых организмов и косной материи. Несмотря на очевидный прогресс в познании природных явлений, сложно сказать, что все протекающие процессы в биосфере поняты до конца, и тем более законы преобразования природы под влиянием человеческой деятельности. Современный период антропогенных преобразований на планете можно сопоставить с переломными моментами в развитии биосферы и ее преобразования, антропогенные изменения средообразующих факторов становятся факторами дальнейшей эволюции ее важнейшего компонента - органического мира. Загрязнение окружающей среды в современных условиях входит в ряд ведущих абиотических факторов, воздействующих на популяции растений и животных. В последнее время в биологии все чаще появляются примеры, показывающие, что живые организмы реагируют на антропогенное загрязнение активными адаптивными процессами.

В эволюции биосферы происходили природные катаклизмы и возникали экстремальные условия. Живые организмы сталкивались с преодолением тех или иных неблагоприятных воздействий и у них выработаны механизмы защиты и сохранения жизнеспособности в процессе эволюционного развития. Способность выживать в условиях загрязнения регулируется различными механизмами: избегание, снижение чувствительности и клеточной проницаемости к ядам, повышение активности функциональных оксидаз, индукция металлотионеинов, секвестрование, усиленная экскреция экотоксикантов и др. (Моисеенко. 2009).

Наиболее опасным явлением в биосфере является появление синтезированных токсичных веществ и обогащение сфер токсичными элементами, такими как ртуть, кадмий, свинец. Накоплены многочисленные научные факты о генетических изменениях в популяциях животных под влиянием токсичного загрязнения, которые подтверждают существование антропогенной микроэволюции (Динамика популяционных генофондов..., 2004; Большаков, Моисеенко, 2009; Walker et al., 2004). Основным выводом этих работ является, что в условиях загрязнения, с одной стороны, будет происходить потеря генетического разнообразия и накопление рецессивных мутаций; с другой —

высокие концентрации загрязняющих веществ будут являться фактором селекции, которая направлена на отбор наиболее устойчивых генотипов, что неизбежно отразится на генетическом пуле. Редукция генетического разнообразия может увеличить устойчивость к определенному виду токсиканта, но снизить адаптивные возможности в целом популяций животных к другим стрессовым условиям. Селекция толерантных генотипов к действию загрязняющих веществ может сигнализировать, что популяция находится под давлением загрязнения длительный период. Вместе с тем, вопросы, каким образом влияние токсичных веществ отразится на генетической структуре популяции, к каким отдаленным последствиям приведут нарушения на молекулярно-клеточном и организменном уровне, пока не являются до конца выясненными и чрезвычайно важны в теоретической экологии.

Стратегия ограничения антропогенных воздействий. Огромный эмпирический материал как о негативных воздействиях человека на сферы Земли, так и преобразованиях органического мира требуют решений об ограничении нашего негативного влияния и сохранения благоприятных условий жизни. Очевидно, что развитие цивилизации остановить невозможно, поэтому биосфера будет эволюционировать и в дальнейшем, но направленность и скорость этого процесса во многом определяется и нашей деятельностью. Загрязнение приводит к каскадным изменениям глобальных биогеохимических циклов и соответственно – эволюции биосферы как необратимого процесса.

В.И. Вернадский, отмечая качественный перелом в истории биосферы, писал: “Мы живем в исключительное время в истории нашей планеты, в психозойскую эру, когда создается новое ее состояние - ноосфера и когда геологическая роль человека начинает господствовать в биосфере и открываются горизонты его будущего развития” (1991). В 1970-1980-х годах, когда были осознаны все катастрофические последствия индустриальной деятельности на Планете, была сформулирована концепция нормирования с учетом «ассимиляционной емкости», «самоочищения» или «буферной способности» природных систем (Израэль, 1984). Рядом западных ученых, она стала подвергаться ожесточенной критике, как легализующая загрязнение. Был выдвинут принцип «нулевого» сброса, который, в свою очередь, по нашему мнению, утопичен. Бесспорно, принцип предотвращения загрязнения, взамен борьбы с последствиями должен являться одним из руководящих.

До настоящего времени в Российской практике, как и большинстве зарубежных стран, решение об ограничении антропогенных нагрузок принимается на основе сопоставления измеренных концентраций отдельных загрязняющих веществ и сравнения их с предельно допустимыми значениями (ПДК). Не ново мнение, что система ограничений поступления загрязняющих веществ, основанная на данных о ПДК вредных веществ, не совершенна, не дает адекватной оценки состояния природных сред.

В последние десятилетия развитие получает концепция **критических нагрузок** как научно-обоснованная стратегия предотвращения деградации природных комплексов и управления состоянием природных объектов (Моисеенко, 2001). Под критическими нагрузками понимается максимально допустимый поток поступления одного или нескольких загрязняющих веществ в экосистему, не вызывающий негативных изменений в наиболее чувствительных ее звеньях. Современный период характеризуется большим разнообразием антропогенно-индуцированных явлений в природе, когда на живые организмы воздействует результирующая всех прямых и опосредованных эффектов комплекса загрязнений, климатических факторов, изменения ландшафтов и биогеохимических циклов. В определении стратегии взаимодействия человека с природой все больше надо учитывать ныне идущий стихийный процесс эволюции биосферы, в котором сложно учесть все взаимообусловленные процессы и отдаленные последствия нашего вмешательства в природные. Основная задача в изучении эволюции биосферы, по мнению В.И. Вернадского (1991), заключалась в установлении связи “эволюции видов с механизмом биосферы, с ходом биогеохимических процессов”.

По мере развития науки и совершенствования аналитических измерений наши представления о происходящих процессах в окружающей среде и допустимости их воздействий на живые организмы и экосистемы будут постоянно развиваться и уточняться. Вместе с тем сложившаяся на сегодняшний день экологическая ситуация требует достоверных решений, приближающих нас к пониманию происходящих явлений в природе на **современном уровне знаний** и сохранению благоприятных условий жизнеобитания.

Можно привести ряд примеров из отечественно и международной практики, когда были выполнены расчеты по разработанным методам определения критических нагрузок и показали необходимый уровень снижения поступлений тех или иных опасных веществ в наземные и водные экосистемы. Полученные научно-обоснованные данные легли в основу принятия согласованных

международных решений по снижению выбросов наиболее опасных загрязняющих веществ (Готтебургская конвенция по снижению выбросов кислотообразующих газов, Стокгольмская конвенция по СО₂, готовятся решения по ртути и др.). Современная наука позволила рассчитать допустимый поток биогенных элементов в водные экосистемы, что привело к олиготрофикации ряда озер (включая Великие) и рек, восстановилось качество вод после закисления в ряде водоемов Скандинавии и Северной Америки, снижению содержаний токсичных металлов в Европе и Северной Америке.

Рост народонаселения на планете и технический прогресс предполагает вовлечение новых ресурсов, формированию отходов производства, что неизбежно будет в дальнейшем воздействовать на природу. Эволюция биогеохимических циклов будет протекать в дальнейшем, насколько катастрофично – зависит от нашей деятельности. Развитие природоохранных без- и малоотходных технологий с учетом научно-обоснованных критических нагрузок на биосферу и ее экосистемы, реабилитация нарушенных территорий и акваторий – ключевое направление в сохранении жизнеобеспечивающих условий нашей Планеты.

Литература

1. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. Перевод М.: Мир, под редакцией Гилярова 1989. Т. 1. 667 с.
2. Большаков В.Н., Моисеенко Т.И. Антропогенная эволюция животных: факты и их интерпретация // Экология, 2009. № 56. С. 323-332.
3. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. 261 с.
4. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление / Отв. ред. А.Л. Яншин. М.: Наука, 1991. 270 с.
5. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях (под ред. Ю.П. Алтухова). М.: Наука, 2004. 619 с.
6. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат. 1984. 559 с.
7. Колчинский Э. И. Эволюция биосферы. Л.: Наука, 1990. 236 с.
8. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
9. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
10. Моисеенко Т.И. Теория критических нагрузок и ее приложение к определению воздействия кислотообразующих веществ на поверхностные воды // Доклады РАН. 2001. Т.378. С. 250-253.
11. Walker C.H., Hopkin S.P., Sibly R.M., Peakall D.B. Principles of Ecotoxicology (Second Edition). London: Taylor&Francis Ltd. 2001. 307 p.

Немова Н.Н.

Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
nemova@krc.karelia.ru

БИОХИМИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РЫБ И ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

Загрязнение природных сред и изменения климата рассматриваются как две главные комплексные причины изменения экологических характеристик, как на уровне регионов, так и на уровне стран. В последние десятилетия в водных экосистемах наблюдаются значительные изменения, которые происходят как под влиянием длительных или циклических изменений естественных факторов, так и хозяйственной деятельности человека. В результате происходит перестройка всех элементов структуры водных сообществ, в том числе и рыбного населения как одного из последних звеньев трофической цепи водоема. Антропогенное воздействие на водные объекты, наряду с другими негативными проявлениями, приводит к изменению и сокращению биологических ресурсов, поэтому оценка состояния биоресурсов, контроль загрязнения водной среды и биоты остаются основными задачами мониторинга состояния водоемов. Методы, используемые для выявления эффекта различных воздействий на состояние водных экосистем довольно разнообразны. Биохимические методы позволяют наблюдать изменения в обмене веществ в организме, наступающие, как правило, до появления физиологических, морфологических и других отклонений от нормы. С их помощью можно определить границы адаптационных способностей, фазу воздействия того или иного фактора (адаптация, предпатология, патология) и на основании этого

сделать выводы о степени устойчивости и чувствительности видов (Сидоров, Немова, 2000; Немова, Высоцкая, 2004). Водные организмы интегрируют неблагоприятные эффекты различных воздействий, имеют сравнительно большие размеры и продолжительность жизни, обладают резистентностью к сублетальным воздействиям различных веществ и могут быть использованы для прогноза различного рода воздействий на водные экосистемы и здоровье человека (Сидоров, 1983; Кашулин и др., 1999; 2003, 2008, 2009; Сидоров, Немова, 2000; Немова, 2005; Немова, Высоцкая, 2004; Смирнов, Богдан, 2007; Моисеенко, 2009; Алимов, Голубков, 2012; Shulman, Love, 1999; Chuiko et al., 2007).

Исследования по созданию системы эколого-биохимической индикации и мониторинга состояния гидробионтов важны как для выяснения механизмов развития приспособительных реакций у водных организмов в ответ на воздействие разнообразных факторов среды, так и для разработки критериев оценки стабильности водных экосистем и прогнозирования их возможных изменений. Для решения этих задач в лаборатории экологической биохимии Института биологии Карельского НЦ РАН использовали сравнительно большой спектр биохимических методов, позволяющий оценить вариабельность примерно 100-150 индивидуальных показателей клеточного метаболизма у рыб и водных беспозвоночных под влиянием различных, в том числе антропогенных факторов среды обитания организмов. Эта система была апробирована нами для оценки реакции рыб на воздействие различных факторов среды, в том числе токсикологических (Сидоров, 1983, 2000; Сидоров, Немова, 2000; Немова, 2005, 2010, 2012; Немова, Высоцкая, 2004; Высоцкая, Немова 2008; Смирнов, Богдан, 2007; Фокина и др., 2010; Бондарева и др., 2006; Мещерякова, 2004; Борвинская и др., 2013).

Объектом исследований служили рыбы и водные беспозвоночные (моллюски, ракообразные, морские звезды) – обитатели водоемов Северо-Запада России, а также в отдельных случаях гельминты, паразитирующие на разных стадиях жизненного цикла рыб и рыбацкие птицы (гаги), обитающие в районе Белого моря. Районы исследований - пресноводные озера и реки Республики Карелия, Мурманского региона, акватории Белого моря. В процессе работы проводились экспериментальные и полевые исследования биохимического статуса водных организмов (рыб и водных беспозвоночных), включающие:

- изучение роли белкового, углеводного, липидного обмена и некоторых других, связанных с ним биохимических показателей клеточного метаболизма в развитии адаптивных реакций у животных в ответ на изменение факторов среды (абиотических и биотических).
- выяснение роли биохимических адаптаций у обитателей северных водоемов (стенобионтных организмов, развитие и становление которых происходит при сравнительно низкой температуре, слабой минерализации, олиготрофности).

Выполнение этих исследований предполагает использование широкого спектра методов и подходов. Для решения различных задач использовали методы физико-химического и молекулярно-генетического анализа нуклеиновых кислот, липидов, углеводов, белков, в том числе ферментов: дифференциальное центрифугирование, ионообменную и гель-хроматографию белков, электрофорез, спектрофотометрию, тонкослойную и газо-жидкостную хроматографию, ПЦР в реальном времени, а также методы, используемые в ихтиологии и гидробиологии для характеристики исследуемого материала и статистической обработки данных.

В результате многолетних исследований с использованием комплексной системы биохимических показателей метаболизма рыб и водных беспозвоночных были получены и обобщены данные, которые позволяют обосновать и предложить методологию оценки эколого-биохимического статуса водных организмов (рыб и водных беспозвоночных), что в свою очередь, может дать полезную информацию и о состоянии самих водоемов в норме и при антропогенных воздействиях. В методологическую основу проведенных научных исследований заложены фундаментальные разработки по изучению влияния изменяющихся факторов среды (в том числе антропогенных) на биохимический статус водных организмов. Для того, чтобы оценить состояние водных организмов по их эколого-биохимическому статусу следует, прежде всего, использовать комплексный подход. В этом подходе должны учитываться современная экологическая и биохимическая парадигмы и содержаться разнообразные внутренние контроли, повышающие достоверность получаемых данных, особенно при малой выборке, когда вынужденно используются усредненные пробы. Используемая комплексная система биохимических тестов включает в себя несколько принципиальных позиций, в которых учитывается экологическая и таксономическая вариабельность объектов, стадии их онтогенеза, необходимость использования в анализах разных органов и тканей, уровень достижений биохимической диагностики в медицине, применение различных контролей, уменьшающих ошибку современных микрометодов при небольшой статистической выборке, а также разработка и

использование методов полевой биохимии (экспресс методы, различные способы фиксации материала, его хранения и доставки в лабораторию, и др.):

1. *Учет экологического и таксономического разнообразия объектов (водных организмов).* Необходимо учитывать биологическую вариабельность исследуемых объектов, определяющую их разную чувствительность к действию изменяющихся (в том числе антропогенных) факторов среды. Также имеет значение выбор наиболее чувствительных и распространенных видов, занимающих определенные и значимые для водоема экологические ниши. Сравнение близких и далеких по филогении видов, обитающих в сходных экологических условиях, может оказаться полезным для понимания причин, вызывающих вариабельность биохимических показателей. Известно, что на формирование биохимического статуса и обмена веществ любого организма влияют как наследственные (генетические) особенности более крупного таксона, к которому относится тот или иной вид, так и специфические биохимические адаптации данного вида к конкретным условиям жизни. Различить обе компоненты и понять их роль в обеспечении биохимической чувствительности и устойчивости организма к факторам внешней среды (в том числе и к токсикантам) можно, используя именно сравнительно-биохимический подход.

2. *Исследование нескольких органов исследуемых объектов.* Изменение биохимического статуса разных органов при воздействии на организм различных факторов среды не всегда однозначно, поэтому необходимо для биохимической оценки использовать максимально возможное число органов рыб для того, чтобы отобрать наиболее показательные и адекватно реагирующие на действующие факторы среды. Особенно это стало ясно при изучении вариабельности липидов разных органов в зависимости от различных экологических факторов. Несмотря на различную их функциональную значимость, интегрированный ответ организма на воздействие того или иного фактора включает реактивность функционального ответа всех органов, что подтверждается нашими многолетними исследованиями изменений биохимического статуса всех исследованных органов водных организмов.

3. *Онтогенетический принцип.* Ответная реакция организма на тот или иной фактор в значительной степени зависит от этапа (стадии) развития организма, поэтому при оценке биохимического состояния организма необходимо это учитывать. Этот принцип хорошо обоснован в литературе, включая и наши публикации.

4. *Принцип комплексности тестов.* Для избежания ошибок при интерпретации данных, что особенно важно при диагностике и оценке хронических и слабых токсикогенных воздействий на гидробионтов, нужны не отдельные, пусть даже достаточно чувствительные биохимические тесты, а система тестов, в которой изменение каждого показателя было бы логически, исходя из современных представлений о схеме метаболических путей, связано с теоретически ожидаемым изменением других показателей. Применение этого принципа в значительной степени позволяет уменьшить необходимую статистическую выборку, так как достоверность результатов в большой степени обеспечивалась бы их биохимической логичностью.

5. *Принцип биохимической диагностики,* обеспечивающий идентификацию действующих факторов. Система биохимических тестов, применяемых в эколого-биохимическом мониторинге, как и в медицине, должна, хотя бы в первом приближении, ответить на вопрос, какого рода фактор действует на водные организмы. Обоснование такого требования вытекает из достижений биохимической диагностики в медицине. Система тестов должна быть достаточно универсальной для этой цели и включать, на наш взгляд, достаточно большое количество биохимических показателей, относящихся к различным взаимосвязанным путям клеточного метаболизма.

6. *Принцип адекватности методов задачам эколого-биохимической оценки.* Методы, применяемые для этих целей, должны соответствовать решению двух задач: 1) оперативного получения результатов биохимических анализов в полевых условиях, что может определить последующие методы мониторинга; и 2) фиксации материала в полевых условиях и доставки его для последующего анализа в лабораторных условиях.

При интерпретации разнообразных биохимических данных, получаемых при изучении влияния различных химических веществ, и особенно химических загрязнителей, мы столкнулись с необходимостью суммарной оценки биохимических реакций организма на эти воздействия. Изменение каждого биохимического параметра при разных концентрациях токсикантов контролируется столь многочисленными факторами, в свою очередь варьирующими в разной степени под действием различных веществ, что ожидать прямолинейной зависимости отдельных биохимических компонентов было бы нереальным. Поэтому необходимо было найти какую-то единую интегральную величину, усредняющую наблюдаемое разнообразие ответов организма на

уровне индивидуальных биохимических показателей. Указанная задача была решена следующим образом. Было проведено сравнение двух наборов биохимических тестов: минимального и оптимального. Первый содержал 10-15 показателей, относящихся к выполнению в организме и тканях как минимум пяти биохимических функций – поддержание общего гомеостаза, функционирование мембранной системы, внутриклеточное пищеварение, детоксикация дефектных и чужеродных соединений, ограниченный протеолиз, стресс, окислительный стресс, функционирование соединительной ткани. Во втором случае определяли 34-45 показателей. Предлагаемая система тестов применялась для анализа 4-7 тканей рыб. Таким образом, минимальный набор тестов оценивал действие токсикантов по 25–30 тестам, а оптимальный вариант включал 75-126 биохимических признаков, а в отдельных случаях до 150-200 (с учетом изучения их в нескольких органах рыб). Далее, в результате наших многолетних исследований по вариабельности разнообразных биохимических компонентов под влиянием экологических факторов было показано, что по степени изменчивости все показатели условно можно разделить на 2 группы - более изменчивые, адекватно реагирующие на эколого-физиологические факторы, и менее изменчивые, заметно изменяющие свою концентрацию или активность лишь при сильной патологии или экстремальных воздействиях факторов внешней среды. В первую группу входят хорошо изученные нами (в плане экологической вариабельности) лизосомальные ферменты, ТАГ (триацилглицерины) и ЭХ (эферы холестерина). Ко второй группе относятся: соотношение фосфолипидов в биомембранах и тканях, коллагеновый оксипролин, суммарный белок. Кроме того, мы выделяем еще и некую промежуточную группу – жирные кислоты, желчные кислоты, холестерин, МДА (малоновый диальдегид), ферменты углеводного и энергетического обмена, каталазу. Интересно отметить, что для первой группы веществ характерна и более широкая филогенетическая вариабельность, обнаруживаемая уже при сравнении родов, семейств, иногда и видов, в то время как для второй группы веществ филогенетическая изменчивость становится явной лишь на уровне классов. Кстати говоря, недавно было обнаружено, что и гены, определяющие фенотипическое проявление биохимических признаков первой группы, более изменчивы, чем гены, связанные со второй и третьей группой веществ. Это соответствует более ранним данным о скоростях изменения аминокислотной последовательности в различных белках в процессе эволюции.

Таким образом, основываясь на вышеприведенной оценке степени отклонения от естественных (контрольных) значений вариабельности изученных нами биохимических показателей и признаков во всех экспериментальных вариантах, мы в каждом из них определяли число показателей, близких к крайним границам вариабельности, или даже выходящих за эти границы и выражали это количество в процентах к общему количеству изученных показателей. Эту величину мы назвали Интегральным биохимическим индексом (ИБИ) или биохимическим индексом стресса, так как она отражает развитие стресса на биохимическом уровне в организме под влиянием экстремальных факторов. Использование ИБИ было продемонстрировано при оценке реакции рыб на химическое загрязнение воды отходами горно-обогатительного производства (г. Костомукша, Республика Карелия (Сидоров и др., 2003, Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия (ихтиологические, паразитологические и биохимические аспекты, 2012). Важно отметить, что величина ИБИ (процентное отношение числа показателей, сильно отклоняющихся от границ их естественной вариабельности, к общему числу изученных признаков, минимум 30-35) во всех случаях соответствует классическому принципу токсикологии «доза – эффект», означающему, что с увеличением дозы токсиканта усиливается производимый им эффект (Сидоров и др., 2003). Эта величина, условно названная нами интегральным биохимическим индексом оказалась полезной при определении ПДК, когда очень важна суммарная оценка биохимических изменений, а также при выявлении механизмов и степени биохимических адаптационных перестроек организма при хроническом действии на него негативных факторов. Эта величина зависит от вида и возраста рыбы, а также от токсичности загрязнителя водоема. Предложенный и апробированный БИИ (интегральный биохимический индекс) позволяет получить информацию о воздействии токсиканта на метаболизм рыб еще до того, как его концентрация достигнет уровня ПДК (предельно-допустимой концентрации).

В результате проведенных исследований получен обширный материал, свидетельствующий о разнообразных и разнонаправленных изменениях в обмене основных компонентов клетки и регуляторов метаболизма. Полученные результаты дают основания сделать следующие выводы:

1. Реакция биохимического метаболизма у водных организмов на изменение исследуемых природных и антропогенных факторов различается в зависимости от таксономической и половой

принадлежности организма, его физиологического состояния, стадии развития, природы и силы воздействующего фактора.

2. Биохимические адаптации к изменению естественных природных факторов среды (соленость, временная гипоксия, развитие и др.) на уровне клеточного метаболизма обычно носят компенсаторный характер, за исключением экстремальных случаев. Изменяется интенсивность метаболизма и соотношение между отдельными его путями. Биохимические механизмы адаптаций к условиям обитания отражают образ жизни, характер питания, стадию онтогенеза и годового цикла организма.

3. Модуляции активности ферментов (функциональная активность, сродство фермента субстрату, изоферментный состав и т.д.), уже функционирующих в клетке, создают возможность быстрой адаптации. Большое значение имеют адаптации на уровне микросреды, прежде всего, липидного окружения, в котором функционируют многие мембраносвязанные ферменты. Адаптивные изменения липидных систем во многом сходны с адаптивными изменениями белков. В обоих случаях для обратимых перестроек необходима «полустабильность» структуры. Нижний и верхний пределы тех или иных воздействий, влияющих на гомеостаз организма располагается очень близко к границе устойчивости белковых комплексов и липид-белковых взаимодействий в биологических мембранах.

4. Биохимические адаптации направлены на сохранение целостности и функциональной активности макромолекул (нуклеиновых кислот, ферментов, структурных и сократительных белков) и надмолекулярных комплексов (мембран), обеспечение организма источниками энергии и питательными веществами, используемыми для биосинтеза белков, нуклеиновых кислот, углеводов и липидов, составляющих ткани организма и являющихся запасами питательного материала, на поддержание регуляторных механизмов обмена веществ и его изменений в зависимости от непостоянных условий среды.

5. Устойчивость и чувствительность исследованных видов гидробионтов к воздействию различного рода токсических веществ зависит как от степени функционирования ферментов биотрансформации ксенобиотиков, так и от состояния других биохимических систем клетки (лизосомы, мембраны, регуляторные ферменты), участвующих в реализации защитных реакций организма, в развитии «ответа» клетки на уровне биохимических изменений.

6. Долговременные эволюционные изменения часто сходны с кратковременными акклиматизационными сдвигами. В этом отношении показательны адаптивные изменения липидов: поддержание нужной микровязкости достигается сравнимыми способами как у видов, приспособленных к разным температурам, так и у популяции одного и того же вида, акклиматизированных к разным условиям.

7. Установлены специфические и неспецифические модификации изученных биохимических параметров, показаны различия адаптивных перестроек у разных видов, представителей разных экологических групп. Самцы практически всех изученных видов рыб обладают меньшей устойчивостью к различного рода воздействиям.

8. Особенности адаптаций у водных организмов связаны, прежде всего, с полной зависимостью от среды и принадлежностью к группе эктотермных животных, а также с особенностями цикла развития. Биохимические адаптации у обитателей северных водоемов более разнообразны.

Эколого-биохимические исследования важны как для выяснения механизмов развития приспособительных реакций у живых организмов, стоящих на различных ступенях эволюционного развития в ответ на воздействие разнообразных факторов среды, так и для прогноза возможных изменений в водных экосистемах. Дальнейшие исследования направлены на раскрытие тонких механизмов адаптаций на клеточном и молекулярном уровнях, что предполагает продвижение в области теоретических разработок, а также использование новейших методов и совершенной техники для экспериментальных исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта программы Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-1410.2014.4, программы Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий».

Литература

1. Алимов А.Ф., Голубков С.М. (ред.) Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов. Санкт-Петербург. Наука, 2012. 369 с.

2. Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия (ихтиологические, паразитологические и биохимические аспекты) / Коллективная монография под общ. ред. Н.Н. Немовой. Петрозаводск, Изд-во: Карельского НЦ РАН, 2012. 228 с.
3. Бондарева Л.А. Внутриклеточная Ca^{2+} -зависимая протеолитическая система животных / Л.А. Бондарева, Н.Н. Немова, Е.И. Кяйвярйянен // М.: Наука, 2006. 294 с.
4. Борвинская Е.В., Немова Н.Н., Смирнов Л.П. Глутатион S-трансфераза из печени щуки: выделение и свойства // Доклады Академии наук РАН. Серия Биология, 2013. Т. 448. № 2. С. 236–238.
5. Высоцкая Р.У. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб / Р.У. Высоцкая, Н.Н. Немова // М.: Наука, 2008. 284 с.
6. Кашулин Н.А. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения / Н.А. Кашулин, А.А. Лукин, П.А. Амундсен. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1999. 142 с.
7. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кашулина Т.Г., Малиновский Д.Н., Вандыш О.И., Ильяшук Б.П., Кудрявцева Л.П. Антропогенные изменения водных систем хибинского горного массива (Мурманская область). Апатиты, 2008. Т. 1. 244 с.
8. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., П.М. Терентьев, Денисов Д.Б. Экологический каталог озер Мурманской области. Апатиты, 2009. Ч. 1. 226 с.
9. Кашулин Н.А., Петров В.Н., Певзнер С.Л. Об оценке биологических ресурсов Мурманской области // Кольский полуостров на пороге третьего тысячелетия: экологические проблемы. Апатиты, 2003. С.23-36.
10. Мецеракова О.В., Груздев А.И., Немова Н.Н. Сравнительная оценка углеводного обмена окуней (*Perca fluviatilis* L.) из водоемов с различным уровнем содержания гуминовых кислот//Известия РАН. Серия биологическая, 2004. № 1, С. 21-26.
11. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология. Москва. Наука, 2009. 400с.
12. Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб / Н.Н. Немова. М.: Наука, 2005. 165 с.
13. Немова Н.Н., Лысенко Л.А., Канцерова Н.П. Протеиназы семейства кальпаинов. Структура и функции // Онтогенез, 2010. Т. 41. № 5. С. 381-389.
14. Немова Н.Н., Иешко Е.П., Мецеракова О.В., Ильмаст Н.В., Аникиева Л.В., Лебедева Д.И., Чурова М.В., Стерлигова О.П., Кучко Я.А. Сиг *Coregonus lavaretus* (L.) костомукшского хвостохранилища в условиях техногенного загрязнения // Экология, 2012. № 4. С. 1-6.
15. Немова Н.Н. Биохимическая индикация состояния рыб / Н.Н. Немова, Р.У. Высоцкая. М.: Наука, 2004. 215 с.
16. Сидоров В.С. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука, 1983. 240 с.
17. Сидоров В.С., Немова Н.Н. Проблемы антропогенной экологии // Научные аспекты экологических проблем России. М.: Наука, 2000. Т. 1. С. 9-21.
18. Сидоров В.С., Немова Н.Н., Высоцкая Р.У., Такшеев С.А. Вариабельность интегрального биохимического индекса у рыб под влиянием техногенных вод горно-обогачительного комбината // Экология, 2003. № 4. С. 274-280.
19. Смирнов Л.П. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях эктотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды / Л.П. Смирнов, В.В. Богдан. М.: Наука, 2007. 184 с.
20. Фокина Н.Н. Липидный состав мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Влияние некоторых факторов среды обитания / Н.Н. Фокина, З.А. Нефедова, Н.Н. Немова. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. 243 с.
21. Shulman G.E., Love R.M. Advances in marine biology. Vol. 36. The Biochemical Ecology of Marine Fishes. In.: Advances in Marine Biology. N.Y.: Academic Press, 1999. 361 p.
22. Chuiko G.M., Donald E.T., James L. Zajicek et al., Chemical contamination of the Rybinsk Reservoir, northwest Russia: Relationship between liver polychlorinated biphenyls (PCB) content and health indicators in bream (*Abramis brama*) / Chemosphere, 2007. 67. P. 527-536.

Николаев А.И.

Институт химии и технологии редких элементов минерального сырья им. И.В. Тананаева
Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
nikol_ai@chemy.kolasc.net.ru

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИТАНО-РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ

КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Основные мировые промышленные запасы редких, редкоземельных металлов (РЗМ) и титана сосредоточены в нескольких странах, включающих Россию. Последняя обладает разнообразной богатой минерально-сырьевой базой, практически не имеющей аналогов в других странах. На территории Мурманской области находится ряд уникальных месторождений титанового и редкометалльного сырья (Калинников, Николаев, 1996; Николаев и др., 2009). В число наиболее перспективного сырья входят: лопарит и эвдиалит (Ловозерское месторождение), перовскит (Африкандское и Вуориярвинское месторождения), пирохлор, гатчеттолит и луешит (Вуориярвинское месторождение), титаномагнетит (Хибинское и Африкандское месторождения), ильменит (месторождение Гремяха-Вырмес), сфен (Хибинское месторождение). Из указанного сырья перерабатывается только лопарит в ограниченном масштабе (около 8 тыс. т/год).

Вместе с тем в России отмечается дефицит многих традиционных сырьевых источников, подготовленных к эксплуатации, содержащих титан, ниобий, тантал, цирконий, РЗМ. Масштабы потребления редких металлов и их соединений в России заметно ниже, чем в других развитых странах. Дефицит в указанных соединениях покрывается за счет импорта, как готовой продукции, так и минерального сырья. С учетом заметного влияния материалов, содержащих титан и редкие металлы, на уровень развития промышленности в целом, проблема их производства имеет общегосударственное значение.

Сложный состав нетрадиционного титанового и титано-редкометалльного сырья Кольского полуострова предопределяет необходимость его комплексной переработки с извлечением всех ценных компонентов. Однако промышленная эксплуатация месторождений ориентирована главным образом на добычу и первичную переработку основного рудного минерала. Вследствие этого полнота использования сырья крайне мала. Так, из апатит-нефелиновых руд извлекается не более 40% полезных компонентов, что составляет менее 50% от стоимости руды. Ежегодно в хвостохранилища направляется в виде сфена и титаномагнетита более 100 тыс. т в пересчете на диоксид титана. Одновременно теряются редкие, редкоземельные металлы и другие ценные компоненты (Калинников и др., 1999; Николаев и др., 1997, 2007; Калинников, Николаев, 2011).

Природные ресурсы и их глубокая переработка являются одним из приоритетных направлений научно-технического развития страны. Кризис экономики России и общества с наибольшей отчетливостью выявил эти приоритетные направления, способные обеспечить конкурентоспособность продукции на внутреннем и мировом рынках. Природные ресурсы Европейского Севера России в сочетании с выгодным экономико-географическим расположением должны рассматриваться как естественная база интенсивного хозяйственного развития на базе широкого внедрения в промышленность достижений научно-технического прогресса (Калинников и др., 1997; Николаев, Калинников, 2013).

Институт химии (ИХТРЭМС) КНЦ РАН является основным разработчиком гидрометаллургических технологий редкометалльных концентратов региона, предусматривающих комплексное использование всех ценных компонентов сырья. Систематические исследования и модельные испытания, выполненные в ИХТРЭМС, показали возможность комплексной переработки титанового и редкометалльного сырья Кольского полуострова с получением разнообразных материалов на основе редких металлов и титана. Спектр конечной товарной продукции может быть значительно расширен за счет дополнительного производства широкой гаммы соединений и композиционных материалов для массового применения, которые либо не производятся в стране, либо являются дефицитными материалами. Новый ассортимент может обеспечить текущие потребности промышленности и стать основой для организации запаса стратегических и конструкционных материалов как необходимого элемента национальной безопасности.

Были разработаны эффективные технологические схемы переработки сфенового, титаномагнетитового, лопаритового, перовскитового, эвдиалитового и пирохлорового концентратов, включающие на различных стадиях применение гидро- и пирометаллургических методов. Отдельные предложенные схемы гидрометаллургической переработки лопаритового, перовскитового и сфенового концентратов прошли проверку в опытно-промышленных масштабах. Ряд вариантов технологии для эвдиалитового, пирохлорового, луешитового и титаномагнетитового концентратов подготовлен к проверке в укрупненном масштабе (Николаев и др., 1997; Калинников и др., 1999). Более подробный обзор работ по гидрометаллургической переработке лопаритового концентрата и обоснование выбора азотнокислотно-гидрофторидной технологии, по которой выполнен бизнес-проект, приводится в работе (Склокин и др., 2000; Николаев и др., 2007).

Химическая технология титано-редкометалльного сырья, как и любого другого, базируется на фундаментальных законах химии. Накопленный опыт по переработке минерального сырья позволил выработать основные правила и принципы химической технологии для титанового и редкометалльного сырья, частично описанные в работах (Калинников, Николаев, 1996, 2004; Николаев и др., 2007). Большинство известных вариантов гидрометаллургических схем переработки указанного сырья, включают операции его разложения и последовательного выделения групповых концентратов и продуктов более глубокой переработки. Оптимальные схемы переработки комплексного титано-редкометалльного сырья, обеспечивающие экологическую чистоту химико-металлургических производств и полноту выделения ценных компонентов, должны базироваться на совместном использовании нескольких кислот и на использовании целого комплекса традиционных и новых методов, включающих гидрометаллургические методы кислотного разложения различными кислотами, выщелачивания, высаливания, экстракции, осаждения в сочетании с пирометаллургическими методами - обжиг, прокаливание, сжигание твердых и жидких полупродуктов и отходов, т.е. оптимальные технологические схемы должны быть комбинированными. Все предлагаемые нами схемы основываются на теоретических основах и технологических принципах производства (Николаев и др., 1997; Калинников и др., 1999; Калинников, Николаев, 1996, 2004).

Наиболее изученным и распространенным методом переработки титанового и редкометалльного сырья традиционно является серноокислотный, что обусловлено простотой аппаратного оформления, использованием доступных реагентов. При этом отмечаются сравнительно большие материальные потоки и объемы отходящих растворов. Помимо серной кислоты можно использовать азотную, соляную и фтороводородную кислоты. Распределение основных элементов в растворах и осадках при кислотном разложении лопаритового концентрата заметно отличается, что можно проследить из данных таблицы 1. Это позволяет создавать различные варианты технологии как для лопаритового, так и других редкометалльных концентратов, а также позволило нам создать базовый пакет технологий для переработки нетрадиционных видов сырья.

Создание пакета технологических схем переработки поликомпонентного титано-редкометалльного сырья переменного состава проводили с учетом данных по химии, технологии, экологии и экономике каждого варианта схемы, т.е. с учетом знаний накопленных не только в ИХТРЭМС, но и в других институтах КНИЦ РАН. Интеграция ученых КНИЦ РАН позволила решать междисциплинарные комплексные проблемы, охватывающие научные основы добычи, обогащения, переработки сырья региона, экологии и экономики. Совокупность данных для отдельных вариантов схем позволяет сравнивать их между собой и выбирать наиболее рациональные технологии для каждого конкретного случая (Калинников, Николаев, 2004; Николаев и др. 2007). Суммируя изложенное, можно наметить три главных направления в разработке и развитии гидрометаллургических схем переработки нетрадиционного титано-редкометалльного сырья:

1. Создание многовариантного пакета реагентов и режимов, обеспечивающего синтез оптимальных вариантов переработки поликомпонентного сырья переменного состава.
2. Создание высокопродуктивных аппаратных комплексов, обеспечивающих замкнутость технологического процесса.
3. Расширение гаммы конечной товарной продукции для обеспечения более полной утилизации всех ценных компонентов комплексного сырья с учетом нестабильной конъюнктуры на потребительском рынке титана, редких металлов и их соединений.

Базовый пакет комбинированных схем гидрометаллургического передела, позволяет в конкретной ситуации упростить выбор оптимального варианта, отвечающего любым заданным критериям отбора: экономической эффективности, экологической безопасности, доступности реагентов, возможности получения продуктов требуемого ассортимента и качества и т.д., и т.п.

Выполненные исследования нацелены на решение фундаментальной научной проблемы – теоретических основ рационального использования минеральных ресурсов титано-редкометалльного сырья. Формирование научного направления по данной проблеме основано на собственных результатах многолетних исследований и литературных данных по химии и технологии такого сырья, включая эвристические данные авторов по высокоэффективным методам кислотного разложения сырья, экстракционного разделения близких по свойствам редких металлов и получения новых продуктов. Имеющиеся результаты свидетельствуют о возможности высокоэффективного использования нетрадиционного титано-редкометалльного сырья. Для большей части технологических схем базового пакета необходимо углубление изучения ключевых операций новых малоотходных вариантов технологий для оптимизации режимов проведения процессов, а также проверка схем в полном цикле, наработка

опытных партий продуктов, изучение их свойств и областей применения. Важную роль при этом приобретают данные по утилизации отходов переработки титано-редкометалльного сырья.

Таблица 1

Распределение основных элементов в растворах и осадках при кислотном разложении лопаритового концентрата*

Кислота	Ti, Nb, Ta	Ln, Th, Ca, Sr	Na
Серная	Р	О	О
Азотная	О	Р	Р
Соляная	Р или О	Р	Р
Фтороводородная	Р	О	Р

* Р – раствор, О – осадок.

Существенным недостатком работ по комплексному использованию сырья является отсутствие четкой координации между заинтересованными организациями, которые включают академические и отраслевые институты, вузы, предприятия-переработчики сырья и потребители их продукции. Очень часто имеется лишь смутное представление о том, кому, сколько и чего нужно и кто является не гипотетическим, а реальным потребителем или производителем. Маркетинговые исследования, к сожалению, проводятся без серьезного анализа рынка товаров, тенденций его развития и ценовой политики. Наибольших успехов сегодня можно достичь, участвуя в формировании рынка новых товаров.

К путям решения указанных проблем мы относим организацию при предприятиях горно-промышленного комплекса (ГПК) и их дочерних структурах непрофильных на сегодня химических модулей, или передачу таких прав и обязанностей Кольскому химико-технологическому кластеру (КХТК) в рамках государственно-частного партнерства. В КХТК в качестве исполнителей должны входить подразделения КНЦ РАН, как основные разработчики рекомендуемых к внедрению технологий, и их опытные установки, включающие опытно-промышленное обогатительное производство, сертифицированные Кольский испытательный центр строительных материалов и лабораторию радиационного контроля, установки по выращиванию монокристаллов, а также Центр наноматериаловедения КНЦ РАН, НП «Технопарк-Апатиты».

Идея КХТК может объединить усилия предприятий ГПК, научных организаций, федеральных и муниципальных ветвей власти. Законы, в том числе и Мурманской области, КХТК создает реальную возможность организации производств, способных обеспечить формирование национального резерва как сырья, так и стратегических материалов для ОПК и всей страны и одновременно обеспечить текущие потребности промышленности на базе имеющихся на Северо-западе России сырьевых ресурсов. Создания КХТК позволит организовать глубокую переработку природных ресурсов, утилизировать часть отходов производств, улучшить экономическую безопасность и обеспечить производство конкурентоспособной продукции, среди которой стратегические материалы, пигментные продукты и наполнители для лакокрасочных материалов, дубители для кож, коагулянты, флокулянты, сорбенты, сварочные материалы и многое другое.

Литература

1. Калинин В.Т., Лузин Г.П., Николаев А.И., Цукерман В.А. Концепция создания производства титана и продуктов на его основе как фактор устойчивого развития Севера и основной сырьевой базы титана России // Химия в интересах устойчивого развития, 1997. Т. 5, № 2. С. 163-168.
2. Калинин В.Т., Николаев А.И. Перспективы использования титано-редкометалльного сырья Кольского полуострова // Журнал прикладной химии, 1996. Т. 69, № 4. С. 547-554.
3. Калинин В.Т., Николаев А.И. Титано-редкометалльное сырье Кольского региона: современные методы переработки и перспективы использования // Ресурсы. Технологии. Экономика, 2004. № 3. С. 12-19.
4. Калинин В.Т., Николаев А.И. Перспективы развития химических производств на базе сырья Кольского полуострова // Цветные металлы, 2011. № 11. С. 17-24.
5. Калинин В.Т., Николаев А.И., Захаров В.И. Гидрометаллургическая комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 225 с.

6. Николаев А.И., Герасимова Л.Г., Васильева Н.Я. Хибинский титаномagnetит - перспективное сырье для получения пигментного диоксида титана // Лакокрасочные материалы и их применение, 1997. № 9. С. 6-10.
7. Николаев А.И., Калинин В.Т. Попутное производство РЗМ при переработке перовскитового концентрата Африкандского месторождения // Цветные металлы, 2013. № 3. С. 58-63.
8. Николаев А.И., Ларичкин Ф.Д., Герасимова Л.Г., Николаева О.А. Кольский полуостров – титановая провинция России. Перспективы ее использования // Титан, 2009. № 3. С. 12-20.
9. Николаев А.И., Ларичкин Ф.Д., Николаева О.А. Стратегия поиска рационального варианта технологии переработки сырья на примере лопаритового концентрата // Химическая технология, 2007. Т. 8. № 12. С. 567-571.
10. Склокин Л.И., Зоц Н.В., Шестаков С.В. и др. Новые тенденции в гидрометаллургической технологии лопаритового концентрата // Цветные металлы, 2000. № 10. С. 48-53.

Субетто Д.А.

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
 dsubetto@nwp.krc.karelia.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА СЕВЕРЕ ЕВРАЗИИ

В последние годы значительно вырос интерес к палеолимнологическим исследованиям севера Евразии, на широтах $\geq 66^{\circ}33'$ с.ш., что вызвано, в первую очередь, проблемой глобального изменения климата. В приполярной области Северного полушария располагается огромное количество озер различного генезиса и морфометрии, заархивировавших в своих донных отложениях подробную информацию об изменениях климата, ландшафтов и гидрологии в плейстоцене и голоцене. В приполярных областях Северного полушария расположено огромное количество озер, суммарная площадь которых может быть оценена как $>80 \times 10^3 \text{ км}^2$. В настоящее время генезис котловины известен лишь для 355 арктических и 47 антарктических озер (Рянжин и др., 2010). Среди них преобладают озера ледникового и термокарстового генезиса (79%). Долгое время полярные озера из-за своего географического положения были слабо изучены и лишь в последние десятилетия развернулись активные научно-исследовательские работы по изучению стратиграфии донных отложений озер и реконструкции палеогеографических и палеоклиматических обстановок прошлого. Следует отметить такие международные проекты, как «Озеро Эльгыгытгын», “SibLake”, “KALMAR” и др., в рамках которых проводятся палеолимнологические исследования в Сибири озера Эльгыгытгын, озер Якутии и Камчатки. В настоящее время вскрыты отложения в уникальном оз. Эльгыгытгын метеоритного происхождения, которые позволят реконструировать изменения климата на протяжении 3,6 млн лет. Новые оригинальные данные получены в рамках проекта “SibLake” по изучению истории озер Якутии, таких, например, как Биллях, Сатагай и др., история которых охватывает временной интервал до 30-40 тыс. лет. Установлено, например, что накопление донных отложений в оз. Биллях, расположенного в районе Верхоянского хребта, идет непрерывно не менее 40 тыс. лет, что свидетельствует об отсутствии в исследуемом регионе значительных ледниковых шапок в максимум последнего оледенения. Получена детальная картина колебаний климата в голоцене для северной Якутии и выявлена зависимость характера органонакопления в зависимости от солнечной активности.

Активно ведутся палеолимнологические исследования на европейском севере, включающие в себя реконструкции природно-климатических обстановок в послеледниковое время, динамику уровня крупных бассейнов по периферии Балтийского кристаллического щита, выявление причин и механизмов резких климатических изменений на границе плейстоцена и голоцена (Субетто, 2009). В частности нашими исследованиями были выявлены минералогические и геохимические аномалии в строении донных отложений одного из озёр Карельского перешейка, связанных, возможно, с импактным воздействием (Андроников и др., 2014). Резкое изменение климата в позднем плейстоцене (позднелдрийское похолодание) связывают с резким ослаблением термогалинной циркуляции в результате массового поступления пресной воды в северную Атлантику из крупных приледниковых бассейнов Северной Америки и Европы. Есть и другая гипотеза, связывающая позднеледниковое похолодание с метеоритным ударом (Firestone et al., 2007). Согласно этой гипотезе,

незадолго до начала похолодания около 12900 лет назад, крупный болид (диаметром до 4 км) взорвался над Лаврентийским ледниковым щитом Северной Америки. Последствия этого катастрофического события могли привести к резкому изменению климата. Если метеорит взорвался над Северной Америкой, то преобладающее движение воздушных масс с запада на восток могло перемещать микрочастицы, образовавшиеся при взрыве, достаточно далеко, в том числе и в Западную и Восточную Европу. Ряд исследований показал, что в позднеплейстоценовых осадках Западной Европы присутствует материал, который может быть связан с метеоритным ударом (Israde-Alcantara et al., 2012). Для того, чтобы выявить геохимические признаки метеоритного удара, проанализировали позднеплейстоценовые осадки из наиболее глубокой части оз. Медведовского (60°14' с.ш., 29°54' в.д., 102.2 м над у.м.), расположенного на Центральной возвышенности Карельского перешейка (Андроников и др., 2014). Вскрытая мощность донных отложений составила 3,5 м и они представлены позднеледниковыми серыми песками и глинами и голоценовыми темно-коричневыми органогенными илами. Ранее исследование этого разреза позволило найти в нем тонкий прослой вулканического пепла Ведде, датируемого 12.0 тыс. к.л.н. (Wastegard et al., 2000; Кузнецов, Субетто, 2004). Наличие метеоритного компонента может быть определено на основании изменений в концентрациях таких элементов-маркеров, как Ni, Cr, Cu и элементов платиновой группы, которые в метеоритах присутствуют в гораздо более высоких концентрациях, чем в земных осадках. В исследованиях, связанных с определением наличия внеземного материала, возрастание концентраций Ir является важным индикатором присутствия метеоритного вещества в земных породах/осадках. Геохимические исследования донных отложений оз. Медведовского показали, что содержание и особенности распределения микроэлементов в разрезе позднеплейстоценовых осадков указывают на присутствие здесь материала из источников, нетипичных для озерных отложений региона. Можно предположить, что осадки оз. Медведовского содержат микрочастицы, образовавшиеся в результате метеоритного удара, произошедшего ок. 12900 к.л.н. Поскольку обогащение осадков оз. Медведовского маркирующими микроэлементами очень незначительно, то можно предположить, что территория СЗ России, вероятно, является наиболее удаленным восточным регионом распространения переносимого воздушным путем материала, образовавшегося в результате позднеплейстоценового метеоритного удара (Андроников и др., 2014).

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 13-05-01039, 13-05-41457).

Литература

1. Андроников А.В., Субетто Д.А., Lauretta D.S., Андроникова И.Е., Дросенко Д.А., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Сырых Л.С. Поиск следов метеоритного удара: особенности распределения микроэлементов в позднеплейстоценовых осадках оз. Медведовского (Карельский перешеек, Россия). Доклады Академии Наук. Серия «Геохимия», 2014. (в печати)
2. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. Тефрохронология и ее применение в палеолимнологии // Изв. Росс. Геогр. Общ-ва, 2004. Т. 134. С. 79-82.
3. Рянжин С.В., Субетто Д.А., Кочков Н.В., Ахметова Н.С., Вейнмейстер Н.А. Полярные озера мира: современные данные и состояние исследований // Водные ресурсы, 2010. № 37 (4). С. 387-397.
4. Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции / Отв. ред. акад. А.П. Луцицын. Научная монография. СПб: Изд. РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 339 с.
5. Firestone R.B., West A., Kennett J.P., et al. // Proceed. Natl. Acad. Sci. 2007 V. 104. P. 16016-16021.
6. Israde-Alcantara I., Bischoff J.L., Dominiguez-Vasques G, et al. // Proceed. Natl. Acad. Sci. 2012. V. 109. P. 738-747.
7. Wastegard S., Wohlfarth B., Subetto D.A., Sapelko T.V. Extending the known distribution of the Younger Dryas Vedde Ash into northwestern Russia // Journal of Quaternary Science, 2000. V. 15. P. 581-586.

Яковлев В.А.

*Институт проблем экологии и недропользования АН Республики Татарстан, г. Казань
d.bugensis@mail.ru*

**ТОКСИФИКАЦИЯ, ЭВТРОФИКАЦИЯ, АЦИДИФИКАЦИЯ И ТЕРМОФИКАЦИЯ
СУБАРКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ**

Северо-восточная часть Фенноскандии и Кольский п-ов – регионы, где выявлены антропогенные изменения водных экосистем, обусловленные токсификацией, эвтрофикацией, ацидификацией и термофикацией. Согласно концепции прогрессивной биологической эволюции, направленной на развитие высокоупорядоченных и организованных живых систем на Земле зрелые экосистемы формируются лишь в благоприятных и стабильных условиях среды. Большое видовое разнообразие, преобладание в сообществах крупных организмов над мелкими, обратная зависимость между разнообразием и биомассой сообществ, значительная доля первичноводных мезо- и неолимитических видов, а также значительное количественное развитие популяций хищников (25-40%) характерны для зрелых пресноводных экосистем Севера.

На основе материала по зообентосу разнотипных водоемов, расположенных на территории Мурманской обл., Финской Лапландии и северной Норвегии, мы выявили, что любое антропогенное воздействие ведет к нарушению сбалансированных, т.е. наиболее соответствующих конкретным условиям среды обитания внутри- и межвидовых взаимоотношений в сообществах. Водные экосистемы как бы возвращаются на ранние стадии развития. Особенно это характерно для процессов **токсификации** и антропогенной **ацидификации**. В токсичной среде и в воде с низкими значениями pH в экосистемах наблюдается следующее:

- сокращение биоразнообразия;
- уменьшение общей численности и биомассы биотической компоненты;
- упрощение пищевой сети при резком подавлении автотрофной и сапрофитной компоненты;
- возрастание роли хищных беспозвоночных вследствие ослабления торфического «влияния» рыб;
- уменьшение средних значений индивидуальной массы организмов, т.е. в сообществах преобладают мелкие особи (однако в бентосных сообществах появляются и относительно крупные представители Isopoda, Corixidae, Dytiscidae и Polycentropodidae, становящимися представителями высшего трофического уровня в экосистеме);
- увеличение роли «ранних» видов и *r*-стратегов;
- возрастание доли в сообществах беспозвоночных вторичноводных видов и уменьшение роли палеолимитических первичноводных организмов (мезо- и, особенно неолимитические виды, выбывают из сообществ даже при незначительном возрастании концентрации токсичных металлов и соединений, а также в воде с активной реакцией среды < 6.5);
- прямая зависимость между индексом разнообразия Шеннона и биомассой зообентоса.

В условиях **эвтрофирования**, **термофикации** наблюдаются обратные тенденции:

- увеличение биоразнообразия при умеренных нагрузках биогенов и уменьшение при дальнейшем повышении их концентрации;
- возрастание общей численности и биомассы сообществ;
- усиление пастбищного и, особенно детритного, направлений утилизации ОВ путем возрастания роли автотрофов и их потребителей - консументов, включая детритофагов;
- ослабевание нагрузки со стороны беспозвоночных и позвоночных хищников, т.е. сокращение относительной биомассы и средних индивидуальных размеров хищников по сравнению с «мирным» компонентом биоты;
- увеличение средних размеров особей в сообществах;
- возрастание доли первичноводных палеолимитических видов в общей биомассе сообществ (нео- и мезолимитические виды выпадают из сообществ в эвтрофных водоемах и при повышении температуры воды на $5-8^{\circ}\text{C}$ по сравнению с естественной температурой водных масс вне зоны теплового воздействия Кольской АЭС);
- обратная зависимость между индексом разнообразия Шеннона и биомассой зообентоса (за исключением профундали крупных озер и горных водоемов с суровыми условиями среды).

Таким образом, обнаруживается существенное сходство в антропогенной динамике экосистем при отдельных процессах: между токсификацией и ацидификацией, с одной стороны, а также между эвтрофированием, термофикацией и контролем (водоемы без признаков антропогенных нарушений), с другой. Поскольку существование водных экосистем возможно лишь при постоянной утилизации ОВ, они вполне «готовы» противостоять периодическому избыточному поступлению биогенных элементов, как и к летнему прогреву воды на мелководьях (до 25°C в северных водоемах). Экосистемы в ходе исторического развития приобрели возможность до определенного предела утилизировать избыточное ОВ путем усиления детритного и пастбищного направлений при соответствующем ослаблении нагрузки со стороны хищников. Это достигается вспышкой развития автотрофов и их потребителей – «мирных» беспозвоночных и позвоночных, особенно детритофагов.

Токсификация и ацидификация – это, относительно эволюционно «новые» виды антропогенного воздействия, эффективные механизмы противостояния по отношению к которым у водных экосистем сильно ограничены. В последние несколько тысячелетий водоемы Севера вряд ли подвергались разрушительным действиям выбросов вулканов и других катаклизмов, связанных с повышением концентрации токсических веществ и минеральных кислот. Эти процессы ведут однозначно к деградации экосистем, которые возвращаются как бы на ранние стадии развития, а токсиканты становятся ключевыми факторами, определяющими динамику пресноводных экосистем.

Секция 1

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

Андрянов В.В.¹, Цветков В.Ф.²

*¹Государственное казенное учреждение Архангельской области
«Центр по охране окружающей среды», г. Архангельск
avvoldemar@gmail.com*

*²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск
vftsvetkov@yandex.ru*

МАСШТАБЫ И ГЛУБИНА АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ РАКУЛЬСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА)

Современное лесопользование в таежных лесах ориентируется на таксационные материалы, выстраиваемые на квадратной или прямоугольной квартальной системе. Такая система приводит к тому, что лесопользователи "режут по живому" сложившиеся биогеоценотические связи лесных систем.

Одним из способов снижения негативного воздействия на лесные экосистемы является ландшафтный подход в ведении хозяйства в лесу. Дифференциация экосистем по комплексу свойств и полезностей основывается на иерархической системе гомогенности комплекса геологических, геоморфологических (рельефных), почвенно-гидрологических, геоботанических, экологических, биогеоценотических, антропогенных и хозяйственно-экономических условий. На наш взгляд, такой подход располагает, значительно, большими возможностями более «мягко» и с большей эффективностью решать проблемы упорядочения лесопользования и реабилитации как уже нарушенных антропогенным воздействием лесных земель, так и новых территорий освоения лесов. При этом открываются возможности более глубокого познания процессов функционирования биогеоценозов и интенсификации лесоводства.

Актуальным будет считаться вопрос насыщения лесотаксационной информации ландшафтными характеристиками организации лесов, а также оценка масштабов и глубины их антропогенной трансформации. Активное использование лесов в последние два столетия существенно подорвало современное "здоровье" лесного комплекса страны.

В настоящей статье обозначим целью исследования оценку возможностей расширения потенциала ресурсно-сырьевой и экологической значимости лесов посредством «оснащения» традиционных лесотаксационных характеристик насаждений ландшафтно-экологическими параметрами; анализ масштабов и глубины антропогенной трансформации лесов, в связи с разной их хозяйственно-целевой и ландшафтной организацией.

Объект исследования - земли Ракульского участкового лесничества Холмогорского лесничества. В прошлом веке данные леса претерпели высокую нагрузку промышленной лесозаготовки. Это различные способы рубок, различные технологии и системы машин при освоении лесов, попытки повысить продуктивность лесов с помощью мелиорации. Все это происходило в условиях различия в природе лесов разных типов лесорастительных условий и формаций преобладающих пород, что обусловило большую пестроту отклика экосистем на внешние воздействия (Цветков, 2008), тем самым обеспечило требуемую для исследователей множественность «траекторий» лесовосстановительных сукцессий.

Территория Ракульского участкового лесничества представляет пологий сложный склон, ориентированный на восток к главной водной артерии региона - Северная Двина. Данный склон, с абсолютными отметками от 100 до 60 м над уровнем моря, пестрит небольшими песчаными повышениями и заболоченными понижениями, а также встречаются отдельные песчаные озы. В целом, лесоводственно-ландшафтная (с хозяйственным акцентом) картина состояния экосистем

участкового лесничества достаточно полно и объективно характеризует природно-биологические особенности лесных экосистем данного района и сложившуюся ситуацию по масштабам и глубине трансформированности лесов.

Методологическую основу исследований составляет синтез лесохозяйственных, лесобиологических и ландшафтно-геоморфологических подходов к характеристикам насаждений, апробированных маститыми учеными разных отраслей лесного дела (М.Е. Ткаченко, А.В. Тюрин, Б.П. Колесников, И.С. Мелехов, Л.П. Рысин, Д.М. Киреев, Г.А. Исаченко, В.И. Левин, Н.Е. Декатов, С.Н. Сеннов, А.А. Молчанов, Е.Г. Тюрин, А.В. Побединский, А.П. Корчагин; Е.П. Смолоногов, Н.И. Казимиров, А.Н. Громцев, А.П. Шенников, В.Д. Александрова, А.П. Корчагин). Разработки маститых ученых подтверждают высокую актуальность запланированных исследований.

Методический базис исследований сформирован в основном на работах И.С. Мелехова (5-7), Б.П. Колесникова (3-4), Д.М. Киреева (2), А.Н. Громцева (2002), разработки, которых позволили определиться с основными закономерностями антропогенной динамики лесов и с разнообразием их продукционных и экологических потенциалов, обусловленных орографическими и геохимическими параметрами местообитаний. На основе разработок уральских лесоводов и ведущих ученых лесных институтов системы Рослесхоза (ВНИИЛМ.1981; ЛенНИИЛХ, 1981) были выбраны для исследования представительные «траектории» дигрессивно-демутационных сукцессий.

Теоретической предпосылкой выстраивания методики исследований принят закон эргодичности, интерпретацию которого можно представить следующим образом: «объекты, составляющие в пространстве закономерный ряд последовательных событий, могут характеризовать также параметры временной динамики явления». То есть производные насаждения, расположенные в ряд по увеличению «достаточно определенные временные (возрастные) этапы формирующихся производных насаждений».

Лесоводственная база исследования состоит из поведенных лесотаксационных данных и лесоустроительный планшет, а также топографические карты территории. При оценке трансформированности лесов выделялись несколько наиболее представительных и генерализованных генетических категорий происхождения насаждений с указанием возрастных этапов их развития. Основное внимание уделялось нарушенности лесов хвойных формаций. Выделялись следующие виды генетических категорий насаждений (определение категорий генезиса насаждений упрощено):

УК – Условно коренные насаждения. Это сообщества с высоким возрастом преобладающей породы, являющиеся подобиями климаксовых образований.

Смг – насаждения Смешанного генезиса – объекты со значимым участием элементов климаксового типа, но включающие в состав то или иное присутствие производных, более молодых генераций.

Пр1 - Производные насаждения 1 типа - насаждения различных возрастов, развивающиеся без явной смены пород.

Пр2 - Производные насаждения 2 типа - на разных этапах становления очередного поколения преобладающей породы и формирующиеся на месте коренных и смешанного происхождения БГЦ со сменой преобладающей хвойной породы на другую хвойную: **С(Лц) - Е (Пх)**.

Пр3 - Производные насаждения 3 типа - с выраженной сменой хвойных на лиственные на первых (в течение 40-50 лет) этапах, а также лиственные насаждения любых возрастов. Частным случаем следует выделить категорию **Пр 3-1** - производные насаждения с проявлением обратимости смены лиственной породы на хвойную (увеличение участия хвойных пород в составе насаждения).

Пр4 - Производные насаждения 4 типа - сообщества искусственно созданных насаждений лесокультурного фонда.

Обработка данных выделенных совокупностей участков лесопокрытых земель заключается в последовательном сопоставлении показателей всех их параметров и выстраивании нескольких структурных совокупностей участков посредством группировкам выделов по формациям преобладающих пород, по типам лесорастительных условий, по типам леса и возрастным группам, по типам генезиса насаждений. Однородные по ведущим лесотаксационным показателям группы фаций получают средние таксационные показатели (средние высота и диаметр, полнота, запас стволовой массы и класс бонитета). Анализ территории с широким комплексом лесотаксационных и ландшафтных показателей открывает возможность группировать лесные ПТК (биогеоценозы) в однородные по ведущим показателям участки.

Для каждой совокупности участков рассчитываются средние значения и интервалы изменчивости абсолютных отметок (м), изменчивость и средние значения величин базиса эрозии (м),

выраженность приуроченности к склонам разной экспозиции (%). Выявляются распределение совокупностей фаций к типам местообитания (%), по приуроченности к типам биогеохимических ландшафтов (%) и к месту на лесотопологическом катене (%). Рассчитываются средние значения и интервалы изменчивости балла биологического потенциала и функционального потенциала, структуру категорий фаций по положению на лесотопологическом катене.

Главной задачей исследований трансформированности лесов является - выявление зависимости масштабов и глубины нарушения нормальной структуры лесных земель, в зависимости от уровня хозяйства (от целевого назначения хозяйственных частей или хозсекций); от доступности ПТК для хозяйственного освоения; от формационной структуры лесов местности или урочища, от комплекса топографических условий местообитаний (в т.ч. от ТЛУ и типа леса).

О масштабе влияния человека можно судить по общей относительной представленности трансформированных земель в местности, в составе урочищ, в совокупности однородных ТЛУ или однородных типов леса. Глубину трансформации по массовым повыдельным данным определить достаточно сложно. Тем не менее, планируется выявление ориентировочных данных с использованием массовых материалов лесоустройства и метода экспертных оценок, опирающегося на специальные полевые обследования и обзоры литературы.

Предположительно, не испытали трансформирующих воздействий со стороны человека только насаждения категории **УК**. Допускаем, что часть (половина) насаждений категории **Смг** испытывала трансформированное воздействие от человека. Вторая половина – носит явные следы стихийных природных явлений (ветровалов, буреломов, периодического пятнистого усыхания ели (Цветков, 2009-2010), грибных болезней и др.) Остальные однозначно подвергались влиянию человека.

Особую сложность при выявлении влияния антропогенного вмешательства представляет оценка лесомелиоративных (осушительных) мероприятий. Здесь расчет на использование трудов ведущих специалистов отрасли (Э. Вомперского, А.М. Тараканова, Н.А. Дружинина, А.А. Корепанова). На данном этапе мелиорация будет рассматриваться только как дополнительное влияние человека на лес.

Предварительные результаты исследования сводятся к следующему. Территория исследования представляет собой хорошо обнесенный пологий сложный склон с абсолютными отметками 20-60 м. Преобладающей формацией являются сосняки, на долю которых приходится 63% территории. Березняки и осинники представлены послерубочными и послепожарными насаждениями. Преобладают насаждения с древостоем низких классов бонитета (V-IV) смешанного состава.

Типологическая структура категорий трансформированности насаждений и структура типов генезиса насаждений представлена в таблицах 1 и 2. В таблицах приводятся только процентные данные, так как нет смысла загромождать таблицы данными площадей распределения участка по категориям. Участок участкового лесничества, который анализируется в данной статье, составляет 9.5 тыс. га

Площади, подвергшиеся мелиорации, составляют порядка 20% исследуемой площади. Преимущественно она была проведена на площадях сосняков сфагнового типа леса для улучшения условий их произрастания. Но она не дала должного результата. Главным фактором в неэффективности мелиорации стало отсутствие уходов за мелиоративной сетью. Это привело к тому, что практически вся сеть заросла. При обследовании некоторых мест осушения было установлено, что каналы не выполняют своих функций. Уровень воды в них держится примерно на одном уровне и вода не отводится от территории. Что же касается древостоя, находящегося на осушенной площади, то положительного эффекта практически не видно. Положительное влияние осушения отмечается только на отвалах водосборных каналов.

Таблица 1

Типологическая структура категорий трансформированности насаждений

Формации преобладающих пород	Представленность ТЛУ в лесах; площадь %						
	лишайниковый	брусничный	черничный	долгомошный	травболотный	сфагновый	всего
Сосняки	5.1	10.3	38.8	9.9	2.3	33.6	62.9
Ельники			20.3	60.7	19.0		24.7
Березняки			19.0	48.9	32.0		12.4

и осинники							
Итого	3.2	6.5	31.8	27.3	10.1	21.1	100

Таблица 2

Структура типов генезиса насаждений

Формации	Категории происхождения (генезиса), %						
	УК	Смг	Пр1	Пр2	Пр3	Пр3-1	Итого
Сосняки	20.9	11.0	21.7	20.6	0.8	25.1	62.9
Ельники	65.3	10.3		24.5			24.7
Березняки			34.2	39.4	26.4		12.4
Итого	29.3	9.4	17.9	23.9	3.8	15.8	100

Из данных таблиц видно, что доля лиственных насаждений составляет всего 12.4%. Если считать что на исследуемой площади только треть площади занимают коренные насаждения, то такой процент считается вполне удовлетворительным. Таким образом можно сказать, что, не смотря на активное использование лесов лесничества смена пород на площадях рубок спелых насаждений произошла на не большом проценте территории. Но, хоть и территории возобновились хвойными породами, доля лиственных пород в них, в среднем, составляет 4 единицы. Это свидетельствует о том, что при дальнейшем использовании лесов вероятность возобновления территории лиственными породами намного выше.

Условно коренные насаждения приурочены к неблагоприятным условиям произрастания. В основном это территории заболоченных участков, которые сохранились в виду не рентабельности проведения в них рубок (низкий класс бонитета, низкий класс товарности, малая полнота и запас на га).

Насаждения смешанного генезиса представлены древостоями, пройденными выборочными рубками. В них вырубались только технически спелая древесина хвойных пород, а выборка не превышала 15-20%. Основным в их определении является наличие деревьев с разницей в возрасте 2-3 класса.

Производные насаждения представлены древостоями 1-4 классами возраста. Все эти насаждения произошли естественным путем от подроста и обсеменения вырубленных территорий. Отмечается высокое наличие территорий с оставленными семенниками и семенными куртинами, которые уже давно выполнили свои функции (и практически все такие площади восстановились хвойными породами).

Если же рассматривать всю территорию лесничества, то она пережила очень сильное воздействие человека. Это практически полностью пройденная рубками площадь с густой мелиоративной сетью. Но природа выдержала такой удар и сохранила свойства лесов северной тайги.

Современные условия исключают возможность не использования лесных территорий. То, что лесничество практически полностью подверглось разнообразному влиянию промышленности прошлого столетия и претерпело глубокие изменения, как и насаждений, так и условий произрастания, приводит к тому, что теперь эта территория стала нуждаться в постоянном вмешательстве человека в естественные процессы. Правильное ведение лесного хозяйства позволит не только уменьшить глубину произошедших изменений, но и сохранить леса подобными тем, которые произрастали на этой территории столетиями. Со слов руководителя лесничества в Ракульском участковом лесничестве последние 40 лет рубки практически не проводились. Это несет негативные последствия для данной территории. Огромное количество насаждений нуждается в проведении различных видов рубок. Но пока данная территория не является востребованной со стороны лесозаготовителей, что постепенно ухудшает состояние лесных биогеоценозов территории.

Литература

1. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 278 с.
2. Казимиров Н.И. Экологическая продуктивность сосновых лесов (математическая модель) / [текст] / Петрозаводск. Карельский НЦ РАН, 1995. 120 с.
3. Киреев Д.М. Ландшафтоведение. Лесное ландшафтоведение. Учебн. научн. издание. СПбГЛТА, 2007. 604 с.

4. Колесников Б.П., Фильрозе Е.М. Применение таксационно-статистического метода и генетической классификации типов леса для изучения продуктивности лесов // [текст] // Лесоведение, 1967. № 4. С. 16-25.
5. Колесников Б.П. Генетический этап в лесной типологии его задачи. [текст] // Б.П. Колесников // Лесоведение, 1974. № 2. С.3-20.
6. Мелехов И.С. Рубки и возобновление леса на Севере // [текст] // Архангельск, 1960. 200 с.
7. Мелехов И.С. Лесоводство // [монография] / И.С. Мелехов. М., 1989 302 с
8. Раменский Л.Г. Основные закономерности растительного покрова и их изучение / [текст] // Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избранные работы. Л.: Наука, 1971. 334 с.
9. Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса // [монография] / Санкт-Петербург. СпбНИИЛХ, 1999. 94 с.
10. Цветков В.Ф. Динамические ряды лесообразования в связи со сплошными рубками на Европейском Севере [текст] // М. Научные труды МГУЛ, 1995. № 274. С. 50-57.
11. Чертовской В.Г. Динамика типа леса // [текст] // В.Г. Чертовской // Изучение и охрана природы на Севере. Сыктывкар, 1984. С. 43-52.

Артемкина Н.А.

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

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА И УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХВОИ *JUNIPERUS SIBIRICA*

В Хибинах произрастает вечнозеленый низкорослый хвойный кустарник *Juniperus sibirica* Burgsd., который принадлежит к семейству кипарисовых. Экологические условия роста в Хибинах отличаются значительно от подножия горного массива до его вершины: происходит высотный переход от леса к тундре. Следовательно, можно предположить некоторые изменения в химическом составе хвои можжевельника, произрастающего в различных условиях. Предыдущие исследования показали, что химический состав хвои можжевельника (*Juniperus communis*) изменяется с увеличением широты и высоты произрастания, причем, сильнее проявляется широтный эффект (более высокое содержание монотерпенов, проантоцианидинов и флавонолов в северных широтах) (Martz et al., 2009). В дополнение к широтному и высотному градиенту, химический состав хвои может изменяться в последовательных стадиях арктических лесных экосистем, как это ранее было показано для листьев *Vaccinium myrtillus* (Martz et al., 2010). Химический состав хвои можжевельника зависит также от многих других факторов, в том числе от времени года (Adams, 1987; Peñuelas et al., 2002), места произрастания, вида можжевельника, органа растения (Adams, 1987; Thomas et al., 2007), питательного статуса почв (Thomas et al., 2007). Изменения в химическом составе можжевельника, в свою очередь, могут повлиять на процессы разложения опада, а, следовательно, на физико-химические свойства почв (García-Morote et al., 2012). Ранее было установлено более высокое содержание N и P в почве под кроной можжевельника по сравнению с межкроновым пространством (DeLuca, Zackrisson, 2007). Предполагают, что можжевельник имеет способность облегчать рост лиственных и хвойных разновидностей (Chhin, Wang, 2002). Кроме того, считают, что можжевельник играет важную роль в помощи фиксации азота мхами в тундре и, таким образом, может быть ключевым фактором в процессе восстановления после антропогенных или естественных нарушений в арктических и альпийских экосистемах (DeLuca, Zackrisson, 2007). Несмотря на разнообразие информации по можжевельнику, данных по содержанию структурных компонентов (лигнина, целлюлозы) и других вторичных метаболитов, а также по качественному и количественному их изменению в горных экосистемах недостаточно.

Наше исследование направлено на изучение содержания лигнина, целлюлозы, липидов, некоторых групп фенольных соединений в хвое разного возраста *Juniperus sibirica*, произрастающего в экотоне лес-лесотундра г. Тульйок Хибинского горного массива (Россия).

Территория исследования расположена в центре Кольского полуострова, на г. Тульйок Хибинского горного массива (N67.70 E33.79), и представляет собой высотный переход от леса к тундре. Отбор образцов проводили в трёхкратной повторности в поясах еловых и березовых лесов.

Пробные площади были заложены в ельнике зеленомошно-кустарничковом и в березовом криволесье (березняк зеленомошно-кустарничковый). Подробное описание площадок представлено в таблице 1.

Содержание химических элементов в почвенных и растительных образцах определяли после разложения концентрированной азотной кислотой (мокрое озоление). Содержание калия определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии; Ca, Mg, K, Mn – методом атомно-абсорбционной спектрометрии; P – фотоколориметрическим методом (метод Лоури-Лопеса). Общее содержание C и N определяли по методам Тюрина и Кьельдаля соответственно.

Содержание лигнина и целлюлозы определяли путем обработки пробы 72%-ной серной кислотой, после предварительного кипячения в растворе ЦТАБ (10 грамм цетилтриметиламмония бромида в 1 л 0.5M H₂SO₄). Измельченную хвою экстрагировали 80%-ным этанолом. Для удаления сопутствующих веществ (смолы, воска, пигменты и др.) этанольный экстракт промывали гексаном. Полученную фракцию экстрактивных веществ, перешедших в гексан, обозначили как липиды. Определение содержания растворимых фенольных соединений проводили фотоколориметрическим методом с реактивом Фолина-Чокальтеу (поглощение при 730 нм), количество флавоноидов – с 1M раствором AlCl₃ (410 нм), проантоцианидинов – со смесью н-бутанол:HCl (95:5 v/v) (555 нм). В качестве стандартов использовали галловую кислоту, кверцетин и конденсированные танины листьев *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* соответственно.

Таблица 1

Основные характеристики площадок отбора

Характеристики	Еловый лес	Берёзовый лес
Высота, м над у.м.	350	380
Основная порода	<i>Picea abies</i>	<i>Betula pubescens</i>
Растительность напочвенного покрова	<i>V. vitis idaea</i> , <i>V. myrtillus</i> , <i>Pleurozium schreberi</i>	<i>Betula nana</i> , <i>V. myrtillus</i> , <i>E. hermaphroditum</i> (sparse)
Тип почвы	Carbic podzol (с повышенным содержанием гумуса)	Carbic podzol (с повышенным содержанием гумуса)
Характеристики органогенного горизонта:		
pH	-	5.53±0.10
C/N	-	27±4
N (%)	-	1.8±0.2
P (мг/кг)	-	344±48
Ca (мг/кг)	-	9008±428
Mn (мг/кг)	-	490±61
K (мг/кг)	-	1503±64
Mg (мг/кг)	-	727±81

Концентрации липидов в хвое можжевельника показали значения того же самого порядка (7.2-13.0% от а.с.с), что и в предыдущих исследованиях (Adams, 1987) (см. рис.1). Концентрации растворимых проантоцианидинов (65.0-81.7 мг/г) в хвое *Juniperus sibirica* выше, чем у этого же вида, произрастающего на территории Эвенкии (52.6 мг/г) (Нарчуганов и др., 2010), и значительно ниже, чем в хвое *Juniperus communis* (165 мг/г), растущего в Турции (Kamalak et al., 2004). Содержание связанных проантоцианидинов (25.9-42.2 мг/г) то же, что и в хвое *Juniperus communis* (39.0 мг/г) (Kamalak et al., 2004). Сумма проантоцианидинов (83.9-102.1 мг/г) существенно ниже, чем в хвое *Juniperus communis* из Испании (197-230 мг/г) (Frutos et al., 2002). Количество фенольных соединений (65.8-83.1 мг/г) подобно их содержанию в хвое *Juniperus communis* из Финляндии (60-100 мг/г (N67°)) (Martz et al., 2009), однако больше, чем в хвое *Juniperus sibirica*, произрастающей в Эвенкии (53.4 мг/г) (Нарчуганов и др., 2010) и в хвое *Juniperus communis* из Италии (20-25 мг/г) (Peñuelas et al., 2002). Концентрации флавоноидов (10.5-15.3 мг/г) сходны с аналогичным показателем, представленным ранее для хвои этого же вида из Сербии (14.7 мг/г) (Lesjak et al., 2011). Содержание целлюлозы, лигнина и ADF в нашем исследовании составляет 18.1-20.9%, 15.2-26.9% и 34.9-48.1% соответственно. В других работах уже были установлены концентрации лигнина в хвое *Juniperus sibirica* (19.1%) (Зырянова и др., 2012), лигнина (13.1%) и ADF (39.2%) в хвое *Juniperus communis* из

Турции (Kamalak et al., 2004), а также целлюлозы (28%) и лигнина (20%) в хвое *Juniperus communis* из Италии (Peñuelas et al., 2002).

Анализ полученных результатов показал существенные возрастные трансформации в химическом составе хвои можжевельника, которые выражались в повышении содержания лигнина, липидов и фенольных соединений в процессе старения хвои. Не было выявлено какой-либо связи между возрастом хвои и содержанием целлюлозы. Концентрации растворимых и связанных проантоцианидинов, а также флавоноидов понижаются в хвое старших возрастов *Juniperus sibirica*. Эти данные согласуются с уже существующими исследованиями, в которых сообщают о том, что содержание флавоноидов в зрелых иглах *Picea abies* было ниже и их состав менее разнообразен, чем в молодой хвое. Уменьшение связанных проантоцианидинов и увеличение растворимых проантоцианидинов в конце сезона вегетации ранее наблюдали в листьях *Betula pubescens*.

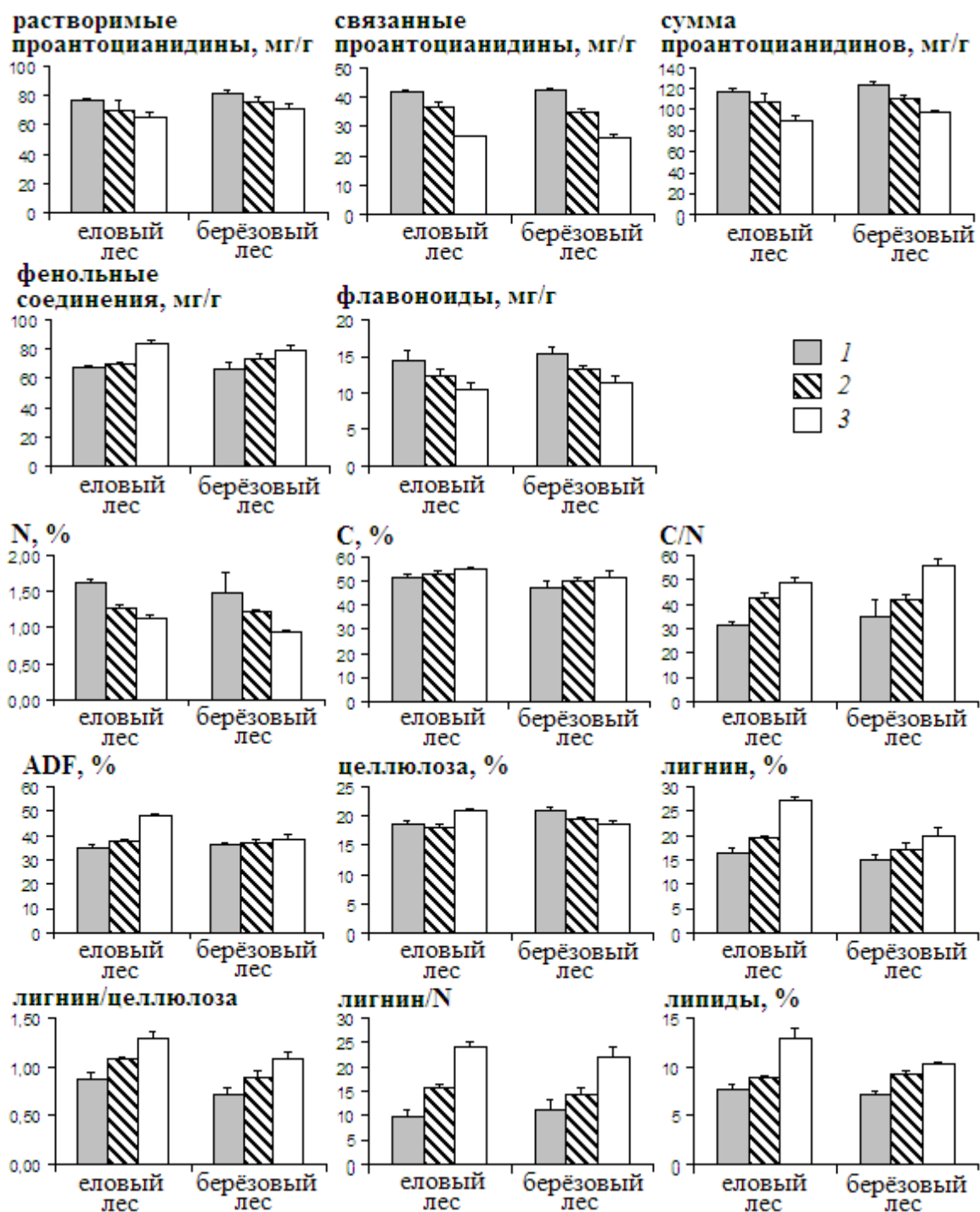


Рис. 1. Химический состав хвои разных возрастов *Juniperus sibirica* в поясах елового леса (лес) и берёзового леса (лесотундра): 1 – хвоя текущего года, 2 – хвоя первого года, 3- хвоя 3-7 годов (представлены средние значения и стандартная ошибка, n=3)

При увеличении высоты относительно уровня моря выявили понижение количества лигнина в хвое *Juniperus sibirica* всех возрастных классов. Точно такая же закономерность была показана для лигнина в хвое *Picea rubens* Sarg. и *Abies balsamea* [L.] Mill с увеличением высоты произрастания на северо-востоке США (Richardson, 2004). В этой же работе было отмечено, что уменьшенная концентрация лигнина с увеличением высоты может иметь значение для циклов элементов питания в этой экосистеме, где холодные температуры ограничивают скорость разложения опада. Соответственно снижение показателей лигнин/целлюлоза и лигнин/N в хвое старших возрастных классов в поясе лесотундры в нашем исследовании также может повлиять на процессы трансформации опада. Японские ученые предположили, что более низкое содержание лигнина является адаптивной реакцией и облегчает более быструю рециркуляцию питательных веществ в окружающих средах с меньшей продуктивностью (высокое возвышение) (Kitayama и др. 2004).

Содержание целлюлозы в поясах еловых и берёзовых лесов существенно не изменяется (коэффициент вариации (Cv) составляет 7.0%). Наибольшее количество липидов накапливается в старой хвое можжевельника, произрастающего в еловых лесах. Полученные нами результаты противоречат некоторым исследованиям хвойных, в которых сообщается об увеличении содержания хлорофиллов и каротина (Oleksyn et al., 1998), а также терпенов (Martz et al., 2009), входящих в липидную фракцию, при повышении высоты над уровнем моря. Количество проантоцианидинов клеточной стенки практически не различается в изучаемых поясах. Концентрация суммы фенольных соединений в старой хвое можжевельника немного выше в поясе елового леса по сравнению с берёзовым лесом. Такое накопление может быть проявлением механизма конкуренции за питательные ресурсы между растениями или аллелопатических взаимодействий растение-растение, ведь известно, что ель содержит значительное количество аллелохимикатов. Содержание флавоноидов и растворимых проантоцианидинов в хвое всех возрастов увеличивается при повышении высоты относительно уровня моря, что обычно объясняют зависимостью синтеза фенилпропаноидов, особенно флавоноидов от интенсивности освещения (УФ-излучения, озона) и температуры (Martz et al., 2009; 2010). Установлено, что фотоокислительное напряжение, вызванное легкой интенсивностью УФ-излучения, может быть увеличено при низких температурах, из-за ограничивающего эффекта температуры на фотосинтез.

Наши результаты демонстрируют, что с увеличением абсолютной высоты (при переходе от леса к лесотундре) в Хибинских горах происходит изменение состава хвои *Juniperus sibirica*, которое выражается, главным образом, в понижении содержания лигнина, и в повышении концентрации флавоноидов, растворимых проантоцианидинов. С повышением возраста хвои происходит накопление лигнина, липидов, фенольных соединений и понижение концентраций флавоноидов, растворимых и связанных проантоцианидинов.

Литература

1. Нарчуганов А.Н., Ефремов А.А., Оффан К.Б. Экстрактивные вещества лапки хвойных Эвенкии, извлекаемые при спиртовой обработке с использованием ультразвука // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 105–108.
2. Adams R.P. Yields and seasonal variation of phytochemicals from *Juniperus* species of the United States // Biomass. 1987. V. 12. № 2. P. 129–139.
3. Chhin S., Wang G.G. Spatial and temporal pattern of White Spruce regeneration within mixed grass prairie in the Spruce Woods Provincial Park of Manitoba // Journal of Biogeography. 2002. V. 29. № 7. P. 903–912.
4. DeLuca T. H., Zackrisson O. Enhanced soil fertility under *Juniperus communis* in arctic Ecosystems // Plant and Soil. 2007. V. 294. № 1-2. P. 147–155.
5. Frutos P., Hervas G., Ramos G., Giraldez F.J., Mantecon A.R. Condensed tannin content of several shrub species from a mountain area in northern Spain, and its relationship to various indicators of nutritive value // Animal Feed Science and Technology. 2002. T. 95. № 3-4. С. 215-226.
6. García-Morote F. A., López-Serrano F. R., Andrés M., Martínez-García E., Lucas-Borja M., Dadi T., Candel D., Wic C. Effects of woodland maturity, vegetation cover and season on enzymatic and

- microbial activity in thermophilic Spanish Juniper woodlands (*Juniperus thurifera* L.) of southern Spain // European Journal of Soil Science. 2012. V. 63. № 5. P. 579–591.
7. Kamalak A., Filho J.M.P., Canbolat O., Gurbuz Y., Ozay O., Ozkan C.O. Chemical composition and its relationship to *in vitro* dry matter digestibility of several tannin-containing trees and shrub leaves // Livestock Research for Rural Development. 2004. V. 16. № 4. Paper 27.
 8. Kitayama K., Suzuki S., Hori M., Takyu M., Aiba S.I., Majalap-Lee N., Kikuzawa K. On the relationships between leaf litter lignin and net primary productivity in tropical rain forests // Oecologia. 2004. V. 140. № 2. P. 335–339.
 9. Lesjak M.M., Beara I.N., Orčić D.Z., Anačkov G.T., Balog K.J., Francišković M.M., Mimica-Dukić N.M. *Juniperus sibirica* Burgsdorf. as a novel source of antioxidant and anti-inflammatory agents // Food Chemistry. 2011. V. 124. № 3. P. 850–856.
 10. Martz F., Jaakola L., Julkunen-Tiitto R., Stark S. Phenolic Composition and Antioxidant Capacity of Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) Leaves in Northern Europe Following Foliar Development and Along Environmental Gradients // Journal of Chemical Ecology. 2010. V. 36. № 9. P. 1017–1028.
 11. Martz F., Peltola R., Fontanay S., Duval R. E., Julkunen-Tiitto R., Stark S. Effect of latitude and altitude on the terpenoid and soluble phenolic composition of juniper (*Juniperus communis*) needles and evaluation of their antibacterial activity in the boreal zone // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009. V. 57. № 20. P. 9575–9584.
 12. Murphy K.L., Klopatek J.M., Klopatek C.C. The Effects of Litter Quality and Climate on Decomposition along an Elevational Gradient // Ecological Applications. 1998. V. 8. № 4. P. 1061–1071.
 13. Oleksyn J., Modrzyński J., Tjoelker M. G., Zytewiak R., Reich P. B., Karolewski P. Growth and physiology of *Picea abies* populations from elevational transects: common garden evidence for altitudinal ecotypes and cold adaptation // Functional Ecology. 1998. V. 12. № 4. P. 573–590.
 14. Peñuelas J., Castells E., Joffre R., Tognetti R. Carbon-based secondary and structural compounds in Mediterranean shrubs growing near a natural CO₂ spring // Global Change Biology. 2002. V. 8. № 3. P. 281–288.
 15. Richardson A.D. Foliar chemistry of balsam fir and red spruce in relation to elevation and the canopy light gradient in the mountains of the northeastern United States // Plant and Soil. 2004. V. 260. № 1–2. P. 291–299.
 16. Thomas P.A., El-Barghathi M., Polwart A. Biological Flora of the British Isles: *Juniperus communis* L. // Journal of Ecology. 2007. V. 95. № 248. P. 1404–1440.

Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г., Панюков А.Н., Лиханова И.А.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

archegova@ib.komisc.ru, panjukov@ib.komisc.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА СЕВЕРЕ

Во второй половине XX в. стало очевидным, что мир переживает экологический кризис. Все возрастающие темпы хозяйственного освоения природных ресурсов уже превысили несущую емкость природных экосистем, т.е. биологическое равновесие биосферы как саморегулируемый процесс не развивается, что грозит катастрофическими экологическими последствиями. Обостряет ситуацию усиление промышленной добычи нефти, газа и другого сырья на Крайнем Севере. Одним из таких объектов является Республика Коми, где интенсивно достаточно ведется в Заполярье добыча угля, нефти, газа. Обратим внимание на некоторые данные из книги известных ученых К.С. Лосева, Р.А. Мнацаканяна, Н.М. Дронова «Потребление возобновляемых ресурсов: экологические и социально-экономические последствия (глобальные и региональные аспекты). 2005 г.

В США естественные экосистемы сохранились лишь на 5% общей площади страны. В Европе естественные природные системы практически уничтожены. На суше Земли на 63% ее территории естественные экосистемы «полностью разрушены хозяйственной деятельностью человечества, в первую очередь аграрной». А это значит разрушение естественного процесса саморегулируемого развития биосферы Земли, нарушение, по существу, равновесия в биосфере, чрезвычайно важного

для сохранения благоприятных условий жизни для человека, а также разнообразия живых организмов.

Не трудно понять, что разрешение экологического кризиса возможно при сохранении (восстановлении) эволюционно развитых природных систем.

Обобщая большой фактический материал, авторы названной выше книги отмечают, что в мире нерешены две фундаментальные проблемы – социальная и экологическая. С этим связаны трудности в решении ряда практических вопросов. Так, «предложенная и принятая глобальным сообществом стратегия устойчивого развития на деле не реализуется». Связано отмеченное с отсутствием разработанной концепции и на ее основе системы практических приемов. В нашем сообщении мы рассматриваем концепцию эколого-экономической системы как теоретической основы стратегии устойчивого хозяйственного развития, т.е. рационального природопользования.

В наиболее обобщенном виде природопользование представляет собой два вида хозяйственной деятельности, с которыми связаны наиболее существенные разрушения природной среды (рис. 1).

С аграрной деятельностью связано разрушение природных экосистем замещаемых на антропогенные образования – искусственные почвы. Под влиянием агроприемов на освоенной территории формируется, в общем, однообразный покров из нового объекта, который представляет собой результат труда человека, приобретая определенную стоимость. Иными словами новая почва становится объектом социально-экономическим. На необходимость различать почвы естественно-эволюционного генезиса и почвы сельскохозяйственных территорий уже указывали ранее некоторые авторы (Годельман, 1987), рассмотрен этот вопрос и нами (Арчегова, Федорович, 2003).

Другой масштабный процесс разрушения естественных экосистем связан с промышленным освоением (добыча, переработка) недроресурсов (нефть, газ, минеральное сырье). Со второй половины XX в. активизировалась добыча нефти, газа, угля и др. на Севере. В суровых климатических условиях естественные экосистемы отличаются повышенной уязвимостью к техногенным нарушениям, медленным самовосстановлением. Разрушение естественных экосистем обусловило нарушение гидротермического режима и бурное развитие ускоренной эрозии, усилившей негативное техногенное воздействие.

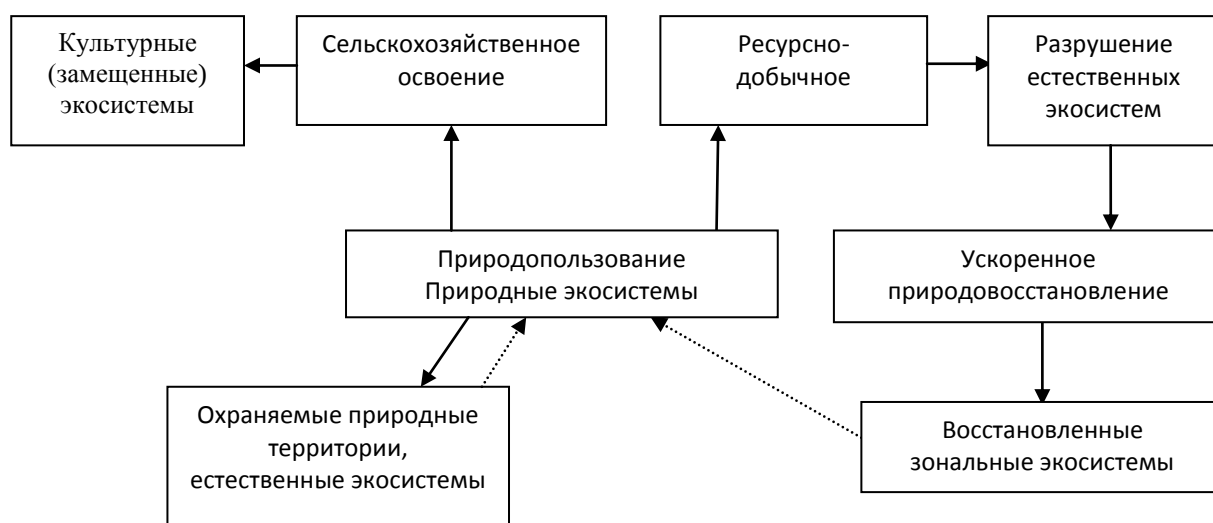


Рис. 1. Схема природопользования

Стало очевидным, что для сохранения устойчивого промышленного развития необходимым условием является восстановление естественных экосистем. В конце 90-х гг. XX в. нами разработана концепция ускоренного природовосстановления и система практических приемов восстановления природных экосистем. Методологической базой является принцип системности. С его позиций естественная природная экосистема является целостным единством двух основных компонентов – биоты (растительного сообщества и микробного комплекса, трансформирующего отмирающую фитомассу) и субстрата, осваиваемого растительным сообществом, т.е. почвы. Почва, являясь накопителем элементов питания растений, обеспечивает устойчивое самовоспроизводство биоты и экосистемы в целом.

С учетом суровых климатических условий была разработана двухэтапная система практических приемов (рис. 2) ускоренного (управляемого) восстановления разрушенных естественных экосистем.

Восстановление занимает 20-25 лет, тогда как самовосстановление – 50 и более лет. Система включает два этапа: на первом – «интенсивном» комплексам агроприемов в течение 3-5 лет восстанавливается продуктивный слой – внесение удобрений посев многолетних трав местных видов. На втором этапе, на восстановленном продуктивном субстрате, формируется лесная экосистема. Разработана оптимизированная система ускорения процесса восстановления разрушенных естественных экосистем с корректировкой на природно-климатические условия в широком географическом аспекте.

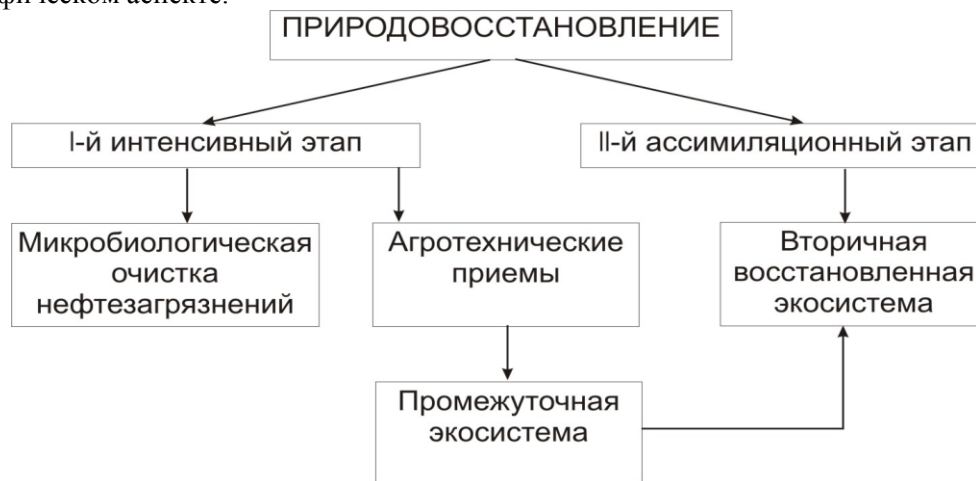


Рис. 2. Схема ускоренного «природовосстановления»

Экономический анализ показал эффективность разработанной системы.

Опираясь на систему ускоренного природовосстановления, мы разработали теоретические и практические аспекты эколого-экономической системы рационального природопользования для Арктики, где предполагается развитие добычи нефти, газа на шельфе. Эколого-экономическая система устойчивого развития опирается на ранее разработанную географически ориентированную концепцию ускоренного (управляемого) восстановления разрушенных природных экосистем на Севере. Намечаемое промышленное освоение в Арктике на шельфе нефти актуализирует ранее проведенные нами исследования при вовлечении в хозяйственное использование биологических (в том числе земельных) ресурсов прибрежной территории. Схема практических мер восстановления разрушенных техногенным воздействием экосистем на прибрежной территории представлена в рассмотренной двухэтапной системе восстановления природных экосистем Крайнего Севера. Иными словами, для устойчивого развития подобных сложных осваиваемых природных территорий требуется комплексный подход в решении эколого-экономических задач, учитывающих особенности природных экосистем шельфа и прибрежных экосистем.

Предлагаемая эколого-экономическая система направлена на сохранение стабильного состояния биосферы в условиях интенсивно развивающейся экономики в Арктике. Для этого важно сохранить баланс между разрушаемыми и восстанавливаемыми экосистемами (рис. 3).

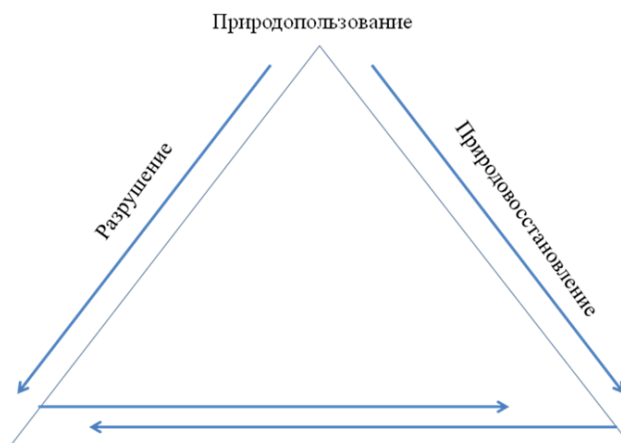


Рис. 3. Экологический треугольник

Сохранение эколого-экономической целостности на конкретной территории арктического региона определяется недопущением разрыва во времени между нарушением природной экосистемы и ее восстановлением. Разрыв во времени приводит к нарушению баланса и возникновению экологического кризиса.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ №3-04-98818 «Ускоренное восстановление лесных экосистем на посттехногенных территориях таежной зоны Республике Коми».

Баркан В.Ш.

Лапландский государственный природный биосферный заповедник, г. Мончегорск
barcan@laplandzap.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСНЫХ МХОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ ЦВЕТНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Введение

Мхи, произрастающие на лесной почве, получают питательные вещества только из жидких и пылевых выпадений, кроме того, у них нет настоящих корней, вместо них т.н. ризоиды. Многие исследования показали, что процесс поглощения металлов мхами может быть использован для оценки загрязнения природной среды металлами (Tyler, 1970; Taylor, Witherspoon, 1972; Pakarinen, Tolonen, 1976; Steinnes, 1977; Winner, Bewley, 1978; Barclay-Estrup, Rinne, 1978; Grodzinska, 1978; Miljøstyrelsen, Statens naturvårdsverk, 1983; Mäkinen, 1983; Steinnes, 1985; Rinne, Mäkinen, 1987; Atmospheric..., 1992; Mäkinen, 1994; Mäkinen, Barcan, 2002). Показано, что можно перевести концентрации тяжелых металлов во мхах в значения пылевых выпадений. Эти расчёты основаны на том факте, что концентрации тяжелых металлов во мхах тесно коррелируют с атмосферными выпадениями. Концентрации меди, никеля и свинца определялись в пробах мха.

Целью исследования было сравнить накопление тяжелых металлов лесными мхами в тех же пунктах через 20 лет сбора (при одновременном уменьшении аэротехногенных атмосферных выпадений).

Материалы и методы. Применение анализа мхов для оценки атмосферных выпадений развилось в конце 1960 гг. (Ruhling, Tyler, 1968; Tyler, 1970). Способ основан на том факте, что мхи, особенно виды, образующие ковры, получают почти всё своё питание непосредственно от атмосферных выпадений. Отсутствие корней и сильно редуцированная кутикула этих растений означает, что ионы на их поверхности имеют прямой доступ к местам обмена в стенке клеток. Поскольку толщина листьев ограничена одним клеточным слоем, это означает очень близкий контакт с атмосферой. В этих условиях питательные вещества и тяжелые металлы непосредственно захватываются мхами. Контакты с нижележащим слоем почвы для моховых ковров малы и поэтому риск загрязнения металлами от субстрата пренебрежимо мал. В качестве объектов были выбраны два вида мхов, *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberii*, на основании исследований, проведенных ранее в Северных странах (Survey..., 1987; Atmospheric..., 1992; Biomonitoring..., 1994). Оба вида мхов

широко распространены, образуя ковры на кислых органических субстратах (мор) в хвойных лесах северных регионов.

Каждая точка отбора пробы мха располагалась на земле не ближе 5 м к ближайшим деревьям, и не под кронами, не ближе 300 м к дорогам. В 2011 году пробы зеленых мхов были отобраны в тех же местах, что и 20 лет назад (1991 г.).

Концентрации меди и никеля в пробах определяли в Институте проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН ААС методом на спектрофотометре ААС – 36, свинец определяли ААС методом на спектрофотометре Analyst – 800.

Район пробоотбора. Для исследований был избран район Мончегорска и юго-западная часть Лапландского заповедника, вблизи этих территорий располагается крупнейший источник аэротехногенных загрязнений – комбинат Североникель, его воздействие на природу детально описано (Kozlov, Barcan, 2000; Barcan, Kovnatsky, 1998; Barcan, 2002; 2009; Kozlov, Zverev, Zvereva, 2006 и др).

Результаты и их обсуждение

Концентрации никеля, меди и свинца в пробах мхов, отобранных в одних и тех же точках с интервалом времени 20 лет представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1

Концентрации Ni (мг/кг) в пробах зеленых мхов

№ ПП	Название пробной площади	<i>Pleurozium shcrebery</i>			<i>Hylocomium splendens</i>		
		1991	2011	1991:2011	1991	2011	1991:2011
36	Курт-варенч	139	31	5	-	-	-
8	Бывшая Чунозерская усадьба	143	54	3	161	60	3
9	Ель-явр-уай	155	68	2	170	82	2
5	Кусс-нярк (северный берег оз. Чунозеро, узкое место)	53	62	1	-	-	-
2	Вуйтем-нярк (южный берег оз. Чунозеро, узкое место)	112	48	2	-	-	-
7	Волок Чунозеро-Охтозеро	94	36	3	61	14	4
22	Кордон Нявка	42	7	6	33	5	7
23	Кордон Мавра	21	5	4	23	6	4
16	Изба на ручье Нижний Сылп-уай	38	5	8	33	4	8
4	Изба Беличья	23	7	3	20	5	4
37	Северо-западный кут оз. Чунозеро	73	34	2	61	24	3
25	Река Вити, левый берег близ оз. Сейд	244	42	6	252	44	6
10	Дорога М-18, 1213 км	60	57	1	-	-	-
11	Дорога М-18, 1205 км	99	31	3	66	24	3
12	Дорога М-18, 1198 км	121	36	4	143	43	3
19	Дорога к Апатитам, 10-й км	131	50	3	121	41	3
20	Дорога к Апатитам, 20-й км	133	34	4	140	37	4

Σ1681

Σ607

Σ 1284

Σ389

среднее

99

38

99

30

Pleurozium shcrebery

среднее 1991 / среднее 2011 = 2.6 (от 1 до 6)

Hylocomium splendens

среднее 1991 / среднее 2011 = 3.3 (от 2 до 8)

Таблица 2

Концентрации Cu (мг/кг) в пробах зеленых мхов

№ ПП	Название пробной площади	<i>Pleurozium shcrebery</i>			<i>Hylocomium splendens</i>		
		1991	2011	1991:2011	1991	2011	1991:2011
36	Курт-варенч	258	29	9	-	-	-

8	Бывшая Чунозерская усадьба	285	41	7	350	42	8
9	Ель-явр-уай	271	44	6	202	45	4.5
5	Кусс-нярк (северный берег оз. Чунозеро, узкое место)	111	47	2.5	-	-	-
2	Вуйтем-нярк (южный берег оз. Чунозеро, узкое место)	112	32	3.5	-	-	-
7	Волок Чунозеро-Охтозеро	209	25	8	174	13	13
22	Кордон Нявка	76	7	11	92	9	10
23	Кордон Мавра	39	7	6	46	8	6
16	Изба на ручье Нижний Сылп-уай	43	4	11	37	6	6
4	Изба Беличья	36	10	4	29	10	3
37	Северо-западный кут оз. Чунозеро	43	22	2	54	20	3
25	Река Вите, левый берег близ оз. Сейд	608	33	18	598	42	14
10	Дорога М-18, 1213 км	136	42	3	-	-	-
11	Дорога М-18, 1205 км	113	25	5	101	21	5
12	Дорога М-18, 1198 км	160	25	6	115	30	4
19	Дорога к Апатитам, 10-й км	230	38	6	252	36	7
20	Дорога к Апатитам, 20-й км	154	35	4.5	101	36	3

		Σ2884	Σ466		Σ 2151	Σ318	
	среднее	170	27		165	22	
<i>Pleurozium schreberi</i>	среднее 1991 г. / среднее 2011 г. = 6.3 (от 1 до 6)						
<i>Hylocomium splendens</i>	среднее 1991 г. / среднее 2011 г. = 6.9 (от 1 до 6)						

Таблица 3

Концентрации свинца (мг/кг) в пробах зеленых мхов

№ пп	Название пробной площади	<i>Pleurozium schreberi</i>			<i>Hylocomium splendens</i>		
		1991	2011	2011:1991	1991	2011	2011:1991
36	Курт-варенч	11	1.6	7	-	-	-
8	Бывшая Чунозерская усадьба	13	3.6	4	14	2.0	7
9	Ель-явр-уай	4	2.4	2	5	2.5	2
5	Кусс-нярк (северный берег оз. Чунозеро, узкое место)	7	3.0	2	-	-	-
2	Вуйтем-нярк (южный берег оз. Чунозеро, узкое место)	9	1.9	5	-	-	-
7	Волок Чунозеро-Охтозеро	9	1.8	5	6	1.0	6
22	Кордон Нявка	6	0.9	7	7	1.0	7
23	Кордон Мавра	6	1.5	4	4	2.5	2
16	Изба на ручье Нижний Сылп-уай	6	1.3	4	5	1.0	5
4	Изба Беличья	4	0.7	6	4	0.6	4
37	Северо-западный кут оз. Чунозеро	4	1.0	4	5	1.3	4
25	Река Вите, левый берег близ оз. Сейд	11	1.5	7	14	2.5	6
10	Дорога М-18, 1213 км	8	2.5	3	-	-	-
11	Дорога М-18, 1205 км	9	1.4	6	8	1.4	6
12	Дорога М-18, 1198 км	10	1.1	10	13	2.0	7
19	Дорога к Апатитам, 10-й км	9	2.0	5	7	1.5	5
20	Дорога к Апатитам, 20-й км	9	1.2	8	8	1.2	7

		Σ135	Σ 29.4		Σ 100	Σ18	
	среднее	8	1.7		8	1.4	
<i>Pleurozium schreberi</i>	среднее 1991 г. / среднее 2011 г. = 4.7						
<i>Hylocomium splendens</i>	среднее 1991 г. / среднее 2011 г. = 5.7						

Обсуждение результатов и выводы

Выбросы Ni в 1991 г. - 2660 т., в 2011 г. – 345 т., т.е. выбросы никеля уменьшились примерно в 8 раз, содержание никеля в мхах уменьшилось примерно в 3 раза.

Выбросы Cu в 1991 г. – 1813 т., в 2011 г. – 484 т., т.е. выбросы меди уменьшились примерно в 3.6 раз, содержание меди в мхах уменьшилось примерно в 6.5 раз. Приведенные данные показывают, что среднее содержание никеля в зеленых мхах *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* снизилось за 20 лет – с 1991 к 2011 г. – примерно в 3 раза, меди – в 6.5 раз, свинца – в 5 раз. Динамика выбросов металлов в атмосферу за период 1991-2011 представлена в таблице 4.

Таблица 4

Динамика аэротехногенных выбросов никеля и меди из комбината
«Североникель» в атмосферу (Ежегодник..., 2011)

Годы	Выбросы Ni, т/год	Выбросы Cu, т/год
1990	2712	1813
1991	2660	1739
1992	2118	1457
1993	1960	1049
1994	1619	934
1995	1366	726
1996	1309	699
1997	1348	761
1998	1304	874
1999	1128	856
2000	1276	874

Годы	Выбросы Ni, т/год	Выбросы Cu, т/год
2001	1259	829
2002	818	698
2003	760	703
2004	719	583
2005	501	612
2006	457	600
2007	546	622
2008	378	429
2009	387	439
2010	346	461
2011	345	484

Понятно, что невозможно было ожидать полного совпадения цифр, но подтверждён главный ожидаемый вывод – результаты химических анализов металлов в лесных мхах достоверно отражают качественную картину динамики выбросов загрязняющих металлов в атмосферу.

Литература

1. Ежегодник КГМК. 2011.
2. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Northern Europe 1990. 1992. Nord: 12. Nordic Council of Ministers.
3. Barcan, V. 2002. Nature and origin of multicomponent aerial emissions of the copper – nickel smelter complex. *Environment International*, 28:451–456.
4. Barcan, V. and Kovnatsky, E. 1998. Soil surface geochemical anomaly around the copper-nickel metallurgical smelter. *Water, Air and Soil Pollution*, 103: 197–218.
5. Barclay-Estrup, P., Rinne, R.J.K. 1978. Lead and zink accumulation in two feather mosses in northwestern Ontario, Canada. *Oikos* 30:106–108.
6. Grodzinska, K. 1978. Mosses as bioindicators of heavy metal pollution in Polish national parks. *Water, Air and Soil Pollution* 9: 83–97.
7. Kozlov, M. and Barcan, V. 2000. Environmental contamination in the Central Part of the
8. Kola Peninsula: History, Documentation and Perception. *AMBIO*, XXIX, 8: 512–517.
9. Kozlov, M.V., Zverev, V.E., Zvereva, E.V., 2006. Изменения наземных экосистем в зоне воздействия комбината Североникель (обзор работ сотрудников университета г. Турку).
10. Современные экологические проблемы Севера. Матер. конференции, ч. 1: 81 – 83.
11. Kozlov, M.V., Zvereva, E.V., Zverev, V.E. 2009. Impact of point polluters on terrestrial biota: Comparative analysis of 18 contaminated areas. Dordrecht. Springer, 466 pp.
12. Mäkinen, A. 1983. Heavy metals and arsenic concentrations of a woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. growing around a coal-fired power plant in coastal southern Finland. Projekt Kolhålsa-miljö. Teknisk rapport 85.
13. Mäkinen, A. 1994. Biomonitoring of atmospheric deposition in the Kola Peninsula (Russia) and Finnish Lapland, based on the chemical analysis of mosses. Report 4, Environmental policy department of Ministry of the Environment.
14. Mäkinen, A. and Barcan, V. 2002. Atmospheric heavy metal and trace element deposition in the vicinity of Monchegorsk, Kola Peninsula, NW Russia based on regional moss and humus sampling. *Environmental Pollution of the Arctic*. Extended abstracts. Rovaniemi. Finland.
15. Miljöstyrelsen and Statens naturvårdsverk. 1983. Moss analyses used as a means of surveying the atmospheric heavy-metal deposition in Sweden, Denmark and Greenland in 1980. Bulletin SNV PM 1670, 44 pp.
16. Pakarinen, P. and Tolonen, K. 1976. Regional survey of heavy metals in peat mosses (*Sphagnum*). *Ambio* 5: 38–40.
17. Rinne, R.J.K., Mäkinen, A.I. 1987. Regional and species variations in metal content of two woodland mosses *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* in Finland and Northern Norway. *Silva Fennica*.
18. Ross, H. 1990. On the use of mosses (*Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *Water, Air and Soil pollution*, 50:63–76

19. Steinnes, E. 1977. Atmospheric deposition of trace elements in Norway studied by means of moss analysis. Kjeller Report, KR 154, Institutt for atomenergi, Kjeller, Norway.
20. Steinnes, E. 1985. Use of mosses in heavy metal deposition studies. EMEP/CCC – Report 3/85.
21. Tyler, G. 1970. Moss analysis – a method for surveying heavy metal deposition. Proc. Sec. Int. Clean Air Congress, Eds. Englund, H.M., Berry, W.T., Academic Press, New York.
22. Taylor, F.G., Witherspoon, J.P. 1972. Retention of simulated fallout particles by lichens and mosses. Health physics, 23:867–869.

Батова Ю.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф., Титов А.Ф.
 Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
 batova@krc.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА)

Тяжелые металлы являются одними из основных и наиболее опасных загрязнителей окружающей среды техногенного происхождения. Особенно велико их содержания в воздухе, воде и почве в крупных городах и промышленных центрах, что связано с высокой концентрацией транспорта, различных предприятий и производств на относительно небольшой по площади территории. Высокая техногенная нагрузка приводит к серьезной трансформации практически всех компонентов природной среды (Головин и др., 2008), в том числе растительности (Жуйкова и др., 2002; Жиров и др., 2007). В связи с этим целью данного исследования явилось изучение влияния техногенного загрязнения почвы тяжелыми металлами на состояние травянистой растительности в г. Петрозаводске.

Исследования проводили на участках, расположенных в непосредственной близости (50–100 м) от двух крупных промышленных предприятий – Онежского тракторного завода (ОТЗ) и судостроительного завода «Авангард». В качестве контроля использовали условно чистый участок, представляющий собой заброшенный луг вблизи пос. Пиньгуба (20 км к востоку от г. Петрозаводска).

Содержание тяжелых металлов в почве определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). О влиянии загрязнения на состояние растительного сообщества судили по изменению видового состава, биоморфологической структуры и проективного покрытия всех видов. Геоботанические описания осуществляли по общепринятым методикам на пробных площадях размером 10 x 10 м (n=5) в период цветения доминирующих видов растений (Шенников, 1964). Состояние растений оценивали по изменению высоты генеративного побега, площади подфлагового листа, длины соцветия у двух содоминирующих видов растений из семейства *Poaceae* – ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) и тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.). Объем выборки в пределах одного участка для морфометрического анализа составлял не менее 10 растений (Методические указания ..., 1979). Площадь листовой пластинки вычисляли по формуле $S=2/3ld$, где l – длина, d – ширина листовой пластинки (Аникиев, Кутузов, 1961). Уровень внутривидовой изменчивости признаков генеративного побега оценивали по величине коэффициента вариации (V).

Химический анализ показал, что валовое содержание тяжелых металлов в почве вблизи промышленных предприятий было в несколько раз выше, чем в почве условно чистого участка (табл.1). Наиболее высокий уровень загрязнения наблюдался на участке, расположенном около ОТЗ. Содержание Zn, Pb и Cu в почве на этой территории было соответственно в 4.2, 6.5 и 8 раз выше, чем на контрольном участке.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почве исследованных участков

Участок	Содержание металла, мг/кг					
	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Pb
Контроль	4.3	10.5	9.9	43.5	0.47	10.2
1	8.1	23.8	32.5	94.5	0.88	44.9
2	9.8	30.1	80.8	181.9	2.91	65.1

Примечание: Здесь и в табл. 2: 1 – участок вблизи завода «Авангард», 2 – участок вблизи ОТЗ.

В результате флористического анализа на условно чистом участке нами выявлено 34 вида покрытосеменных растений, относящихся к 32 родам и 15 семействам. Наибольшим количеством видов было представлено семейство *Poaceae* (8 видов). Наряду с эти значительную роль в формировании сообщества играли растения семейств *Asteraceae*, *Fabaceae* и *Rosaceae* (по 4 вида). Остальные 11 семейств были представлены 1-2 видами.

С увеличением уровня загрязнения почвы значительно снижалось видовое разнообразие сообществ, а также менялась фитоценотическая роль представителей отдельных семейств. Так, на участках вблизи завода «Авангард» произрастало 23 вида растений, а около ОТЗ – 16 видов, относящихся к 7 семействам. При этом относительно высоким разнообразием характеризовались только семейства *Poaceae* (4-8 видов), *Asteraceae* (5 видов) и *Fabaceae* (3-4 вида).

Распределение видов по жизненным формам и ценотическим группам показало, что в растительном сообществе на контрольном участке большинство видов составляют многолетние травянистые растения, относящиеся к гемикриптофитам, при этом доминирует луговая ценотическая группа. Вблизи промышленных предприятий увеличивается доля криптофитов, в частности корневищных злаков, а также возрастает количество видов, относящихся к сорным растениям.

Независимо от уровня техногенного загрязнения все изученные участки имели высокое общее проективное покрытие растительности – 90-100%, однако участие в формировании сообщества отдельных видов растений отличалось от контрольного участка. Так, в условиях промышленного загрязнения ведущие позиции в сообществах принадлежали небольшой группе видов, относящихся к семействам *Poaceae*, *Asteraceae* и *Fabaceae*, для которых характерна высокая устойчивость к действию техногенных факторов.

Проведенный нами морфометрический анализ генеративных побегов ежи и тимофеевки показал, что на участке вблизи промышленных предприятий происходит заметное снижение (по отношению к контролю) абсолютных значений почти всех изученных нами показателей (табл. 2). При этом, наиболее чувствительным из них оказалась площадь листовой пластинки подфлагового листа. Существенное уменьшение этого параметра (на 20-45%) в условиях загрязнения было зафиксировано у растений обоих видов. Кроме того обнаружено, что на загрязненных участках возрастает уровень внутривидовой изменчивости большинства изученных морфологических признаков (табл. 2), что, очевидно, связано с увеличением гетерогенности популяций.

Таблица 2

Морфометрические показатели генеративного побега растений ежи сборной и тимофеевки луговой и уровень их внутривидовой варьирования

Участок	Морфометрические показатели					
	высота побега, см	V, %	площадь листа, см ²	V, %	длина соцветия, см	V, %
Ежа сборная						
Контроль	129.1±3.8	9.3	9.3±0.5	15.5	9.6±0.4	12.0
1	104.3±3.3*	6.2	7.7±0.5*	22.3	9.4±0.6	20.3
2	117.9±2.4*	9.9	7.4±0.6*	15.9	10.5±0.8	22.6
Тимофеевка луговая						
Контроль	90.9±3.4	12.0	10.9±0.9	25.3	6.8±0.4	19.1
1	63.4±3.3*	16.6	5.9±0.4*	20.9	4.1±0.3*	21.3
2	83.6±4.4	15.3	7.9±0.8*	26.8	4.9±0.4*	20.8

* Различия с условно чистым участком достоверны при P<0.05.

Таким образом, установлено, что травянистые сообщества, сформировавшиеся в условиях техногенного загрязнения, заметно различаются по составу и структуре от сообщества условно чистого участка. В частности, в них меньше количество видов (родов и семейств), меняется биоморфологическая структура сообщества, возрастает ценотическая роль наиболее устойчивых к загрязнению видов растений (за счет представителей семейств *Poaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae*), увеличивается доля сорных видов. Помимо этого у растений ежи и тимофеевки, занимающих содоминирующее положение в этих сообществах, наблюдается уменьшение абсолютных величин, характеризующих морфологические признаки генеративного побега, и повышается уровень внутривидовой изменчивости этих показателей, что может рассматриваться в качестве

адаптивной реакции, направленной на повышение выживаемости ценопопуляций в неблагоприятных условиях среды. Среди изученных признаков наиболее простыми и надежными индикаторами степени загрязнения почвы тяжелыми металлами на уровне фитоценоза является общее количество видов, а на уровне отдельных растений – площадь листовой пластинки подфлагового листа злаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант 13-06-00414) и РФФИ (р_север_а 13-05-98817).

Литература

1. Аникиев В.В., Кутузов Ф.Ф. Новый способ определения площади листовой пластинки у злаков // Физиология растений. 1961. Т. 8, № 3. С. 375–377.
2. Головин А.А., Самаев С.Б., Соколов Л.С. Эколого-геохимическая оценка урбанизированных территорий // Прикладная геохимия. Вып. 7. М., 2008. С. 289–299.
3. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М., 2007.
4. Жуйкова Т.В., Мордвина Е.С., Баймашева А.О., Фриз О.А. Фитоиндикация и промышленный регион // Биота горных территорий. Екатеринбург, 2002. С. 53–65.
5. Методические указания по изучению многолетних кормовых трав. Л.: Изд-во ВИРа, 1979. 43 с.
6. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л., 1964. 426 с.

Белашев Б.З.¹, Болондинский В.К.²

¹Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
belashev@krc.karelia.ru

²Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
bolond@krc.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО РАДОНА НА ПОЯВЛЕНИЕ РОСТОВЫХ АНОМАЛИЙ У БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ДРУГИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

В ботанических и экологических исследованиях очень редко обращают внимание на такой фактор среды как активность почвенного радона. Фактор этот приобретает особое значение при исследовании структурных аномалий у древесных растений, хотя аспекты воздействия радона на растения гораздо шире этого частного вопроса. Целью нашего исследования являлось обследование объемной активности радона в местах проявления структурных аномалий у древесных растений, в частности, на территориях естественного произрастания карельской березы.

Структурные аномалии древесных растения изучаются уже не одно десятилетие, однако причины их появления далеко не ясны (Коровин и др., 2003). К проявлениям структурных аномалий древесных растений относят древесину явора и клена маньчжурского, капы березы, грецкого ореха, клена ясенелистного, «ведьмины метлы». Аномальная древесина иногда формируется у сосны обыкновенной, ольхи черной, яблони, осины и других пород. Наиболее известным «аномальным» деревом считается карельская береза (БК). Хотя эта порода хорошо изучена, существующие к настоящему времени гипотезы о происхождении карельской березы не объяснили пока в полной мере причин ее возникновения.

В текстуре ее древесины присутствуют разнообразной формы темные включения, блестящие «завитки», волнисто изгибающиеся годовичные слои. Структурные аномалии связывают с деятельностью камбия по окружности ствола. Волокна древесины направлены под разными углами, что придает ей волнистость, курчавость, наличие «завитков» и оригинальную цветовую гамму. Декоративная древесина, как правило, расположена в нижней, часто прикомлевой части ствола. В верхней части ствола и на ветвях узорчатых особей карельской березы преобладают участки ровной поверхности. Потомство карельской березы расщепляется на узорчатые и безузорчатые особи, как правило, в соотношении 1:1.

Ареал БК составляет малую часть ареала березы повислой, занимает северо-западную часть России, включая Карелию, Ленинградскую, Ярославскую, Владимирскую, Калужскую, Брянскую области, страны Балтии и Скандинавии, Белоруссию и Украину. БК встречается на юге Карпат, редко в Польше и Германии, где запасы ее совершенно исчезли (Ветчинникова, 2004). Северная

граница ареала соответствует изотерме 16° С (Коровин и др., 2003). На протяжении ареала *БК* характеризуется разнообразием форм. Традиционными формами роста считают высокоствольную, короткоствольную, кустообразную березы, а типами поверхности ствола - шаровидно утолщенный, мелкобугорчатый и ребристый стволы. Существуют формы, выходящие за рамки этой классификации: гигантские кусты, карликовые деревья с шарообразными или цилиндрическими «наплывами» не на стволе, а на ветвях, лировидные стволы спиральной ребристости и другие. Разнообразие форм *БК* – свидетельство ее исключительной изменчивости, пластичности, приспособленности к разным условиям. Хотя форма дерева в значительной степени наследственно обусловлена, окончательная форма – не константа. Например, при неблагоприятных климатических условиях могут возникать карликовые формы.

Карельская береза произрастает на почвах разного состава. В Карелии, странах Балтии и Скандинавии она распространена на моренных валунных суглинках, супесях с примесью карбонатов, в местах с холмистым рельефом. Возможно, редкая встречаемость естественно растущих деревьев на плодородных почвах связана с тем, что она не выдерживает конкуренции с нормально развивающимися деревьями березы повислой или с деревьями других видов.

Еще в 70-е годы появилась гипотеза о влиянии повышенного радиационного фона на появление *БК*. В. Бандерс обнаружил непосредственно у трех *БК* недалеко от Елгавы (Латвия) электромагнитное излучение (по всей вероятности гамма-излучение), однако, по мнению автора, не такое сильное, чтобы вызвать мутагенный процесс (Banders et al., 1997). Существуют косвенные свидетельства о растениях - индикаторах избирательного влияния геологических неоднородностей земной коры. В приуроченных к разломам земной коры борových лентах на Алтае зафиксирована высокая частота появления наплывов и «ведьминых метел», имеющих не инфекционный, а скорее всего мутантный характер (Коровин и др., 2003). В лесах Зауралья, произрастающих на территориях с геологическими разломами, отмечают высокую полиморфичность березы повислой. Здесь в массовом количестве встречаются грубокорая форма березы повислой с ценной свилеватой древесиной (Махнев, Мамаев, 1972). Похожий признак характерен и для *БК*, что говорит об общих механизмах нарушений деятельности камбия и аномальном распределении нисходящего по флоэме потока ассимилятов. Часть ассимилятов, которая должна была бы идти на рост ксилемы, оказывается невостребованной и происходит их отток в кору.

Сравнение данных по содержанию почвенного радона и ботанических исследований показывает, что очень часто наблюдается высокая корреляция активности радона и частоты появления древесных аномалий, в том числе увеличивается встречаемость карельской березы. Так, на территориях Белоруссии с фоновой активностью почвенного радона 2-10 кБк/м³ (Матвеев и др., 2012) произрастают сотни деревьев на гектар. Подобная ситуация наблюдается и на Заонежском полуострове в Карелии, где имеются локальные территории с высокой активностью почвенного радона, и частота встречаемости карельской березы достигала в 30-г годы 100 более деревьев на гектар [Соколов, 1950].

Привлекательность радиационной гипотезы состоит в том, что она указывает на связь аномалий древесных растений и их реакций с проявлениями тектоники. К абиотическим факторам тектонической среды, способным воздействовать на растения, относят радиоактивность, электромагнитные поля, потоки флюидов: водорода, метана, диоксида углерода, радона. Особый интерес в этом списке вызывает радон, как агент, способный вызывать у растений мутации. Радон – инертный газ без цвета и запаха, в 9 раз тяжелее воздуха, хорошо растворимый в воде. Как и его "родители" уран (²³⁸U) и радий (²²⁶Ra), радон (²²²Rn) - альфа-излучатель с периодом полураспада 3.82 суток, дающий семейство дочерних нестабильных изотопов свинца, висмута, полония, таллия – источников альфа-, бета- и гамма излучения. С водой радон и продукты его распада через корни проникают в растения, вызывают механические повреждения, генерацию стрессовых белков, интенсивное деление клеток камбия. Радиоактивность почвы сдвигает равновесие биологической среды в сторону мутагенеза и видообразования.

Альфа частицы, излучаемые радоном и его дочерние продукты распада (*ДПР*) обладают локальным характером воздействия. При взаимодействии с биологическим объектом они способны вызывать редкие, но сильные повреждения на уровне тканей, индуцировать повреждения в виде специфических макромутаций (протяженных и множественных делеций ДНК) и множественных повреждений микроструктур (мембран, субклеточных частиц). Имеющие энергию 4-6 МЭВ альфа частицы при столкновении с молекулами среды на длине пробега образуют сотни тысяч пар ионов, меняющих физико-химические свойства клеток (Возжеников, Белыйшев, 2011). Их воздействию

подвергаются всасывающие корни, ксилема тонких и толстых корней, ствола, листья, флоэма, меристематические клетки. Во всех этих структурах помимо ионизации происходит кумулятивное накопление радиоактивного изотопа свинца (Pb^{210}) и более медленное – стабильного изотопа свинца. При достаточно высоких концентрациях радона альфа излучение Pb^{210} , масса которого непрерывно растет, воздействует на камбиальные клетки, нарушая функционирование меристемы. Радиационное повреждение молекул ДНК, а также токсичное воздействие свинца может вызвать нарушения функции генов, осуществляющих контроль размножения и дифференцировки клеток.

В 2010-2013 г. мониторинг радона проводили в 50 км к северу от Петрозаводска, в 2 км западнее пос. Кончезеро вблизи озера Габозеро, в дер. Вендеры Кондопожского района и на окраине г. Петрозаводска в пос. Соломенное. Выбранные для обследования на радон участки располагались на западном берегу Онежского озера в полосе протяженностью 100 км примерно на равном расстоянии друг от друга. Территория хранит следы тектоники и вулканизма. Онежская геологическая структура имеет повышенную трещиноватость, формирующую каналы транспорта эндогенных флюидов, содержит урановые месторождения, участки выхода радионуклидов на дневную поверхность. В ней высока и активность радона.

Радиационный гамма фон измеряли сцинтилляционным радиометром СРП-68, объемную активность радона – радоновой станцией СРС-05, индикаторами детекторами радона СИРАД М 106 N, естественную радиоактивность грунтов и коренных пород -гамма спектрометром СГС-200. Измерение радиационного фона вели по параллельным профилям длиной 250 м, отстоящим друг от друга на расстояние 20 м. Образцы грунта и коренных пород исследовали на естественную радиоактивность таких элементов как радий ^{226}Ra , тория ^{232}Th и калия ^{40}K .

Основные измерения активности почвенного радона проводили вблизи п. Кончезеро (оз. Габозеро) непосредственно у обнаруженных здесь нескольких карельских берез, а также в зоне с большим количеством аномалий у растений. В 1 км от экспериментальных участков выявлены радиогеохимические зоны с высоким содержанием урана в жидком и твердом стоке рек, в 7-8 км - выходы радионуклеидов и гранитных массивов. В пос. Вендеры и Соломенное измерения объемной активности радона проводили в указанных старожилами местах бывшего произрастания карельской березы, в бывшей яме углежогов и в подвалах отдельных домов. На всех обследованных участках радиационный фон 2-9 мкР/ч был в пределах нормы. В грунте и коренных породах обнаружены кларковые содержания радиоактивных изотопов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K . Интервальные оценки же объемной активности радона на участках обследования составили 200-700 Бк/м³. Полученные значения объемной активности подпочвенного радона нельзя считать низкими. Во всех пунктах они отличались от фоновых значений примерно на порядок. При этом радиационный фон не был надежным индикатором объемной активности подпочвенного радона.

Сравнение тектонической схемы Онежской структуры с картами ареала распространения карельской березы показывает, что места естественного произрастания карельской березы в значительной степени приурочены к тектоническим зонам и местам выхода радионуклидов на дневную поверхность. Особенно эта корреляция заметна для Заонежья с уран-полиметаллическими месторождениями (рис.). Наши измерения показали, что на юго-востоке Заонежского полуострова (пос. Толвуя) активность почвенного радона колебалась от 1500 до 8000 Бк/м³ с очень большими пространственными вариациями даже на площади 0.1 га. Имеются и значительные временные колебания. Измерения, проведенные в течении недели с помощью радоновой станции СРС-05 показали, что в одной точке величины активности почвенного радона могли изменяться на 50-70%. Кроме того, проявляются ритмы с периодом 3-4 часа.

В условиях Карелии активность почвенного радона обычно коррелирует с мощностью урановых месторождений и рудопроявлений, которые на настоящее время достаточно хорошо изучены. Наибольшая частота встречаемости БК отмечается в Заонежье. Для сравнения приведем большой по площади Пудожский район Карелии, в котором за исключением узкой полосы по восточному берегу Онежского озера крупных разломов и выходов радионуклидов не обнаружено. И там, где их нет, встречаемость карельской березы крайне низкая.

Для уяснения роли естественной радиации, как фактора, индуцирующего аномалии роста растений, целесообразно подойти к проблеме с цитогенетических, радиологических и экологических позиций. Растения принято считать более устойчивыми к внешнему облучению по сравнению с млекопитающими. Однако, внутреннее облучение вызывает у них выраженные эффекты радиационной стимуляции, морфологических и генетических изменений, лучевой болезни, старения, снижения продолжительности жизни и гибели. Внутреннее облучение оказывается эффективным

благодаря способности радионуклидов избирательно накапливаться в тканях растения и разрушать клеточные структуры за счет альфа-, бета- и гамма- излучений, в частности, от радионуклидов больших периодов полураспада, практически не выводятся из тканей.

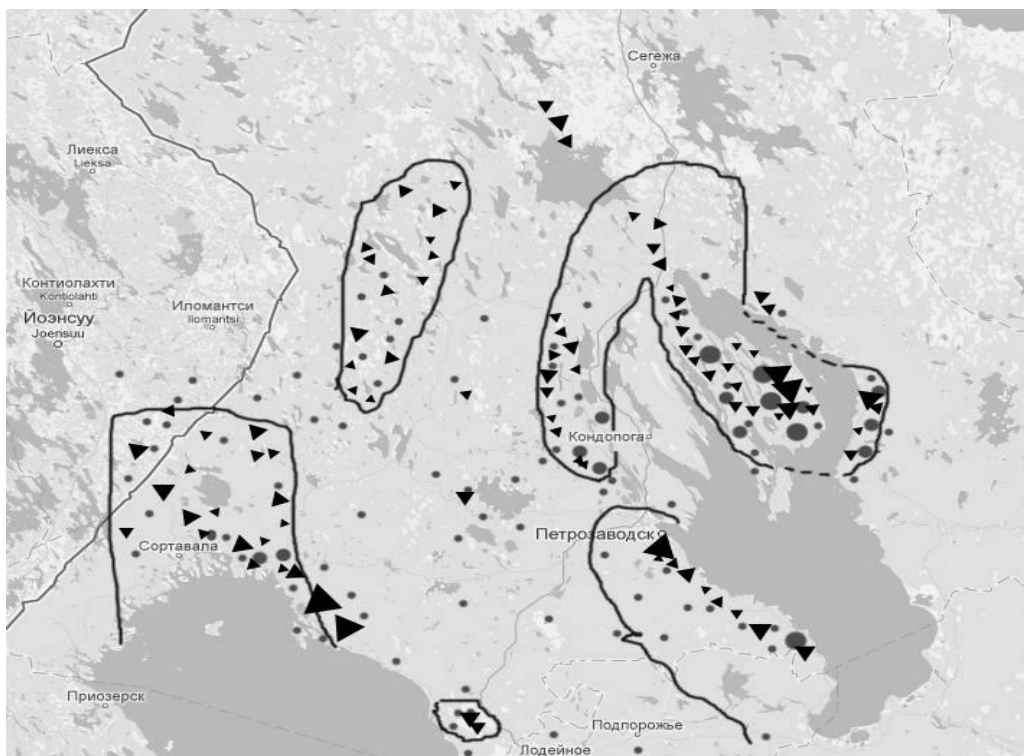


Рис. 1. Карта распространности карельской березы, месторождений и рудопроявлений урана и радоноопасных районов Карелии. Серые кружки — частота встречаемости БК (небольшой диаметр — 1–2 дерева на га, большой — свыше 10 деревьев на га). Черные треугольники: небольшого размера — урановые рудопроявления, большого — месторождения урана. Черные линии — границы радоноопасных районов. Данные о встречаемости БК взяты из трудов Н.О. Соколова (1950), Л.В. Ветчинниковой (2004) и др.

Тектонические зоны отличаются повышенным радиационным фон, тепловой поток, состав и химизм почв, конфигурации электрического и магнитного полей, электромагнитных излучений. О чувствительности деревьев к этим факторам свидетельствует четко выраженные на космических снимках полосы зон разломов, отражающие смену состава растительности даже при мощном чехле четвертичных отложений. Несмотря на осадочные образования, перекрывающие разломы, абиотические тектонические факторы влияют на модификационную и наследственную изменчивость произрастающих в них растений. В пределах зон разломов у древесных пород берез повислой (*Betula pendula*), Литвинова (*B. litwinowii*) и Радде (*B. raddeana*), клена Траутфеттера (*Acer trautvetteri*), бука восточного (*Fagus orientalis*), сосны Коха (*Pinus kochiana*) наблюдали вариabельность признаков полиморфизма, связанную с процессами роста клеток, проявившуюся в клоновых формах, дихотомии (ветвления ствола), морфозов, наростов, закрученности ствола и ветвей. Было отмечено, что число особей измененного фенотипа и количество стволов в клоне растут по мере приближения к линиям разрывных нарушений, дайкам, интрузиям, узлам пересечения поверхностных и глубинных разломов (Шиманская и др., 2013).

Помимо причин, вызывающих мутации, важную роль играют факторы, обеспечивающие выживание мутантам. Многоуровневая структурно-функциональная организация растений проявляет неоднозначные реакции на облучение. Так, гибель клеток с поврежденной ДНК влечет восстановление тканей за счет полноценных клеток и повышает радиорезистентность растения. В тех случаях, когда внутриклеточные структуры предотвращают гибель клеток, последующие деления таких клеток сопряжены с ошибками, нарушениями генома и негативно сказываются на жизненном цикле потомков. Нарушение деления клеток способствует образованию наростов.

В зонах разломов часто встречаются многоствольные деревья. Многолетние растения радиоактивных участков и их семенное потомство жизнестойкие, лучше приспособлены к среде. Дихотомию считают частным случаем многоствольности. При обычных условиях частота дихотомии ствола у сосны не превышает 0.5-1%. В зонах разломов она доходит до 25%, а в их центральных частях до 60% (Шиманская и др., 2013). Из лиственных деревьев дихотомии и другим аномалиям в тектонических зонах наиболее подвержены берёзы. Причины дихотомии и многоствольности деревьев до конца не выяснены. Многоствольность дает и карельской березе также ряд преимуществ. Произрастание в гнезде нескольких стволов позволяет дереву накопить больше снега зимой, противостоять резким колебаниям температуры, ранним заморозкам, солнечным ожогам, вирусным заболеваниям. Общая корневая система способствует усилению фотосинтеза, питания, сохранности растения даже при гибели одного или нескольких стволов. Крона нескольких стволов противостоит порывам ветра, длительно сохраняет листья. С такой кроной дерево лучше готовится к зиме. Компактность кустовидной формы создает благоприятные условия для работы насекомых опылителей.

Таким образом, радоновая гипотеза происхождения карельской березы по мнению авторов заслуживает право на существование и дальнейшее изучение. В ее пользу свидетельствуют обнаруженные концентрации подпочвенного радона, на порядок превышающие фоновые, приуроченность мест произрастания карельской березы к тектоническим зонам, выходам радионуклидов, трещиноватости фундамента. Мутагенное и соматическое действие радона на организмы, результаты микрклональных и цитогенетических исследований растений и схожие реакции березы на радон дают основание для вывода о расширении диапазона ее индивидуальной изменчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-04-00827-а).

Литература

1. *Ветчинникова Л.В.* Карельская береза: ареал, разнообразие, охрана, перспективы воспроизводства // Труды КарНЦ, Петрозаводск, 2004. Вып. 6.
2. *Возжеников Г.С., Бельшев Ю.В.* Радиометрия и ядерная геофизика. Екатеринбург. УГГГА, 2011.
3. *Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносков Г.А.* Структурные аномалии стебля древесных растений. М.: Изд-во Московского государственного университета леса, 2003.
4. *Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А., Лосич В.В., Иваненко А.П.* Концентрации радона в почвенном воздухе на смежных площадях белорусской антеклизы и припятского прогиба (Беларусь) // Природопользование, 2012. Вып. 21. С. 68-74.
5. *Махнев А.К., Мамаев С.А.* Внутривидовая изменчивость в структуре популяций березы в горах Южного Урала в связи с высотной поясностью // Экология, 1972. № 1. С. 24-36.
6. *Соколов Н.О.* Карельская береза. Петрозаводск, 1950.
7. *Шиманская Е.И., Вардуни Т.В., Вьюхина А.А., Чохели В.А.* Разработка метода биотестирования недифференцированных факторов среды для территорий, приуроченных к зонам активных тектонических разломов, на основе анализа распределения морфологических изменений у ценозообразующих видов деревьев // Фундаментальные исследования. 2013. No 6. Ч. 5. С. 1178-1184.
8. *Banders V., Juka V., Kazerovskis J., Laivenieks Dz., Teteris L.* Patiesiba par Karelijas berzu // Meza Dzive, 1997.

Берлина Н.Г.¹, Исаева Л.Г.², Зануздаева Н.В.¹

¹Лапландский государственный природный биосферный заповедник, г. Мончегорск
n_berlina@laplandzap.ru

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
isaeva@inep.ksc.ru

ДИНАМИКА ПЛОДОНОШЕНИЯ И РАЗВИТИЯ *RUBUS CHAMAEMORUS* L. В ЛАПЛАНДСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Введение

Лапландский государственный природный биосферный заповедник расположен в западной гористой части Мурманской области в подзоне северной редкостойной тайги. Болота на территории заповедника занимают 23362 гектаров, что составляют 8.4% от общей площади заповедника.

По материалам лесоустройства в заповеднике представлено 7 типов болот: верховое сфагновое (61.5% от площади болот), верховое осоково-сфагновое (2.7%), переходное осоково-сфагновое (34.8%), переходное осоковое (0.7%), переходное сфагновое (0.2%), низинное осоковое (0.1%) и низинное сфагновое (0.02%).

Первая созревающая ягода на болотах – морошка (*Rubus chamaemorus* L.) - гипоарктический циркумполярный вид, обычный на сфагновых болотах, моховых тундрах, на заболоченных берегах озер, рек, в переувлажненных приречных лесах.

Наблюдения за урожайностью ягод морошки в заповеднике ведутся с 1963 года (Печенежская, 1981). Первые ягодные стационары были заложены в 1964 году на болотах верховом сфагновом (стационар № 5), переходном сфагновом с рединой сосны (стационар № 6) и кустарничково-сфагновом с рединой сосны (стационар № 11). Позже были заложены еще два стационара на болотах переходно-сфагновом (стационар № 3, 1980 г.) и переходном осоко-сфагновом (стационар № 14, 1991 г.). Следовательно, учет плодоношения морошки охватывал практически все болотные сообщества (Сметанникова, 1993; Исаева, 2007). К сожалению, в настоящее время учетные работы по урожайности морошки регулярно проводятся только на двух ягодных стационарах (№ 5 и 11).

Известно, что урожай морошки сильно колеблется по годам (Елина, 1972; Печенежская, 1981; Сметанникова, 1992; Берлина, Зануздаева, 2001; Исаева, 2007; Берлина, Зануздаева, 2007). Биологические особенности развития морошки (раннее цветение, раздельнополость цветков) являются одной из причин периодичности плодоношения (Косицын, 2001).

Цель наших исследований: проследить динамику урожайности ягод и фенологические фазы развития морошки в различных типах болот на территории Лапландского заповедника.

Материалы и методы. Исследования проводились на двух ягодных стационарах заповедника, расположенных на болоте кустарничково-сфагновом с рединой сосны на северном берегу оз. Чунозеро (№ 11) и на болоте верховом сфагновом (№ 5). Объектом исследования явилась морошка, произрастающая в болотных сообществах центральной части Мурманской области.

Ягодный стационар состоит из 5-10 площадок квадратной формы, ориентированных по сторонам света СЮ и ЗВ. Характеристика постоянных пробных площадей (стационаров) представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика растительных сообществ на объектах исследования плодоношения морошки

№ ППП, год закладки	Тип растительного сообщества	Размер стационара	Травяно-кустарничковый ярус, доминанты	Мохово-лишайниковый ярус, доминанты	Примечание
5, 1964	Болото верховое сфагновое	25 x 25 м ² 10 площадок по 1x1 м ²	<i>Rubus chamaemorus</i> L., <i>Empetrum hermaphroditum</i> Hagerup, <i>Ledum palustre</i> L., встречаются <i>Vaccinium uliginosum</i> L., <i>Eriophorum vaginatum</i> L., <i>Oxycoccus microcarpus</i> Turcz ex Rupr.	<i>Sphagnum fuscum</i> (Schimp.) Klinggr., <i>Sphagnum</i> sp.	Редко угнетенная ель, высотой 1-2 м, по кочкам <i>Betula nana</i> L. высотой до 0.5 м
11, 1964	Болото кустарничково-сфагновое с редкой сосной	25 x 25 м ² 5 площадок по 2x2 м ²	<i>Rubus chamaemorus</i> , <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull, <i>Oxycoccus microcarpus</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , встречаются <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Andromeda polifolia</i> L.	<i>Sphagnum fuscum</i> (Schimp.) Klinggr., <i>Sphagnum russowii</i> Warnst., <i>Sphagnum</i> sp., <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt., встречаются <i>Dicranum spadiceum</i> Zett., <i>Cladina stellaris</i> (Opiz) Pouzar & Vězda, <i>Cladina rangiferina</i> (L.) F. H. Wigg.	Северный берег оз. Чунозеро Редина сосны (более 200 лет), по кочкам <i>Juniperus sibirica</i> Burgsd. и <i>Betula nana</i> L. высотой до 0.6 м

Сбор всех имеющихся ягод осуществлялся с каждой площадки одновременно, ягоды укладывались в пакеты (по каждой площадке отдельно). Обработка ягод заключалась в разделении содержимого каждого в отдельности пакета по видам ягод, подсчете количества в штуках и взвешивании с точностью до одной тысячной грамма. Выполнялся подсчет общего количества и массы ягод на стационаре, а также определялись средние показатели: количество и масса 1 ягоды и всех ягод на одной площадке, то есть на 1 м² и на 1 га. Результаты вносились в паспорт стационара.

Глазомерная оценка продуктивности ягодных кустарничков по 6-балльной шкале (Воронов, 1973) в заповеднике началась с 1958 года. Проанализирован материал по фенологии и урожайности морошки с 1980 по 2013 годы. Многолетние данные по дате каждой фенологической фазы переводились в непрерывный числовой ряд по Г.Н. Зайцеву (1973). Для статистической обработки материала использовали пакет программы Microsoft Excel 7.0.

Фенологические наблюдения за зацветанием и плодоношением морошки в Лапландском заповеднике проводятся с 1930 года (Семенов Тянь-Шанский, 1975), по 14 фазам развития – с 1994 года (Сезонная жизнь..., 1996; 2001).

Результаты и обсуждение. Фенологические наблюдения за зацветанием и плодоношением морошки в Лапландском заповеднике проводятся с 1930 года. За весь период наблюдений самая ранняя дата зацветания морошки отмечена 24 мая (1963 г.), самая поздняя 23 июня (1982 г.). Средняя дата зацветания морошки – 11 июня. Самое раннее созревание ягод морошки отмечалось в 1937 году (12 июля), самое позднее - в 1968 году (16 августа). Средняя дата созревания ягод морошки – 27 июля.

Более полные наблюдения по 14 фенологическим фазам развития морошки показаны в таблице 2.

Таблица 2

Фазы фенологического развития морошки (1994–2013 гг.)

№	Фенофаза	Средняя многолетняя дата за 20 лет	Самая ранняя дата	Самая поздняя дата
1.	Лопнули почки	27.05	11.05	10.06
2.	Начало развития листа	02.06	18.05	15.06
3.	Появление полного листа	18.06	08.06	04.07
4.	Начало бутонизации	08.06	29.05	17.06
5.	Начало цветения	10.06	30.05	21.06
6.	Массовое цветение	17.06	04.06	04.07
7.	Начало отцветания	20.06	06.06	03.07
8.	Массовое отцветание	28.06	20.06	13.07
9.	Полное отцветание	07.07	26.06	17.07
10.	Начало созревания плодов	27.07	17.07	11.08
11.	Массовое созревание плодов	03.08	23.07	26.08
12.	Начало изменения окраски листьев	19.07	05.07	06.08
13.	Массовое изменение окраски листьев	14.08	30.07	29.08
14.	Полное отмирание надземной части	13.09	31.08	25.09

Урожайность ягод морошки сильно колеблется: на стационаре № 5 - от 0.3 (2003) до 272.8 кг/га (1994); на стационаре № 11 - от 1.4 (2000) до 183.8 кг/га (1998). Средняя урожайность ягод морошки за время наблюдений (1980-2013 гг.) на болоте верховом сфагновом (№5) составила 39.9, а на болоте кустарничково-сфагновом с редкой сосной (№11) 59.4 кг/га. За годы наблюдений отмечен полный неурожай морошки в исследуемых болотных сообществах в 1987 и 2002 годах, в 2013 году не было ни одной ягоды на стационаре № 5. Масса одной ягоды варьировала от 0.32 до 1.81 г, средняя масса одной ягоды составила 1.03 г. Количество ягод на 10 м² колеблется от 1 до 190 шт.

В среднем за 30-ти летний период учета урожайность ягод морошки на стационаре № 11 (59.4 кг/га) больше по сравнению со стационаром № 5 (39.9 кг/га). Это подтверждается также данными М.Н. Печенежской (1981) и Л.Г. Исаевой (2007), что наиболее продуктивными для плодоношения морошки являются моховые болота с рединами сосны. Следует отметить, что в 30-е годы прошлого столетия в различных растительных фитоценозах Хибин (центральная часть

региона) средний урожай морошки составлял от 50-80 кг/га и максимальный урожай (до 100 кг/га), был отмечен в сфагновом сосняке с багульником и вороникой (Розанова, 1933).

Только пять лет (1990 - 1994 гг.) урожай ягод морошки был выше на стационаре № 5 (верховое сфагновое болото), в остальной период более урожайным является стационар № 11 (болото кустарничково-сфагновое с редкой сосной). Это говорит о том, что для урожайности морошки важным фактором является защищенность лесом, так как в период цветения часты заморозки и ветра. Морошка очень требовательна к влаге, хорошо развивается на верховых сфагновых болотах. Лучше и более регулярно плодоносит в местах, защищенных во время цветения от холодных ветров и пониженной температуры (Маслаков, Куликова, 1992).

Урожайность на двух стационарах и даты начала зацветания и начала плодоношения *Rubus chamaemorus* показаны на рисунке 1.

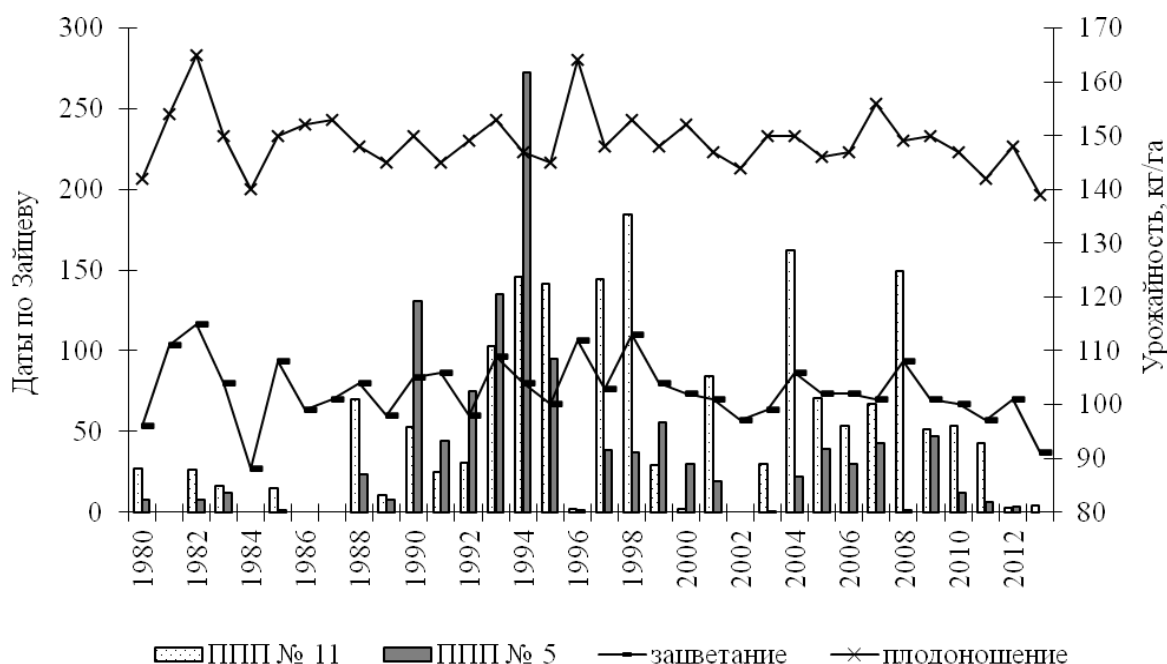


Рис. 1. Динамика урожайности и фенологии ягод *Rubus chamaemorus* на болоте верховом сфагновом (№ 5) и на болоте кустарничково-сфагновом с редкой сосной (№ 11)

В сосновом редколесье кустарничково-сфагновом хорошая урожайность ягод морошки связана с более поздним зацветанием (рис. 1). Следует отметить, что этот стационар расположен на берегу оз. Чуозеро, где холоднее и ветренее, чем на стационаре № 5. На болоте верховом сфагновом эта тенденция не прослеживается, так как данный стационар находится на небольшом болоте, защищенном лесом со всех сторон.

М.Н. Печенежская (1981) отмечает, что урожайность морошки в Лапландском заповеднике самая нестабильная по сравнению с другими ягодными кустарничками. Нестабильность плодоношения морошки обусловлена раннелетними напочвенными заморозками, совпадающими по времени с её цветением. Напочвенные заморозки здесь довольно обычны - отсюда и частые неурожаи морошки.

Многолетние наблюдения в Хибинских тундрах выявили шестилетнюю цикличность для *Rubus chamaemorus* на низовых болотах (Маслаков, Куликова, 1992). Наши данные говорят об отсутствии четкой цикличности в урожайности морошки. Хотя периоды урожая и неурожая ягод морошки сменяют друг друга и на территории Лапландского заповедника, чередуются они через три, четыре иногда пять-шесть лет (Берлина, Зануздаева, 2001).

Планируется дальнейшее изучение продуктивности *Rubus chamaemorus* по следующим направлениям:

- возобновление учетных работ на стационаре № 6;
- закладка новых стационаров в северо-западной части заповедника;
- желательно заложить большее количество ягодных стационаров в различных болотных сообществах и регулярно проводить учетные работы.

Литература

1. Берлина Н.Г., Зануздаева Н.В. Продуктивность ягодных кустарничков в различных ценозах Лапландского заповедника // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Материалы совещания. Тула: Гриф и К°, 2001. С. 396-397.
2. Воронов А.Г. Геоботаника. Москва, 1973. 382 с.
3. Елина Г.А. К методике картирования и учёта ягодных ресурсов болот Карелии // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. Л., 1972. С. 70-89.
4. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1973. 123 с.
5. Исаева Л.Г. Динамика урожайности *Rubus chamaemorus* L. на территории Лапландского биосферного заповедника // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера / Материалы XI Перфильевских научных чтений, посвящ. 125-летию со дня рождения И.А. Перфильева (Архангельск, 23-25.05.07). Ч. 1. Архангельск, 2007. С. 59-63.
6. Косицын В.Н. Морошка: биология, ресурсный потенциал, введение в культуру. М., 2001. 137 с.
7. Маслаков Н.И., Куликова Н.Т. Влияние погодных условий, местопроизрастания и сроков сбора на урожайность и качество продукции дикорастущих ягодников // Растительные ресурсы европейского Севера: продуктивность, рациональное использование, охрана. Апатиты, 1992. С. 28-29.
8. Печенежская М.Н. Особенности плодоношения ягодников Лапландского заповедника // Биологические проблемы Севера. Материалы IX симпозиума. Ч. 1. Сыктывкар, 1981. С.120.
9. Розанова М.А. Ягодные ресурсы Севера // Проблемы Северного растениеводства. Вып. IV. Л.: изд-ие ВИРа, 1933 (1934). С. 107-116.
10. Сезонная жизнь природы Кольского севера. Мурманск, 1996. 41 с.
11. Сезонная жизнь природы Кольского севера. Мурманск, 2001. 68 с.
12. Семёнов-Тян-Шанский О.И. Лапландский заповедник. Мурманск, 1975. 244 с.
13. Сметанникова М.С. Оценка урожайности ягодников в Лапландском заповеднике // Растительные ресурсы европейского Севера: продуктивность, рациональное использование, охрана. Апатиты, 1992. С. 30-31.

Бобкова К.С.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
bobkova@komisc.ru

ЗАПАСЫ И ДИНАМИКА УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Леса северного района европейской части Российской Федерации – это лесные массивы Архангельской, Вологодской, Мурманской областей, Республики Карелии и Республики Коми – выполняют важную роль в углеродном цикле биосферы Северного полушария. Лесопокрытая площадь в данном регионе составляет порядка 70 млн. га, из них хвойные – 80%. Древостои хвойных насаждений сформированы в основном елью и сосной. Лиственница, кедр и пихта занимают около 1% лесной площади - хвойных. В Республике Коми и Архангельской области преобладают еловые леса. В Республике Карелия и Мурманской области – сосновые. В Вологодской области хвойные насаждения почти в равной мере представлены елью и сосной. Леса с преобладанием в составе лиственных пород сформированы березой (88.7) и осиной (11.3%). В Республике Коми и Архангельской области хвойные экосистемы представлены в основном спелыми и перестойными древостоями, лиственные – средневозрастными древостоями и молодняками. В настоящее время почти вся территория европейского Севера вовлечена в интенсивные промышленные освоения. Основные направления изменения ресурсов связаны с развитием лесозаготовительной промышленности и с отчуждением лесных территорий для нефте- и газодобычи транспортировки и переработки углеводородного сырья. Несмотря на интенсивное освоение территории, на европейском Севере сохранились значительные площади первичных, старовозрастных лесов (Лесной фонд..., 2005).

Используя для региона полученные конверсионные коэффициенты и запасы древесины ГУЛ фонда, вычислен годичный сток углерода в лесных насаждениях (Замолотчиков и др. 2001; Лебков, Каплина, 2004). В лесных фитоценозах этого региона ежегодно формируется 310 млн. т фитомассы и депонируется 143 млн. т углерода. Основную роль в стоке (поглощении) углерода в хвойные сообщества выполняют древостои, на долю которых приходится 60-80% от общего количества углерода, ежегодно накапливаемого в приросте. В годичном приросте органической массы и углерода довольно высока значимость травяно-кустарничкового и мохового ярусов растительности. По северному району ежегодно в еловых насаждениях депонируется 48.5, в сосновых -26.7, лиственничных - 0.5, кедровых – 0.1, в пихтовых -0.2, лиственных – 24% от общего углерода, накопленного годичном приросте фитомассы лесных сообществ (Бобкова и др., 2004). В лесных фитоценозах Северного района ежегодно связывается в процессе фотосинтеза около 20% атмосферного углерода лесов России. В лесных экосистемах Республики Коми и Архангельской области главная роль в накоплении углерода принадлежит еловым, в Вологодской области лиственным фитоценозам. В Мурманской области в стоке углерода сосна, ель и лиственные выполняют почти равноценную роль.

Запасы углерода в спелых и перестойных ельниках составляют $133-205 \text{ тга}^{-1}$, более половина которых концентрируется в почве. Значительная часть органического углерода почвы аккумулируется в лесной подстилке. Старовозрастные еловые сообщества как в подзоне северной, так и средней тайги являются резервуаром для стока углекислого газа. Нетто-продукция фитомассы в них составляет $4.3-8.2 \text{ тга}^{-1}$ или $2.0-4.0 \text{ тСга}^{-1}$. С опадом возвращается в почву $1.6-3.2 \text{ тСга}^{-1}$. Прирост органического углерода в почве ельников за счет закрепления его в минеральном субстрате составляет менее 7% от массы годичного опада. Основная часть потери углерода приходится на эмиссию от разложения растительных остатков. Соотношение поступающего потока и эмиссии CO_2 показывает, что большинство типов коренных еловых сообществ служат местом хотя слабого, но стока углерода. Лишь в отдельные периоды развития старовозрастные ельники заболоченных типов северной тайги могут служить слабым его источником.

Фитоценозы сосновых экосистем так же, как и еловые, характеризуются невысокими темпами накопления органического вещества. 30-летние северотаежные сосняки в зависимости от условий произрастания продуцируют от 1.5 до 2.8, спелые - от 2.3 до 4.2 тга^{-1} углерода в год. В спелых и перестойных экосистемах сосняков европейского Северо-Востока аккумуляция углерода в зависимости от типа леса составляет $90-190 \text{ тга}^{-1}$, из них 35-74% концентрируется в почве. С опадом на поверхность почвы поступает в молодняках $0.7-1.4$, в средневозрастных и спелых $1.7-2.7 \text{ тСга}^{-1}$ в год.

Скорость деструкции отдельных компонентов опада в разные годы различна и зависит от климатических условий вегетационного периода. В хвойных сообществах северной тайги за год разлагается менее 26, средней менее 34% массы поступившего опада. Несмотря на то, что в обменных процессах северотаежных и заболоченных хвойных сообществ значительную роль выполняют растения нижних ярусов фитоценоза, чистую продукцию фитомассы (углерода) формируют древостои. В суходольных типах леса величина NPP выше, чем в заболоченных. Ведущую роль в продукционном процессе выполняют почвенно-экологические факторы. На фоне недостатка тепла в лишайниковых типах сообществ определяющими являются условия трофности, сфагнофых – аэрации. Ельники и сосняки на автоморфных почвах характеризуются относительно благоприятным режимом трофности и увлажнения. Они отличаются более высокими показателями биопродукции.

Производные лиственные и лиственно-хвойные экосистемы, формирующиеся после рубок, характеризуются более интенсивными, чем хвойные, обменными процессами в системе фитоценоз - почва. В данных сообществах за год разлагается примерно половина массы поступающего опада, отмечается относительно высокие темпы депонирования углерода. Так, NPP в среднетаежных березовых молодняках первого - второго классов возраста составляет $1.5-2.3$, 30-35-летних смешанных березово-осиновых фитоценозах - $3-4$, достигая в 45-летнем осиново-березовом насаждении 6.7 тСга^{-1} в год. В 90-летнем в хвойно-лиственном ценозе NPP равен 4.9 тСга^{-1} .

В жизнедеятельности лесных экосистем Севера своеобразную и важную роль выполняет лесная подстилка. Обмен веществ между почвой и растениями в экосистемах Севера ограничен биологическим ярусом (фитоценоз + подстилка). Недостаток тепла, повышенная влажность почв в большинстве типов леса обуславливают слабую минерализацию растительного опада. С опадом в почву возвращается 70-80%, а в отдельных случаях до 100% общего прироста массы органического вещества. После разложения опада общие потери его веса за год равны 29-32% в хвойных

сообществах средней тайги и 20-25% - в северной тайге; 38-49% для лиственных. Для региона характерен замедленный тип разложения растительных остатков. Так, подстилично-опадочный коэффициент в еловых лесах составляет 12-26, в сосновых – 11-28, тогда как в южных регионах 1-7. На минерализованный поток в атмосферу в форме CO₂ приходится 60-70%

В подстилке накапливаются значительные запасы органического вещества. Так, в зависимости от типа леса масса подстилки изменяется от 7 до 40, в сфагновых типах – до 150 тга. В более производительных сосняках черничных запасы углерода органического вещества в лесной подстилке составляют 20-24%, в ельниках черничных 17-37% от общей массы живых растений. В фитоценозе долгомошной группы типов леса в подстилке сосредоточено 50-64% общего запаса фитомассы растений. В сфагновых типах леса запасы подстилок значительно превышают запасы органического вещества фитоценозов.

Литература

1. Бобкова К.С., Галенко Э.П., Тужилкина В.В. Годичное депонирование углерода в лесных насаждениях европейского Северо-Востока России // Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии. Пушино. ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. С. 70-74.
2. Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение, 2001. № 5. С. 8-23.
3. Лебков В.Ф., Каплина Н.Ф. Оценка массы и структуры годичного стока углерода в лесных экосистемах европейской части России // Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии. Пушино. ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. С. 60-64.
4. Лесной фонд России. М., 2003. 260 с.

Бобрецов А.В.¹, Петров А.Н.², Быховец Н.М.²

¹Печоро-Илычский государственный природный заповедник, п. Якша
avbobr@mail.ru

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

ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЛЕВОК В ПРЕДГОРНОЙ ТАЙГЕ СЕВЕРНОГО УРАЛА: СВЯЗИ С КЛИМАТОМ И СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ

Мелкие млекопитающие играют большую роль в функционировании экосистем, обладают широким набором различных адаптаций и способностью к их быстрой реализации. При этом они довольно чувствительны к различным изменениям среды. Поэтому виды этой группы животных считаются удобными объектами мониторинга (Beyeler, 2001; Pearce, Venier, 2005), в том числе и слежения за глобальными процессами. Одним из них является глобальное изменение климата, отмеченное в последние десятилетия. Оно вызвало быстрый отклик у популяций мелких млекопитающих (Истомин, 2009; Moritz et al., 2008; Myers et al., 2009 и др.). В этом отношении изменения в популяционной динамике могут дать информацию о появлении последствий воздействия задолго до изменения биологии видов, границ видовых ареалов и структурных перестроек в сообществах животных (Захаров и др., 2011). Примером влияния глобального потепления климата являются нарушения в цикличности динамики популяций полевок в Северной Европе (Hörnfeldt, 2004; Ims et al., 2008). В настоящей работе проанализированы результаты многолетнего мониторинга численности лесных полевок в предгорьях Северного Урала в контексте их связей с климатическими данными и нарушениями в среде обитания.

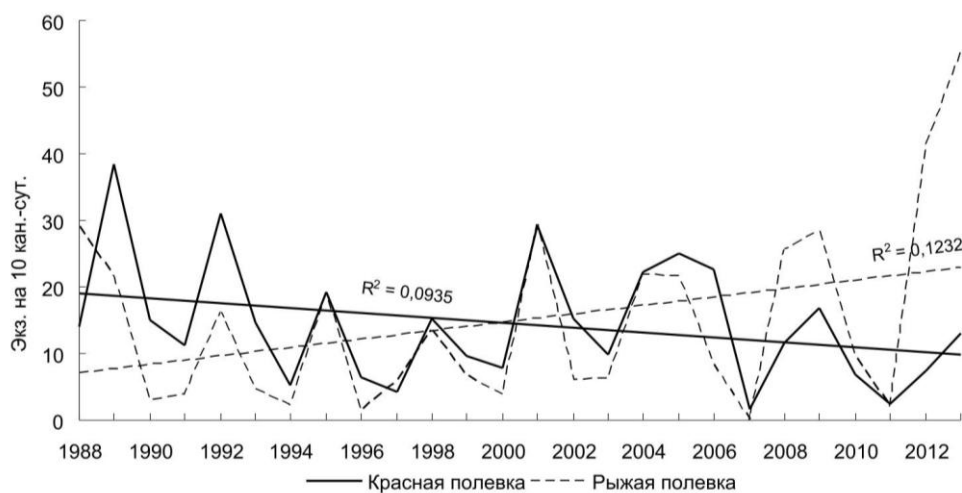
Район работ, материал и методы. Район исследований представляет собой увалистую возвышенную равнину, которую в меридиональном направлении пересекает несколько гряд. Распространение растительных сообществ тесно связано здесь со структурой ландшафта. В поймах рек представлены луга, ивняки, черемушники и высокотравные еловые смешанные леса с участием пихты, кедра, березы и осины. Пониженные места между грядами занимают еловые леса зеленомошного, долгомошного и сфагнового типов. Нижние склоны гряд покрыты елово-пихтовыми лесами с большим участием в напочвенном ярусе крупных папоротников. В последние десять лет в этом районе произошли крупные вывалы леса, протяженность которых достигает нескольких

десятков километров. Частично они захватили и окрестности стационара. Активизировались также процессы «оконной» динамики лесов, результатом которых является увеличение мозаичности лесов.

В данном сообщении использованы материалы ежегодных учетов мелких млекопитающих в предгорном районе Печоро-Илычского заповедника. Учеты проводились ловчими канавками с 1988 по 2013 гг. в трех местообитаниях, локализованных в разных элементах ландшафта, - ельнике зеленомошном (плакор), ельнике травяном (пойма реки Печоры) и ельнике зеленомошно-папоротниковом (гряды). Канавки открывали в первой половине августа на 12-15 дней. Использовали канавки протяженностью 50 м с пятью вкопанными конусами. На 1/3 конусы заливались водой. Всего отработано 1110 канавко-суток, поймано 3223 особи трех видов. За показатель учета принимали число животных, отловленных за 10 дней работы канавки (экз. на 10 кан.-сут.)

Результаты. Во время учетов отмечено три вида лесных полевок – красная полевка *Myodes (Clethrionomys) rutilus* (46.4%), рыжая полевка *M. glareolus* (50.4%) и красно-серая полевка *M. rufocanus* (3.2%). Показатели средней численности первых двух видов за все годы наблюдений оказались равными и составили соответственно 14.4 ± 1.8 и 14.8 ± 2.7 экз. на 10 кан.-сут. Обилие красно-серой полевки было незначительным – 1.1 ± 0.4 экз. на 10 кан.-сут., поэтому ее исключили из анализа. Следует отметить довольно высокую численность рыжей полевки в предгорьях Северного Урала. Ее показатели обилия здесь выше, чем в западных районах Русской равнины (Бобрецов и др., 2004).

Численность лесных полевок варьировала по годам. У красной полевки в среднем по всем местообитаниям она изменялась от 1.6 до 38.4 экз., у рыжей полевки – от 0.1 до 55.2 экз. на 10 кан.-сут. Изменчивость (CV, %) обилия у первого вида составила 63.3%, у второго – 93.2%. Многолетние колебания численности у обоих видов носят циклический характер (рис.), что подтверждают результаты автокорреляционного анализа. При расчетах автокорреляционных функций значимым у красной полевки оказался период в 3 года, у рыжей полевки – в 4 года. В первом случае коэффициент корреляции составил +0.40, во втором – +0.37. Это означает, что подъемы численности полевок регистрируются каждые три и четыре года. При этом они довольно синхронны во времени. Ранговый коэффициент корреляции Спирмена равен +0.51 ($p = 0.004$). Только в самом начале наблюдений было отмечено расхождение пиков численности видов во времени.



Динамика численности лесных полевок и тренды изменений в предгорной тайге Печоро-Илычского заповедника

У красной и рыжей полевок выявлены противоположные тренды в изменении их обилия: у первого вида отмечено уменьшение показателей, у второго – их повышение. С 1988 по 2007 гг. в уловах практически всегда доминировала красная полевка, но после 2007 г. ее обилие стало уменьшаться. На этом фоне резко возросла численность рыжей полевки. Наиболее четкие изменения численности двух видов наблюдается при делении временного ряда на три периода (табл.). В этом случае у красной полевки отмечено закономерное уменьшение средних значений индексов обилия. У рыжей полевки значительное увеличение численности зафиксировано в последние два года. В 2012–2013 гг. среднее обилие красной полевки составило 10.2 экз., рыжей – 48.1 экз. на 10 кан.-сут. Рыжая полевка в этот период заселила практически все местообитания. Она стала вытеснять красную

полевку из ее коренных стадий – ельников зеленомошных плакорных. Доля рыжей полевки в населении данного биотопа в первый период достигла лишь 43.7%, во второй – 53.1%, а в третий – 65.9%. В последние два года ее доля составила уже 74.4%.

Обсуждение. Наиболее вероятная причина изменений численности видов лесных полевок в предгорном районе Печоро-Илычского заповедника – изменения в климате и связанные с ними процессы трансформации местообитаний. Среднегодовая температура воздуха повысилась здесь в последнее десятилетие по сравнению с периодом 1980-1999 гг. на 1 °С. Потепление произошло за счет весны (апрель-май) и осени. Именно параметры этих сезонов года оказались значимыми для численности лесных полевок: температура воздуха апреля для красной полевки ($r = -0.41$; $p = 0.03$) и температура сентября предыдущего года для рыжей полевки ($r = +0.43$; $p = 0.02$). Теплая погода в апреле негативно влияет на осеннюю численность красной полевки. Это связано с тем, что наибольшая смертность животных в печорской тайге наблюдается ранней весной в период их полового созревания. Положительные температуры в апреле раньше времени разрушают снежный покров, вызывая нестабильность условий среды в приземном слое: в результате частых возвратов холодов значительная часть зверьков гибнет (Бобрецов, 2009). Для рыжей полевки этот фактор, напротив, оказался незначительным. Возможно, причина в том, что этот вид наиболее плотно населяет ельники травяные пойменные, в которых разрушение снежного покрова происходит на 10-15 дней позже, чем в ельниках плакорных.

Численность лесных полевок в разные периоды наблюдений

Период	Красная полевка			Рыжая полевка		
	M ± m	Lim	C, %	M ± m	Lim	C, %
1988-1996 гг.	17.2 ± 3.6	5.3-38.4	63.6	11.2 ± 3.4	1.3-29.0	92.2
1997-2007 гг.	14.8 ± 2.7	1.6-29.1	61.1	11.2 ± 2.8	0-29.5	82.2
2008-2013 гг.	9.7 ± 2.1	2.5-16.8	53.1	27.0 ± 7.0	2.1-55.2	72.3

Влияние изменения климата на обилие животных зафиксировано в последние десятилетия для многих видов на разных территориях. Оно способствовало увеличению численности рыжей полевки в средней полосе России (Бернштейн и др., 2004; Истомин, 2009). В Центрально-Черноземном заповеднике в последние 10 лет рыжая полевка стала расселяться из лесов в степи (Пузаченко, Власов, 1997). Ключевой точкой приложения влияния климата на динамику отдельных видов здесь является весна - начало лета. С изменениями в температуре воздуха связана изменчивость в численности и распространении одного из самых массовых видов грызунов Северной Америки белонногого хомячка *Peromyscus leucopus* (Myers et al., 2009; Deitloff et al., 2010). Значительный вклад в изменчивость обилия этого вида вносит минимальная температура апреля (Martin, 2010).

Зачастую разные виды мелких млекопитающих показывают дифференциальные ответы на изменения климата, что, например, и продемонстрировали лесные полевки в Печоро-Илычском заповеднике. Наиболее сильный отклик отмечен у рыжей полевки. Показатели ее численности за последние два года в 4 раза превысили аналогичные индексы за предыдущий период. Некоторые исследователи указывают на то, что между близкими видами существует межвидовая конкуренция (Кошкина, 1971; Eccard, Ylönen, 2003). В качестве ее доказательства часто приводят примеры асинхронности динамики популяций симпатрических видов (Ивантер, 1975). В некоторые годы такая асинхронность в изменении численности красной и рыжей полевок была отмечена и в Печоро-Илычском заповеднике, но в целом их динамика популяций синхронна. Хотя следует отметить, что в период высокой численности рыжей полевки в последние годы показатели обилия красной полевки значительно уменьшились.

Ярким свидетельством увеличения численности рыжей полевки и ее интенсивного расселения является ее появление в большом числе в последние годы в нетипичных для нее местообитаниях – ельниках зеленомошных плакорных. В окрестностях предгорного стационара эти леса фрагментированы небольшими поймами ручьев, которые представляют собой довольно благоприятные станции для рыжей полевки. Несмотря на их наличие, даже в годы подъемов этого вида численность его в ельниках плакорных была относительно низкой. Поэтому общий подъем уровня обилия вида с 2008 г. и особенно резкое увеличение в последние годы является следствием не только погодных факторов, но и трансформации лесных местообитаний в предгорьях заповедника.

Вывалы леса, вызванные ветряными шквалами, увеличение числа «окон» привели к формированию сильной мозаичности лесов. В осветленных «окнах» в ельниках зеленомошных и долгомошных на плакоре развивается травянистая растительность, часто с кустарниковым подлеском. Это делает среду обитания для рыжей полевки здесь более благоприятной.

Таким образом, направленные изменения численности лесных полевок в предгорной тайге Печоро-Илычского заповедника вызваны комплексом взаимосвязанных между собой факторов, инициированных процессами глобального изменения климата.

Литература

1. Бернштейн А.Д., Апекина Н.С., Коротков Ю.С., Демина В.Т., Хворенков А.В. Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом: экологические предпосылки активизации европейских лесных очагов // Изменение климата и здоровье России в XXI веке. М.: Изд-во Тов-во «АдамантЪ», 2004. С. 105-113.
2. Бобрецов А.В. Динамика численности красной полевки (*Clethrionomys rutilus*, *Rodentia*) в Северном Предуралье за полувековой период // Зоологический журнал, 2009. Т. 88. № 9. С. 1115-1126.
3. Бобрецов А.В., Нейфельд Н.Д., Сокольский С.М., Теплов В.В., Теплова В.П. Млекопитающие Печоро-Илычского заповедника. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 2004. 464 с.
4. Захаров В.М., Шефтель Б.И., Дмитриев С.Г. Изменение климата и популяционная динамика: возможные последствия (на примере мелких млекопитающих в Центральной Сибири) // Успехи современной биологии, 2011. Т. 131. № 5. С. 435-439.
5. Ивантер Э.В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
6. Истомин А.В. Некоторые реакции биоты на изменение климата в лесных ландшафтах Каспийско-Балтийского водораздела // Вестник Российского гос. у-та им. И. Канта, 2009. Вып. 7. С. 15-22.
7. Кошкина Т.В. Межвидовая конкуренция у грызунов // Бюлл. МОИП. Отл. Биол., 1971. Т. 76. Вып. 1. С. 50-62.
8. Пузаченко А.Ю., Власов А.А. Роль климатических факторов в динамике численности мелких млекопитающих луговой степи // Степи Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем. Оренбург: Институт степи УрО РАН, 1997. С. 116-117.
9. Deitloff J., Falcy M.R., Krenz J.D., and B.R. McMillan. 2010. Correlating small mammal abundance to climatic variation over twenty years. *Journal of Mammalogy* 9: 193-199.
10. Eccard J.A., Ylönen H. Interspecific competition in small rodents: from populations to individuals // *Evol. Ecol.* 2003. Vol. 17. No. 4. P. 423-440.
11. Hörnfeldt B. Long-term decline in numbers of cyclic voles in boreal Sweden: analysis and presentation of hypotheses // *Oikos*. 2004. Vol. 107. P. 376-392.
12. Ims R.A., Henden J-A., Killengreen S.T. Collapsing population cycles // *Trends in Ecology and Evolution*. 2008. Vol. 23. No. 2. P. 79-86.
13. Martin N. Effects of Climate Change on the Distribution of white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*), an Ecologically and Epidemiologically Important Species. PhD Thesis. University of Michigan, 2010. 24 p. <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/78212/NadiaMartin>
14. Moritz C., Patton J.L., Conroy C.J., Parra J.L., White G.C., Beissinger S.R. Impact of a century of climate change on small-mammal communities in Yosemite National Park, USA // *Science*. 2008. Vol. 322. No. 5899. P. 261-264.
15. Myers P., Lundrigan B.L., Hoffman S.M.G., Haraminac A.P., Seto S.H. Climate-induced changes in the small mammal communities of the Northern Great Lakes Region // *Global Change Biology*. 2009. Vol. 15. No. 6. P. 1434-1454.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОСИНТЕЗА ЛИСТЬЕВ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ НА УЧАСТКАХ С РАЗНЫМ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВЫ

Карельская береза – экологическая форма березы повислой, характеризуется структурными аномалиями ствола, затрудняющими движение потока влаги по ксилеме и приводящими к конечном счете к увеличению диффузионного устьичного сопротивления листа для CO_2 (Болондинский, Холопцева, 2013). Средние, как и максимальные величины CO_2 -газообмена у березы повислой и у карельской березы (*БК*) мало различаются в достаточно широком диапазоне освещенности (Болондинский, 2010). В насаждениях большинство форм *БК* из-за ограничений роста не могут конкурировать с березой повислой (*БП*). Карельская береза существует в пределах своего ареала в довольно узкой экологической нише, где она благодаря адаптационным механизмам, эффективно используя низкие значения освещенности, поддерживает CO_2 -газообмен на приемлемом уровне. *БК* активно культивируется, однако очень часто в условиях Севера выход ценной древесины мал, и до конца непонятны причины, почему это происходит. В нашу задачу входило изучение светового режима фотосинтеза у 40-50-летних деревьев *БК*, растущих на участках с разной влагообеспеченностью и плодородием почвы.

Исследования CO_2 -газообмена листьев проводились на 3-х участках. Участок № 1 имел площадь примерно 0.5 га. *БК* была высажена здесь в середине 60-х годов. После неоднократных прореживаний остались березы с визуально проявившимися признаками «карелистости». Через 20 лет после посадки большая часть объектов принадлежала к прямоствольной форме с безузорчатой древесиной. В 90-е годы эти березы достигали величины 12-15 м, в настоящее время - 18-20 м. Под их пологом остались березы кустообразной, шаровидной и других форм, многие из которых имели ярко выраженные признаки узорчатости. По мере ухудшения радиационных условий от периферии к центру участка эти деревья со временем усыхали. На периферии участка, особенно с южной стороны, значительная часть их сохранилась до настоящего времени. Кроны прямоствольных берез начинались на высоте 8-10 м.

На участке № 2 посадки *БК* 70-х годов (0.2 га). Почва, более увлажненная и богатая питательными веществами, чем на участке № 1. Освещенность под пологом прямоствольных *БК* здесь ниже по сравнению с предыдущим участком, однако, здесь сохранилось около двух десятков низкорослых форм *БК* с ярко выраженными признаками узорчатости. За 5 лет наблюдений из них погибло только одно дерево. На участке № 3 произрастало много карельских берез 40-летнего возраста с ярко выраженными признаками, как на опушке, где они освещены в течение нескольких часов солнечными лучами, так и в тени. В наиболее темных местах средняя освещенность в солнечный день не превышала $40 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. На листьях теневых деревьев солнечные блики попадали достаточно редко. На участке имеются также деревья осины и ольхи, в том числе и в подлеске. У прямоствольных *БК*, достигающих высоты 10-15 м, нижние ветви кроны в отличие от участка № 1 росли в 1-1.5 м от поверхности земли, то есть существовали при очень низкой освещенности.

Оценку радиационного поля у исследуемых деревьев проводили с использованием датчика *ФАР* (фотосинтетически активной радиации) газометрической системы Li-6200. Усреднение осуществлялось по 100-120 измерениям за 3 минуты на площади около 100 м^2 . Поскольку это не всегда достаточно для получения достоверной информации, эти эксперименты были дополнены измерениями солнечной радиации с помощью автоматической системы на базе микроконтроллеров (Болондинский, Яковлев, 2013), позволяющей получить усреднение по нескольким сотням замеров за 5 минут в разных точках пространства. На штанге находился узел измерения, состоящий из 5 фоточувствительных элементов, микроконтроллера и памяти. Каждый узел измерения, расположенный на штанге, производил измерения и записывал информацию с каждого датчика в блок памяти, закрепленный тут же на штанге. Для определения светового поля штанга переносилась с постоянной скоростью под кронами или в межкрупном пространстве. Градуировка фоточувствительных элементов производилась по эталонной паре: пиранометр Янишевского – гальванометр ГСА. Радиационное поле оценивалось при разных сценариях погоды (безоблачный день, высокая облачность, низкая облачность).

Измерения CO_2 -газообмена проводились с помощью портативной фотосинтетической системы Li-6200 (LiCor, USA). Камеру с листом ориентировали прямо на солнце и покрывали разными слоями ткани или тканями разной плотности. После каждого уменьшения освещенности измеряли все показатели, регистрируемые прибором (ΦAP , CO_2 -газообмен, концентрация CO_2 в камере, температура и влажность воздуха в камере и т.д.). Эксперименты в основном проводили в дневной динамике с 10 до 16 часов.

Световую кривую фотосинтеза моделировали с помощью нелинейного регрессионного анализа гиперболой (функция Микаэлиса-Ментен):

$$P(I(x,t)) = a_1 + b_1 \cdot I(x,t)/(I(x,t) + b_2),$$

где a_1 - параметр, характеризующий CO_2 -газообмен при I (ΦAP) = 0, т.е. уровень дыхания (R); b_1 - величина фотосинтеза при насыщающих значениях ΦAP ($P_{\max}$); b_2 (константа насыщения) - параметр, равный величине I , при которой $P = 0.5P_{\max}$, и является характеристикой скорости насыщения световой кривой; t - время. Все параметры модели имеют определенный физиологический смысл. Формально b_1 - теоретически возможный максимум фотосинтеза при освещенности, стремящийся к бесконечности. Обычно он близок к величине скорости фотосинтеза при максимально возможной в природе величине освещенности.

Из уравнения Микаэлиса-Ментен рассчитывали ряд дополнительных параметров:

а). Световой компенсационный пункт ($СКП$) - это та интенсивность света, при которой суммарный CO_2 -газообмен ($P(I(x,t))$) равен нулю. $СКП$ выражали в мкмоль фотонов/($\text{м}^2 \text{ с}$) и рассчитывали по формуле $I_{P=0} = -a_1 \cdot b_2/(a_1 + b_1)$.

б). Тангенс угла наклона световой кривой при низких интенсивностях освещения ($tg \alpha$). Его размерность - мкмоль CO_2 /мкмоль фотонов. Рассчитывали как производную $P(I(x,t))$ в точке $СКП$ по формуле $tg \alpha = b_1 \cdot b_2/(I_{P=0} + b_2)^2$.

Исследование содержания NPK в почве показало (рис. 1), что содержание азота в почве на участке № 1 было минимальным по сравнению с участками № 2 и № 3.

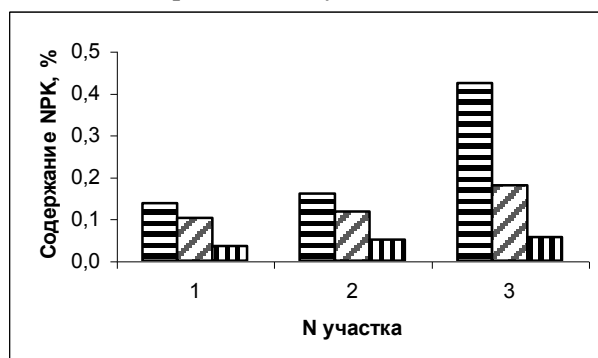


Рис. 1. Содержание в почве NPK : азота (заливка с горизонтальными линиями), фосфора (с наклонными линиями) и калия (с вертикальными линиями) на 3-х участках с посадками карельской березы

Содержание фосфора было также минимальным на первом участке. Углеродный баланс ветвей здесь превышал нулевой уровень при ΦAP около $50 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (общая радиация – $110 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$). В 1,5 м от поверхности земли средняя освещенность составляла $108 \pm 22 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а ΦAP – $45 \pm 13 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Содержание азота в почве на участке № 3 было максимальным и составило в среднем 0.42% (рис. 1). У некоторых деревьев эта величина доходила до 0.52%, содержание фосфора в среднем – 0.18%. Содержание NPK на участке № 2 имело промежуточные значения между участками № 1 и № 3. Достоверных различий по калию обнаружено не было.

Участок № 1 имел березы с ярко выраженными признаками «карелистости» лишь по юго-восточному и частично по освещенному северо-западному краю. В 15-20 м от краев участка и далее к центру все низкорослые деревья карельской березы к настоящему времени погибли, а оставшиеся представляли собой прямоствольную форму с очень слабыми признаками «карелистости». Замеры солнечной радиации в искусственном насаждении $БК$ 50-летнего возраста (участок № 1) показали, что низкорослые формы достаточно жизнеспособны при освещенности, составляющей примерно 25-30% от средних величин освещенности открытого места. При освещенности 10-15% наблюдалась массовая гибель низкорослых деревьев. В то же время в посадках 35-40-летнего возраста на более плодородной почве (участке № 2) при такой освещенности достаточно часто встречались

жизнеспособные низкорослые формы березы с диаметром ствола в 10 см от поверхности почвы от 20 до 25 см. Хотя величины NP_K на этом участке отличались от подобных на участке №1 на 30-30%, оводненность почвы, особенно в период засухи, была значительно лучше. Положительный углекислотный баланс ветвей был зафиксирован при минимальных значениях ΦAP 30-35 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. В солнечный день с южной стороны в дневное время на опытные деревья попадало довольно много солнечных бликов, которые увеличивали фотосинтез.

Наиболее тщательно были произведены измерения на участке № 3. Измерения фотосинтеза проводились на листьях нижних ветвей высоких деревьев и низкорослого раскидистого дерева *БК* в условиях сильной затененности. Признаки «карелистости» у высокого дерева также имели место, но были выражены не так ярко у низкорослого.

Таблица 1

Средние значения максимальных величин CO_2 -газообмена у 40-летних деревьев карельской березы на участке № 3

	Н	Т	Д	ФАР	NP	R	BP	K _p
	%	°C	Па	мкмоль м ⁻² с ⁻¹				
	Деревья, растущие в тени							
М	58	15.5	796	65	2.31	-0.66	2.97	53.0
σ	5	4.8	337	35	1.23	0.12	1.25	24.2
	Деревья, растущие на границе участка							
М	54	21.0	1142	1771	8.16	-2.63	10.79	6.1
σ	1	0.1	17	18	0.95	1.55	2.51	1.4

Примечание: Н, Т, Д – относительная влажность, температура и дефицит водяного пара воздуха соответственно; NP, BP и R – нетто-фотосинтез, брутто-фотосинтез и темновое дыхание листа; K_p – показатель использования ΦAP при фотосинтезе (мкмоль CO_2 /ммоль фотонов); М – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Деревья *БК*, растущие в условиях тени, были способны поглощать углекислоту при очень малых значениях ΦAP . Листья у них имели положительный CO_2 -газообмен при ΦAP от 10 до 12 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. Эти величины составляли менее 0.5% от значений, получаемых при освещении датчика прямыми солнечными лучами. У некоторых листьев при ΦAP , равной 10 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$, мы фиксировали фотосинтез около 0.5 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. Радиационное поле вокруг опытных деревьев оценивали при разных сценариях погоды: в солнечный день без облаков, при переменной облачности, при сплошной высокой облачности и при низкой облачности. Средняя величина ΦAP в условиях тени у опытных объектов в солнечный день составила 47 ± 23 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. Однако с северо-восточной стороны опытного низкорослого дерева карельской березы среднее значение ΦAP было 78 ± 11 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. Малая изменчивость последней величины обусловлена отсутствием деревьев с северной стороны. При отсутствии облаков ΦAP синего небосвода была меньше, чем при их наличии, так как свет, отраженный от облаков, давал дополнительную добавку к ΦAP голубого неба. Даже одно облако средних размеров повышало освещенность листьев на северо-восточной стороне на 20-25 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. Фотосинтез у таких листьев был на 30-40% выше, чем у листьев находившихся на противоположной стороне дерева в тени. Возможно, это была одна из причин, позволяющая этому дереву существовать в столь стесненных световых условиях.

При средних максимальных значениях ΦAP , составлявших у исследуемых ветвей 65 ± 35 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$, средние величины фотосинтеза были невелики – 2.31 ± 1.23 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$ (табл. 1). При этом коэффициент K_p (показатель использования ΦAP при фотосинтезе) имел очень большое значение – 53.1 ± 24.2 , что более, чем в 8 раз превышало подобный коэффициент у саженцев карельской березы на участках с контрольными растениями, растущими на свету. У деревьев, которые росли на границе участка № 3 и некоторое время хорошо освещались, K_p составил 6.1 ± 1.4 мкмоль CO_2 /ммоль фотонов. Эта величина характерна для большинства объектов, которые мы исследовали ранее (Болондинский, Виликайнен, 2011). Теневые листья характеризовались и гораздо более низкими величинами темнового дыхания – 0.66 ± 0.2 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$, в то время, как у освещенных солнцем листьев на краю участка оно составляло 2.63 ± 1.55 мкмоль $m^{-2} c^{-1}$. В результате брутто-фотосинтез у теневых листьев был всего в 3.7 раз ниже, чем у освещенных. Солнечная радиация же отличалась более, чем в 20 раз. Подобные адаптации к свету характерны для теневыносливых растений (Larcher, 1995).

Модели световых кривых фотосинтеза у *БК*, построенные по начальному участку световой кривой (табл. 2), подтверждают высокую способность карельской березы использовать малые дозы солнечной радиации. Адаптационным признаком являлось низкое значение коэффициента a , характеризующего темновое дыхание. Значение асимптоты гиперболы (b_1) – максимально возможный фотосинтез при очень больших значениях ФАР, составили 7.19 ± 2.23 мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$, что почти в 3 раза меньше, чем у контрольных деревьев, растущих на открытом месте [Болондинский, 2011]. Световой компенсационный пункт (*СКП*) тоже был очень низок – $8,03 \pm 1,83$ мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$, в то время как у контрольных деревьев на свету его средняя величина за июль-август достигала 52 ± 14 мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$.

Таблица 2

Средние значения параметров моделей световых кривых фотосинтеза у 40-летних деревьев карельской березы, растущих в тени на участке № 3

	a_1	b_1	b_2	r^2	$I_{\max}$	$R_{\max}$	$P_{\max}$	<i>СКП</i>	$tg \alpha$
	мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$			%	мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$				
М	-0,62	7,19	95,4	92,9	85	-0,71	2,39	8,83	0,062
σ	0,16	2,23	35,6	4,3	52	0,02	0,34	1,83	0,005

Примечание: М, σ – средние значения и стандартные отклонения соответственно, a_1 , b_1 , b_2 – значения параметров моделей световых кривых (см. объяснения в тексте), r^2 – коэффициент детерминации, $I_{\max}$, $P_{\max}$, $R_{\max}$ – соответственно максимальные значения ФАР, фотосинтеза и абсолютной величины дыхания в момент снятия световой кривой, *СКП* – световой компенсационный пункт, $tg \alpha$ – тангенс угла наклона световой кривой к оси абсцисс в точке *СКП* (мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{с}^{-1}$ /мкмоль фотонов $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$).

Снижение светового компенсационного пункта до очень низких значений является важным адаптационным признаком карельской березы, позволяющим ей существовать под пологом леса при относительно высоком плодородии почвы достаточно длительное время.

Таким образом, исследования фотосинтеза и радиационного режима у 40-50-летних растений карельской березы, обитающей в тени, на площадях с разным плодородием почвы показало, что при средней концентрации азота в почве 0.42% наблюдалось поглощение углекислоты листом при очень низких значениях ФАР (10-12 мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$). Положительный углекислотный баланс ветвей наблюдался при освещенности 10-15% от средних величин освещенности открытого места. Гибель *БК* на участках с бедным содержанием минеральных веществ, происходила уже при 25-30%. В отличие от светолюбивой березы повислой карельская береза приближена к теневыносливым видам, и может расти там, где появление березы повислой исключено. В силу аномальности ростовых процессов низкорослые формы карельской березы с ярко выраженной узорчатостью древесины (кустовидная, шаровидная и другие) не могут выдержать конкуренции с прямостоятельной формой березы и оказываются во втором ярусе, где на плодородной почве благодаря адаптационным возможностям фотосинтетического аппарата существуют достаточно длительное время. Стареют эти деревья раньше, чем доминирующие, но, как правило, их ранняя гибель происходит не из-за отрицательного углеродного баланса, а по другим причинам. Возможности ассимиляционного аппарата эффективно использовать слабый свет позволяют им поддерживать углеродный баланс на приемлемом уровне при постепенном ухудшении световых условий. Однако неспособность в таких условиях создавать достаточные запасы ассимилятов повышает вероятность гибели этих деревьев, например, в теплую зиму, когда имеют место оттепели и высокие потери на дыхание. Существуют у таких деревьев и проблемы при восстановлении листвы в ранний летний период после уничтожения ее вредителями. Снижение площади листовой поверхности и невозможность быстрого ее восстановления из-за малых запасов углеводов приводит к дисбалансу корне-листных отношений, ухудшению водоснабжения в летние засухи и еще более сильному ослаблению деревьев. Но в отличие от обедненных минеральными веществами почв, выход узорчатой древесины карельской березы на плодородных землях более высок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-04-00827-а).

Литература

1. Болондинский В.К., Холопцева Е.С. Исследования фотосинтеза и транспирации у карельской березы и березы повислой // Труды КарНЦ РАН. No 3. Сер. Экспериментальная биология. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 173-178.

2. Болондинский В.К., Виликайнен Л.М. Исследование CO₂-газообмена листьев березы повислой и карельской березы в условиях засухи 2010 г. // Труды Карельского научного центра Российской академии наук, 2011. № 3. С.12-15.
3. Болондинский В.К. Исследование световой зависимости фотосинтеза у листьев березы повислой при разной оводненности почвы // Материалы докладов VII съезда общества физиологов растений России и международной конференции «Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий», Нижний Новгород, 4-10 июля 2011. Ч. I. С. 99-100.
4. Болондинский В.К. Исследование зависимости фотосинтеза от интенсивности солнечной радиации, температуры и влажности воздуха у растений карельской березы и березы повислой // Труды Карельского научного центра Российской академии наук, 2010. № 2. С. 3-10.
5. Болондинский В.К., Яковлев В.В. Измерение фотосинтетически активной радиации в лесном ценозе // Материалы Всероссийской конференции «Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде». Иркутск, 10-13 июня 2013 г. С. 452-454.
6. Larcher W. Physiological plant ecology, 3rd Edn. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 506 p.

Боровичев Е.А.^{1,2}, Белкина О.А.¹, Давыдов Д.А.¹, Исаева Л.Г.², Кожин М.Н.^{1,3,4}, Константинова Н.А.¹, Костина В.А.^{1,2}, Урбанавичюс Г.П.²

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН, г. Кировск

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

³Кандалакшский государственный заповедник, г. Кандалакша

⁴Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

РАСТЕНИЯ, ГРИБЫ И ЛИШАЙНИКИ ВО ВТОРОМ ИЗДАНИИ КРАСНОЙ КНИГИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Введение

Первая официальная Красная книга Мурманской области была опубликована в 2003 году. Особенностью ее стало то, что, помимо перечней и описаний редких и исчезающих растений, она включала утвержденное постановлением Правительства Мурманской области «Положение о Красной книге» (Красная книга..., 2003). Ее созданию предшествовал ряд работ, которые необходимо здесь упомянуть. В 1977 г. опубликован список растений и лишайников, требующих особого отношения (Андреев и др., 1977). Уточненный его вариант был положен в основу кадастра видов животных и растений, предлагаемых к охране на территории области (Редкие и нуждающиеся..., 1979). Этот кадастр стал, по сути, первой в стране областной Красной книгой. Официально книга не носила такого названия, поскольку в то время Красными книгами именовались издания не ниже республиканского уровня. Впервые в сводку подобного типа были включены лишайники и мохообразные, что отражало специфику региона, где эти группы играют большую роль в растительном покрове. По результатам дальнейших ботанических работ список был уточнен и переиздан (Редкие и нуждающиеся ..., 1990), и, наконец, в 2003 вышла в свет первая официальная Красная книга Мурманской области.

По Положению о Красной книге Мурманской области (КК), она должна переиздаваться раз в 10 лет (Красная книга..., 2003). В 2014 году второе издание КК должно увидеть свет. Следует, однако, подчеркнуть, что работы по изучению редких и исчезающих видов растений и животных не прекращались ни на один год, несмотря на недостаточное финансирование со стороны правительства Мурманской области или полное отсутствие такового. Эти исследования проводились научными и общественными организациями в рамках тем НИР, работ по грантам, хозяйственным договорам и т.д.

При работе над новым изданием КК авторами были обобщены все имеющиеся литературные данные. Одним из основных источников явились гербарные коллекционные материалы Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН (КРАБГ), кроме того, были учтены образцы, хранящиеся в гербариях Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИНЕР), Кандалакшского государственного заповедника (KAND), Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE), Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (MW), Ботанического музея университета г. Хельсинки, Финляндия (H), Университета г. Оулу, Финляндия (OULU) и Университете г. Тромсё, Норвегия (TROM). В результате проведенной работы, сведения о распространении видов и угрозе их существования

в области заметно изменились. Обнаружены новые для региона виды. Некоторые вновь выявленные популяции находятся на значительном удалении от основного ареала.

Подготовка обновленных перечней видов КК была проведена согласно новым региональным рекомендациям (Проект..., 2012). В основу экспертной оценки включения видов в список охраняемых положены критерии, разработанные Международным союзом охраны природы для регионального уровня (IUCN, 2012). Новая система категорий КК включает 6 охранных статусов. Кроме того, по регламенту о Красных книгах, виды, входящие в Красную книгу РФ (2008), должны включаться в Красные книги регионов, даже если они не являются здесь угрожаемыми.

Всего во второе издание КК области включено 414 таксонов растений, лишайников и грибов (таблица). Кроме основного списка в новом издании КК в приложении дается список видов, нуждающихся в особом внимании к состоянию их популяций в области («бионадзор»).

Отдельным перечнем в приложении представлен список из 111 таксонов растений, грибов и лишайников, исключаемых из КК. Главными причинами исключения стали: 1) виды, ранее известные из единичных точек нахождения, но оказавшиеся распространенными в регионе значительно шире; их крупные популяции выявлены, в том числе на заповедных территориях и, таким образом, их существованию в регионе угрозы в настоящее время нет; 2) виды, приуроченные, как выяснилось в последние годы, преимущественно к антропогенным местообитаниям и, следовательно, их существованию также нет угроз; 3) виды с нечеткой выраженностью «внешних признаков», что не позволяет уверенно их идентифицировать; 4) виды, для которых отсутствуют достоверные сведения, подтверждающие наличие их местонахождений в регионе; 5) ошибочно определенные виды; 6) виды, для которых в результате ревизии был изменен объем их понимания.

Ниже представлены краткие обзоры разделов Красной книги по грибам, лишайникам, водорослям и высшим растениям.

Лишайники. Лихенобиота региона относительно хорошо изучена и в целом очень богата – она насчитывает немногим более 1200 видов, что составляет около 1/3 всего видового разнообразия лишайников России (Урбанавичюс, 2010). За прошедший период после последнего издания КК (2003) благодаря активным исследованиям лихенологов области и специалистов из других регионов, число известных для области лишайников и систематически близких нелихенизированных грибов увеличилось примерно на 1/3. В результате активных лихенологических работ по изучению состояния популяций и особенностей биологии, экологии и распространения на территории области ряда охраняемых видов лишайников, для части таксонов установлено значительное число новых местонахождений и зафиксирована высокая численность, свидетельствующие о необходимости переоценки их категорий угроз и статуса (например, для *Alectoria sarmentosa* ssp. *vexillifera* (Nyl.) D. Hawksw., *Bryoria nadvornikiana* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw., *Melanohalea exasperatula* (Nyl.) O. Blanco et al. и др.).

По результатам оценки, проведенной коллективом лихенологов Мурманской области, из списка лишайников предыдущего издания КК (2003), насчитывавшего 43 таксона, подлежащих охране, и 84 таксона, нуждающихся в особом внимании к их состоянию («бионадзор»), были исключены 53 вида (9 подлежащих охране и 44 «бионадзорных»).

В новое издание КК включены 84 вида лишайников и систематически близких нелихенизированных грибов, а также предложено 140 видов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию («бионадзор»). В число последних, в основном, входят таксоны, о состоянии популяций которых практически отсутствует современная информация, в частности виды, указываемые по старым литературным источникам и/или известные по единичным гербарным образцам начала прошлого и конца позапрошлого века. Также в новое издание Красной книги Мурманской области включены 4 вида лишайников, занесенных в Красную книгу РФ (2008) – *Bryoria fremontii* (Tuck.) Brodo & D. Hawksw., *Lichenomphalia hudsoniana* (H. S. Jenn.) Redhead et al., *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Stereocaulon dactylophyllum* Flörke. Из них два первых вида довольно широко распространены на территории области и имеют высокие показатели общей численности, в связи с чем этим видам была присвоена категория 5.

Грибы. Грибы представляют собой сборную группу организмов, которые относятся к различным отделам, и взгляды на их систематику различны. По некоторым оценкам, царство Грибы в Мурманской области насчитывает около 1500 видов. Активно изучаются в последние 15 лет афиллофороидные грибы и знания об их разнообразии в регионе существенно расширились (Исаева, Химич, 2011; Крутов и др., 2012). В рамках Летописей природы сотрудниками заповедников ведутся исследования по другим группам грибов, в частности, видового состава и плодоношения съедобных макромицетов.

Распределение по категориям редкости видов, нуждающихся в охране, мониторинге и бионадзоре

Категория/ Группа	Всего		0		1a		1б		2		3		4		5*		Бионадзор	
	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014	2003	2014
Лишайники	43	84	-	0	0	0	5	12	9	6	28	46	0	18	1	2	84	140
Грибы	7	18	-	0	0	0	0	0	0	3	7	14	0	1	0	0	0	5
Водоросли	-	3	-	0	0	0	-	0	-	1	-	1	-	1	-	0	-	0
Печеночники	40	43	-	0	0	1	1	0	8	10	30	28	0	3	1	1	16	20
Мхи	72	77	-	0	0	0	1	3	22	21	29	40	20	13	0	0	35	20
Сосудистые растения	176	189	-	2	0	12	25	27	40	46	73	80	38	20	0	2	69	65

Примечание: * - категория 5 (виды, имеющие особый статус) в новом издании КК соответствует категории 6 предыдущего издания (Красная книга..., 2003).

В первое издание КК (2003) было включено 7 видов грибов с категорией 3 – «редкий вид». Шесть из них вошли и во второе издание КК. Лишь один вид – осиновик белый (*Leccinum percandidum* (Vassilk.) Watl.) в свете последних молекулярных исследований исключен из 2-го издания, как цветовая форма распространенного вида осиновика желто-бурого (*Leccinum versipelle* (Fr. & Hök) Snell).

Всего во второе издание КК включено 18 видов грибов. Если рассматривать распределение по категориям редкости, то из них 14 видов отнесено к категории редких; три (*Sarcosoma globosum* (Schmidel) Casp., *Skeletocutis lilacina* A. David & Jean Keller, *Flaviporus citrinellus* (Niemelä & Ryvarden) Ginns) – к категории уязвимые виды и один (*Postia persicina* Niemelä & Y.C. Dai) – к неопределенному статусу, по его распространению недостаточно данных. Гриб *Sarcosoma globosum*, обитающий на почве в еловых лесах южной части области, занесен также в Красную книгу РФ (2008) как вид, сокращающийся в численности в результате изменения условий существования и разрушения мест обитания. В регионе известно только одно местонахождение на территории Варзугского комплексного заказника (Химич и др., 2013). В дополнительный список включено еще 5 видов грибов, нуждающихся в биологическом надзоре.

Выявление видового состава микобиоты региона пока еще далеко от завершения. Наиболее перспективными по выявлению редких видов являются слабо исследованные группы: агарикомицеты, гастеромицеты, аскомицеты и грибоподобные организмы, в частности миксомицеты.

Водоросли и цианопрокариоты. В первом издании КК (2003) водоросли представлены не были. Во второе издание КК включено три вида водорослей. Два из них являются обитателями морской литорали (*Kornmannia leptoderma* Blid. и *Saccorhiza dermatodea* (Bachelot de la Pylaie) J. Agardh), а один вид (*Batrachospermum gelatinosum* (L.) DC) – встречается в пресноводных реках. Из 35 видов водорослей, внесенных в Красную книгу России, на территории Мурманской области встречаются *Kornmannia leptoderma* и *Saccorhiza dermatodea*.

Водоросли относятся к числу одних из наименее изученных компонентов растительного мира области. Лишь цианопрокариоты (сине-зеленые водоросли) в последние годы активно изучаются в Мурманской области, в том числе существенно пополнен их видовой состав, уточнены экологические особенности многих видов (Давыдов, 2010; Шалыгин, 2012). При выборе объектов, которые будут внесены в КК, специалисты руководствовались не только принципом редкости, но и возможностью идентифицировать данный организм без специальной техники, поэтому в нее включены только макроводоросли, размер которых превышает несколько сантиметров. Включение в издание преимущественно микроскопических синезеленых, диатомовых, золотистых, зеленых и др. водорослей представляется нецелесообразным. Помимо ограниченного распространения, авторы принимали во внимание и способность видов переносить неблагоприятные условия.

Печеночники. На сегодняшний момент флора печеночников Мурманской области насчитывает около 200 видов, является одной из наиболее изученных региональных гепатикофлор в стране и составляет около 45% от флоры печеночников России.

За прошедшие годы после первого издания Красной книги детально изучены горные флоры Лапландского заповедника, начато изучение заповедника «Пасвик», ряда горных флор региона. В результате был выявлен двадцать один новый вид для Мурманской области, из которых шесть включены в новое издание КК (*Asterella lindenberghiana* (Corda ex Nees) Arnell, *Calycularia laxa* Lindb. & Arnell, *Calypogeia suecica* (Arnell & J. Perss.) Müll. Fr. b., *Frullania tamarisci* (L.) Dumort., *Lejeunea cavifolia* (Ehrh.) Lindb., *Oleolophozia perssonii* (H. Buch & S.W. Arnell) L. Söderstr., De Roo & Hedd. Подтверждено нахождение в Мурманской области ряда охраняемых видов, в частности, включенного в Красную книгу РФ (2008) *Isopaches decolorans* (Limpr.) H. Buch. Этот вид приводился для региона из Хибин (Шляков, 1974), но в ходе ревизии в гербарном образце растения вида не были найдены. В 2012 году печеночник был выявлен в горном массиве Волчьей тундры.

В первое издание КК (2003) было включено 56 печеночников (табл. 1). Во второе издание внесено 43 вида и 20 видов в список бионадзора. В новое издание КК включено восемь видов из числа занесенных в Красную книгу РФ (2008), причем подавляющее большинство из них редки в регионе: *Aneura mirabilis* (Malmb.) Wickett & Goefinet, *Dichiton integerrimum* (Lindb.) H. Buch, *Haplomitrium hookeri* (Sm.) Nees, *Isopaches decolorans*, *Oleolophozia perssonii*, *Protolophozia elongata* (Steph.) Schljakov, *Scapania sphaerifera* H. Buch & Tuom. Лишь *Nardia breidleri* (Limpr.) Lindb., включенный в федеральную Красную книгу (l.c.), присвоена 5 категория, так как на территории Мурманской области он нередок и не нуждается в специальных мерах охраны.

Мхи. Флора мхов региона относительно хорошо изучена и довольно богата. К настоящему времени она включает около 460 видов, что составляет почти 37% всего видового разнообразия мхов России.

За прошедший период проведены многочисленные экспедиции в разные, в том числе труднодоступные районы Мурманской области, выявлены новые местонахождения многих редких видов. В результате проведенной оценки из списка мхов предыдущего издания КК (2003), насчитывавшего 72 таксона, подлежащих охране, и 35 видов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию («бионадзор»), были исключены 17 видов (9 подлежащих охране и 8 «бионадзорных»).

В новое издание КК включено 77 видов мхов, что составляет около 16% от флоры мхов Мурманской области. Ряд видов, внесенных впервые в КК, были найдены в регионе еще до первого издания КК, но характер их распространения не был достаточно изучен. По прошествии времени стало ясно, что виды на территории области являются действительно редкими, представлены двумя-тремя популяциями на очень ограниченных участках, часто не превышающих 4-5 м². Например, это касается *Andreaea nivalis* Hook.). Другие мхи были зарегистрированы в области позже, но также оказались очень редкими. Например, для *Aloina brevirostris* (Hook. & Grev.) Kindb. известна лишь одна точка произрастания в редком на территории области местообитании (глинистая почва на осоково-разнотравном сыром лугу на приморском берегу), причем в зоне выпаса оленей.

Вместе с тем, многие виды в новом издании получили статус 4 (DD), означающий, что сведений о данном виде недостаточно, чтобы отнести его к другим категориям. Это относится ко мхам, известным только по гербарным образцам без точных географических привязок, по которым можно было бы уточнить местонахождение. Кроме того, некоторые известные точки повторно не посещались бриологами, и поэтому нет оснований подтвердить произрастание там вида или сделать вывод об его исчезновении, а также судить о состоянии популяций и существующих угрозах. Необходимо провести работу по уточнению статуса этих видов в пределах Мурманской области.

На территории области представлены два вида, из числа внесенных в Красную книгу РФ (2008) - *Encalypta brevipes* Schljakov и *Tetrodontium repandum* (Funck) Schwägr. Все их популяции малочисленные. За прошедший период новых местонахождений первого вида найдено не было. Хибинские горы – единственный известный район в области, где встречается данный вид, в том числе на территории памятника природы «Энкалипты перевала Юкспорлак». *Tetrodontium repandum*, известный прежде из двух точек (р-н Гремяха – Вырмес и Туадаш-тундры) был найден также в Хибинах (Fedosov, 2012).

Сосудистые растения. Флора сосудистых растений региона насчитывает 1357 видов, из которых 891 вид является представителем естественной (аборигенной) и 466 видов – заносной (адвентивной) флоры. В 2003 г. список охраняемых сосудистых растений включал 245 видов (табл.1). В новое издание КК включено 189 видов сосудистых растений, что составляет около 21% от аборигенной фракции флоры региона. По сравнению с предыдущим изданием КК (2003), перечень сосудистых растений существенно переработан. В КК включен 31 вид растений, не представленных в предыдущем издании. Кроме того, 9 видов перенесено в основной список из списка видов биологического надзора, 12 видов исключено из списка охраняемых видов и перенесено в список биологического надзора, 15 видов исключено из книги. Обновленный список видов, нуждающихся в биологическом надзоре, насчитывает 65 видов.

Категории редкости в сравнении с перечнем Красной книги 2003 г. совпали менее чем у половины видов (92 вида). Это свидетельствует о значительном пополнении информации о распространении и численности видов за прошедший период.

К охраняемым видам отнесены малочисленные виды, виды с отрицательными тенденциями изменения численности, большинство эндемичных видов и виды, чьи популяции располагаются в отрыве от своего основного ареала. Значительная часть видов сосудистых растений, находящихся в регионе на границе своего ареала, несмотря на редкость, не нуждается в специальных мерах охраны.

По итогам флористических работ с начала 2000-х годов в регионе были обнаружены новые редкие аборигенные виды, требующие охраны: *Lycopodiella inundata* (L.) Holub, *Ophioglossum vulgatum* L., *Alisma juzepczukii* Tzvel., *Scirpus tabernaemontani* C. C. Gmel., *Carex hostiana* DC., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz., *Ficaria verna* (L.) Huds., *Nymphaea tetragona* Georgi и др. Ряд ранее известных видов в регионе был оценен по критериям и представлен в список охраняемых видов.

Современный перечень охраняемых видов содержит 17 видов, включенных в Красную книгу РФ (2008), причем два из них (*Isoetes lacustris* L., *I. echinospora* Dur.) нередко встречаются в мелководных водоемах с песчаным дном по всей области и им присвоена 5 категория.

Литература

Андреев Г.Н., Раменская М.Л., Шляков Р.Н., Андреева В.Н., Скиткина А.А., Филиппова Л.Н. Виды дикорастущих растений Мурманской области и Карелии, нуждающиеся в охране // Охрана ботанических объектов на Крайнем Севере. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1977. С. 3-26.

Давыдов Д.А. Цианопрокариоты и их роль в процессе азотфиксации в наземных экосистемах Мурманской области. М.: ГЕОС, 2010. 184 с.

Исаева Л.Г., Химич Ю.Р. Каталог афиллофороидных грибов Мурманской области. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2011. 68 с.

Красная книга Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 2003. 400 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М., 2008. 855 с.

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. Том 3. М., Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. С. 117-146.

Проект региональной системы категорий и критериев для выявления и классификации редких и находящихся под угрозой исчезновения объектов растительного и животного мира Мурманской области и определения приоритетов их охраны (Отчет). Фонды Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области (рук.). Мурманск. 2012. 25 с.

Редкие и нуждающиеся в охране животные и растения Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1979. 159 с.

Редкие и нуждающиеся в охране растения и животные Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1990. Изд. 2. 190 с.

Урбанавичюс Г.П. Список лишенофлоры России. СПб., 2010. 194 с.

Химич Ю.Р., Блинова И.В., Александров Г.Н. *Microstoma protractum* (Fr.) Kanouse и *Sarcosoma globosum* (Schmidel) Casp. – редкие представители порядка Pezizales в Мурманской области // Бюллетень МОИП. Отд. Биол., 2013. Т. 118. Вып. 1. С. 84-86.

Шалыгин С.С. Группировки эпилитных и эпифитных цианопрокариот Лапландского заповедника – Автореф. дисс. канд. биол. наук. Уфа, 2012.

IUCN. Guidelines for application of IUCN red list criteria at regional and national levels. Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN, 2012. 41 p.

Fedosov V.E. New moss records from Murmansk Province 3 // *Arctoa*. 2012. V. 21. P. 265.

Буянов И.Ю., Кочкарев А.П., Кочкарев П.В.

Заповедник «Центральносибирский», п. Бор, Красноярский край
ivyan@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ЖИВОТНЫХ В ЗАПОВЕДНИКЕ «ЦЕНТРАЛЬНОСИБИРСКИЙ»

Дорожно-транспортная сеть заповедника развита слабо, используется в зимнее время. Гидросистема, как кровеносными сосудами, пронизала весь заповедник, и активно используется сотрудниками в полноводный период. Проведение научных исследований затруднено в связи с труднодоступностью отдельных участков заповедника. Поэтому проведение дистанционных методов наблюдения за животным и растительным миром активно применяется.

Данные о численности, распределении, миграциях и других характеристиках популяций животных в таежной зоне продолжают оставаться приблизительными по двум причинам. Во-первых, получить точные данные о численности зверей по следам весьма сложно, во-вторых – непосредственное наблюдение за животными в закрытых таежных ландшафтах возможно, но дорого (авиационные учеты). Таким образом, массовые, виды, недостаточно изучены. Многолетние материалы регистрации животных по следам жизнедеятельности создают общую картину, но ни в коем случае не дают сведений о состоянии популяций в режиме реального времени. В то же время, необходимость получения новых, более точных материалов крайне необходимо.

В настоящее время перспективны три направления дистанционного мониторинга:

1. Фотоловушки.
2. Спутниковые ошейники.
3. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В 2013 г. в заповеднике «Центральносибирский» впервые были установлены и успешно применены фотоловушки для наблюдения за животными.

Фотоловушка представляет собой фотокамеру, снабженную датчиками на движение и тепло. Она способна производить съемку в сумерках и ночью. Фотоловушки установлены на основных звериных тропах. Полученные фото данные обрабатываются специалистами. Время прохождения зверя, индивидуальным особенностям внешнего вида, температура воздуха, фаза луны (рис.1, 2, 3), это позволяет вести мониторинг видового состава фауны, уточнить активность зверей, оценить ареалы распространения, а также численность животных и половозрастную структуру популяции.



Рис. 1. Бурый медведь



Рис. 2. Бурый медведь ночью



Рис. 3. Лисица обыкновенная

Фотоловушки являются одним из доступных способов наблюдения за животными в естественной среде обитания. В настоящее время сотрудниками заповедника разрабатывается перспективный план установки средств видеофиксации по всей территории. Для более точной оценки численности использование фотоловушек должно комбинироваться и с другими видами мониторинга.

Мониторинг должен включать отлаженную систему слежения, обработки информации и прогнозирования изменения состояния популяций вида на основе современных коммуникативных и информационных технологий. Такие возможности дает методика мечения животных «спутниковыми» ошейниками. Известно 4 способа получения данных с бортовых микрокомпьютеров. Наиболее оперативный 4-й способ, когда GPS данные, хранящиеся в бортовом компьютере, передаются на компьютер исследователя через спутниковую систему определения местоположения и сбора данных Argos (Франция/Европейский Союз/США) либо через системы спутниковой телефонии Thuraya (ОАЭ), Iridium (США) и др. Этот способ характеризуется точностью определения местонахождения, свойственной оборудованию GPS, а также высокой оперативностью доставки данных пользователю и всемирным покрытием в случае использования для передачи данных низкоорбитальных спутниковых систем (Argos, Iridium и др.) (Рожнов, 2011).

Работниками заповедника помечено «спутниковыми» ошейниками пятнадцать диких северных оленей. Данные передаются спутниковой системой Argos. Координаты снимаются ежедневно с сайта <https://argos-system.cls.fr>. Передвижение оленей показано на рисунке 3.

С развитием и доступностью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), появилась возможность использовать их для гражданских нужд. Учитывая широкий спектр БПЛА, их условно классифицируют по набору ключевых характеристик (Коносевич, 2010).

1. Микро класс - для работы в ближней зоне;
2. Малый класс - для работы на среднем удалении;
3. Средний класс - для работы на удалении до 100 км;
4. Большой класс - для работы на удалении свыше 100 км

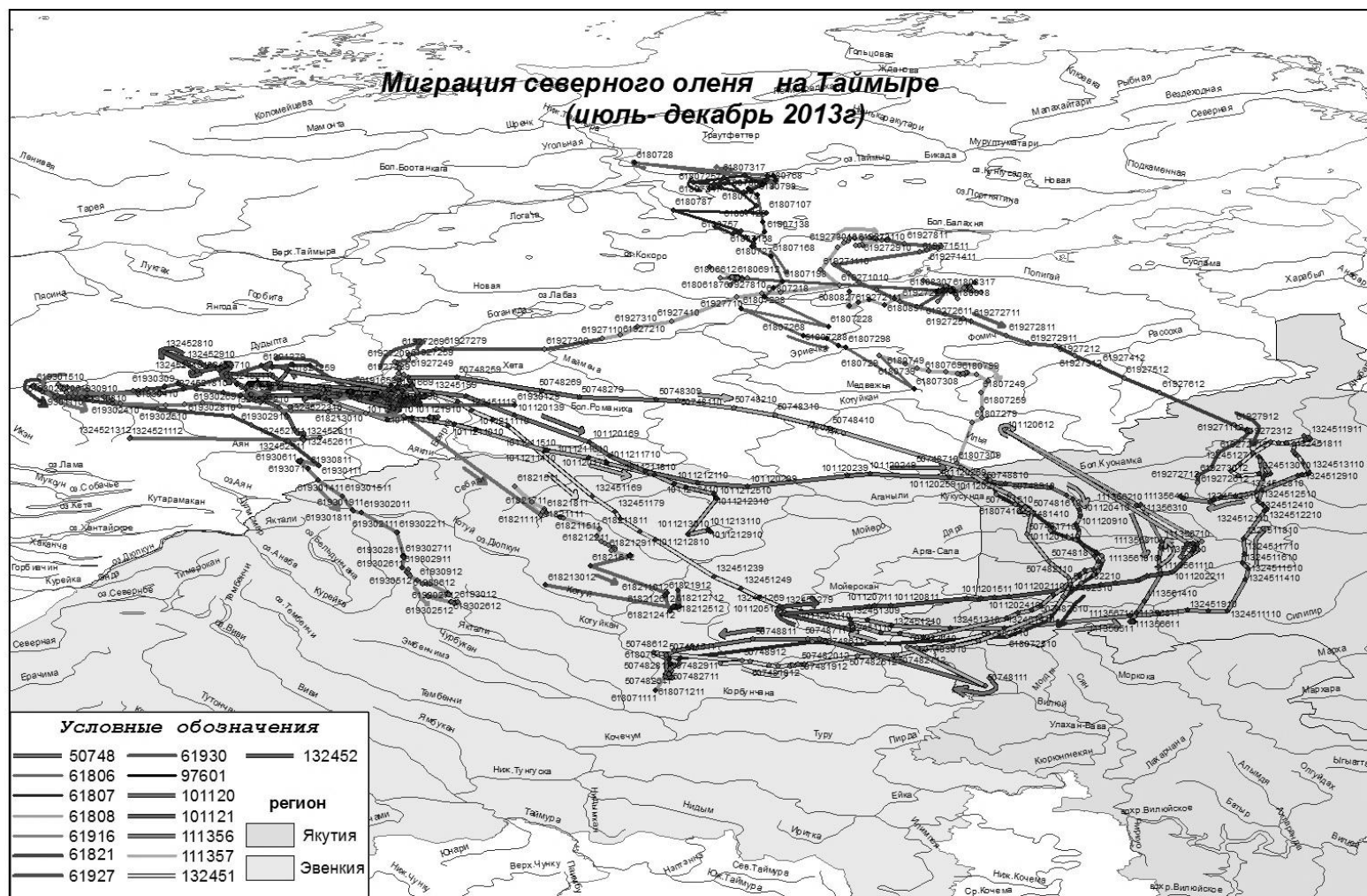


Рис. 3. Передвижение диких северных оленей

Сравним два беспилотных летательных аппаратов, отечественного производства (таблица).

Характеристики БПЛА

Характеристики	Наименование беспилотного летательного аппарата	
	«Эльф» ПП-45	«Иркут-10»
Взлетная масса, кг	5	8.5
Масса полезной нагрузки, кг	1.5	1.5
Скорость, км/ч	50-70	80-120
Высота полета, м	300-4000	100-3000
Радиус действия, км	25	50
Продолжительность полета, час	2-3	2.5
Стоимость, тыс. рублей	270.0	7100.0

Отличия этих двух аппаратов не большие есть свои плюсы и минусы. В зависимости, для каких задач их использовать. Для изучения сезонного размещения, учета численности, половозрастной структуры популяций, охраны территории, обнаружения пожаров, фитопатологического надзора подходят оба БПЛА. Применение всех методов мониторинга позволит получить точные и ценные данные о состоянии зверей на охраняемой и сопредельной территории.

Литература

1. *Коносевиц В.В.* Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве / *Коносевиц В.В., Сементин В.Л., Азметов Р.Р., Коршунов Н.А., Перминов А.В., Волков А.В., Морозов А.С., Семькин С.В., Каневский М.И.* Пушкино, 2010. 106 с.
2. *Рожнов В.В.* Использование спутниковых радиомаяков для изучения участка обитания и активности Амурского тигра (*Panthera tigris altaica*) / *В.В. Рожнов [и др.]* // Зоол. журн. 2011. Т. 90. № 5. С. 580-594.

Васильева Н.П.

Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы, г. Москва
vasilyevanp@rambler.ru

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА

Загрязнение воздуха промышленными выбросами является одним из существенных факторов, влияние которых наиболее выражено вблизи источника загрязнения и затрагивает все компоненты лесных экосистем. Способность таких приоритетных поллютантов, как соединения серы, азота, тяжелые металлы, к миграции на значительные расстояния приводит к загрязнению лесов, удаленных от источников выбросов и обуславливает региональный и в ряде случаев глобальный масштаб загрязнения.

Изучение состояния лесов в очагах азротехногенного загрязнения на Кольском Севере являются предметом долговременных исследований многих ученых и служит примером наиболее интенсивного, системного и углубленного анализа техногенных экосистем. Здесь также реализуется международный проект «Пасвик».

Одной из задач проекта в рамках сотрудничества между Россией и Норвегией являлась организация трансграничного мониторинга растительности по западному градиенту от ГМК «Печенганикель» с продолжением на норвежской стороне для оценки направленности изменений лесных сообществ на приграничной территории после снижения с 1992-1997 годов выбросов серы (с 250 до 100 тыс.т./год) и тяжелых металлов (Ni, Cu). Использовалась методика, применяемая на норвежских участках национального мониторинга II уровня в сопоставимых типах сосняков по 40 параметрам (Myking et al, 2009).

Общие закономерности изменений хорошо заметны на примере сравнения состояния лесных сообществ загрязненных (RUS1 - 5.1 км, RUS2 - 5.2 км, RUS3 - 2.6 км) и условно фоновой участка (RUS0 – 42.2 км) в течение двух циклов наблюдения после снижения уровня загрязнения.

С негативным влиянием на древесный ярус можно связать относительное увеличение за 6-летний период годовичного прироста (39%) и большего количества деревьев с сохранившейся хвоей разных лет на фоновом участке по сравнению с загрязненными. Наиболее заметные изменения в живом напочвенном покрове загрязненных участков претерпевают синузии мхов, печеночников и лишайников: резко уменьшается их проективное покрытие; многие виды исчезают, а сохранившиеся виды характеризуются низкими значениями встречаемости и проективного покрытия (рис. 1, табл. 1).

Распространение доминирующих эпифитных лишайников (*Hypogymnia physodes*, *Parmelia olivacea*, *Parmeliopsis ambigua*, *Brioria* sp.) на стволах сосны и особенно березы подтверждает высокую чувствительность этой группы организмов к загрязнению воздуха. По сравнению с фоновыми условиями наблюдается сокращение видового состава, исчезновение чувствительного к загрязнению *Hypogymnia physodes*, многократное уменьшение количества заселенных деревьев и среднего проективного покрытия лишайниками одного дерева, сокращение расселения лишайников по высоте ствола (табл. 2). Талломы приурочены только к северной экспозиции и отсутствуют с восточной стороны, обращенной к комбинату, что возможно связано с реакцией на выбросы.

Содержание в растениях токсичных химических элементов, особенно тяжелых металлов, возрастает по градиенту приближения к источнику выбросов. Степень аккумуляции тяжелых металлов у видов различается. Наибольшее накопление Cu и Ni по сравнению с фоновыми условиями, наблюдается во мхах и лишайниках (в 9-12 раз), в меньшей степени - хвое сосны, листьях березы и кустарничков (рис. 2). Отмечено повышенное загрязнение ягод, особенно морошки, используемой в питании жителей Севера. Содержание 15 элементов, выделенных в верхних слоях почвы (L-верхний неразложившийся, L+H-полуразложившийся), закономерно увеличивалось по градиенту приближения к источнику выбросов RUS0 → RUS2 → RUS1 → RUS3.

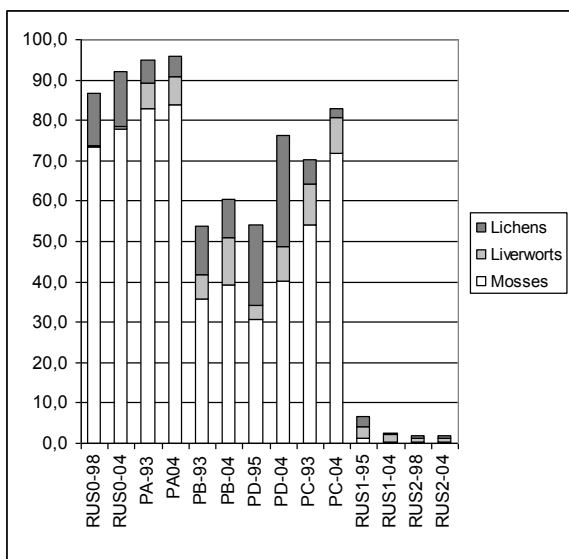


Рис. 1. Проективное покрытие лишайников, печеночников и мхов, %

Таблица 1
Видовое богатство живого напочвенного покрова по синузиям

Синузии	N пробных площадей		
	RUS0	RUS1	RUS2
Кустарнички	3,5	4,2	3,9
Травы	1,5	2,1	1,3
Мохообразные (мхи и печеночники)	7,0	2,2	3,2
Лишайники	4,1	2,8	3,1

Превышение показателей верхнего слоя (L) на пробных площадках RUS3 по отношению к RUS0 было максимальным для Cu, Ni, Co, As и отличалось в 35-37 раз.

Второй цикл наблюдений в 2004 году показал, что все вышеназванные пространственные закономерности сохраняются. Во временном аспекте за период 1998-2004 годы усугубились негативные процессы: произошло уменьшение проективного покрытия лишайников и мхов на сильно загрязненных участках, тогда как на фоновых (незагрязненных) проективное покрытие мохообразных возросло; существенно снизилось суммарное проективное покрытие эпифитами деревьев на загрязненных участках, особенно у березы до 45-63%, значительно увеличилось содержание Cu, Ni, Fe во мхах и лишайниках по сравнению с деревьями и кустарничками.

Полученные результаты согласуются с общей тенденцией изменения наземных экосистем, наблюдаемой в последующие годы в зоне воздействия выбросов Кольской ГМК (Ананьева и др., 2012).

Таблица 2

Расселение эпифитных лишайников на стволах березы и сосны

Параметры	Год учета	RUS0		RUS1		RUS2	
		Betula	Pinus	Betula	Pinus	Betula	Pinus
Количество деревьев с лишайниками на 4-х уровнях учета *	2004	10	7	4	1	1	1
Суммарный % покрытия талломами 1 дерева на 4-х уровнях: 135, 150, 165, 180 см	2004	88,9	19,2	3,2	2,9	1,2	1,0
	1998	98,3	26,6	5,8	3,8	3,2	1,3
Уменьшение покрытия в 2004 году относительно 1998 года, %		9,5	27,8	44,8	23,7	62,5	23,1

* Эпифиты учитывались в буферной зоне на 10 маркированных деревьях березы и сосны.

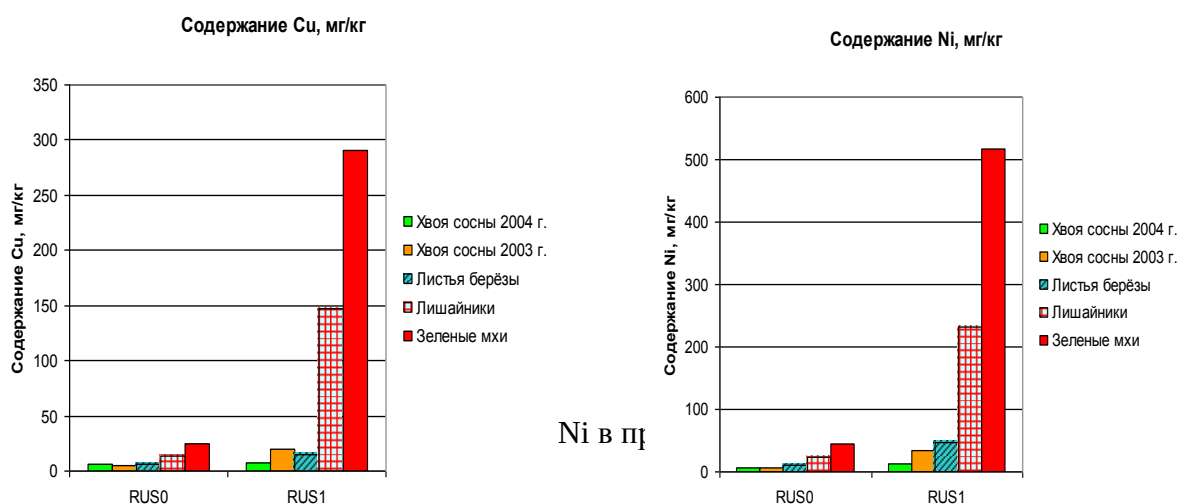


Рис.2. Содержание купрума и никеля в пробах лесных растений

Важным требованием при проведении мониторинга является доступность и понятность методов сбора информации на этапе проведения учетных работ, создание условий для первичной подготовки материалов к анализу, преобладание наблюдений. Анализ методов и результатов исследований в рассматриваемом регионе в связи с аэротехногенным загрязнением свидетельствует, что они могут быть хорошей основой для мониторинга, с одной стороны, но имеют ограничения в использовании, с другой.

Ниже изложены основные особенности, которые следует учитывать при организации мониторинга в условиях загрязнения воздушной среды.

1. Проведенные к настоящему времени работы в регионе имеют в большей степени научно-исследовательский аспект и направлены на изучение закономерностей изменений биогеоценозов или отдельных его компонентов в условиях аэрального загрязнения. Важным достоинством этих работ является выявление индикаторов/параметров для оценки последствий загрязнений. Приоритетными объектами являются в настоящее время лесные биоценозы, но недостаточно долговременных данных об изменениях экосистем болот, объектов животного мира, орнитофауны, беспозвоночных. Сопоставление списков флоры и фауны нарушенных и естественных экосистем даст возможность оценить ущерб биоразнообразию региона в целом.

2. Единой скоординированной системы мониторинга растительности с четкой разработанной системой наблюдений, систематизированной общей базой данных, унифицированными методами учета, подобно международному мониторингу лесов Европы I или II уровня в связи с загрязнением

воздуха (Manual.,1998) в полном объеме на территории Кольского Севера не проводится, хотя есть все научные предпосылки для этого. Организация и проведение работ по программе «Пасвик» является одним из путей интеграции в систему европейского мониторинга.

3. Установлена возможность использования сосудистых растений, мхов и лишайников в качестве объектов долговременных наблюдений за лесными сообществами, как основными эдификаторами растительного покрова в наибольшей степени трансформированными под действием промышленных выбросов. К настоящему времени определен набор наиболее информативных видов (или групп растений) и параметров.

Показана возможность и доступность использования для мониторинга таких индикационных признаков как состояние ассимилирующих органов и рост деревьев, видовое разнообразие, проективное покрытие и встречаемость видов напочвенного яруса, состояние эпифитных лишайников, фитомасса с использованием общепринятых национальных и в меньшей степени международных методов, использование биогеоценотических подходов на основе оценок продуктивности и обменных процессов, методически хорошо разработанных отечественной наукой. Возможно следует в условиях техногенеза усилить фенологические наблюдения, как наиболее информативные признаки в связи с изменением климата.

Ограничением является неизбежность нарушения природной среды: изъятие деревьев для оценки фитомассы или приростов, разрушение напочвенного покрова и подстилки при определении запаса, срезка растений и их частей для химического или весового анализов. Поэтому эти и иные подобные процедуры следует проводить вне базовой пробной площади - в буферной или резервной зоне. Для обеспечения долговременности и преемственности наблюдений должно быть фиксировано местоположение всех объектов учета.

4. Важной задачей является организация системы мониторинга, направленная на изучение пространственно-временных закономерностей. Существенным вкладом в эту проблему является подтвержденный научными исследованиями принцип градиентного подхода, практически используемый при изучении всех компонентов фитоценозов. В условиях Кольского Севера негативное влияние выбросов горно-металлургических комбинатов простирается на десятки километров. Результаты наблюдений на российской территории на основе градиентного подхода в определенной мере сопоставимы между собой по последствиям негативного воздействия и опыт этих исследований уникален.

Важным преимуществом такого подхода является возможность выявления пространственных закономерностей, определения ареала негативных изменений лесной растительности и зонирования ее по степени трансформации, оценки взаимосвязи степени загрязнения и реакции компонентов биоты, в том числе критические уровни/нагрузки.

Ограничения при организации серии участков наблюдений связаны с необходимостью подбора рядов сопоставимых типов сообществ и местообитаний, минимизации фактора широты, обеспечения доступности объектов для наблюдений в условиях северного региона, систематический сбор данных об уровне загрязнения воздуха и выпадениях.

Изучение временной динамики в настоящее время имеет первостепенное значение для оценки направленности и скорости восстановительных процессов. Ограничением может быть необходимость длительных учетов, обеспечения преемственности, сложность выявления различий в реакции на природные и техногенные факторы, необходимость использования более чувствительных параметров, например морфо-физиологических признаков, требующих частого периодического учета.

5. В практике долговременных наблюдений и биоиндикации показана возможность использования ботанических, лесоводственных, морфо-метрических, биогеоценологических, экологических методов, фенологических наблюдений, методов химического анализа и т.п.

Существенным ограничением для корректной сравнительной оценки могут являться:

а) различия в критериях оценки, способах отбора материала у разных исследователей (например, расположение, количество и размеры учетных ботанических площадок, оценки состояния древесного яруса); б) разновременность наблюдений; в) отсутствие постоянных наблюдателей при глазомерных оценках (древостой, напочвенный покров); г) трудоемкость или необходимость дополнительной сложной обработки материалов в лаборатории (дендрохронология); д) различия в приборах и оборудовании (форма опадоуловителей, например); е) различия в аналитических лабораторных методиках.

6. Оценка содержания загрязняющих веществ в растениях, в частности тяжелых металлов – основных ингредиентов выбросов горно-металлургических предприятий, относится к наиболее информативным интегральным показателям. Большинство исследователей используют для анализа современные аналитические методы, в частности атомно-абсорбционный метод спектрофотометрии, позволяющий минимизировать образец для анализа. Вместе с тем недостаточность информации или несопоставимость способов отбора и подготовки образцов может ограничить возможности широкой интерпретации результатов.

Особенно показательны изменения в химическом составе мхов и лишайников, поскольку их повсеместно используют как часть комплексного мониторинга или и в качестве самостоятельных биоиндикаторов. Высокие уровни накопления токсикантов во мхах, в частности тяжелых металлов, позволили использовать эти данные как основу метода картирования загрязнения воздуха в Скандинавии.

Что касается сосудистых растений, необходимо учитывать ограничения из-за различий аккумуляции элементов-загрязнителей в зависимости от видовой принадлежности, возраста особи, ее органов или отдельных частей, а также таких факторов как сезонные флуктуации, экологические условия мест произрастания и техногенное загрязнение.

Одним из путей преодоления ограничений и обеспечения сопоставимости результатов является детальное описание процедур учета, отбора образцов и методов анализа с перспективой разработки унифицированных методик и обоснования величин ПДК.

7. Обеспечение качества (ОК) является основополагающим требованием мониторинга растительных сообществ с целью достижения и поддержания надлежащего качества данных (КД). В современных исследованиях любого уровня - локального, регионального или национального, разработка и учет этих требований должен являться обязательным условием мониторинга. Качество данных является результатом процесса, где должен учитываться каждый шаг исследований, исходя из целей, сопоставимости данных во времени и пространстве, способов хранения, обработки и представления информации, формирования и использования совместной базы данных. Вопросам обеспечения качества уделяется большое значение в подготовке и реализации международных программ координаторами ICP - Forests, начиная с 1987 года (Manual., 1998).

Основные действия для обеспечения качества включают:

а) Руководство с документально согласованными стандартами операционных процедур исследований: программа, структура, организация, параметры, система кодирования, методы исследования и обработки данных;

б) показатели качества данных каждого направления мониторинговых работ и выбранных параметров для предупреждения субъективных оценок и возможности документирования процессов: измерение качества объектов (уровень точности/тщательности для отдельных наблюдений), пределы качества данных (минимальная частота наблюдений), пределы достоверности (диапазон допустимых значений для наблюдений), полнота наблюдений (минимальная приемлемая частота данных в диапазоне допустимых значений наблюдений);

в) обучение и централизация сбора данных;

г) набор действий для случаев, когда качество данных ниже минимально приемлемого уровня.

8. Общей проблемой организации мониторинга является поиск оптимального сочетания экономических возможностей, трудозатрат исполнителей и экологической целесообразности.

Учитывая вышесказанное, важным стимулом для развития мониторинговых работ может быть анализ имеющихся в регионе результатов, создание методического руководства с учетом международного опыта и формирование общей базы данных. Для решения этих задач целесообразно создание регионального координационного центра по мониторингу наземных экосистем со стабильным государственным финансированием и формированием рабочей группы специалистов с опытом исследований в регионе.

Литература

1. *Ананьева С.И., Белова Е.А., Булычев А.Г., Булычева И.А., Заколдаева А.А., Зацаринный И.В., Исаева Л.Г., Косякова А.Ю., Ларькова М.С., Лукина Н.В., Мерицев А.В., Поликарпова Н.В., Трущаница О.С., Собчук И.С., Сухарева Т.А., Хлебосолова О.А.* Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. 92 с.

2. 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
3. Myking T., Aarestad P.A., Derome J., Bakkestuen V., Bjerke J.W., Gytarsky M., Isaeva L., Karaban R., Korotkov V., Lindgren M., Lindoos A.-J., Rødsberg I., Salemaa M., Tømmervik H., Vassiliou N. Effects of air pollution from a nickel-copper industrial complex on boreal forest vegetation in the joint Russian-Norwegian-Finnish border area // Boreal Environment Research. Helsinki, 2009. Vol. 14. P. 279-296.

Виноградова Ю.А.¹, Лаптева Е.М.¹, Перминова Е.М.¹, Анисимов С.С.², Новаковский А.Б.¹

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

²Институт естественных наук, Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар
vinogradova@ib.komisc.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБКАХ (РЕСПУБЛИКА КОМИ, СРЕДНЯЯ ТАЙГА)

Почвенное микробное сообщество может быть охарактеризовано на основе оценки его функционального разнообразия. Для этой цели используют метод мультисубстратного тестирования (МСТ), который за рубежом реализуется на основе применения системы «BIOLOG» (Garland, Mills, 1991). Данная система изначально была разработана для идентификации патогенных микроорганизмов, но нашла успешное применение и для диагностики микробных сообществ природных экосистем (Preston-Mafham et al., 2002; Tian et al., 2013 и др.). В России предложена отечественная система для МСТ – система «ЭКОЛОГ» (Горленко, Кожевин, 2005), а сам метод рекомендован в качестве стандартного для оценки экологического состояния почв. Он позволяет выявить ответную реакцию микробных сообществ на воздействие внешних факторов как природного, так и антропогенного характера (Якушев и др., 2008, Добровольская и др., 2012).

Цель данной работы заключалась в изучении функционального состояния микробных сообществ подзолистых почв разновозрастных вырубок методом МСТ.

Исследования проводили в летний период (август) 2013 г. на территории Республики Коми (Усть-Куломский р-н), в подзоне средней тайги. Объектом исследования выбраны подзолистые суглинистые почвы коренного ельника чернично-зеленомошного (ПП1) и вторичных разновозрастных лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся после сплошнолесосечных рубок среднетаежных чернично-зеленомошных еловых лесов (ПП2 – вырубка 2001/2002 гг., ПП3 – 1969/1970 гг.). Детальная характеристика растительного покрова и почв ключевых участков представлена в работе (Путеводитель..., 2007). Оценку состояния микробных сообществ проводили в свежееотобранных образцах почв из верхних генетических горизонтов (подгоризонты лесной подстилки O1, O2, O3; минеральные горизонты A2(hg) и A2Bf).

В основе МСТ лежит анализ спектров потребления субстратов (СПС) микробными сообществами (Методика..., 2010). В данной работе использовали стандартные планшеты с 47 источниками органического углерода (различные сахара, спирты, соли органических кислот, аминокислоты, амины, амиды, нуклеозиды). На основании полученных данных рассчитывали коэффициенты биоразнообразия (индекс Шеннона, индекс выравненности Пиелу), рангового распределения потребления субстратов, стабильности сообщества (d), а также удельную метаболическую работу (W) и интегральный параметр (G) общего благополучия системы (Добровольская и др., 2012). Для сравнения спектров потребляемых субстратов применяли дискриминантный и кластерный анализы (кластеризация – по Варду, мера расстояния – Манхеттенское расстояние).

Как показали проведенные исследования, рассмотренные почвы существенно отличаются как по интенсивности потребления субстратов, так и по их количеству. Общей закономерностью является снижение активности в ассимиляции субстратов по мере перехода от органогенных горизонтов к минеральным. Максимальной функциональной активностью характеризуются микробные сообщества почвы лиственно-хвойного насаждения, сформировавшегося на вырубке 1969/1970 гг. (участок ПП3). Здесь из 47 субстратов микробиотой лесных подстилок использовано от 37 до 44 источников органического углерода, в минеральных горизонтах – от 8 до 37 в зависимости от

характера горизонта и глубины его залегания. Минимальным потреблением отличались микробные сообщества почвы молодой вырубki (27-32 субстрата). Почва ненарушенного рубкой темнохвойного лесного фитоценоза занимает промежуточное положение по функциональной активности микробиоты: в подгоризонтах лесной подстилки использовано 33-38, в минеральных горизонтах – 17-23 источника органического углерода.

Анализ спектров потребления субстратов почвенными микробными сообществами (метаболическая работа W) показал их четкие различия в зависимости от возраста насаждения, сформировавшегося на вырубках. Наибольшие показатели метаболической работы микробных сообществ (2042 ± 122) отмечены в органогенных горизонтах почвы на «старовозрастной» вырубке (ПП3). В почве ненарушенного леса (ПП1) она в 1.2 раза меньше, в почве «молодой» вырубki (ПП2) – снижена в 1.5 раза по сравнению с почвой участка ПП3. В элювиальных горизонтах минеральной части профиля значения W в 4-5 раз ниже по сравнению с лесными подстилками. При этом, в минеральных горизонтах отмечена обратная зависимость: максимальная величина метаболической активности выявлена в почве ненарушенного леса (1367 ± 1021), минимальная – в почве «старовозрастной» вырубki (424 ± 53).

Широкий спектр потребляемых субстратов, охватывающий различные классы соединений, свидетельствует о достаточно высоком функциональном потенциале бактериальных сообществ, составляющих основу микробных комплексов в лесных подстилках ненарушенной подзолистой почвы (ПП1) и почвы «старовозрастной» вырубki (ПП3). Однако различия в характере опада, поступающего на поверхность почвы, и особенности структуры и строения формирующейся в зависимости от типа лесного сообщества горизонта лесной подстилки, обусловили соответствующие изменения в структуре бактериальных сообществ, что нашло свое отражение в избирательности потребления тех или иных субстратов (рис.1).

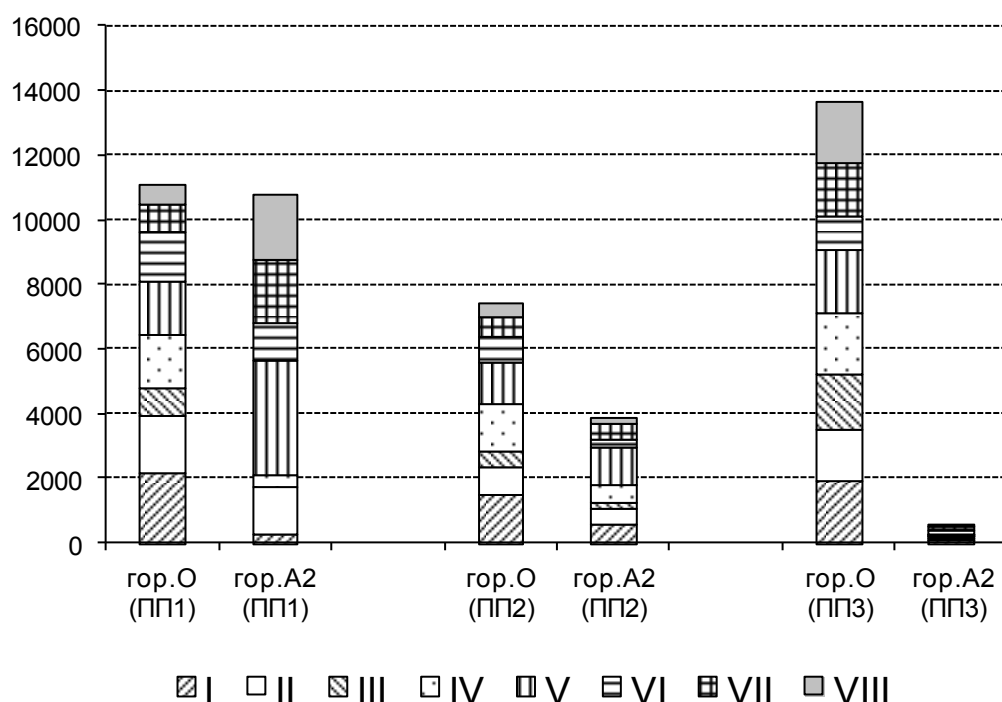


Рис. 1. Интенсивность потребления (по вертикали: оптическая плотность) микробными сообществами (по горизонтали: горизонт почвы, участок) различных групп субстратов: I – пентозы; II – гексозы; III – олигосахариды; IV – спирты; V – аминокислоты; VI – низкомолекулярные органические кислоты; VII – полимеры; VIII – азотсодержащие органические соединения

Как видно из рис.1, почвы целинного леса и вырубok отличаются по интенсивности потребления субстратов. На участке ПП1 микробные сообщества органогенных и минеральных горизонтов близки по их суммарному потреблению. Отличительной особенностью минеральных горизонтов является снижение по сравнению с лесной подстилкой активности ассимиляции

микроорганизмами пентоз и олигосахаридов и возрастание – аминокислот, полимерных (крахмал, декстран, твин-80) и азотсодержащих соединений. На "молодой" вырубке интенсивность потребления субстратов снижается во всех горизонтах по сравнению с почвой участка ПП1, но особенно – в минеральных. На "старовозрастной" вырубке наблюдается еще больший разрыв в ассимиляционной активности микробных сообществ, населяющих органогенные и минеральные горизонты (рис.1): максимальной функциональной активностью отличается горизонт лесной подстилки. В ней, по сравнению с лесными подстилками участков ПП1 и ПП2, происходит возрастание потребления олигосахаридов, аминокислот, полимеров и азотсодержащих органических соединений. В отличие от участков ПП1 и ПП2, где основную роль в формировании органогенных горизонтов играют мхи и опад хвойных пород деревьев, лесные подстилки «старовозрастной» вырубки (ПП3) характеризуются накоплением и разложением богатого основаниями и азотом листового опада березы и осины (Дымов и др., 2012). Их микробные сообщества отличаются более высокими значениями индекса биоразнообразия Шеннона (5.1-5.4) и показателя d (0.05-0.2), отражающего стабильное состояние почвенной микробной системы. Соответственно, лесные подстилки подзолистой почвы участка ПП3 оказались наиболее благополучными с точки зрения качества или «здоровья» почвы (рис.2). Ухудшение экологических условий существования микробных сообществ в подзолистых почвах на ранних стадиях послерубочной сукцессии за счет их временного переувлажнения, развития процессов оглеения и повышения кислотности верхних горизонтов профиля (Путеводитель..., 2007), обусловило наименьшие значения данного показателя в почве «молодой» вырубки (ПП2).

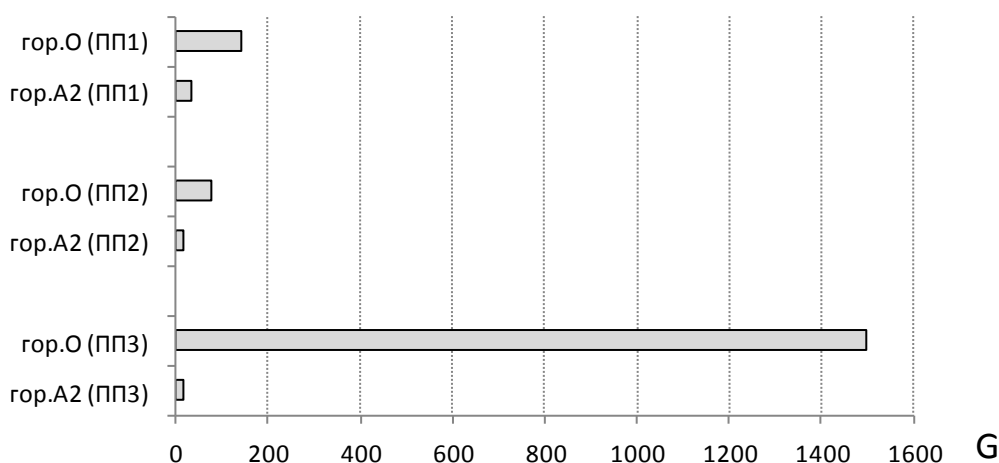


Рис. 2. Ранжирование почв целинного елового леса (ПП1) и разновозрастных вырубок (ПП2 и ПП3) по интегральному индексу благополучия микробного сообщества (G)

Статистическая обработка СПС с использованием кластерного анализа выявила значительную специфичность микробных сообществ как различных почв, так и различных генетических горизонтов в пределах одного почвенного профиля. По своим функциональным характеристикам комплексы микроорганизмов, складывающиеся в органогенных и минеральных горизонтах, существенно отличаются друг от друга. Как правило, они образуют отдельные, достаточно далеко отстоящие друг от друга, кластеры. Исключением явилась почва «молодой вырубки», все горизонты которой на графе по характеристикам ассимиляции субстратов объединились в один кластер. Последнее свидетельствует о резком нарушении жизнедеятельности микроорганизмов в почве участка ПП2.

Наиболее близки по функциональным характеристикам оказались микробные сообщества органогенных горизонтов почвы ненарушенного елового леса и «старовозрастной» вырубки. Это обусловлено постепенным восстановлением экологических параметров почв (температура, влажность) по мере развития лесного сообщества.

Таким образом, использование метода мультисубстратного тестирования, позволило выявить четкие различия в функционировании микробных сообществ подзолистых почв, формирующихся под пологом среднетаежных коренных еловых лесов чернично-зеленомошного типа и на участках их сплошнолесосечных рубок. Отмечена дестабилизация почвенных микробных комплексов на ранних стадиях сукцессии после рубки еловых лесов («молодые» вырубки) и постепенное их восстановление –

на поздних стадиях («старовозрастные» вырубки). Однако даже спустя 43 года после сведения елового леса полного соответствия микробных сообществ таковым ненарушенных подзолистых почв не наблюдается

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта программы Президиума РАН № 12-П-4-1065 «Взаимосвязь структурно-функциональной и пространственно-временной организации почвенной биоты с динамическими аспектами изменения подзолистых почв и почвенного органического вещества в процессе естественного восстановления таежных экосистем Европейского Северо-Востока после рубок главного пользования».

Литература

1. Горленко М.В., Кожевин П.А. Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. М.: МАКС Пресс, 2005. 88 с.
2. Добровольская Т.Г., Горленко М.В., Костина Н.В., Степанов А.Л., Нестеров С.А., Тиунов А.В. Реакция бактериальных сообществ лесной подстилки и почвы на внесение легкодоступных источников углерода и азота // Проблемы агрохимии и экологии, 2012. № 2. С. 36-41.
3. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Лесной журнал, 2012. № 3. С. 7-18.
4. Методика выполнения измерений интенсивности потребления тест-субстратов микробными сообществами почв и почвоподобных объектов фотометрическим методом: ФР.1.37.2010.08619., ПНД Ф Т 16.1.17-10. М., 2010.
5. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги). Сыктывкар, 2007. 84 с.
6. Якушев А.В., Бызов Б.А. Микробиологическая характеристика вермикомпостирования методом мультисубстратного тестирования // Почвоведение, 2008. № 11. С. 1381-1387.
7. Garland J.L., Mills A.L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization // Appl. Environ. Microbiol., 1991. Vol. 57, No 8. P. 2351-2359.
8. Preston-Mafham J., Boddy L., Randerson P. Analysis of microbial community functional diversity using sole-carbon-source utilization profiles – a critique // Microbiology Ecology, 2002. Vol.42. P. 1-14.
9. Tian Y., Zhang X., Wang J., Gao L. Soil microbial communities associates with the rhizosphere of cucumber under different summer cover crops and residue management: A 4-year field experiment // Scientia Horticulturae, 2013. Vol. 150. P. 100-109.

Горшков В.В., Ставрова Н.И.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург
nstavrova@gmail.com

СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ БЕРЕЗЫ ПУШИСТОЙ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ С РАЗЛИЧНОЙ ДАВНОСТЬЮ ПОЖАРА

В условиях северной тайги ценопопуляции *Betula pubescens* Ehrh. состоят из обособленных в пространстве элементов. В качестве элементов ценопопуляций выступают либо простые индивиды – отдельные особи семенного происхождения и отдельные парциальные образования, либо сложные индивиды, порослеобразующие и куртинообразующие деревья – группы, включающие несколько (много) парциальных образований одной или разных стадий развития (Левин, 1963; Чистякова, 1987, 1988). Эти элементы могут рассматриваться как элементарные ценопопуляционные локусы, имеющие площадь от ~ 0.0001 до 3-4 м². Задачей настоящего исследования является анализ структуры элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой на разных этапах послепожарных сукцессий северотаежных сосново-еловых лесов.

Исследования выполнены в кустаничково-зеленомошных сосново-еловых лесах с давностью пожара 8, 144, 220 и 376 лет. Использован метод постоянных пробных площадей (ППП) размером 0.1–0.15 га. На ППП выполнен учет всех элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой. В составе локусов выделялись три основных компонента: древостой (особи с диаметром на высоте 1.3 м более 4 см), крупный подрост (особи с диаметром на высоте 1.3 м менее 4 см),

мелкий подрост (особи высотой менее 1.3 м). Изучение пространственной структуры локусов проводилось на основе анализа их распределения по площадкам размером 5х5 м. Тип распределения устанавливался по величине коэффициентов отрицательного биномиального распределения, которым аппроксимировались эмпирические распределения (Ставрова, 2012).

Начальная стадия сукцессии. Для начальной стадии послепожарной сукцессии (8 лет после пожара) характерен максимальный диапазон (1-57 экземпляров) и наиболее высокое среднее число особей и парциальных образований (9.0 ± 0.7 экз.) в составе локусов. Локусы, включающие от 1 до 5 особей, представлены примерно в равной мере и в сумме составляют около 50% всех элементов. На долю локусов, включающих более 20 особей, приходится около 5%. В целом распределение элементарных локусов по общему числу особей и парциальных образований является относительно выровненным (рис. 1, 1). Единичные особи, березы пушистой относящиеся к допожарному *древостою*, входят в состав лишь 1% элементарных локусов (рис. 1, 2). *Крупный подрост* березы послепожарного происхождения на рассматриваемой стадии сукцессии представлен ~ в 40% элементарных локусов. В половине случаев локусы включают лишь 1 экземпляр крупного подроста, а максимальное количество составляет 13 экземпляров (рис. 1, 3). Для ранней стадии сукцессии характерно наиболее высокое среднее количество *мелкого подроста* в элементарных локусах березы пушистой (8.1 ± 0.6 экз.); максимум составляет 45 экземпляров (рис. 1, 4). Основная часть (75%) элементарных локусов, включает от 1 до 10 экземпляров мелкого подроста.

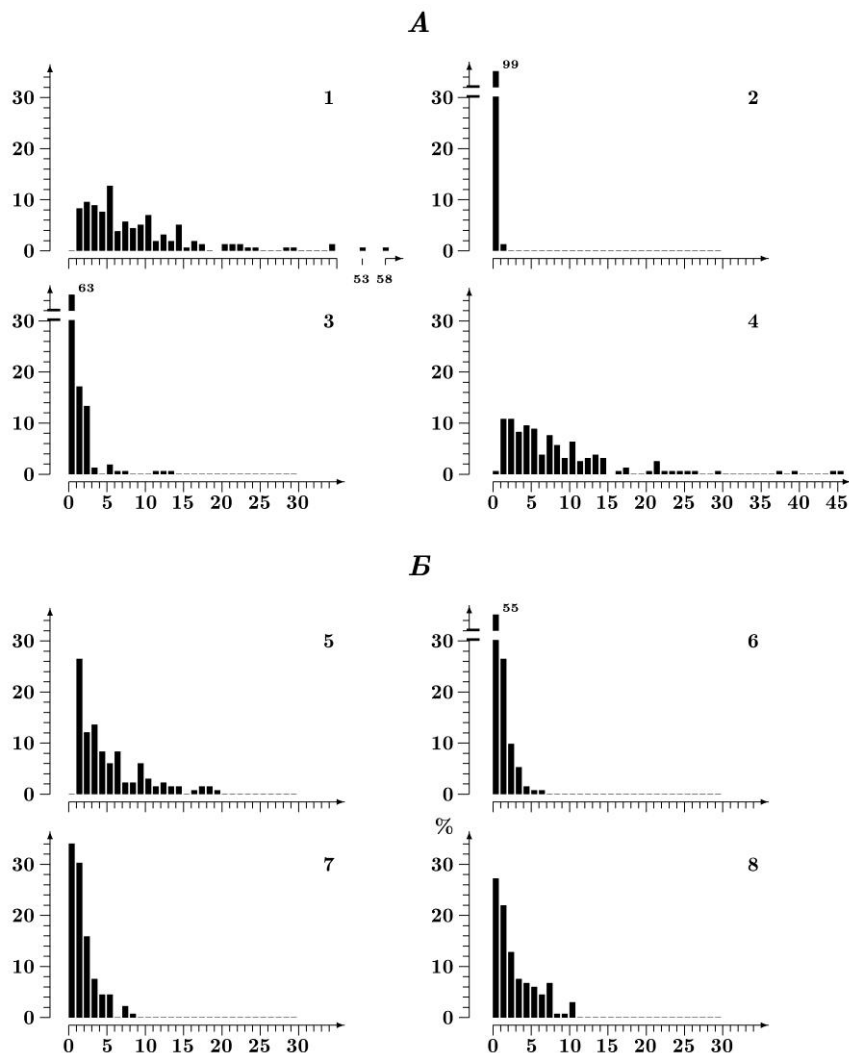


Рис. 1. Распределение элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой по общему количеству особей (1, 5), количеству деревьев (2, 6), крупного (3, 7) и мелкого (4, 8) подроста в сосново-еловых лесах с давностью пожара 8 лет (А) и 144 года (Б)

По оси абсцисс: количество особей в локусе; по оси ординат: доля участия, %

Анализ компонентной структуры элементарных локусов березы пушистой показал, что в начале послепожарной сукцессии в составе ценопопуляций преобладают однокомпонентные локусы, состоящие только из мелкого подроста (64%). Заметная доля (34%) приходится на двухкомпонентные локусы, включающие мелкий и крупный подрост. Очень редко встречаются однокомпонентные локусы, сформированные деревьями (0.6%) или крупным подростом (0.6%), а также локусы, включающие все три основных компонента (деревья, крупный и мелкий подрост).

Пространственное распределение элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой на начальной стадии восстановления является умеренно контагиозным с низкой (20%) долей незанятого пространства.

Стадия максимального развития послепожарного березового древостоя. При давности пожара 144 года среднее число особей и парциальных образований в составе элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой по сравнению с начальной стадией сукцессии снижается примерно в 2 раза (до 4.9 ± 0.4 экз.). Распределение локусов по общему числу особей становится более неравномерным, а его диапазон сокращается в 3 раза. По доле участия (25-30%) начинают выделяться монотипные локусы (рис. 1, 5), суммарная доля локусов, включающих от 1 до 5 особей, возрастает до 65–70%.

Для рассматриваемой стадии характерно наиболее высокое за весь период сукцессии участие *деревьев* в составе элементарных локусов: их среднее число увеличивается до 0.8 ± 0.1 экз., максимальное составляет 6 экз. Более половины локусов с участием деревьев имеют в своем составе лишь 1 дерево (рис. 1, 6). Среднее число особей *крупного подроста* в составе элементарных локусов по сравнению с предшествующей стадией возрастает примерно вдвое, однако максимум уменьшается до 8 экземпляров (рис. 1, 7). Участие *мелкого подроста* березы пушистой в составе элементарных локусов при давности пожара 144 года снижается в 3 раза по сравнению с ранней стадией сукцессии (в среднем 2.6 ± 0.3 экз.). Максимум уменьшается до 12 экз., а доля элементарных локусов, в которых нет мелкого подроста, возрастает до 25–30% (рис. 1, 8).

Характерной особенностью является наиболее высокая по сравнению с остальным периодом сукцессии доля локусов, состоящих только из деревьев (~14%) и имеющих в своем составе деревья (~45%). По суммарной доле участия (~43%) преобладают однокомпонентные локусы, сформированные либо только деревьями, либо крупным (12%) или мелким (17%) подростом. Следует отметить, что рассматриваемая стадия отличается наиболее низкой долей локусов, состоящих только из мелкого подроста.

Пространственное распределение локусов в рассматриваемый период сукцессии оценивается как случайное, при этом доля незанятого пространства остается низкой (15-20%).

Стадия распадающегося послепожарного березового древостоя. В сообществе с давностью пожара 220 лет среднее число особей и парциальных образований березы в составе элементарных локусов березы пушистой снижается до 3.2 ± 0.3 экз. Максимальное число особей в локусе, напротив, возрастает, примерно, в 2 раза, однако доля относительно крупных локусов, включающих более 20 парциальных образований, составляет не более 1%. Участие локусов, состоящих из одной особи, продолжает увеличиваться и достигает 45% (рис. 2, 1).

Среднее число *деревьев* в составе элементарных локусов снижается в 4 раза (0.2 ± 0.03 экз.), а максимальное число деревьев в локусе уменьшается до 4 экз. (рис. 2, 2). Участие *крупного подроста* березы в составе элементарных локусов на рассматриваемой стадии по сравнению с предшествующей существенно не изменяется. Различие состоит в появлении локусов с довольно большим (до 20 экз.) числом парциальных образований, относящихся к крупному подросту (рис. 2, 3). Распределение элементарных локусов березы пушистой по количеству *мелкого подроста* заметно отличается от наблюдавшегося при давности пожара 144 года. Достоверно более низким является среднее количество мелкого подроста в составе локусов (1.5 ± 0.2 экз.). Основная часть локусов (97%) имеет в своем составе не более 4 экземпляров мелкого подроста, в 1.5 раза возрастает доля локусов, включающих один экземпляр мелкого подроста (рис. 2, 4). В то же время появляются единичные локусы с большим количеством мелкого подроста (более 20 экземпляров).

Основу ценопопуляции (80-85%) составляют одно- и двухкомпонентные локусы, сформированные крупным и мелким подростом. По сравнению с предшествующей стадией существенно (примерно в 3 раза) снижается доля элементарных локусов с участием деревьев березы.

Указанным изменениям сопутствует повышение неравномерности пространственного распределения элементарных локусов: оно становится слабо контагиозным при очень низкой доле незанятого пространства (10%).

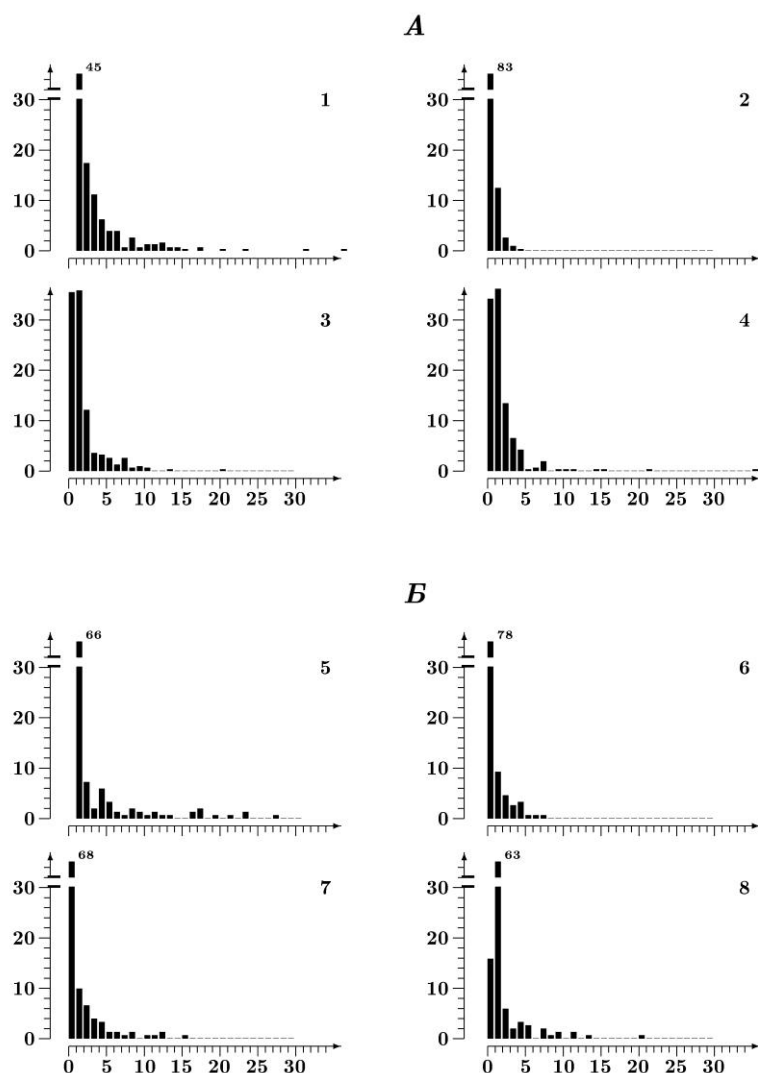


Рис. 2. Распределение элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой по общему количеству особей (1, 5), количеству деревьев (2, 6), крупного (3, 7) и мелкого (4, 8) подроста в сосново-еловых лесах с давностью пожара 220 лет (А) и 376 лет (Б)
По оси абсцисс: количество особей в локусе; по оси ординат: доля участия, %

Стадия формирования разновозрастного березового древостоя. На поздней стадии сукцессии (376 лет после пожара) среднее число особей и парциальных образований в элементарных локусах березы пушистой по сравнению с предшествующим периодом достоверно не изменяется – 3.4 ± 0.4 экз. Важной особенностью является переход к абсолютному доминированию моночленных локусов: их доля достигает ~65% (рис. 2, 5). По мере формирования разновозрастного древостоя березы доля элементарных локусов с участием *деревьев* возрастает до 20-25%, а максимальное число деревьев в локусе увеличивается в среднем до 7 экз. (рис. 2, 6), при этом зарегистрированный в районе исследования максимум составляет 12 экземпляров. В рассматриваемый период вновь возрастает неравномерность распределения элементарных локусов березы пушистой по числу особей *крупного подроста*. В 2 раза (до ~30%) снижается доля локусов, в составе которых представлен этот компонент (рис. 2, 7), однако среднее количество крупного подроста в составе элементарных локусов достоверно не изменяется в связи с возрастанием доли локусов, включающих от 5 до 15 парциальных образований соответствующих параметров. *Мелкий подрост* березы пушистой входит в состав абсолютного большинства (85%) элементарных локусов. Среднее и максимальное количество мелкого подроста в составе элементарных локусов по сравнению с предшествующей стадией существенно не изменяются, однако примерно вдвое (до 60-65%) увеличивается доля локусов, включающих 1 экземпляр мелкого подроста (рис. 2, 8).

Характерной чертой структуры элементарных ценопопуляционных локусов березы пушистой на рассматриваемой стадии сукцессии является преобладание (60-65%) однокомпонентных локусов, состоящих из мелкого подроста. Это связано с появлением микроместообитаний, благоприятных для семенного возобновления березы (ветровальные комплексы). Формирование разновозрастного березового древостоя, обусловленное активным распадом послепожарного хвойного древостоя, находит отражение в повышении доли локусов с участием деревьев до 20-25%. Неравномерность размещения локусов продолжает усиливаться, их пространственная структура приобретает умеренно контагиозный характер со средней долей (~40%) незанятого пространства.

Сравнение распределения запаса древесины березы пушистой по ценопопуляционным локусам, сформированным разным числом особей, показывает, что при давности пожара 144 года оно является значительно более равномерным, чем на более поздних стадиях. Во всех случаях большая часть запаса приходится на локусы, состоящие из одной особи. При давности пожара 144 года в них сосредоточено около 25% общего запаса, при давности пожара 220-44%, а при давности пожара 376 лет – 70%.

В целом исследование структурной организации элементарных ценопопуляционных локусов *Betula pubescens* в условиях северной тайги показало, что их компонентная структура и пространственное распределение существенно и неоднаправленно изменяются в процессе послепожарной сукцессии. Основные этапы структурной перестройки локусов связаны с динамикой их господствующего компонента – древостоя, а также с динамикой древостоев хвойных.

Для ранних стадий сукцессии характерно преобладание локусов, состоящих из мелкого подроста, имеющих умеренно контагиозное пространственное распределение. Это свидетельствует о значительной роли вегетативного возобновления (с характерным для него формированием компактных групп парциальных образований) в послепожарном восстановлении ценопопуляций березы пушистой в условиях северной тайги. Стадия максимального развития послепожарного березового древостоя отличается случайным распределением локусов, наиболее высокой встречаемостью локусов с участием деревьев и минимальной – локусов, состоящих из мелкого подроста. Характер компонентной и пространственной структуры отражает результат жесткой внутривидовой конкуренции и снижение активности семенного и вегетативного возобновления. В период после распада послепожарного березового древостоя доминируют локусы, состоящие из мелкого и крупного подроста. Это состояние ценопопуляции березы связано с задержкой формирования разновозрастного березового древостоя из-за мощного конкурентного подавления со стороны хвойного древостоя, достигающего в этот период максимума своего развития. Распад послепожарного хвойного древостоя создает условия для начала формирования разновозрастного березового древостоя. Пространственное распределение локусов вновь приобретает контагиозный характер, увеличивается доля локусов, имеющих в своем составе деревья при сохранении высокой встречаемости (65%) локусов, состоящих из мелкого подроста. Это свидетельствует о повышении роли березы пушистой в составе древесного яруса и улучшении условий для семенного возобновления этого вида по сравнению с предшествующей стадией. Компонентная структура элементарных ценопопуляционных локусов свидетельствует о постепенном формировании на заключительных стадиях сукцессии в северотаежных сосново-еловых лесах устойчивых ценопопуляций березы пушистой, способных к самоподдержанию на основе семенного и вегетативного возобновления.

Работа завершена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-04-01394-а).

Литература

1. Левин Г.Г. Жизненные циклы растений, их связи и эволюция // Ботанический журнал, 1963. Т. 48, № 7. С. 1039-1059.
2. Ставрова Н.И. Структура популяций основных лесобразующих видов на Европейском севере России. Автореф. дисс. ...докт. биол. наук. Санкт-Петербург, 2012. 39 с.
3. Чистякова А.А. Поливариантность онтогенеза и типы поведения деревьев широколиственных лесов // Популяционная экология растений. М.: Наука, 1987. С. 39-43.
4. Чистякова А.А. Жизненные формы и их спектры как показатель состояния вида в ценозе (на примере широколиственных деревьев) // Бюлл. МОИП, отд. биол., 1988. Вып. 6. С. 93-105.

ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Введение

В условиях европейской части таежной зоны России лесной покров подвергается (подвергался) воздействию различных по видам и масштабам антропогенных факторов. По значимости воздействия (в порядке убывания) их приблизительно можно расположить следующим образом: 1) сплошные концентрированные рубки (широко практиковавшихся с 30-х по 60-х гг. XX века); 2) сплошные широко- и узколесосечные рубки (современный способ лесозаготовок); 3) несплошные, главным образом, выборочные рубки самой различной интенсивности (ведутся на протяжении 3-4 последних столетий); 4) подсечно-огневая система обработки лесных земель (широко применялась на протяжении нескольких столетий вплоть до конца XIX века) и сопутствующие ей пожары; 5) «отчуждение» лесных земель под постоянно действующие аграрные угодья (процесс принял обратный оборот в последние десятилетия), промышленное и гражданское строительство, коммуникационные системы (дороги, линии электропередач, трубопроводы) и др.; 6) гидролесомелиорация (широкомасштабные работы были произведены в основном в 60-80 гг. и полностью прекращены к середине 90-гг. XX века); 7) другие - промышленное загрязнение и рекреационные нагрузки (имеют локальный характер), подсочка леса (прекращена к началу 90-х гг. XX века).

На подавляющей части таежных территорий трансформация лесов с начала антропогенного воздействия определяется рубками, которые на определенное время полностью или частично разрушают лесную среду со всеми последствиями. За последние 50 лет только в наиболее крупных многолесных таежных регионах европейской части России (Республика Карелия, Архангельская область и Республика Коми) сплошные рубки леса были произведены на площади порядка 15 млн га. В Карелии с наиболее интенсивным лесопользованием на фоне европейской части таежной зоны России, за вторую половину XX века было заготовлено приблизительно 600 млн.м³ древесины. По ориентировочным расчетам было вырублено порядка 6 млн га лесов или не менее 2/3 (!!!) покрытой лесом площади. Максимум объемов рубок пришелся на 60-80 гг. XX века.

Возможные экологические и хозяйственные последствия антропогенного преобразования лесов очень разноплановы – от изменения микроклиматических условий до трансформации флористических и фаунистических комплексов. Значения основных четырех параметров лесного покрова определяют все эти последствия. Это лесистость, состав, продуктивность и возраст лесов, в том числе в связи с ландшафтными особенностями территории. При планировании лесопользования необходимо избежать или свести к минимуму:

- Исчезновение или деградацию популяций редких и уязвимых к антропогенным воздействиям видов животных и растений;
- Разрушение или трансформацию уникальных, редких и ценных природных объектов (мест локализации популяций видов растений, занесенных в Красные книги, самых высоких по продуктивности – эталонных древостоев, периферийных частей ООПТ и т.д.);
- Ухудшение рекреационных качеств ландшафта и утраты отдельных наиболее ценных в этом отношении участков;
- Необратимость процесса вторичного заболачивания на вырубках;
- Ухудшение качества вод в водоемах и водотоках;
- Сокращение численности охотничьих животных и птиц
- и другого.

Последствия антропогенной трансформации разнообразия биоты в данных материалах затрагиваются фрагментарно и подробно рассмотрены нами ранее (Громцев и др., 2010).

Регион и его общие особенности. В административном отношении это Мурманская область, Республика Карелия и Ленинградская область (использованы для удобства при оперировании официальными статистическими данными), а также обширные сопредельные территории со сходной ландшафтной структурой. Общая площадь, включая части акваторий крупнейших озер (Ладожское и Онежское), также двух морей (Белого и Балтийского) – 42.6 млн га. Она сопоставима с территориями

крупнейших европейских стран. Государственный лесной фонд (ГЛФ) - 30.1 млн га. В Мурманской области он составляет 66% площади региона (без пастбищ для оленеводства - 20%), в Карелии - свыше 80% (без водного фонда почти 95%); в Ленинградской области - 66%, остальное в основном урбанизированные территории и аграрные земли (не считая район С.-Петербурга как субъекта РФ). В регионе покрытая лесом площадь - 19.2 млн га. Объем заготовки древесины (в последние годы) - свыше 15 млн куб. м. Территория находится в пределах двух крупнейших физико-географических стран Европы – Фенноскандинавского щита и Русской (Восточно-Европейской) равнины. Они совершенно отличаются по всему комплексу лесорастительных параметров. Это очень разнообразная по природным особенностям территория на фоне всей европейской части таежной зоны России. Присутствующие здесь типы географического ландшафта занимают до 60% площади этой части страны. Так, в Карелии и сопредельных территориях выделено 15 средне- и 17 северотаежных типов (Громцев, 2008).

Материалы и методы. Они подробно представлены в наших последних публикациях (Громцев, 2008; Громцев и др., 2012). В целом исследования лесов строились на ландшафтно-типологической основе, имеющей следующие исключительные преимущества:

- При дифференциации лесного покрова по самым различным параметрам является четкая территориальная привязка любого из их значений. При этом последующее районирование проводится по природным границам, остающимся неизменными на протяжении многих столетий. Под ресурсную, хозяйственную и экологическую характеристику таежных лесов закладывается постоянная основа, дающая возможность осуществлять полноценный мониторинг и делать обоснованный прогноз состояния лесного покрова в тех или иных аспектах.

- Многие ресурсы, функции и качества таежных экосистем могут быть в полной мере выявлены и оценены только на ландшафтном уровне (средозащитные и средообразующие функции лесного покрова, рекреационные качества территории, численность и плотность населения охотничьих животных, репрезентативность действующих и планируемых ООПТ и другое).

- Разработанная ландшафтная карта позволяет с высокой степенью надежности экстраполировать любые данные, полученные на заранее определенном и ограниченном числе экспериментальных объектов, на любую часть таежной территории, исходя из ее ландшафтной структуры.

Результаты и обсуждение. Было выделено четыре основных сценария хозяйственного освоения таежной территории (с условным названием): 1) «аграрный» (с образованием агролесных комплексов); 2) «лесопромышленный» (с формированием массивов производных лесов на месте вырубок коренных); 3) «комбинированный» (с формированием мозаичного лесного покрова после нескольких видов воздействия в различных пропорциях и в разное историческое время); 4) «пригородный» (сочетающим признаки первого и третьего сценария – пригородные территории).

Для условий северо-запада таежной зоны России подробно охарактеризованы происхождение, структура и спонтанная динамика основных ландшафтных эталонов коренных лесов (Громцев, 2002, 2008 и др.). Далее рассмотрим основные изменения лесного покрова в результате деятельности человека.

Лесистость. Площадь лесов к настоящему времени сократилась лишь за счет «отчуждения» лесных земель для сельского хозяйства, промышленного и гражданского строительства, транспортной инфраструктуры и т.п. Сокращения покрытой лесом площади в результате рубок не происходило и не происходит вообще в связи с успешным естественным возобновлением древесной растительности. Лесной покров, лесная среда, лесные ландшафты в том или ином виде восстанавливаются. Нет оснований прогнозировать какие-либо существенные изменения ситуации и в будущем. Так, в Карелии за последние 50 лет при изменении общей площади ГЛФ с 14.1 до 14.9 млн. га лесистость даже увеличилась приблизительно на 10%. Это происходило за счет: а) облесения осушенных болот и заброшенных сельхозугодий; б) изменения нормативов для отнесения земель к категории «покрытые лесом». В этот период лесистость варьировала в незначительных пределах (46-53%) и уменьшалась в связи с накоплением фонда необлесившихся вырубок в годы пика лесозаготовок (до 10% от площади ГЛФ и 16% от лесной площади в 1966 году – максимум лесозаготовок). В других таежных регионах аналогичная ситуация. Впрочем, установлены некоторые категории ландшафтов, где естественный лесовозобновительный процесс может затягиваться на десятилетия или даже на неопределенное время (Громцев, 2001).

Состав лесного покрова. При лесоинвентаризации для каждого участка определяется по доминированию лесообразующей породы (объему стволовой массы) в составе или соотношению

количества их экземпляров в молодняках. Существуют значительные расхождения при определении состава по биологическим и хозяйственным критериям (при втором подходе к хвойным лесам могут быть отнесены лиственные). Например, молодняк состава 7Б2Е1С при назначении рубок ухода считался ельником. Это значительно затушевывает действительный состав современных лесов.

Например, по данным официальной лесной статистики площадь хвойных лесов, например, в Карелии за последние 60 лет не изменилась, несмотря на то, что было вырублено их 2/3. Она варьировала в пределах 87-91% (88% в к 2012 г.). Значительно не менялось и соотношение площади сосновых и еловых лесов: сосняков варьировала в пределах 59-65% (к 2012 г. – 65%), ельников 23-29% (23%). Аналогичная ситуация в других таежных регионах европейской части России. Однако это не соответствует действительности. Исключение - северотаежная подзона (северная часть Карелии и Мурманская область). Здесь в целом происходит восстановление первичного состава естественным путем вследствие жестких, а на северных пределах лесной зоны экстремальных для существования лесной растительности климатических и почвенных условий.

В количественном измерении изменение состава лесов с начала их освоения (за последние столетия) оценить весьма сложно по следующим причинам. Во-первых, до начала четверти XIX века включительно отсутствуют какие-либо сводки количественных данных о лесах в этом отношении на уровне административных регионов. Во-вторых, нормативы определения доминирующей породы в древостоях периодически изменялись, поэтому для сравнительной оценки необходима тщательная коррекция материалов для сопоставимости. Провести такую работу можно только на уровне отдельных территорий, в том числе ландшафтных контуров.

На северо-западе таежной зоны России в пределах средне- и южнотаежной подзон (южнее широты г. Медвежьегорск) произошла широкомасштабная смена лесов с абсолютным доминированием хвойных пород лиственными и хвойно-лиственными. Этот процесс углубляется и в настоящее время. Масштабы и тенденции изменения состава лесов четко обусловлены ландшафтной структурой таежных территорий. В одних типах ландшафта происходит его глубокая трансформация (за последние 150 лет площадь сосняков необратимо сократилась на 60%), других не происходит существенных изменений, третьи занимают различное промежуточное положение. Практически тотальная смена ельников лиственными древостоями обычно обратима, т.е. доминирование ели восстанавливается естественным путем (через стадию подроста – второго яруса этой породы) в среднем за пределами 100-летнего периода после рубки. По нашим данным леса этой части региона уже к 40-ым годам XIX века были далеки от своего первозданного облика. Таким образом, общие масштабы изменения состава лесов с начала их промышленного освоения (250-300 лет назад) несомненно больше, чем за последние десятилетия. Ель в целом удерживает свои позиции. С учетом ландшафтной структуры среднетаежной подзоны северо-запада России можно утверждать, что здесь не менее 1/3 коренных сосняков сменились еловыми и лиственными лесами в результате антропогенного воздействия на лесной покров. Это хорошо согласуется с данными других исследователей. Так, О.И. Сурожа (1910) даже в начале XX века, относил леса Олонецкой губернии к северной группе, где еловые древостои составляли лишь 50% от площади сосновых. Он же отмечал «Безусловное преобладание сосновых насаждений в Олонецкой губернии». В настоящее время площади сосновых и еловых лесов в пределах бывшей Олонецкой губернии (с частью Ленинградской, Вологодской и Архангельской областей) приблизительно равны. Однако с учетом того, что в большинстве лиственных фитоценозов идет интенсивная смена елью с перспективой их превращения за пределами 100-летнего возраста в ельники, последние являются преобладающей растительной формацией.

Основные изменения состава лесов произошли в период с 30-х до 80-х гг. XX века, когда объемы рубок стремительно нарастали (за исключением военного периода). Так, в Карелии с 90-х гг. происходил резкий спад (1966 г. – почти 20 млн.куб.м, в 2012 г. - менее 6). За это время по нашим расчетам площадь сосняков в среднетаежной подзоне Карелии сократилась не менее чем на 20%, а не на 9% (как это следует из итоговых материалов лесоустройства). При этом не учтены значительно возросшая «формальная» площадь лесных культур, что значительно затушевывает действительный состав современных лесов.

Изменения лесного покрова по составу вызывает и адекватные изменения флористических и фаунистических комплексов (Громцев и др., 2010 и др.). В целом на северо-западе таежной зоны России выделяются три основные категории географических ландшафтов: 1) с глубокими и длительнообратимыми изменениями разнообразия лесных сообществ и сопутствующим этому резкому изменению разнообразия флоры и фауны; 2) стабильные в этом отношении или

восстанавливающие естественным путем статус близкий к исходному; 3) с различными промежуточными вариациями. Наиболее ценными и важными для сохранения разнообразия лесной биоты являются типы лесных сообществ с экологическими нишами для стенобионтных (узкоспециализированных) видов.

На северо-западе таежной зоны России проявляется вполне очевидная закономерность. По мере продвижения на север снижаются до минимума масштабы смен лесообразующих видов. Фактически в меридиональном направлении увеличивается способность лесного покрова после рубок восстанавливаться естественным путем до состояния близкого к исходному и, соответственно, уменьшается вероятность утраты разнообразия видов и растительных сообществ. Обязательным условием стабильности ситуации является широкое использование и поддержание высокой естественной «регенеративной» способности таежных экосистем. В первую очередь, это повсеместная ориентация на высокоэффективные традиционные меры содействия естественному возобновлению.

Продуктивность лесов. Корректное сравнение и оценка продуктивности коренных и производных лесов возможны только на уровне типа местообитания и модельных участков. Такое сравнение в пределах отдельных таежных регионов или подзон тайги (по принципу «что было - что стало»), по крайней мере, некорректно. Это обусловлено мозаичностью лесного покрова, находящегося на самых разных стадиях антропогенной динамики, в условиях разных сценариев лесопользования - даже в пределах разных контуров одного типа ландшафта.

В массивах коренных лесов продуктивность отдельных древостоев в пределах типа местообитания варьирует в широких пределах, может отличаться в разы. Это зависит от того, на какой стадии сукцессии находится лесное сообщество. В идеальном варианте надо рассчитывать средневзвешенную продуктивность, исходя из различного соотношения площади лесных сообществ с разным запасом древесины. Такие данные фрагментарны и к настоящему времени в регионе уже не восстановить строение большинства типов таежного ландшафта в этом отношении (лесной покров трансформирован).

В целом установлено, что массивы производных сосняков, успешно возобновившиеся на вырубках, особенно паловых, по продуктивности существенно не отличаются от массивов коренных одновозрастных сосняков. В коренных ельниках черничных после 500-летнего цикла развития запас составляет около 70% от общего запаса древесины в производных березняках со вторым ярусом ели в возрасте 100 лет. Общая продуктивность массивов производных хвойно-лиственных лесов выше, чем коренных ельников.

Возрастная структура. Очевидно, что в связи с широкомасштабными рубками она принципиально изменилась, но в разных частях европейской части таежной зоны России ситуация разная. Например, в Карелии доля хвойных древостоев свыше 80 лет сократилась с 80 до 40%. До $\frac{3}{4}$ лесов находятся в двух группах – до 40 и более 100 лет. В крупных по площади массивах коренных лесов на северо-востоке (Архангельская область и Республика Коми) абсолютно преобладают различные вариации высоковозрастных древостоев. В Ленинградской области более «сглаженное» распределение по группам возраста, в том числе за счет сохранения производных лесов защитного назначения.

Заключение

Выявление закономерностей и оценка последствий антропогенной трансформации растительного покрова это непрекращающийся исследовательский процесс. Его главная практическая цель – на основе выявленных фундаментальных закономерностей динамики лесов прогнозировать изменение ситуации, минимизировать негативные явления или, по крайней мере, предупредить катастрофические. В настоящее время в целом на северо-западе таежной зоны России нет оснований утверждать о «деградации», «разрушении», «исчерпании ресурсов» и т.п. лесов со всеми вытекающими экологическими и хозяйственными последствиями. Они проявляются локально или обратимы. Основная задача состоит в том, чтобы создать единую управляемую систему многоресурсного (многоцелевого) лесопользования, оптимизированную с другими видами природопользования (аграрным освоением, разработкой недр, водопотреблением и др.) обеспечивающую: 1) неистощительное изъятие лесных ресурсов; 2) их малозатратное и расширенное воспроизводство; 3) достаточную по экологическим и приемлемую по социально-экономическим возможностям систему ООПТ и используемых в «щадящем» режиме лесных территорий.

Литература

1. Громцев А.Н. Наиболее уязвимые леса Карелии: характеристика, картирование, меры по сохранению. Петрозаводск, 2001. 62 с.
2. Громцев А.Н. Современное состояние и проблемы сохранения коренных лесов на западе таежной зоны России // Лесоведение, 2002. № 2. С. 3-7.
3. Громцев А.Н. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск, 2008. 238 с.
4. Громцев А.Н., Кравченко А.В., Курхинен Ю.П., Сазонов С.В. Методы идентификации лесов на разных стадиях сукцессий и закономерности антропогенной трансформации флоры и фауны в условиях различных типов ландшафта северо-запада таежной зоны России // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. Кн. 1 Москва, 2012. С. 96-130.
5. Громцев А.Н., Кравченко А.В., Курхинен Ю.П., Сазонов С.В. Динамика разнообразия лесных сообществ, флоры и фауны европейской тайги в естественных условиях и после антропогенных воздействий // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Вып. 10. сер. Биogeография. Петрозаводск, 2010. С. 16-33.
6. Сурожя О.И. Нужды лесов нашего Севера. Архангельск, 1910. 54 с.

Домрачева Л.И.^{1,2}, Кондакова Л.В.^{2,3}, Трефилова Л.В.¹, Фокина А.И.³

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров
dli-alga@mail.ru

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

³Вятский государственный гуманитарный университет, г. Киров

ЦИАНОБАКТЕРИИ В БИОМОНИТОРИНГЕ ПОЧВЫ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Прокариотные фотосинтезирующие микроорганизмы - цианобактерии - полностью соответствуют тем требованиям, которые при биомониторинге предъявляют к организмам-индикаторам и тест-организмам. В частности, как идеальные индикаторы цианобактерии (ЦБ) обитают практически повсеместно: в любых типах почвы в различных регионах планеты и разных климатических зонах; они постоянно имеют высокую численность в исследуемых экотопах, которая достигает 5-7 млн. клеток/г в слое почвы 0-5 см (Домрачева, 2005) и 40-90 млн. клеток/см² при «цветении» почвы (Домрачева и др., 2012). Массовое развитие ЦБ позволяет проводить количественные анализы без предварительного концентрирования проб.

При использовании ЦБ в качестве тест-организмов возможно выполнение тех требований, которые предъявляются к методам биотестирования: применимость для оценки любых экологических изменений среды обитания живых организмов; высокая чувствительность для выявления даже начальных экологических изменений; удобство при лабораторном моделировании и т.д. (Биологический мониторинг..., 2011).

Биоиндикация состояния почвы выявила определенный статус цианобактериальных комплексов. Так, сравнительное изучение видового состава фотосинтезирующей микрофлоры почв природных, сельскохозяйственных, урбанизированных и техногенных экосистем показало, что в наиболее загрязненных почвах в альго-цианобактериальных комплексах происходит перераспределение таксонов в пользу цианопрокариот (цианифитизация альгоценозов). При этом наиболее устойчивыми видами, толерантными к любым загрязняющим веществам, являются *Nostoc commune*, *N. linckia*, *N. muscorum*, *N. punctiforme*, *Phormidium autumnale*, *Ph. uncinatum*, *Ph. boryanum*, *Leptolyngbya foveolarum*, *L. fragile*, *Microcoleus vaginatus* (Кондакова, 2011).

При анализе структуры фототрофных микробных комплексов (данные количественного учета) установлено, что в зависимости от длительности действия антропогенного загрязнения и природы поллютантов доля цианобактериального компонента может достигать до 90% и более (табл. 1), в то время, как в контрольных вариантах (фоновые территории) этот показатель на момент анализа не превышал 30-40%.

Таблица 1

Влияние поллютантов на структуру альго-цианобактериальных комплексов почвы (%)

Характер загрязнения	Водоросли	Цианобактерии
Автотранспортное	1.7	98.3
Промышленное (тяжелые металлы)	18.3	81.7
Пестицидное	15.3	84.7
Пирофосфат натрия	8.2	91.8
Азид натрия	25.3	74.7
Ацетат свинца	14.9	85.1

Особую роль в биоиндикационных и биотестовых исследованиях играют природные биопленки *Nostoc commune*, представляющие собой многовидовые комплексы микроорганизмов различной систематической принадлежности, включающие, помимо основного доминанта, другие виды гетероцистных и безгетероцистных ЦБ, водоросли, микромицеты, сапротрофные бактерии. Степень агрегации организмов в биопленке очень велика за счет выделения слизи ЦБ и наличия нитчатых и мицелиальных форм. Высокую степень экологической пластичности данных биопленок доказывает факт их восстановления (самосборки) при механическом разрушении с сохранением первоначальной видовой и количественной структуры. Однако, под влиянием различных поллютантов, как постоянно присутствующих в почве, так и вносимых искусственно, происходит трансформация сообщества, которая выражается в изменении плотности популяций микроорганизмов, входящих в состав биопленки и перераспределении группировок. Изменение данных параметров индицирует и определенные изменения в состоянии почвы.

Биотестирование состояния почвы, проводимое с помощью ЦБ, базируется на определении их дегидрогеназной активности (Домрачева и др., 2008). Работы, проводимые в последние годы в Вятской государственной сельскохозяйственной академии и в Лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН, показали, что наиболее адекватную реакцию на степень токсичности различных поллютантов минеральной и органической природы дают именно ЦБ. В качестве маркерных признаков жизнеспособности клеток ЦБ был выбран показатель образования в их клетках кристаллов формазана красного цвета из бесцветного 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида. Образование формазана индуцируется деятельностью фермента дегидрогеназы, который работает в живых клетках и инактивируется в клетках погибших.

В серии опытов было установлено, что чувствительность ЦБ к токсикантам напрямую коррелирует с их титром: чем ниже плотность клеток в популяции ЦБ, тем выше количество погибших клеток и наоборот. Это вполне объяснимо тем, что плотность популяции бактерий – существенный фактор, обеспечивающий её устойчивость во внешней среде, в первую очередь, за счёт увеличения экссудации слизистых метаболитов. Именно экзометаболиты являются первым защитным барьером клеток, способным удерживать и обезвреживать токсиканты. Поэтому в целях повышения чувствительности ЦБ в качестве тест-организмов необходимо, чтобы плотность популяции в жидкой культуре была в пределах 1-2 млн. клеток/мл. В дальнейшем микроскопическим методом на мазках определяют количество живых (с кристаллами малиново-красного цвета внутри) и мертвых (без кристаллов) клеток и делают вывод о степени токсичности испытуемого вещества.

С помощью данного метода удастся оперативно выявить наиболее загрязненные участки на изучаемых объектах (анализируя токсичность почвенной вытяжки) и установить первоочередность проведения химического анализа на этих участках для выявления конкретных загрязнителей и их концентрации в почве. В качестве примера приводим результаты тестирования почвенной вытяжки различных зон г. Кирова (табл. 2).

Таблица 2

Гибель клеток цианобактерий р. *Nostoc* в почвенной вытяжке из различных зон г. Кирова (%)

Вид цианобактерий	Контроль	Зоны города		
		транспортная	промышленная	парковая
<i>N. paludosum</i>	1.89	25.23	25.77	12.37
<i>N. linckia</i>	1.53	20.67	17.33	15.85
<i>N. muscorum</i>	1.10	18.15	98.19	16.75

Примечание: В контрольном варианте определяли число нежизнеспособных клеток в чистой культуре ЦБ, которую в дальнейшем использовали для целей биотестирования.

Известно, что если в ходе биотестирования различные организмы дают разную картину состояния обследуемого объекта, то степень токсичности определяют по наиболее чувствительному тест-организму. В нашем случае таким тест-организмом является *N. muscorum*, у которого отмечена повышенная гибель клеток в почве промышленной зоны (98,19%) в районе биохимзавода. В то же время чувствительность к загрязнению почвы у всех испытанных штаммов ЦБ в транспортной и парковой зоне примерно одинаковая. Вероятно, *N. muscorum* обладает специфической восприимчивостью к каким-то поллютантам минеральной или органической природы, которые накопились вблизи данного предприятия, которое является также и одним из главных загрязнителей атмосферного воздуха г. Кирова.

Вычисление индекса токсичности (Кабилов, 1995) городских почв показывает, что по данному показателю, определённом с помощью ностоков, исследуемые почвы относятся к разным категориям (табл. 3).

Таблица 3

Индекс токсичности городских почв

Зоны города	Виды ностоков		
	<i>N. paludosum</i>	<i>N. linckia</i>	<i>N. muscorum</i>
Транспортная	0.89	0.86	0.85
Промышленная	0.98	0.96	0.02
Парковая	0.89	0.85	0.84

Как правило, определение индекса токсичности (ИТ) сопровождается описанием эффекта, который приводит к определению класса токсичности. Эффект признаётся как стимулирующий, если ИТ>1.1 (6 класс токсичности); норма – при ИТ 0.91-1.1 (5 класс); низкая токсичность при ИТ 0.71-0.90 (4 класс); средняя токсичность при ИТ 0.5-0.7 (3 класс); высокая – при ИТ<0.5 (2 класс) и сверхвысокая при полной гибели клеток (1 класс токсичности).

Наши результаты показывают, что по индексу токсичности почву в районе биохимзавода следует признать сверхтоксичной (в табл. 3 результат ИТ=0.02 выделен жирным шрифтом) по тестированию с помощью *N. muscorum*. Все остальные полученные показатели ИТ практически свидетельствуют о низкой токсичности исследуемых почв.

Ещё один аспект использования ЦБ в экологических исследованиях связан с их антагонистической и сорбционной активностью (Фокина и др., 2012; Домрачева и др., 2013)

При интродукции культур ЦБ в почву, искусственно заражённую фитопатогенными грибами, в частности, р. *Fusarium*, а также в почву, ставшую фитотоксичной из-за длительного выращивания монокультур, нами неоднократно отмечался эффект повышения супрессивности почвы (табл. 4, 5).

Таблица 4

Снижение фитопатогенных свойств почвы под влиянием цианобактерий (ЦБ)

Показатель	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Fusarium culmorum</i> +ЦБ	<i>Fusarium nivale</i>	<i>Fusarium nivale</i> +ЦБ
Численность пропагул грибов (млн/г почвы)	73.7±7.9	29.4±3.5	162.5±10.2	42.5±4.9
Численность клеток ЦБ (млн/г почвы)	-	150.8±19.8	-	218.7±25.8

Достоинства ЦБ как биофунгицида обусловлены их экологической ролью в биоценозах: способностью размножаться в почве со скоростью, сопоставимой с интенсивностью размножения фитопатогенных грибов; способностью стимулировать рост высшего растения; безвредностью для полезных обитателей почвы.

В отличие от других микроорганизмов ЦБ обладают уникальной способностью мгновенно адаптироваться, активно размножаться и вегетировать при реинтродукции в почву. Благодаря фотосинтезу и азотфиксации, они минимально зависимы от уровня сапробности почвы. Их введение в почвенные микробоценозы ведет к ослаблению фузариозных патосистем.

Таблица 5

Снижение фитотоксичности почвы, вызванной *Fusarium sp.*, под влиянием *Nostoc paludosum*

Варианты	Длина мицелия, м/см ²	Численность грибных пропагул, кол-во/см ²
Фитотоксичная почва	23.3	53.3/10 ⁵
Фитотоксичная почва + <i>Nostoc paludosum</i>	0.2	10.7/10 ³

Ещё одной, практически значимой способностью ЦБ, является их способность к обезвреживанию токсикантов. В частности, это происходит за счёт экссудации слизи, которая становится причиной возникновения у ЦБ сорбционной активности, способствующей внеклеточной детоксикации поллютантов. Чем большее количество слизи выделяется, тем полнее связываются поллютанты из раствора. Связывание ТМ осуществляется как полисахаридами, так и липофильной фракцией клеток. Различные ЦБ обладают разной сорбционной способностью. Так, нами обнаружено, что поглощение свинца из жидкой среды составляет у *N. paludosum* около 80%, у *N. muscorum* – 91.3% от изначальной концентрации. Значительной сорбционной способностью обладают ЦБ и по отношению к ионам никеля (табл. 6).

Таблица 6

Уровень извлечения никеля из культуральной жидкости биомассой цианобактерии *Nostoc linckia*

Концентрация никеля	% от первоначальной концентрации
Ni ²⁺ , 2 мг/л	34.65
Ni ²⁺ , 20 мг/л	58.87

Таким образом, краткий обзор экологических возможностей ЦБ показывает, что эти организмы являются перспективными объектами для разработки новых методов и приёмов биоиндикации и биотестирования почвы, а также реабилитации почв, фитотоксичных вследствие химического или биологического (накопление фитопатогенов и фитотоксинов) загрязнения. При этом использование ЦБ позволяет решить одну из основных задач почвенной биотехнологии – повышение скорости восстановительных процессов при экологической безопасности применяемых интродуцентов.

Литература

1. Биологический мониторинг природно-техногенных систем / Под общей ред. Т.Я. Ашихминой, Н.М. Алалыкиной. Сыктывкар, 2011. 388 с. (Коми научный центр УрО РАН).
2. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с. (Коми научный центр УрО РАН).
3. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязненных средах // Теоретическая и прикладная экология, 2008. № 2. С. 23-28.
4. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Зыкова Ю.Н., Ефремова В.А. Альго-циано-мкологические комплексы городских почв // Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. С. 120-169.
5. Домрачева Л., Трефилова Л., Фокина А. Фузарии: биологический контрольЮ сорбционные возможности. LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 2013. 182 с.
6. Кабиров Р.Р. Альготестирование и альгоиндикация. Уфа, 1995. 125 с.
7. Кондакова Л.В. Сравнительный анализ альгофлоры экологически опасных объектов на территории Кировской области // Теоретическая и прикладная экология, 2011. № 3. С. 52-60.
8. Фокина А.И., Домрачева Л.И., Зыкова Ю.Н., Березин Г.И., Злобин С.С. Микроорганизмы как биосорбенты поллютантов // Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. С. 232-252.

РЕДКИЕ ВИДЫ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ И МХОВ ВО ФЛОРАХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛКОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Мурманская область – один из наиболее населенных и промышленно развитых районов Севера. Масштабы антропогенного воздействия на природу региона велики и приводят к быстрым и существенным изменениям окружающей среды. В первую очередь прогрессирующая урбанизация вызывает серьезную деградацию основного компонента ландшафта – растительного покрова. Происходит резкое сокращение площадей естественных ценозов, обеднение числа составляющих элементов, нарушение внутренних связей и возможностей сохранения генофонда живой природы. Исследования качественных характеристик урбанофитоценозов, их средообразующей специфики служат базой для поиска путей управления процессом изменения флоры городской территории.

Проведены флористические исследования в восьми городах (Мурманск, Мончегорск, Оленегорск, Кировск, Апатиты, Ковдор, Полярные Зори, Кандалакша) и поселке Коашва, расположенных в северотаежной зоне. Пять городов и поселок Коашва располагаются в центральной части области. Кировск находится в Хибинских горах, Мончегорск – у подножия массива Мончетундра; Апатиты, Оленегорск, Полярные Зори и Коашва – на равнине вблизи крупнейшего в регионе озера Имандра. Два города являются приокеаническими: на севере области – Мурманск, расположенный на холмистых берегах незамерзающего Кольского залива Баренцева моря, и на юге – Кандалакша, выходящая на побережье Кандалакшского залива Белого моря. Город Ковдор расположен на западе Мурманской области. Изучены флоры мхов всех шести городов и одного поселка; флоры сосудистых растений обследовались в 6 городах (Кировск, Апатиты, Мончегорск, Кандалакша, Оленегорск, Ковдор). Населенные пункты приурочены к разнообразным природным условиям и характеризуются наличием большого спектра экотопов – от естественных сообществ (различные типы лесов и редколесий, долины ручьев, рек, озер, болота, горные хребты, скальные обнажения и т.д.) до полностью преобразованных антропогенных местообитаний. При проектировании и строительстве поселений в урбанизированный ландшафт вписывали участки лесных и лесотундровых массивов, отводя им санитарно-гигиеническую и эстетическую роль. Сохраняемые по границам застройки насаждения служат также каналами связи с пригородными и естественными сообществами.

К моменту вовлечения природных сообществ в процессы градостроительства они были коренными по сути, и поэтому оказались способными довольно долго сохранять устойчивость, благодаря чему содержат не только массовые широко распространенные растения, но и редкие виды. Кроме того, антропогенная деятельность создает для растений некоторые субстраты, не свойственные природе вообще, обладающие определенными новыми качествами. Особый интерес как субстрат для мохообразных представляют различные бетонные, кирпичные сооружения и искусственные каменистые покрытия, обогащенные кальцием (Рыковский и др., 1988).

Ниже приведены сведения о редких видах мхов (табл. 1) и сосудистых растений (табл. 2) в городах и поселках региона. Названия видов даны в соответствии со списком мхов Восточной Европы и Северной Азии (Ignatov et al., 2006) и сводки С.К. Черепанова (1995).

В ходе обследования городских и поселковых территорий отмечено 26 редких видов мхов; часть из них занесена в Красную книгу Мурманской области (16% от всех краснокнижных мхов), другая часть (9 видов) выявлена в регионе совсем недавно. Из числа сосудистых растений в антропогенно измененных экосистемах произрастает 102 редких вида, что составляет 39,1% от общего числа краснокнижных сосудистых растений (261 вид).

В зависимости от географического положения и разнообразия ландшафтов количество видов в отдельных городах различно. По набору редких видов сосудистых растений и мхов довольно богат город Кировск, несмотря на свою относительно небольшую площадь по сравнению с некоторыми другими обследованными городами.

Таблица 1

Редкие и занесенные в Красную книгу Мурманской области (2003) виды мхов в городских флорах

Виды мхов	Категория редкости	Кировск	Апатиты	Мурманск	Кандалакша	Мончегорск	Полярные Зори	Коашва
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Andreaea blyttii</i> Schimp.	2	-	-	+	-	-	-	-
<i>Aongstroemia longipes</i> (Sommerf.) Bruch et al.	2	+	+	-	-	+	+	-
<i>Barbula unguiculata</i> Hedw.	б/н	+	+	+	-	-	-	-
<i>Brachythecium erythrorrhizon</i> Schimp. B. S. G.	б/н	+	+	-	-	-	-	-
<i>B. rutabulum</i> (Hedw.) Schimp. in B. S. G.	б/н	-	-	+	-	-	-	-
<i>Bryum cyclophyllum</i> (Schwägr.) Bruch et al.	б/н	+	-	-	-	-	+	-
<i>Buxbaumia aphylla</i> Hedw.	3	-	-	-	-	-	+	-
<i>Dicranella rufescens</i> (Dicks.) Schimp.	б/н	-	-	-	-	-	+	-
<i>D. varia</i> (Hedw.) Schimp.	б/н	+	+	-	-	-	+	-
<i>Didymodon fallax</i> (Hedw.) Zander.	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ditrichum cylindricum</i> (Hedw.) Grout.	3	-	+	+	-	-	-	-
<i>Grimmia muehlenbeckii</i> Schimp.	б/н	-	-	-	+	-	-	-
<i>Mnium hornum</i> Hedw.	3	-	-	-	-	-	+	-
<i>Orthotrichum speciosum</i> Nees in Strum.	б/н	-	-	-	+	-	-	-
<i>Pohlia crudoides</i> (Sull. & Lesq.) Broth.	3	-	-	+	-	-	-	-
<i>Sanionia orthothecioides</i> (Lindb.) Loeske	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Schistidium apocarpum</i> (Hedw.) B.S.G.	-	+	+	+	+	-	+	+
<i>Schistidium crenatum</i> Blom.	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Schistidium duprettii</i> (Ther.) W. A. Weber	-	+	+	+	-	-	+	+
<i>Schistidium frigidum</i> H.H. Blom	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Schistidium lancifolium</i> (Kindb.) H.H. Blom	-	+	+	-	-	-	-	-
<i>Schistidium platyphyllum</i> (Mitt.) H. Perss.	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Schistidium submuticum</i> Broth. ex H.H. Blom	-	+	+	-	+	-	-	-
<i>Serpoleskea subtilis</i> (Hedw.) Loeske	3	-	-	-	+	-	+	-
<i>Sphagnum flexuosum</i> Dozy et Molk.	б/н	-	-	+	+	-	-	-
<i>Warnstorfia pseudostraminea</i> (C. Müll.) Tuom. et Kop.	3	-	-	+	-	+	+	-
Всего	26	13	10	10	10	3	11	3

Таблица 2

Распределение по категориям редкости Красной книги Мурманской области (2003)
видов сосудистых растений, отмеченных в урбанофлорах

Категория редкости	Апатиты	Кандалакша	Кировск	Ковдор	Мончегорск	Мурманск	Оленегорск	Полярные Зори
1б	6	6	3	-	-	-	1	-
2	1	2	6	1	4	-	-	-
3	10	19	19	2	9	5	5	8
4	-	3	-	1	2	1	-	-
б/н	21	34	35	7	23	13	9	19
итого	38	64	63	11	38	19	15	27

Кировск расположен в Хибинских горах, это и обуславливает богатство и своеобразие флор мхов и сосудистых растений этого города. В отношении редких видов сосудистых растений выделяется Кандалакша (табл. 2), где отмечено максимальное число краснокнижных таксонов. Это самый южный в области приморский город с обилием уникальных и интересных с флористической точки зрения местообитаний. Флоры мхов всех остальных городов (за исключением Мончегорска) содержат примерно одинаковое количество редких мхов (табл. 1). Самыми бедными по количеству выявленных редких таксонов мхов являются небольшой по площади и довольно однообразный по набору экотопов поселок Коашва, а также город Мончегорск, где складываются неблагоприятные условия для роста мхов вследствие негативного влияния расположенного рядом с городом металлургического предприятия «Североникель». Флористически довольно богаты еловые массивы в городе Апатиты, где почвы местами подстилаются содержащими кальций породами. Положение городов Ковдор, Оленегорск и Полярные Зори на равнинах с обилием болот, озер, водотоков и господством сосняков снижает разнообразие флоры сосудистых растений. Однако по редким таксонам мхов город Полярные Зори уступает лишь Кировску. В этом городе отмечены некоторые редкие бриофиты, имеющие в целом более южное распространение, кроме того, своеобразие бриофлоры города придают также виды, растущие на экотопах вдоль крупной каменистой реки Нива.

Среди редких видов мхов, встречающихся на антропогенно трансформированных экотопах, можно выделить несколько групп. Первая группа редких таксонов – кальцефилы; некоторые из них обитают на каменистых строительных материалах (*Brachythecium erythrorhizon*, *Schistidium apocarpum*, *S. crenatum*, *S. dupretii*, *S. frigidum*, *S. lancifolium*, *S. platyphyllum*, *S. submuticum*, *Serpoleskea subtilis*), другие также встречаются и на почвах, содержащих остатки известки, штукатурки и пр. (*Barbula unguiculata*, *Didymodon fallax*). Виды из рода *Schistidium*, как и многие другие мхи ксерофитных местообитаний образуют жизненные формы подушки, обладают довольно долгим периодом жизни и умеренными усилиями, затрачиваемыми на воспроизводство с помощью спор (встречаются популяции как со спорофитами, так и без них). Эти виды будут существовать в городах так долго, пока не исчезнут субстраты, на которых они растут. Возможность произрастания в измененных человеком экотопах у видов этой группы связана с наличием большого числа подходящих субстратов, обогащенных кальцием и способностью выдерживать средний уровень нагрузки. Подушковидная жизненная форма делает возможным произрастание на бетоне и асфальте – субстратах, не удерживающих влагу и длительное время находящихся в сухом состоянии (Mägdefrau, 1982). *Barbula unguiculata* и *Didymodon fallax* – пионеры зарастания открытых местообитаний, легко заселяющие свежие субстраты, достаточно долго живущие и спороносящие на 2-3 год. Необходимым условием для их существования в городах является наличие почв, свободных от другой растительности, обогащенных кальцием. Эти виды представлены низкими дерновинками, довольно устойчивыми к вытаптыванию, что позволяет им произрастать в тех местах, где более требовательные и конкурентноспособные растения существовать не могут. *Brachythecium erythrorhizon* и *Serpoleskea subtilis* образуют ковровые покрытия и сплетения на старых бетонных конструкциях.

Следующая группа редких в регионе видов мхов, приуроченных к антропогенным местообитаниям – это мхи нарушенной почвы (*Aongstroemia longipes*, *Buxbaumia aphylla*, *Dicranella rufescens*, *D. varia* и *Ditrichum cylindricum*). Практически все точки обнаружения их в Мурманской области также находятся на нарушенных местах (Белкина, 2001). Это мхи – колонисты, встречающиеся на открытых обнаженных почвах, регулярно и массово спороносящие, что делает

возможным выживанием и расселением их популяций. *Buxbaumia aphylla* – однолетник, гаметофит которого отмирает после созревания спор, два других вида представлены низкими дерновинками, характерными для открытых почв. Половина бриофитов этой группы – неморальные виды, для которых ксерофитные и довольно хорошо прогреваемые участки в пределах городов являются подходящими экотопами.

Последняя группа редких мхов представлена таксонами, характерными в основном для природных сообществ (*Andreaea blyttii*, *Mnium hornum*, *Orthotrichum speciosum*, *Warnstorfia pseudostraminea* и др.). Они встречаются в населенных пунктах в основном на слабо трансформированных участках в естественных экотопах и являются «случайными» в антропогенных бриофлорах. Сюда входят скальные, лесные и болотные виды, выявленные в городах, как правило, на редко посещаемых человеком участках коренных сообществ.

Урбанизированная среда весьма неблагоприятна для растительности. Наиболее негативные результаты дают вытаптывание напочвенного покрова и уплотнение почвы, захламление территории строительным и бытовым мусором, а также механические и химические повреждения органов растений. Тем не менее, городские экотопы содержат редкие виды, став в некотором смысле мини-резерватами. Так, во всех урбанофлорах хорошо представлены орхидные (*Cypripedium calceolus*, *Malaxis monophyllos*), папоротникообразные (*Polystichum lonchitis*, *Rhizomatopteris montana*), камнеломковые (*Saxifraga tenuis*, *Chrysosplenium tetrandum*), розоцветные (*Cotoneaster cinnabarinus*, *Rubus avium*) и другие.

Литература

1. Белкина О.А. Листостебельные мхи антропогенных местообитаний Мурманской области // Бот. журн. 2001. Т. 86. № 11. С. 21–36.
2. Красная книга Мурманской области. Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 2003. 400 с.
3. Рыковский Г.Ф., Млынарчик М.П., Масловский О.М. Мохообразные, произрастающие на бетонных сооружениях в условиях западной окраины Русской равнины // Ботаника: Наука и техника, 1988. Вып. 29. С. 107–116.
4. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР), 1995. 992 с.
5. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa, 2006. Vol. 15. P. 1–130.
6. Mägdefrau K. Life-forms of bryophytes // Bryophyte ecology, ed. Smith A.J.E. London, New York, Chapman and Hall, 1982. P. 45–58.

Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П.

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

САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ СНИЖЕНИИ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Изучали процесс самовосстановления почв, подверженных многолетнему воздействию промышленных предприятий Мурманской области при снижении техногенной нагрузки. На территории области расположены два крупных медно-никелевых комбината: «Североникель» (г. Мончегорск, 1935 г.) в подзоне северной тайги и «Печенганикель» (г. Заполярный и п. Никель, 1940 г.) в лесотундре. На юге полуострова с 1951 г. работает Кандалакшский алюминиевый завод, являющийся единственным в мире заводом по производству алюминия, расположенным за Полярным кругом. За время работы этих предприятий производительность и технология переработки минерального сырья изменялись, что не могло не отразиться на состоянии окружающей природной среды. Нами выполнен сравнительный анализ изменений состава и свойств почв, произошедших за последние 10–12 лет в зонах воздействия газозвоздушных выбросов промышленных предприятий.

Наблюдения за изменением свойств почв и почвенной биоты при воздействии атмосферных выбросов комбината «Североникель» проводятся сотрудниками лаборатории экологии

микроорганизмов ИППЭС КНЦ РАН с 1976 года (Евдокимова, 1982; Евдокимова 1995; Евдокимова, Мозгова, 2000; Евдокимова и др., 2011). Было отмечено, что за период с 1976 до начала 1990-х гг. техногенное нарушение наземных экосистем возрастало. В начале XXI столетия содержание основных загрязнителей в газовоздушных выбросах медно-никелевых комбинатов снизилось относительно 1980-90 гг. в несколько раз. Однако в почве адекватного снижения их содержания не отмечено (рис.1). В зоне сильного загрязнения газовоздушными выбросами комбината «Североникель» количество Cu уменьшилось в среднем в 1.3 раза, а Ni – в 1.6 раза.

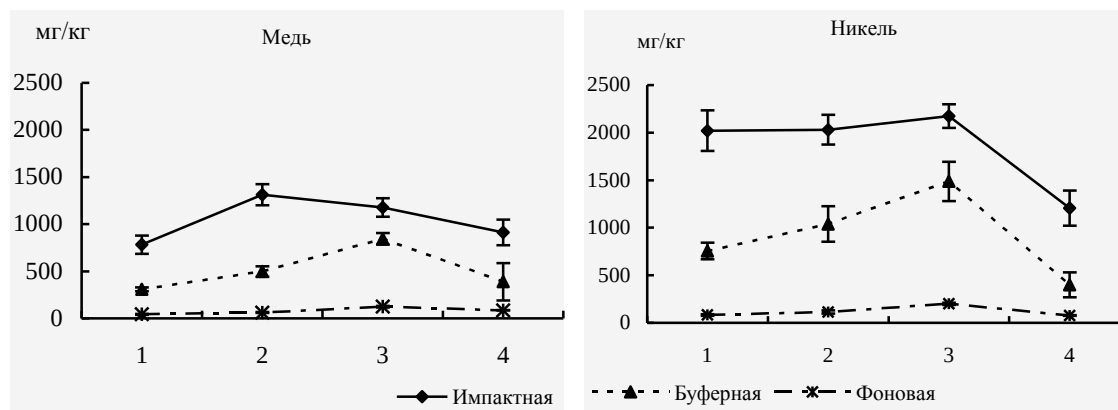


Рис. 1. Динамика содержания металлов в органическом горизонте лесных почв.
1 - 70-е; 2 – 80-е; 3 – 90-е; 4 – 2000-е гг.

В 2009 г. было выполнено зонирование наземных экосистем в сфере воздействия воздушных выбросов комбината «Североникель» на основании состояния почвенного покрова: содержания в почве тяжелых металлов, обменных катионов кальция и магния, значения pH, соотношения органической и минеральной частей почвы. Выделено 3 зоны, различающиеся по интенсивности загрязнения почв: зона сильного загрязнения – до 3.0 км от источника выбросов, зона среднего загрязнения распространяется до 25 км, зона слабого загрязнения до 50 км по розе ветров (табл. 1). Таким образом, мы отмечаем, что к настоящему времени в почвах, подверженных воздействию воздушных выбросов комбината «Североникель», содержание меди и никеля и фитотоксичность почв снизились незначительно относительно уровня 1980-х и начала 1990-х гг. Состояние почвенного покрова не улучшилось. Продолжаются процессы эрозии почвы, снижения доли органического вещества в подстилке, сокращения площади напочвенного растительного покрова.

Таблица 1

Зоны загрязнения почвы медью и никелем по состоянию на 2009-2011 гг.

Загрязнение	Расстояние, км	Содержание ТМ, мг/кг	
		Cu	Ni
Сильное	0-3	1330-3500	2500-4200
Среднее	3-25	300 -840	590-1460
Слабое	25-50	140-200	180-250
Отсутствует (фон)	>50	76	56
ПДК (Kloke, 1980)		100	50

В 2012 г. выполнено зонирование наземных экосистем в сфере воздействия воздушных выбросов комбината «Печенганикель» на основании тех же показателей (Евдокимова и др., 2014). Выделено 3 зоны, различающиеся по интенсивности загрязнения почв: сильного загрязнения - до 3.0 км от источника выбросов, среднего загрязнения - до 16 км, зона слабого загрязнения до 25-30 км в юго-западном направлении (рис. 2). Ранее Г.Н. Копчик с соавт. (1998) отмечали, что содержание Ni и Cu в непосредственной близости к комбинату «Печенганикель» составляло 2000-2600 мг/кг, а почва была токсичной для растений на расстоянии до 25-35 км. При сравнении наших результатов с данными, полученными 13 лет назад, можно констатировать, что загрязнение почвы в зоне воздействия газовоздушных выбросов комбината «Печенганикель» не снизилось за это время, но и не возросло.

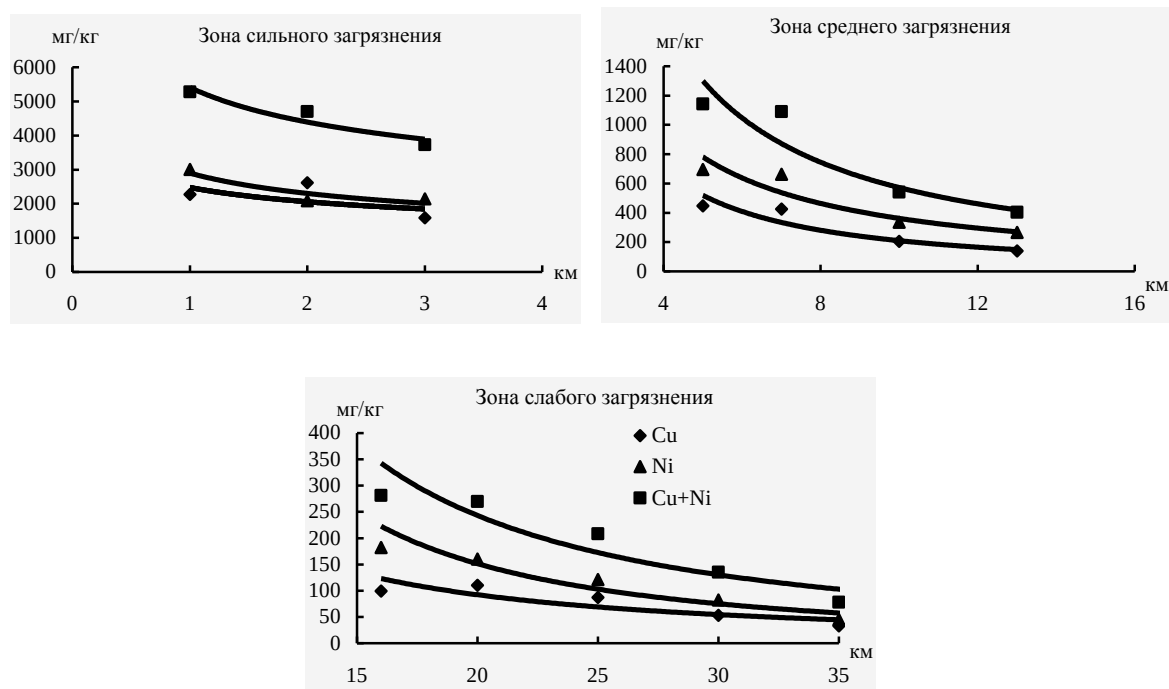


Рис. 2. Распределение содержания меди и никеля (мг/кг) по зонам загрязнения (средние величины)

В 2011 г. выполнен сравнительный анализ изменений свойств почвы, произошедших за последние 10 лет (Evdokimova, 2001) по градиенту загрязнения аэрогенными выбросами Кандалакшского алюминиевого завода в связи со снижением их объема в результате ввода газоочистных сооружений. Концентрация соединений основного загрязнителя фтора в атмосферных выпадениях и в органогенном горизонте почвы в зоне воздействия завода в 2011 г. достоверно снизилась относительно 2001 г. (рис. 3). Особенно значительное снижение отмечено для водорастворимых соединений фтора. В 2001 г. водорастворимые формы составляли в среднем 10% от валового содержания фтора, а 2011 г – 4%, т.е. содержание наиболее токсичных для биоты соединений фтора снизилось. Содержание Al уменьшилось только в непосредственной близости к заводу (до 2 км). Здесь же произошло снижение кислотности подстилок почти на 2 единицы pH (Евдокимова и др., 2013). В связи с уменьшением объема загрязняющих веществ в выбросах завода протяженность зоны максимального загрязнения почвы сократилась с 2.5 км до 1.5 км от источника выбросов, зоны сильного и умеренного загрязнений – на 5 км (табл. 2).

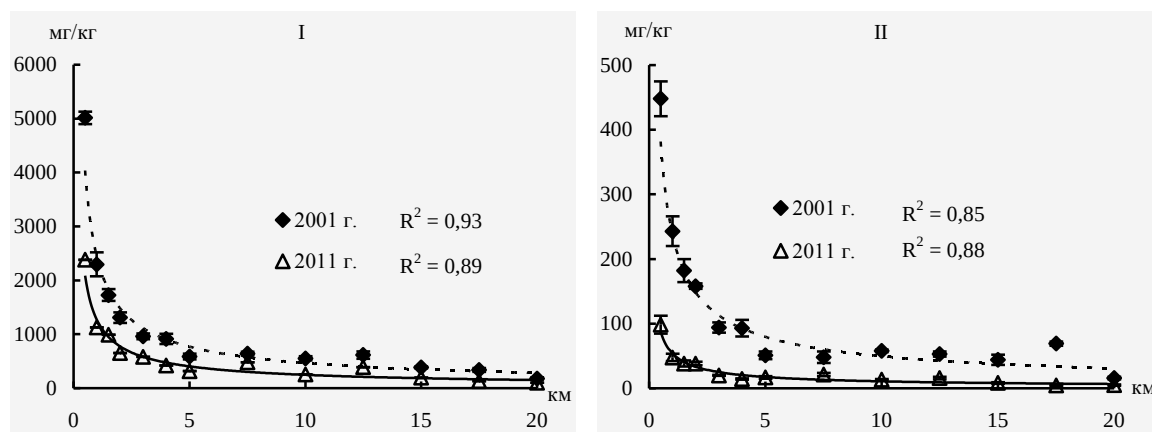


Рис. 3. Содержание фтора в почве (мг/кг) по градиенту загрязнения в 2001 и 2011 гг.
I – валовой; II – водорастворимый

Зоны загрязнения подстилок фтором в 2001 и 2011 гг.

Загрязнение	2001 г.		2011 г.	
	Расстояние от КАЗ, км	Содержание F, мг/кг	Расстояние от КАЗ, км	Содержание F, мг/кг
Максимальное	0-2.5	>1200	0-1.5	> 1000
Сильное	2.5-13	1200-400	1.5-8.0	1000-400
Умеренное	13-20	400-200	8.0-15	400-200
Отсутствует	>20	<200	>15	<200

Таким образом, естественный процесс самоочищения почв после загрязнения тяжелыми металлами длителен и возможен только до определенного уровня токсичных элементов в почве. Для подзолистых почв критический уровень по меди равен 200 мг/кг, по никелю – 400 мг/кг почвы (Evdokimova, 1995). До этого уровня почва еще способна к естественному самоочищению, и микроорганизмы в такой среде осуществляют нормальную средорегулирующую деятельность.

Процесс самовосстановления почв, безусловно, должен ускориться при полном прекращении атмосферных выбросов. Окультуренную подзолистую почву, находящуюся в зоне интенсивного воздушного загрязнения выбросами медно-никелевого предприятия в течение 10 лет, мы переместили в «чистые» условия (из-под Мончегорска – под Апатиты). Слой в 30 см ее засыпали в полиэтиленовые сосуды без дна, что исключало поверхностный и боковой стоки. Почву содержали в состоянии пара. Вынос меди и никеля из верхнего 0-10 см слоя загрязненной почвы наиболее интенсивно происходил в течение первого года ее пребывания в «чистых» условиях (рис. 4). В течение 3.5 мес. содержание Cu и Ni снизилось в 2 раза, в основном, за счет выноса подвижных форм их соединений. Так, содержание водорастворимых соединений Cu уменьшилось за этот период в 2 раза, Ni – в 4 раза. Оставшееся количество металлов в течение последующих 5 лет практически не уменьшалось. Процесс убыли металлов из почвы продолжился только после внесения навоза и образования низкомолекулярных комплексов между растворимыми органическими соединениями, содержащимися в навозе, и тяжелыми металлами и миграции этих комплексов вниз по профилю почвы.

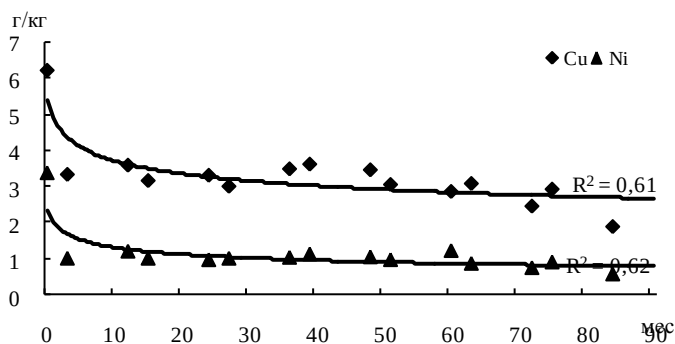


Рис. 4. Вынос меди и никеля из почвы после перемещения ее из эпицентра в «чистые условия»

За 8 лет при исключении воздушных выпадений количество меди в загрязненной почве уменьшилось в 3 раза, никеля – в 6 раз. На основании полученных данных был рассчитан период удаления меди и никеля до уровня их ПДК в почве. Концентрация меди до уровня ПДК снизится в почве за 100 лет, никеля – за 108 лет (Evdokimova, Mozgova, 2003). Эти материалы согласуются с имеющимися литературными данными (Iimura et al., 1977).

Литература

1. Евдокимова Г.А. Микробиологическая активность почв при загрязнении тяжелыми металлами // Почвоведение, 1982. № 6. С. 125-132.
2. Евдокимова Г.А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995. 272 с.
3. Евдокимова Г.А., Калабин Г.Н., Мозгова Н.П. Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия воздушных выбросов комбината «Североникель» // «Почвоведение», 2011. № 2. С. 261-268.

4. Евдокимова Г.А., Корнейкова М.В., Мозгова Н.П. Изменения свойств почв и почвенной биоты в зоне воздействия аэротехногенных выбросов Кандалакшского алюминиевого завода // Почвоведение, 2013. № 10. С. 1274–1280.
5. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Влияние выбросов предприятия цветной металлургии на почву в условиях модельного опыта // Почвоведение, 2000. № 5. С. 630-638.
6. Кончик Г.Н., Недбаев Н.П., Кончик С.В., Павлюк И.Н. Загрязнение почв лесных экосистем тяжелыми металлами под влиянием атмосферных выбросов комбината «Печенганикель» // Почвоведение, 1998. № 8. С. 988-995.
7. Evdokimova G.A. Fluorin in the soils of the White Sea Basin and bioindication of pollution. Chemosphere. 2001. 42. P. 35-43.
8. Evdokimova G.A., Mозгова N.P. Restoration of properties of cultivated soils polluted by copper and nickel // Journal of Environmental Monitoring, (JEM). 2003. Vol. 5. № 4. P. 667-670.
9. Iimura K., Ito H., Chino M., Morishita T., Hirata H. Behavior of contaminant heavy metals in soil-plants system // Proc. Inst. Sem. SEFMIA. Tokio. 1977. 357 p.

Елькина Г.Я., Лантева Е.М.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
elkina@ib.komisc.ru

ЗАПАСЫ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В КУСТАРНИЧКОВО-ЛИШАЙНИКОВО-МОХОВОЙ ТУНДРЕ

Изучение параметров биологического круговорота элементов, запасов их в составе растительных сообществ является актуальным как для экологической характеристики биоценозов, так и для проведения мониторинга. Роль последнего увеличивается в связи с промышленным развитием территорий и опасностью атмосферного загрязнения ландшафтов тяжелыми металлами в результате трансграничного переноса воздушных масс. Устойчивость биоценозов в условиях антропогенной нагрузки во многом определяется стабильностью биологического круговорота. Актуальность исследований обусловлена тем, что запасы микроэлементов в почвах Большеземельской тундры изучены недостаточно, сведения по некоторым из элементов отсутствуют. Значимость выполняемой работы возрастает в условиях наблюдаемого изменения температурных параметров, которые не могут не отразиться на круговороте элементов.

Нами изучалось содержание микроэлементов, жизненная необходимость, которых для растений установлена, это цинк, медь, кобальт, а также никеля, свинца и кадмия, роль, которых в растениях до конца не ясна. В высоких концентрациях все эти элементы, относящиеся к тяжелым металлам (ТМ), оказывают токсическое действие на растения. Наибольшей токсичностью из ТМ обладает кадмий (Kabata-Pendias, 1999).

Исследования проводили в Воркутинском районе Республики Коми, в кустарничково-лишайниково-моховой тундре с морозобойными пятнами (67°35.4' с.ш., 64°09.9' в.д., 150 м н.у.м.). Участок, где закладывали трансект для определения мозаичности растительных сообществ (1 м²10 м) и пробные площадки для учета биомассы (0.2 м²10 м), расположен на склоне юго-юго-западный экспозиции с небольшим (около 3°) уклоном. Почва тундровая торфянисто-глееватая мерзлотная. Строение профиля О1 (0-12) – Вгу (12-70) – Сg₁ (70-80).

Определение микроэлементов в растениях осуществляли после разложения смесью азотной кислоты и перекиси водорода на СВЧ - минерализаторе “Минотавр-1” методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ПНДФ 16.1:2.3: 3.11-98). Анализы выполнялись в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии.

Полевые исследования показали, что из растений на участке преобладают гипновые зеленые мхи (*Hylocomium splendens*). Пятнами встречаются лишайники, наиболее распространены цетрария исландская (*Cetraria islandica*) и цетрария снежная (*Cetraria nivalis*). Видовой состав сосудистых растений невелик. Из кустарников встречаются ива филиколистная (*Salix phylicifolia*) и береза карликовая (*Betula nana*), из кустарничков – голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum*) и брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea*), из травянистой растительности – осока шаровидная (*Carex globularis*) и овсяница овечья (*Festuca ovina*). Биоценоз представлен тремя растительными

сообществами: кустарничково-моховое, кустарничково-лишайниково-моховое, кустарничково-лишайниковое, площади под которыми составляют соответственно 65.6, 17.9 и 16.5%.

Аккумуляция минеральных элементов в биоценозах в значительной мере определяется составом растительных сообществ, величиной сформировавшейся биомассы, содержанием этих элементов в произрастающих растениях, в их разлагающихся остатках, а также скоростью биологического круговорота.

Максимальная фитомасса (29.0 т/га) сосредоточена в кустарничково-моховом сообществе, на 57.3% она представлена мхами. Доминирование мхов ведет к замедленному биологическому круговороту: мортмасса (103.1 т/га) значительно превышает массу живых растений. Минимальный запас фитомассы (15.7 т/га) формируется в кустарничково-лишайниковом биоценозе, доля лишайников в ней составляет 76.1%. Запас мортмассы в сообществе с лишайниками также невелик – 28.3 т/га. Кустарничково-лишайниково-моховое сообщество занимает промежуточное положение.

Общая фитомасса кустарничково-мохово-лишайниковой тундры (с учетом площадей, занимаемых выделенными сообществами) составляет 25.5 т/га. Более половины (50.3%) из нее приходится на мхи, 25.5% на кустарники и кустарнички. Мортмасса, существенно превышая массу живых растений, составляет 85.2 т/га.

В растениях тундровых сообществ наиболее велико содержание цинка, менее всего кадмия (табл. 1). Цинком более богаты кустарники особенно ива. Меньше его содержат листостебельные мхи. Медью наиболее богата голубика. Во мхах ее немного (6.3-8.7 мг/кг). Близко к этому содержание меди и в кустарниках. Особенно низкое содержание меди, как и цинка, характерно для лишайников.

По содержанию никеля растения незначительно отличаются друг от друга, больше его во мхах. Содержание свинца также более значительно во мхах и лишайниках. Максимальное количество кадмия приходится на побеги и листья ивы (1.3-2.2 мг/кг). В преобладающих в тундре споровых растениях его содержание ниже. Содержание кадмия в травянистых растениях очень низкое. Корни, играющие роль барьера, сдерживают поступление токсичного элемента в растения. Содержание остальных элементов в корнях трав также выше. Наиболее значительная разница между содержанием элементов в корнях и надземной массе характерна для меди и свинца.

Если оценивать содержание элементов в лишайниках с точки зрения кормовой базы для оленеводства, то содержание всех изученных элементов, за исключением никеля, ниже максимально-допустимого уровня (МДУ) для грубых кормов (Временный..., 1987). Содержание никеля превышает регламентируемые пределы. Количество цинка в побегах и листьях ивы и березы выше МДУ, также как и кадмия в побегах и листьях ивы, что может быть связано с антропогенным загрязнением ландшафта.

В разложившихся остатках мхов содержание изученных элементов выше в среднем в 2.8 раза. Больше всего элементы аккумулируются в остатках с большей степенью разложения. В мортмассе выше содержание свинца, кобальта и никеля, эти элементы меньше используются растениями.

Кустарничково-моховое сообщество отличается наибольшими запасами микроэлементов как в фитомассе, так и в мортмассе. В целом в растениях и в разлагающихся органических остатках больше всего сосредоточено цинка, затем никеля, меди, менее всего кадмия (табл. 2). В кустарничково-лишайниково-моховом биоценозе запасы микроэлементов несколько ниже. Доминирование мхов, отличающихся медленной скоростью разложения, при незначительном обилии сосудистых растений с более быстрой ротацией, приводит к замедленному биологическому круговороту. Основная часть запасов микроэлементов (69-94%) сосредоточена в остатках листостебельных мхов.

Наиболее низкая аккумуляция микроэлементов характерна для биоценоза с преобладанием лишайников. Разложение лишайников происходит более интенсивно. Большая интенсивность минерализации лишайников по сравнению со мхами помимо особенностей растений обусловлена различиями в водном и тепловом режимах в местах их обитания. Произрастающие на более высоких и дренированных элементах микрорельефа лишайники несколько лучше обеспечены теплом, а аэробные условия способствуют некоторому росту микробиологической активности.

В целом в фитомассе и мортмассе тундровых биоценозов в большей мере накапливается цинк. Менее значительна аккумуляция никеля, меди и свинца. Суммарные запасы кобальта и кадмия не велики. В вегетирующих растениях более высока доля цинка (26.0%), и меди (22.9%), наиболее низко относительное количество кобальта (5.4%). Основные запасы (более 90%) кобальта, никеля и свинца сосредоточены в отмерших остатках растений. Цинк и медь в большей мере, чем остальные элементы участвуют в физиологических процессах, вследствие чего относительное количество этих элементов в живых органах выше.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в биоценозах кустарничково-мохово-лишайниковой тундры

Растение, органы, состояние		Cu		Pb		Cd		Zn		Ni		Co	
		мг/кг	±Δ	мг/кг	±Δ	мг/кг	±Δ	мг/кг	±Δ	мг/кг	±Δ	мг/кг	±Δ
Мох		6.3	1.3	3.6	0.9	0.47	0.24	64	13	6.5	2.3	1.4	0.6
Мох слабо разложившийся		13.0	3.0	10.0	3.0	1.10	0.60	96	19	6.9	2.4	3.2	1.3
Мох средне разложившийся		16.7	3.5	15.0	4.0	1.20	0.60	95	19	20.5	7.0	5.0	2.0
Мох разложившийся		16.7	3.5	12.7	3.3	1.10	0.60	71	14	25.5	9.0	9.7	3.8
Лишайники		4.7	1.0	5.2	1.3	0.34	0.17	23	5	4.8	1.7	1.1	0.4
Лишайники разложившиеся		21.0	4.0	16.0	4.0	1.40	0.70	90	18	22.5	8.0	6.3	2.5
Ива филиколистная:	побеги	5.2	1.0	0.9	0.2	2.20	1.10	350	70	3.4	1.2	0.6	0.2
	листья	4.0	0.8	1.1	0.3	1.30	0.70	190	40	3.2	1.1	1.1	0.4
	корни	4.7	0.9	4.8	1.2	1.40	0.70	230	50	4.4	1.6	0.7	0.3
Береза карликовая:	побеги	6.6	1.3	1.6	0.4	0.23	0.12	250	50	2.8	1.0	0.4*	-
	листья	4.7	1.0	1.4	0.4	0.06*	-	240	50	2.5	0.9	0.4*	-
	корни	5.4	1.1	1.5	0.4	0.56	0.28	170	30	2.9	1.0	0.4*	-
Кустарники, отмершие остатки		5.6	1.1	2.3	0.6	0.57	0.29	160	30	4.6	1.6	1.3	0.5
Брусника		4.6	0.9	0.8	0.2	0.40	0.20	39	8	1.6	0.6	0.3*	-
Голубика		25.0	5.0	1.5	0.4	0.52	0.26	68	14	2.2	0.8	0.2*	-
Травы:	надземная часть	4.1	0.8	0.5	0.1	0.13	0.07	60	12	2.4	0.9	0.4*	-
	корни	91.0	18.0	7.6	1.9	1.10	0.60	140	28	10.0	4.0	2.4	1.0
	отмершие остатки	10.0	2.0	5.4	1.4	0.80	0.40	54	11	9.0	3.0	2.8	1.1

* Содержание ниже чувствительности метода.

Таблица 2

Запасы микроэлементов в биоценозах кустарничково-мохово-лишайниковой тундры

Биомасса	Запасы элементов, кг/га					
	Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Co
Кустарничково-моховое сообщество						
Живые растения	0.51	0.11	0.019	3.42	0.19	0.04
Отмершие остатки	1.77	1.43	0.125	9.81	2.22	0.75
Общая	2.28	1.55	0.144	13.23	2.41	0.79
Кустарничково-лишайниково-моховое сообщество						
Живые растения	0.39	0.11	0.013	2.26	0.16	0.04
Отмершие остатки	1.35	1.14	0.106	5.99	1.78	0.57
Общая	1.75	1.25	0.118	8.25	1.93	0.60
Кустарничково-лишайниковое сообщество						
Живые растения	0.24	0.09	0.007	0.89	0.09	0.02
Отмершие остатки	0.63	0.46	0.042	2.70	0.67	0.19
Общая	0.86	0.54	0.049	3.59	0.75	0.21
Тундра в целом, кг/га						
Живые растения	0.45	0.11	0.016	2.79	0.17	0.04
Отмершие остатки	1.51	1.22	0.108	7.95	1.88	0.62
Общая	1.95	1.33	0.123	10.74	2.05	0.66
Тундра в целом, % от общих запасов						
Живые растения	22.9	8.2	12.8	26.0	8.1	5.4
Отмершие остатки	77.1	91.8	87.2	74.0	91.9	94.6

Скорость кругооборота микроэлементов (как соотношение между количеством элементов в растительных остатках к количеству их в органах растений) в основном определяется потребностью растений. Наиболее интенсивный кругооборот характерен для меди (3.4), цинка (2.8), средний – для кадмия (6.8), низкий – для кобальта, никеля и свинца (17.5, 11.4, 11.2). Достаточно высокая интенсивность круговорота кадмия может быть связана с поступлением элемента в качестве загрязняющего. Скорость цикла большинства элементов в биоценозах с преобладанием лишайников выше, чем в сообществах с доминированием листостебельных мхов. Это, как уже указывали, приводит к менее значительной аккумуляции элементов. Скорость круговорота цинка в отличие от других элементов близка для всех биоценозов. В целом же доминирование мхов при незначительном обилии сосудистых растений с более быстрой ротацией способствует замедленному кругообороту элементов.

Таким образом, аккумуляция микроэлементов в биоценозах тундры в значительной мере определяется составом растительных сообществ, величиной сформировавшейся биомассы, содержанием элементов в произрастающих растениях и в их разлагающихся остатках и скоростью биологического круговорота. Запасы элементов в общей массе органического вещества кустарничково-лишайниково-моховой тундры могут быть представлены рядом: $Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, в живых растениях: $Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd$.

Литература

1. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М.: Госагропром СССР, ГУ ветеринарии, 1987. 5 с.
2. Kabata-Pendias A. Trace metals in soils – agricultural and ecological assessment // Biogeochemistry and Geochemical Ecology / Ecology and the biogeochemical study of taxons of the biosphere. Moscow: GUN NPC TMG MZ RF, 1999. P. 57-65.

Ершов В.В.¹, Лукина Н.В.²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
Slavo91@gmail.ru

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва
lukina@cepl.rssi.ru

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ СОСТАВА ПОЛЛЮТАНТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Кольский полуостров – наиболее индустриально развитый регион на Севере. Крупнейшим источником воздушного промышленного загрязнения в регионе является медно-никелевый комбинат «Североникель». В 1969 году комбинат приступил к переработке норильских руд с высоким содержанием S (до 30%) и более богатых, чем местное сырье, тяжелыми металлами, и уровень промышленных выбросов резко вырос. В 70- и 80-ые годы выбросы SO² в среднем превышали 250 тыс. т/год, в последние годы они заметно уменьшились вследствие сокращения производства. Учитывая снижение объемов производства и количества выбросов загрязняющих веществ ОАО «Кольская ГМК» площадка Мончегорск, важно проследить изменения, происходящие в составе атмосферных выпадений.

На территории Кольского полуострова в начале 90-х годов ИППЭС КНЦ РАН создана и более 20 лет успешно функционирует сеть биогеохимического мониторинга в зонах влияния медно-никелевого комбината «Североникель», оборудованная на уровне международных стандартов.

Цель исследований: изучение многолетней динамики основных поллютантов (соединений серы, никеля и меди) в выпадениях в форме дождя в хвойных лесах, подверженных воздушному загрязнению выбросами комбината «Североникель».

Объекты и методы исследования. Исследования атмосферных выпадений проводили на стационарных пробных площадях, представляющих сосновые и еловые леса Кольского полуострова в естественных условиях и в условиях воздушного промышленного загрязнения с 1991 по 2011 годы. Мониторинговые станции находятся на различном удалении от источника загрязнения (комбинат «Североникель»): 8 км - в зоне техногенного редколесья, 31 км - в зонах с различной степенью дефолиации и более 250 км – фоновая территория.

Объектами исследований послужили ельники кустарничково-зеленомошные и сосняки кустарничково-лишайниковые, произрастающие на подзолистых Al-Fe-гумусовых почвах, как наиболее распространенные на Кольском Севере типы еловых и сосновых биогеоценозов (Раменская, 1983).

Осадкоприемники дождевых вод представляют собой пластиковые трубы диаметром 14.5 мм. Внутри трубы помещается полиэтиленовый пакет вместимостью до 3 литров, закрепляемый специальным колпаком. Для предотвращения попадания растительного опада, насекомых, прочих частиц поверхность трубы перед закреплением колпаком покрывается съемной мелкоячеистой сеткой из синтетического материала. Осадкоприемники установлены на мониторинговых площадках стационарно под кронами деревьев и в межкروновых пространствах. Образцы дождевых выпадений в период с мая по октябрь отбирали ежемесячно, в полевых условиях с помощью пластиковой мерной посуды измеряли объем дождевых вод, скопившихся в каждом осадкоприемнике за месячный период. Для анализа отбирали аликвотную часть пробы (не менее 250-300 мл). В день отбора пробы транспортировали в лабораторию, затем пробы замораживали и хранили в морозильной камере при -18⁰С до начала анализов. После размораживания каждую пробу аналитической партии фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента» (диаметр пор 1-2.5 мкм), определяли катионы (никель и медь) - методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии, SO₄²⁻ методом ионообменной хроматографии.

Результаты исследований. Результаты исследований показали, что концентрации поллютантов в дождевых выпадениях в еловых лесах выше, чем в сосновых (табл. 1, 2, 3). Исключение составляет фоновая территория. Концентрации никеля, меди и сульфатов под кронами деревьев, значительно выше, чем в межкроновом пространстве, как в сосновых, так и в еловых лесах. При меньшем объеме осадков, в подкroновое пространство, поступает большее количество элементов из-за смыва их соединений с поверхности кроны, которая обладает высокой сорбирующей способностью, а также выщелачивания из поврежденной хвои.

Таблица 1

Динамика концентрации поллютантов в дождевых выпадениях еловых лесов, мг/л

Расстояние от источника, км	Периоды, лет	Ni	Cu	SO ₄ ²⁻
270	1991-1995			
	1996-2000	<u>0.001*</u> 0.002**	<u>0.003</u> 0.006	<u>1.103</u> 1.453
	2001-2005	<u>0.001</u> 0.001	<u>0.004</u> 0.005	<u>0.842</u> 1.075
	2006-2011	<u>0.0005</u> 0.001	<u>0.002</u> 0.003	<u>0.708</u> 1.537
31	1991-1995	<u>0.012</u> 0.155	<u>0.009</u> 0.3	<u>3.057</u> 22.987
	1996-2000	<u>0.012</u> 0.164	<u>0.106</u> 0.22	<u>3.425</u> 19.213
	2001 - 2005	<u>0.008</u> 0.138	<u>0.016</u> 0.135	<u>3.398</u> 13.302
	2006 - 2011	<u>0.005</u> 0.102	<u>0.003</u> 0.062	<u>2.128</u> 11.474
8	1991 - 1995	<u>0.329</u> 1.075	<u>0.498</u> 2.365	<u>10.545</u> 20.498
	1996 - 2000	<u>0.288</u> 0.809	<u>0.378</u> 1.27	<u>9.847</u> 21.268
	2001 - 2005	<u>0.088</u> 1.01	<u>0.097</u> 0.966	<u>4.623</u> 16.576
	2006 - 2011	<u>0.11</u> 0.635	<u>0.058</u> 0.35	<u>5.453</u> 12.448

Примечание: В таблицах 1 и 2: *- межкروновые пространства, ** – подкroновые.

Таблица 2

Динамика концентрации поллютантов в дождевых выпадениях сосновых лесов, мг/л

Расстояние от источника, км	Периоды, лет	Ni	Cu	SO ₄ ²⁻
270	1991-1995			
	1996-2000	<u>0.001</u> 0.001	<u>0.002</u> 0.004	<u>1.492</u> 1.928
	2001-2005	<u>0.0002</u> 0.0008	<u>0.002</u> 0.008	<u>0.827</u> 1.963
	2006-2011	<u>0.0007</u> 0.002	<u>0.001</u> 0.004	<u>0.793</u> 2.032
31	1991-1995	<u>0.006</u> 0.026	<u>0.01</u> 0.017	<u>2.55</u> 4.03
	1996-2000	<u>0.087</u> 0.134	<u>0.127</u> 0.162	<u>8.912</u> 10.102
	2001-2005	<u>0.006</u> 0.045	<u>0.009</u> 0.047	<u>3.115</u> 6.223
	2006-2011	<u>0.003</u> 0.046	<u>0.004</u> 0.027	<u>1.822</u> 5.728
8	1991-1995	<u>0.229</u> 0.153	<u>0.205</u> 0.42	<u>3.842</u> 7.432
	1996-2000	<u>0.177</u> 0.384	<u>0.252</u> 0.556	<u>6.76</u> 11.847
	2001-2005	<u>0.052</u> 0.445	<u>0.059</u> 0.452	<u>3.608</u> 10.681
	2006-2011	<u>0.177</u> 0.295	<u>0.122</u> 0.197	<u>5.991</u> 10.002

Еловые леса. В еловых лесах, на фоновой территории, снижение концентрации тяжелых металлов и сульфатов в дождевых выпадениях в межкроновом пространстве отмечается в период 2006-2011 гг. данной тенденции не наблюдается для сульфатов под кронами деревьев (табл. 1, 3).

В дефолирующих еловых лесах (31 км от источника загрязнения) в период 2001-2011 гг. происходит значительное снижение концентраций никеля, меди и сульфатов, как под кронами, так и между крон.

В техногенных еловых редколесьях (8 км от комбината «Североникель») в период 2006-2011 гг. снижение концентраций серы и никеля наблюдается только в подкроновом пространстве. Между кронами данная тенденция не обнаружена, напротив, наблюдается увеличение содержания этих элементов в дождевых выпадениях. По меди снижение концентраций наблюдается как под кронами, так и в межкроновых пространствах.

Таблица 3

Сравнение концентраций элементов под кроной и между кронами, р

Фитоценоз	Ni	Cu	SO ₄ ²⁻	Ni	Cu	SO ₄ ²⁻
	Ель			Сосна		
Ненарушенные леса (фон)	0.0397	0.005	0.0008	0.00001	0.00001	0.00001
Дефолирующие леса	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Техногенное редколесье	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001

Сосновые леса. В сосновых лесах на фоновой территории, в период 2006-2011 гг. наблюдается увеличение концентраций никеля как под кроной, так и в межкроновом пространстве, и сульфатов под кроной, для меди данной тенденции не обнаружено, напротив, можно увидеть снижение концентраций (до 2 раз) как в подкроновом пространстве, так и между кронами (табл. 2, 3).

В дефолирующих сосновых лесах снижение концентраций сульфатов и тяжелых металлов, обнаруживается в период 2001-2005 гг., как в подкроновых, так и в межкроновых пространствах. В период 2006-2011 гг., данная тенденция продолжается, исключение составляет никель, его содержание в подкроновом пространстве увеличивается.

В техногенных сосновых редколесьях в период 2001-2005 гг. наблюдается снижение концентраций меди и сульфатов в обеих парцеллах, у никеля данная тенденция наблюдается только под кроной. В период 2006-2011 гг. наблюдается резкое увеличение содержания тяжелых металлов и сульфатов в межкроновом пространстве, под кроной данная тенденция не выявлена.

Заключение

Анализ динамики состава выпадений в форме дождя на разных стадиях дигрессии показал, что снижение концентраций основных поллютантов (меди, никеля и сульфатов) наблюдается в основном в подкроновых пространствах. Снижение концентраций поллютантов в атмосферных выпадениях еловых и сосновых лесов наблюдается не ранее 2001 года. Продолжающаяся аэротехногенная нагрузка не способствует достижению фонового уровня, но тенденции к снижению наблюдаются.

Таким образом, выполнен анализ многолетних данных по составу дождевых выпадений по градиенту загрязнения выбросами комбината «Североникель». Выпадения в форме дождя в бореальных лесах преобразуются двумя доминирующими древесными породами – елью сибирской и сосной обыкновенной. Прошедшие сквозь полог этих деревьев осадки становятся более концентрированными, ель осуществляет более глубокую трансформацию из-за более мощной кроны. Отсутствие тенденций к снижению вблизи источника выбросов, либо слабо выраженное снижение концентраций основных поллютантов (меди, никеля и сульфатов), скорее всего, связаны с интенсивным процессом седиментации тяжелых частиц.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», проект: «Водная миграция органического углерода, элементов питания и поллютантов в северотаежных лесах».

Литература

1. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л., 1983. 237 с.
2. Рассеянные элементы в бореальных лесах / Никонов В.В., Лукина Н.В., Безель В.С. и др.; Отв. ред. А.С. Исаев. М.: Наука, 2004. 616 с.

МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ГОРНЫХ БЕРЕЗОВЫХ РЕДКОЛЕСИЙ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Для Печоро-Илычского государственного заповедника характерно высокое разнообразие растительных комплексов. Здесь представлены самые разные типы растительности – от равнинных лесов до высокогорных тундр. Одним из приоритетных направлений исследований в заповеднике являются изучение биологического разнообразия природных комплексов на ландшафтном, биоценотическом, видовом и генетическом уровнях (Природное наследие..., 2012). Несмотря на достаточно длительную историю исследований, особенности почв и растительного покрова Печоро-Илычского заповедника (особенно в труднодоступных районах) всё еще изучены недостаточно (Жангуров и др., 2012). В частности, крайне малочисленны сведения о разнообразии и генетических особенностях почв горной ландшафтной зоны в пределах подгольцового растительного пояса, дискуссионными являются вопросы классификации и диагностики этих почв. Целью данной работы явилось выявление разнообразия и генетических особенностей почв горных березовых редколесий, ландшафтно-экологических условий их формирования и определение классификационной принадлежности почв согласно новой «Классификации и диагностики почв России» (2004).

С 2009 по 2013 г. нами исследованы почвы и растительный покров нескольких горных хребтов северной части заповедника: Кычил-из, Маньхамбо и Маньпупунёр, которые расположены в верхнем и среднем течении р. Илыч. Исследованиями были охвачены преимущественно подгольцовый и горно-тундровый вертикальные пояса в интервале высот от 550 до 820 м над ур. м.

Разрезы для характеристики почв закладывали в фитоценозах основных ассоциаций исследуемого типа растительности и сопровождали детальными геоботаническими описаниями, которые были выполнены по стандартным методикам (Нешатаев, 1987; Ипатов, 1998). При классификации описаний в основу был положен эколого-фитоценотический подход. Физико-химические свойства почв определяли по стандартным методикам (Теория и практика..., 2006).

На Северном Урале в подгольцовом поясе на высотах от 550 до 720 м над ур. м. облик ландшафтов определяют редколесья, сформированные *Betula pubescens*, которые мы относим к субформации *Montano-Betuleta* формации *Pubescenti-Betuleta* (Дёгтева и др., 2009). Неблагоприятные экологические условия определяют специфический габитус деревьев: низкие показатели высоты и диаметра стволов, их искривленность. Разнообразие и особенности морфологического строения почв горных березовых редколесий Северного Урала в значительной степени определяются характером растительного покрова и литолого-геоморфологическими особенностями склона (крутизной и глубиной подстилания элювиально-делювиальных мелкоземисто-щебнистых отложений). Всего были исследованы 10 почвенных разрезов. Рассмотрим наиболее распространенные типы почв.

Разрез 8-С.У.-2011 заложен на пологом склоне хребта Маньхамбо в березовом редколесье зеленомошного типа насаждений (ассоциация *Montano-Betuletum fruticulosum-hylocomiosum*). Сомкнутость древесного яруса 0.4. Первый разреженный полог сформирован деревьями ели, высота которых достигает 6 м, диаметр стволов 18-20 см. Второй полог является основным (сомкнутость 0.3-0.4) и на 100% состоит из березы. Состав и структура нижних ярусов сообщества (табл.) типичны для данной ассоциации (Дёгтева, Дубровский, 2012). Микрорельеф не выражен, однако на дневной поверхности часто присутствуют россыпи крупно- и мелкообломочного материала горных пород (преимущественно гранитов, кварцитов с размерами 0,5-1.0 м), которые в большом количестве присутствуют в пределах всего почвенного профиля. Формирующиеся в этих условиях почвы отчетливо дифференцированы на генетические горизонты. Строение профиля: O(0-8)-E(8-18)-BF(18-30)-BC(30-50)-C(50-60). Под маломощной слабо разложившейся оторфованной грубогумусовой подстилкой O формируется подзолистый горизонт E – серовато-белесый, супесчаный, щебнистый. Ниже сформирован иллювиально-железистый горизонт BF – желтовато-коричневый, местами коричневатобурый обильно щебнистый опесчаненный легкий суглинок. Переход в горизонт BC постепенный по увеличению содержания обломков горных пород, с глубины 35-40 см скелетно-грубообломочная часть резко возрастает. Согласно «Классификации и диагностики почв России» (КиДПР, 2004) почвы диагностируются как подзолы иллювиально-железистые и, как правило, образуют достаточно однородный почвенный покров рассматриваемых березовых редколесий.

Благодаря хорошей дренированности застоя влаги не происходит, поэтому морфологических признаков оглеения не наблюдается.

Физико-химические свойства и валовой химический состав отражают характерные свойства подзолов: кислую и сильноокислую реакцию среды (рН вод. 4.3-5.1), очень низкую степень насыщенности основаниями (5-7%), элювиально-иллювиальное распределение общего углерода, валовых форм R_2O_3 , а также оксалат- и дитионитрастворимых форм Fe_2O_3 .

Молекулярное отношение C: N в минеральных горизонтах составляет 14-16, что сближает их с аналогичными подзолами горно-лесного пояса.

Разрез 7-С.У.-2011 заложен на более пологом участке склона хребта Маньхамбо (табл.) в луговико-чернично-зеленомошном сообществе (ассоциация *Montano-Betuletum avenelloso-myrtilloso hylocomiosum*). Для данного участка склона характерны относительно благоприятные условия для скопления мелкозема (глубина подстилания коренных горных пород начинается с 70-80 см). Общая сомкнутость древостоя 0.4-0.6. Высота основного полога 3-6 м, диаметр стволов березы 6-18 см. Для нижних ярусов (табл.) характерно содоминирование черники и луговика, а также преобладание зелёных мхов.

Формирующиеся здесь почвы диагностируются по наличию системы подстильно-торфянистого (О), подзолистого (Е), иллювиально-железистого (BF) и специфически оструктуренного криометаморфического (CRM) горизонта. Из всего разнообразия морфологических свойств исследуемой почвы наиболее важным диагностическим признаком представляется наличие и степень выраженности специфического криогеннооструктуренного горизонта CRM с рассыпчатой комковато-ореховатой или угловато-крупитчатой структурой. В «Классификации и диагностике почв России» (2004) этот горизонт выделен как криометаморфический. Размеры структурных отдельностей колеблются от 3-4 до 7-10 мм, возрастают с глубиной. Прослеживается горизонтальная делимость почвенной массы, однако плитки непрочные, рассыпаются на мелкие отдельности. Морфохроматические признаки оглеения отсутствуют. Почвы с подобным строением профиля диагностируются как тип светлосезмов иллювиально-железистый в отделе криометаморфических почв. Для описываемого региона Северного Урала эти почвы описаны нами впервые.

На верхней границе распространения березовых редколесий (на границе с горно-тундровым поясом) на высотах 570-700 м над ур. м. выражены пологие нагорные террасы, на которых в зимний период накапливается снег, что создает более благоприятные условия для существования сообществ с хорошо развитым травостоем. Березовые редколесья травяного типа насаждений характеризуются высоким уровнем видового разнообразия сосудистых растений (Дёгтева и др., 2009; Дёгтева, Дубровский, 2012) и часто чередуются с участками горных лугов и зарослями кустарников. Мощно развитый травостой угнетает мхи и особенно лишайники, ОПП напочвенного покрова не превышает 15%. В березовых редколесьях травяного типа нами были заложены 2 разреза (11-С.У.2011 и 8-С.У.-2013).

Разрез 11-С.У.-2011 заложен на хребте Маньхамбо в ложбине стока временного водотока. Растительность представлена вейниковыми редколесьями (ассоциация *Montano-Betuletum calamagrostidosum*). Наличие хорошо развитого яруса из представителей таёжного высокотравья обуславливает формирование в верхней части профиля почв отчетливо выраженного дернового серогумусового горизонта АУ, постепенно переходящего в однородную мелкоземистую толщу. Формирующиеся в этих условиях почвы отличаются специфическими особенностями, связанными с характером почвообразующих пород, представленных средне- и тяжелосуглинистыми отложениями, которые не связаны генетически с подстилающими горными породами и, очевидно, являются переотложенным материалом с верхней части склона. Отсутствие включений щебня и обломков коренных пород в пределах почвенного профиля также свидетельствует о делювиальном генезисе маломощных мелкоземистых отложений. Почвенный профиль слабо дифференцирован на генетические горизонты. Средняя и нижняя часть профиля представлена гумусированной стратифицированной толщей и вследствие периодического поступления минерального материала водной аккумуляцией имеет слабые признаки горизонтальной слоистости (неоднородности). С глубины 50 см идет резкий литологический переход к массивной плите коренной горной породы. Строение профиля: О-АУ-РУ-плита породы. Почва диагностируется как стратозем серогумусовый. По физико-химическим свойствам они отличаются достаточно высоким содержанием органического углерода (3-4%) и равномерно-аккумулятивным его распределением по всему профилю. Молекулярное отношение C:N в минеральных горизонтах 11-13, что свидетельствует о высоком биологическом круговороте.

Типы почв и особенности растительного покрова горных березовых редколесий

Абс. высота, м н.у.м.; экспозиция; крутизна склона, град.	Растительная ассоциация	Высота основного древесного полога, м; сомкнутость	ОПП; доминанты ТКЯ	ОПП; доминанты МЛЯ
Разрез 8-С.У.-2011. Почва: подзол иллювиально-железистый				
627 м н.у.м., Склон С-В экспозиции, 5-6 градусов	Montano-Betuletum fruticulosu- hylocomiosum	2-3 м; 0.3-0.4	ОПП 60-70%; <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Empetrum</i> <i>hermaphroditum</i> , <i>Gymnocarpium</i> <i>dryopteris</i>	ОПП 60-70%; <i>Pleurozium</i> <i>schreberi</i> , <i>Dicranum</i> <i>fuscescens</i>
Разрез 7-С.У.-2011. Почва: светлосеро иллювиально-железистый				
633 м н.у.м., Склон С-З экспозиции, 4-5 градусов	Montano-Betuletum avenelloso-myrtilloso hylocomiosum	3-6 м; 0.4-0.6	ОПП 80%; <i>Vaccinium myrtillus</i>	ОПП 60%; <i>Dicranum fuscescens</i> и <i>Pleurozium</i> <i>schreberi</i>
Разрез 11-С.У.-2011. Почва: стратозем серогумусовый				
648 м н.у.м., Склон С-В экспозиции, 5-6 градусов	Montano-Betuletum calamagrostidosum	2-3 м; 0.3-0.4	ОПП 85% <i>Calamagrostis</i> <i>purpurea</i> , <i>Dryopteris expansa</i> , <i>Bistorta major</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i>	ОПП < 5%; <i>Sphagnum</i> <i>girgensohnii</i>
Разрез 8-С.У.-2013. Почва: серогумусовая				
710 м н.у.м., Склон В экспозиции, 2-3 градуса	Montano-Betuletum albiflori geraniosum	3-6 м; 0.4-0.6	ОПП 90% <i>Geranium albiflorum</i> , <i>Calamagrostis</i> <i>purpurea</i> , <i>Chamaen-</i> <i>erion angustifolium</i>	ОПП <10% р. <i>Brachythecium</i> и <i>Calliergon</i>
Разрез 17-С.У.-2011. Почва: подбур глеевый				
613 м н.у.м., Склон Ю-З экспозиции, 1-2 градуса	Montano-Betuletum calamagrostidoso- sphagnosum	2-4 м; 0.4-0.6	ОПП 70-80% <i>Calamagrostis purpurea</i> , <i>Carex globularis</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> и др.	ОПП до 70% <i>Sphagnum majus</i> <i>Sphagnum</i> , <i>girgensohnii</i>
Разрез 10-С.У.-2013. Почва: перегнойно-торфяная глеевая				
662 м н.у.м. (ложбина стока)	Montano-Betuletum mixto-herbosum	8-10 м; 0.4-0.6	ОПП 70-80 % <i>Calamagrostis</i> <i>purpurea</i> , <i>Equisetum</i> <i>sylvaticum</i> , <i>Vaccinium</i> <i>myrtillus</i> , <i>Athyrium</i> <i>distentifolium</i>	ОПП до 30 % <i>Brachythecium sp.</i> <i>Plagiommium</i> <i>ellipticum</i>

Разрез 8-С.У.-2013 (табл.) заложен на очень пологом участке склона (крутизна 2-3°) хребта Маньпупунер в березовом редколесье гераниевом (ассоциация **Montano-Betuletum albiflori geraniosum**).

Морфологическое строение формирующихся здесь почв достаточно выразительно отражает развитие дернового процесса. Под хорошо разложившейся подстилкой формируется аккумулятивно-гумусовый горизонт АУ с мощностью до 10 см, который постепенно переходит щепнисто-глыбистую толщу почвообразующей породы. Срединный горизонт, как самостоятельное генетическое образование, не выражен: средняя часть профиля не имеет педогенной структурной организации и, как правило, бесструктурна. Корнеобитаемый слой небольшой мощности: основная масса корней сосредоточена в верхней части профиля – в органогенном и в аккумулятивно-гумусовом горизонте, глубже 30-40 см проникают единичные корни. Строение профиля: О-АУ-АУВ-ВС-С. Почва: серогумусовая типичная.

В переувлажненных экотопах нижних частях склонов, а также заболоченных долинах рек и ручьев формируются сфагновые березовые редколесья (ассоциация **Montano-Betuletum calamagrostidoso-sphagnosum**). Застойно-промывной тип водного режима определяет формирование серии глеевых горизонтов G-CG в верхней и средней части профиля почв. Строение профиля: О-ВНГ-G-CG (разрез 17-С.У.-2011). Почва диагностируется как подбур иллювиально-железистый глеевый (табл.).

Другим примером почв, развивающихся в условиях повышенного увлажнения под сообществами исследуемой формации, являются почвы болотного типа, подтип – перегнойно-торфяно-глеевые. Разрез 10-С.У.-2013 был заложен в разнотравном криволесье (**Montano-Betuletum mixto-herbosum**) на хребте Маньпупунер (табл.). Близкое залегание уровня грунтовых вод и сезонный сток атмосферных осадков с верхней части склона обеспечивают достаточный для формирования разнотравных сообществ уровень содержания минеральных элементов, при наличии процессов застойного увлажнения, которые инициируют консервацию травянистых растительных остатков в верхней толще почвенного профиля. Вследствие длительного переувлажнения в них накапливаются растительные остатки в виде хорошо разложившейся перегнойно-торфяной массы, переплетенных травянистыми корнями. Мощность торфа может достигать 50-60 см, степень разложения материала которой увеличивается с глубиной и переходит в сизовато-серо-голубой окраски глеевый горизонт G. Почва диагностируется как перегнойно-торфяная глеевая. Почвы характеризуются кислой реакцией среды (рН сол.3.6-3.8), высокой гидролитической кислотностью и высокими величинами потери при прокаливании (50-70%), ненасыщены основаниями.

Таким образом, рассмотренные березовые редколесья Северного Урала характеризуются значительной пространственной неоднородностью и разнообразием почв. Согласно новой «Классификации и диагностике почв России» (2004) на данный момент выявлено 6 типов почв, относящихся к 5 отделам. Для территории Северного Урала впервые описаны и охарактеризованы новые ранее не описанные типы почв – светлосемы иллювиально-железистые (отдел криометаморфических почв) и стратосемы серогумусовые (отдел стратосемы). Дальнейшие комплексные исследования морфогенетических особенностей почв под различными типами растительных сообществ горных березовых редколесий Северного Урала позволит выявить реально существующее разнообразие почв и ведущие процессы почвообразования.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Видовое, ценоотическое и экосистемное разнообразие ландшафтов территории объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Девственные леса Коми», № 12-П-4-1018.

Литература

1. Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А., Шубина Т.П. Ценоотическое и флористическое разнообразие березовых криволесий и редколесий северной части Печоро-Илычского заповедника // Ботанический журнал, 2009. Т. 94. № 7. С. 1037-1055.
2. Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А. Горные березовые редколесья Печоро-Илычского заповедника // Известия Самарского НЦ РАН, 2012. Т. 14. № 1(4). С. 994-997.
3. Жангуров Е.В., Дымов А.А., Дубровский Ю.А. Почвы подгольцового и горно-тундрового высотного поясов Северного Урала (Печоро-Илычский заповедник, хребет Кычил-из). Материалы VI Съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. Кн. 3. С. 62-64.
4. Ипатов В.С. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. С-Пб., 1998. 93 с.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Неиштаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л., 1987. 192 с.
7. Природное наследие Урала. Разработка концепции регионального атласа / Под науч. ред. чл-корр. РАН А.А. Чибилева и акад. РАН В.Н. Большакова. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 480 с.
8. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.

Зайцев А.И.

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск
sheva7.it@yandex.ru*

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (*JUNIPERUS COMMUNIS* L.), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Род можжевельник (*Juniperus* L.) является самым многочисленным в семействе Cupressaceae и включает примерно 70 видов (Adams, 2003). Можжевельник обыкновенный на территории Северо-

Востока европейской части России, встречается почти повсеместно (Федоров, 1974). Основным систематическими признаками видов р. *Juniperus* являются особенности строения хвои и репродуктивных органов. Морфолого-анатомической структуре хвои *J. communis* посвящен ряд исследований (Долгая, 1937; Нестерович, 1986). Активный рост побегов и развитие хвои у можжевельника обыкновенного происходит в начале – середине вегетационного периода (Нестерович, 1986). Именно в эти промежутки времени была собрана большая часть образцов хвои. Были изучены популяции можжевельника, произрастающие на Кольском полуострове (горный массив Кукисвумчорр), в термальном урочище Пым-Ва-Шор (юго-восточная часть Большеземельской тундры), в верхнем течении р. Кепина и в среднем течении р. Сояна (Мезенский р-н Архангельской обл.). Кроме того, были изучены образцы хвои можжевельника обыкновенного, произрастающего в Исландии (лавовое поле вулкана Хверфелл). Объем выборки – 10 особей с каждого участка, кроме исландской популяции, где образцы хвои были собраны с двух растений.

Можжевельники горного массива Кукисвумчорр произрастают группами по склонам и на вершине, на высоте 720-750 м над уровнем моря. На склонах возвышенности куртины можжевельника смешиваются с карликовыми березками. В напочвенном покрове встречаются: костяника, луговик извилистый, дёрен шведский, герань лесная, черника, различные виды эпигейных лишайников и зелёные мхи. Можжевельники имеют высоту около 0.7-1.5 м, отдельные экземпляры достигают 3-3.5 метров. Образцы хвои были отобраны в конце июля – начале августа 2013 года. Образцы хвои в урочище Пым-Ва-Шор были собраны в конце ноября 2010 года. Урочище расположено в зоне ерниковых тундр, в пойме реки Пым-Ва-Ю. Место сбора образцов – исток «холодного» ручья, где можжевельники высотой 1-1.2 метра произрастают плотной компактной куртиной. Образцы хвои можжевельника в районе р. Кепина отбирались в начале февраля 2013 года. Тип леса – лиственничник можжевельниковый. Двухъярусное насаждение: I ярус – 10Лц, II ярус – 9Е1Б. Возраст лиственницы – 250-300 лет, диаметр на в.г. – 45-60 см, высота – до 24 м. Возраст ели около 100 лет, березы – 60 лет. В подлеске: смородина красная, жимолость синяя. В напочвенном покрове – брусника, таежное мелкотравье (седмичник, дёрен шведский), высокотравье (борец северный, вейник лесной), зеленые мхи (*Hylocomium splendens*, *Ptilium crista-castrensis*). Образцы хвои в районе среднего течения р. Сояна были отобраны в третьей декаде июля 2013 года, Тип леса – сосняк мохово-лишайниковый, полнота 0.5. Насаждение двухъярусное: I ярус – 10С, II ярус – 5Е5Б. Возраст сосны – 110-120 лет, средний диаметр на в.г. – 30 см, средняя высота – 19 м. Возраст ели 90-100 лет, березы – около 40 лет. В напочвенном покрове: брусника, вереск обыкновенный, кошачья лапка, щучка дернистая, княжик сибирский, золотарник обыкновенный, эпигейные лишайники (*Cetraria* sp., *Cladonia* sp.) Образцы хвои можжевельника с лавового поля вулкана Хверфелл взяты в июле 2013 года.

Сравнительное морфолого-анатомическое исследование хвои проводили по следующим параметрам: длина хвои, линейные размеры поперечного среза хвои в двух взаимно перпендикулярных направлениях, внутренний диаметр смоляного канала, внешний диаметр смоляного канала (с клетками эпителия), линейные размеры проводящего пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях, ширина проводящего пучка с трансфузионной тканью, толщина покровных тканей (гиподерма и эпидерма) с кутикулой, максимальная ширина ксилемы на поперечном срезе, диаметр клеток паренхимы.

Хвоя является органом, наиболее чутко реагирующим на изменения окружающей среды. Изучение особенностей анатомического строения хвои позволяет судить о направлении микроэволюции вида (Нестерович, 1986). Можжевельники со всех опытных участков имеют схожее строение хвои, для которого типичны довольно толстый слой эпидермы и кутикулы, гиподерма чаще 2 рядная, проводящий пучок на поперечном срезе расположен почти по центру, трансфузионная ткань хорошо выражена, расположена по обе стороны проводящего пучка, смоляной канал одиночный. Разные условия произрастания способствуют возникновению некоторых особенностей в строении хвои.

Форма хвои для всех изученных популяций довольно схожа: сверху хвоинки желобчатые, слабо килеватые снизу, устьичная полоска разделена зеленой жилкой у основания листа. Подобные характеристики соответствует типовому описанию *J. communis* (Adams, 2003). На представленных участках мы наблюдали две разновидности вершины кия – тупую и округлую. Во всех популяциях наблюдаются обе эти разновидности, однако преобладает тупая форма кия. Длина хвои является одним из наиболее изменчивых признаков. Она варьирует от среднего до повышенного уровня, независимо от места произрастания (Ворошилов, 1982; Коропачинский, 1983).

Стоит заметить, что растения с достаточно длинными хвоинками встречаются во всех популяциях. Наиболее короткая хвоя у можжевельника, произрастающего в районе р. Кепина: средняя длина хвои 4.2-5.8 мм, и только треть деревьев имеют длину хвоинок больше, чем 6 мм, в то время как у большей части деревьев со среднего течения р. Сояна, длина хвои колеблется от 7.3 мм до 9.4 мм. Ширина и толщина поперечного среза хвои можжевельника соянской популяции (1.1 мм и 0.48 мм) уступает по этим же показателям образцам хвои с лавового поля вулкана Хверфелл (Исландия), где хвоинки хоть и короче, но шире и толще (6.58 и 1.36 мм соответственно). Последняя популяция можжевельника отличается большей суммарной толщиной покровных тканей, шириной проводящего пучка, шириной цилиндра, толщиной проводящего пучка и ксилемы. Все вышеперечисленные параметры у особей кепинской популяции имеют наименьшие значения среди всех изученных популяций. Для некоторых можжевельников в районе р. Кепина характерны хвоинки как с округлыми, так и с заостренными краями листовых пластинок. Для других популяций характерны хвоинки с б.м. округлыми краями листовых пластинок. Заостренные и округлые края листовых пластинок встречаются во всех изученных популяциях в разных соотношениях.

Исследования морфолого-анатомических признаков хвои можжевельника обыкновенного показали, что растения, произрастающие в разных природно-климатических условиях, сохраняют общую структуру строения хвои, изменчивость параметров которой носит только количественный характер. Все исследованные параметры поперечных срезов хвои являются стабильными признаками и варьируют, как правило, на низком уровне.

Литература

1. Ворошилов Н.В. Определитель растений Советского Дальнего Востока. М: Наука, 1982.
2. Долгая З.К. Влияние климата на анатомо-морфологические особенности хвои можжевельников // Тр. ленинградского о-ва естествоиспытателей, 1937. Вып. 2. С. 249-295.
3. Коропачинский И.Ю. Древесные растения Сибири. Новосибирск, 1983.
4. Нестерович Н.Д., Дерюгина Т.Ф., Лучков А.И. Структурные особенности листьев хвойных. Минск: Наука и техника, 1986.
5. Федоров А.А., Цвелев Н.Н. Флора европейской части СССР. Т. 1. Плаунообразные, Хвощеобразные, Папоротникообразные, Голосеменные, Покрытосеменные [Злаки]. Л., 1974.
6. Variation among Cupressus species from the eastern hemisphere based on Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs) / Rushforth K., Adams R.P., Zhong M., Ma X., Pandey R.N. // Biochemical Systematics and Ecology, 2003. Vol. 31. P. 693–702. Режим доступа: <http://elsevier.com/locate/biochemsyseco>

Зенкова И.В.¹, Мелехина Е.Н.²

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

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

ПАНЦИРНЫЕ КЛЕЩИ (ACARI: ORIBATIDA) ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА

Панцирные клещи – орибатиды (Acari: Oribatida) – одна из наиболее крупных и разнообразных групп клещей, насчитывающая в мировой фауне около 12 тыс. видов, объединенных в 1619 родов, 181 семейство (Subias, 2012). В фауне РФ известно около 1300 видов, почти половина из них (600 видов) обитает на Дальнем Востоке, около 700 видов – в средней полосе европейской части России (Панцирные клещи..., 1995; Рябинин, 2004). Аркто-бореальную зону европейской части РФ населяют не менее 354 видов из 132 родов, 67 семейств (Мелехина, 2011). Фауна орибатид таежных экосистем Калининградской, Архангельской, Ленинградской, Кировской, Пермской областей, республик Карелия и Коми насчитывает по 150-220 видов. Для стран Скандинавии и государств Балтии известно от 200 до 310 видов орибатид.

В Мурманской области исследования панцирных клещей выполнены в пределах тундрово-лесотундровой флористической зоны на побережье Баренцева моря (Криволуцкий, 1966а; Лебедев, 2009; Зенкова и др., 2011) и в подзоне северной тайги (Криволуцкий, 1966б; Бызова и др., 1986; Зенкова, 2007), включая Хибинский горный массив (Karppinen, Krivolutsky, 1982; Зенкова и др., 2011;

Леонов, Рахлеева, 2011). По обобщенным данным на территории области обитает не менее 259 видов орибатид из 113 родов, 53 семейств, в т.ч. в тундровой зоне на побережье Баренцева моря 142 вида из 78 родов, 38 семейств, в подзоне северной тайги – 216 видов из 102 родов, 47 семейств (Лисковая, 2011).

Исследования панцирных клещей Хибинского горного массива носят эпизодический характер. В разные годы однократные учеты этих микроатропод были выполнены Е. Сидорчук, И. Зенковой, А. Лисковой, В. Леоновым в западной (пойма реки Малая Белая), восточной (пойма реки Тульйок) и южной (горы Вудъяврчорр и Ловчорр) частях массива (Зенкова и др., 2011; Лисковая, 2011; Леонов, Рахлеева, 2011). Как правило, в каждом из исследованных горных районов число выявленных видов орибатид не превышало 15-20, число семейств – 10-15 (рис. 1, табл. 1). Значительно большее разнообразие панцирных клещей приведено для Хибин в работе Е. Kärppinen и Д.А. Криволицкого (1982) на основе сборов Ю.Г. Пузаченко, однако сведения о самих районах сбора отсутствуют.



Рис. 1. Районы исследования панцирных клещей в пределах Хибинского горного массива. Обозначение районов – как и в табл. 1

Таблица 1

Районы исследования и разнообразие орибатид в пределах Хибинского горного массива

№	Район исследования	Показатели: вид*/ род / сем.	Определение материала
1.	Каменистое плато на вершине г. Ловчорр, пояс полярной пустыни с фрагментарной травяно-мохово-лишайниковой растительностью, 1093 м н.у.м.	8 / 8 / 7	Е. Мелехина
2.	г. Ловчорр, склон Ю экспозиции, тундра лишайниково-кустарничково-моховая, 735 м н.у.м.	17 / 15 / 15	Е. Мелехина
3.	г. Ловчорр, западный склон кара оз. Ловчорр, тундра каменистая	12 / 12 / 10	Е. Сидорчук
4.	г. Вудъяврчорр, склон СВ экспозиции, тундра кустарничковая, 435 м н.у.м.	15 / 10 / 7	Л. Залиш
5.	г. Вудъяврчорр, склон СВ экспозиции, пояс березовых криволесий, 390 м н.у.м.	15 / 11 / 7	Л. Залиш
6.	г. Вудъяврчорр, склон Ю экспозиции, тундра ерниковая, 325 м н.у.м.	13 / 10 / 9	Л. Залиш
7.	Западная часть массива, пойма р. Малая Белая, горно-таежный пояс	23 / 21 / 16	Е. Сидорчук
8.	Восточная часть массива, пойма реки Тульйок, горно-таежный пояс	16 / 16 / 13	Е. Сидорчук
9.	Не уточнен	51 / 38 / 31	Ю. Пузаченко

*Указано суммарное число выявленных таксонов уровня вида и рода (sp.).

Нами исследованы группировки панцирных клещей в экосистемах высокогорной тундры и полярной пустыни горы Ловчорр, 67° с.ш., 33° в.д. (районы 1 и 2)¹. Идентифицировано 20 видов и 2 таксона уровня рода (*Phthiracarus* sp. и *Belba* sp.) из 18 семейств. Выявлено снижение таксономического разнообразия и численности этих микроартропод в поясе полярной пустыни на вершине горы по сравнению с поясом высокогорной тундры (табл. 1). Четыре вида орибатид впервые указываются нами для Хибин (голарктические *Eobrachychthonius latior*, *Diapterobates humeralis* и палеарктические *Eupelops acromios* и *Camisia invenusta*), а *C. invenusta* – впервые для Мурманской области. Вид типичен для высоких широт и холодных высокогорных местообитаний, обитает в наскальных мхах и лишайниках; известен из стран Скандинавии, с архипелага Шпицберген и Полярного Урала. Находка *E. latior*, обитающего на Карельском побережье Белого моря и беломорских о-вах Кандалакшского заповедника, является первой не только для Хибин, но и для тундровых экосистем Кольского Севера. Виды *E. acromios* и *D. humeralis* ранее были выявлены в районе пос. Териберка (Зенкова и др., 2011), и, следовательно, теперь известны как для зональной, так и для высокогорной тундры Мурманской области. Сходное распространение в пределах области характерно для голарктического вида *Mycobates tridactylus*. Единичные экземпляры этого вида были обнаружены нами в почвах зональной тундры в окрестностях пос. Териберка, В.Д. Лебедевым в орнитогенном субстрате птичьих базаров в окрестностях пос. Дальние Зеленцы и Е.А. Сидорчук в каменистой горной тундре с фрагментарным лишайниково-кустарничковым покровом (район 3, табл. 1). В поясе полярной пустыни горы Ловчорр среди восьми выявленных видов панцирных клещей *M. tridactylus* был монодоминантом с долей 80% от общей численности орибатид, равной 56.9 ± 10.8 тыс. экз./м². Эти данные соответствуют литературным: *M. tridactylus* обнаружен в маловидовых пионерных сообществах панцирных клещей крупнейшего в Европе высокогорного ледника Юстедальсбреен (Skubala & Gulvik, 2005; Heggen, 2010), а в горах Чехии он доминировал в фаунистически бедных сообществах орибатид альпийского пояса, причем встречался там исключительно во мхах и лишайниках (Materna, 2000).

С учётом вновь полученных данных таксономический список панцирных клещей Хибинского горного массива включает не менее 76 видов и два таксона уровня рода (*Hemileius* sp., *Galumna* sp.), относящихся к 34 семействам; при этом 49 видов остаются известными для Хибин только по находкам Ю.Г. Пузаченко (табл. 2). Только девять были встречены в большинстве исследованных горно-таежных и горно-тундровых районов Хибин, в порядке убывания встречаемости: *Tectocephus velatus*, *Eulohmannia ribagai*, *Nothrus borussicus*, *Camisia biurus*, *Heminothrus longisetosus*, *Nanhermannia sellnicki*, *Carabodes subarcticus*, *Oribatula tibialis* и *Edwardzetes edwardsii*. Эти виды имеют обширные голарктические и циркумполярные долготные ареалы и полизональный или темпратный тип широтного распространения (*T. velatus* – космополит). Они встречаются на всей территории Мурманской области от побережья Белого до Баренцева морей, включая приморские луга, скопления галофитов, орнитогенные субстраты и гнезда околотовных птиц. Исключение составляют *E. ribagai* и *N. sellnicki*, встреченные в горно-тундровых и лесотундровых местообитаниях, но вне гор известные только из таежных районов области.

В свою очередь, в горно-тундровых местообитаниях и полярной пустыне Хибин выявлено девять видов орибатид, населяющих северотаежную подзону Мурманской области, но не известных для зональной Кольской тундры (*Eobrachychthonius latior*, *Camisia invenusta*, *C. spinifer*, *Moritzoppia unicarinata*, *Heminothrus humicola*, *H. capillatus* и *Tectocephus sarekensis*). Это соответствует расположению Хибинского горного массива в подзоне северной тайги. Еще два вида – *Hypochthonius rufulus* и *Eueremaeus oblongus* отмечены в Кольской тундре только в оперении птиц, на которых эти клещи форезируют (Лебедев, 2009). В целом из 76 видов, выявленных в Хибинах, в подзоне северной тайги Кольского п-ова отмечены 67 видов (88%), в зоне тундры – 52 вида (68%). Семь видов известны для области только из Хибин и зональной тундры (*Eupelops acromios*, *E. plicatus*, *Campachipteria fanzagoi*, *Melanozetes sellnicki*, *Diapterobates notatus*, *Mycobates parmeliae*, *M. tridactylus*), три вида – только из Хибин (*Camisia invenusta*, *Protoribates capucinus*, *Hemileius* sp.).

По числу видов в Хибинах преобладают семейства Camisiidae (9), Ceratozetidae (7), Oppiidae, Carabodidae и Phenopelopidae (по 5-6 видов), которые являются наиболее многовидовыми в фауне орибатид зональной Кольской тундры и северной тайги с числом видов от 8 до 17. В то же время семейства Brachychthoniidae, Damaeidae, Suctobelbidae, Euphthiracaridae, Liacaridae, Phthiracaridae, насчитывающие в региональной фауне от 10 до 18 видов, представлены в горных почвах лишь одним-тремя видами.

¹Исследования по проекту поддержаны грантом РФФИ № 12-04-01538-а и Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа».

Наиболее существенна доля видов, имеющих обширный голарктический ареал (58%). По сравнению с фауной панцирных клещей европейского Севера России в Хибинах ниже доля видов палеарктической группы (около 24%) и выше доля космополитов и полукосмополитов (18%). Соотношение голарктов, палеарктов, европейских видов, и, суммарно, космополитов и полукосмополитов составляет в таежной зоне европейского Севера России 42:37:12:9%, в тундровой – 57:27:4:11% (Мелехина, 2011). По типу широтных ареалов в Хибинах преобладают полизональные и температурные виды, что характерно для фауны орибатид европейского Севера России в целом (Мелехина, 2011). Три вида имеют аркто-бореальное распространение: *Heminothrus punctatus*, *Diapterobates notatus*, *Ceratoppia sphaerica*. Виды с арктическим типом широтного распространения не обнаружены даже в поясе полярной пустыни. В то же время единственный известный к настоящему времени для Европейского Севера РФ арктический вид *Svalbardia paludicola* (Мелехина, Зиновьева, 2012) зарегистрирован в орнитогенных субстратах птичьих базаров на побережье Баренцева моря (Лебедев, 2009), на Полярном Урале (Сидорчук, 2009) и в тундрово-глеевых почвах на многолетнемерзлых горных породах хребта Пай-Хой, 69° с.ш. (Мелехина, Зиновьева, 2012). При дальнейших исследованиях вероятно находка этого вида и в Хибинах.

Таблица 2

Панцирные клещи Хибинского горного массива

Семейство	Вид	Район
1	2	3
Palaeacaridae Grandjean, 1932	<i>Palaeacarus hystricinus</i> Trägårdh, 1932	9
Eulohmanniidae Grandjean, 1931	<i>Eulohmannia ribagai</i> Berlese, 1910	3, 4, 5, 6, 9
Hypochthoniidae Berlese, 1910	<i>Hypochthonius rufulus</i> Koch, 1835	6
Brachychthoniidae Thor, 1934	<i>Liochthonius sellnicki</i> (Thor, 1930)	1, 9
	<i>Eobrachychthonius latior</i> (Berlese, 1910)	1
Phthiracaridae Perty, 1841	<i>Phthiracarus borealis</i> (Trägårdh, 1910)	9
	<i>Steganacarus carinatus</i> (Koch, 1841)	9
Euphthiracaridae Jacot, 1930	<i>Acrotritia ardua</i> (Koch, 1841)	2, 9
Nothridae Berlese, 1986	<i>Nothrus borussicus</i> Sellnick, 1928	2, 3, 7, 8, 9
	<i>N. pratensis</i> Sellnick, 1928	9
Camisiidae Oudemans, 1900	<i>Camisia biurus</i> (Koch, 1839)	1, 2, 4, 7, 9
	<i>C. invenusta</i> (Michael, 1888)	2
	<i>C. lapponica</i> (Trägårdh, 1910)	5, 6
	<i>C. spinifer</i> (Koch, 1835)	3
	<i>Heminothrus humicola</i> (Forsslund, 1955)	4, 5, 9
	<i>H. capillatus</i> (Berlese, 1914)	4, 5, 9
	(= <i>H. septentrionalis</i> Sellnick, 1944)	
	<i>H. longisetosus</i> Willmann, 1925	4, 5, 6, 7, 9
	<i>H. peltifer</i> (Koch, 1839)	9
	<i>H. punctatus</i> (L. Koch, 1879)	7, 8, 9
Trhypochthoniidae Willmann, 1931	<i>Trhypochthonius tectorum</i> (Berlese, 1896)	5, 9
Nanhermanniidae Sellnick, 1928	<i>Nanhermannia sellnicki</i> Forsslund, 1958	4, 5, 6, 9
	<i>N. dorsalis</i> (Banks, 1896)	9
	(= <i>N. coronata</i> Berlese, 1913)	
Neoliodidae Sellnick, 1928	<i>Neoliodes theleproctus</i> (Hermann, 1804)	9
Damaeidae Berlese, 1896	<i>Epidamaeus bituberculatus</i> (Kulczynski, 1902)	2, 9
	<i>Belba (Belba) compta</i> (Kulczynski, 1902)	9
	(= <i>B. verrucosa</i> Bulanova-Zachvatkina, 1962)	
	<i>Metabelba pulverulenta</i> (Koch, 1839)	9
Eremaeidae Oudemans, 1900	<i>Eueremaeus oblongus</i> (Koch, 1835)	2, 7
	(= <i>Eremaeus silvestris</i> Forsslund, 1956)	
Ceratoppiidae Kunst, 1971	<i>Ceratoppia bipilis</i> (Hermann, 1804)	9
	<i>C. sphaerica</i> (L. Koch, 1879)	1, 3
Liacaridae Sellnick, 1928	<i>Adoristes ovatus</i> (Koch, 1839)	7, 8
	<i>A. poppei</i> (Oudemans, 1906)	2, 9

1	2	3
Carabodidae Koch, 1837	<i>Carabodes areolatus</i> Berlese, 1916	7, 9
	<i>C. femoralis</i> (Nicolet, 1855)	7, 8
	<i>C. labyrinthicus</i> (Michael, 1879)	2, 4,
	<i>C. ornatus</i> Štorkán, 1925	9
	(= <i>C. forsslundi</i> Sellnick, 1953)	
	<i>C. subarcticus</i> Trägårdh, 1902	2, 4, 6, 9
Tectocephidae Grandjean, 1954	<i>Tectocephus sarekensis</i> Trägårdh, 1910	4, 5, 6
	<i>T. velatus</i> (Michael, 1880)	1, 2, 3, 4, 5, 9
Autognetidae Grandjean, 1960	<i>Autogneta longilamellata</i> (Michael, 1885)	7, 8
Oppiidae Sellnick, 1937	<i>Lauropoppia maritima</i> (Willmann, 1928)	9
	<i>Micropoppia minus</i> (Paoli, 1908)	7, 8
	<i>Moritzoppia splendens</i> (Koch, 1841)	3
	<i>M. unicarinata</i> (Paoli, 1908)	1, 2, 9
	<i>Medioppia obsoleta</i> Paoli, 1908	9
	<i>Oppiella nova</i> (Oudemans, 1902)	7, 8, 9
Quadropiidae Balogh, 1983	<i>Quadropia quadricarinata</i> (Michael, 1885)	9
Suctobelbidae Jacot, 1938	<i>Suctobelbella acutidens</i> (Forsslund, 1941)	9
	<i>S. hammerae</i> (Krivolutsky, 1965)	9
	<i>S. subcornigera</i> (Forsslund, 1941)	9
Scheloribatidae Jacot, 1935	<i>Scheloribates confundatus</i> Sellnick, 1928	7, 8
	<i>S. laevigatus</i> (Koch, 1835)	2, 9
	<i>Hemileius</i> sp.	4, 6,
Liebstadiidae J. y P. Balogh, 1984	<i>Liebstadia similis</i> (Michael, 1888)	8, 9
Oribatulidae Thor, 1929	<i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet, 1855)	2, 3, 7, 9
	<i>Zygoribatula exilis</i> (Nicolet, 1855)	3
Protoribatidae J. y P. Balogh, 1984	<i>Protoribates capucinus</i> Berlese, 1908	3
Achipteriidae Thor, 1929	<i>Parachipteria punctata</i> (Nicolet, 1855)	7, 8
	<i>Campachipteria fanzagoi</i> (Jacot, 1929)	9
	(= <i>Parachipteria willmanni</i> Hammen, 1952)	
Ceratozetidae Jacot, 1925	<i>Ceratozetes mediocris</i> Berlese, 1908	9
	<i>Ceratozetella thienemanni</i> (Willmann, 1943)	4, 5, 6
	<i>C. sellnicki</i> (Rajski, 1958)	9
	<i>Edwardzetes edwardsii</i> (Nicolet, 1855)	2, 3, 5, 9
	<i>Melanozetes mollicornus</i> (Koch, 1839)	7, 8, 9
	<i>M. sellnicki</i> (Hammer, 1952)	9
	<i>Murcia trimaculata</i> Koch, 1835	9
Humerobatidae Grandjean, 1970	<i>Diapterobates humeralis</i> (Hermann, 1804)	2
	<i>D. notatus</i> (Thorell, 1871)	9
Chamobatidae Thor, 1937	<i>Chamobates pusillus</i> (Berlese, 1895)	9
	(= <i>Chamobates borealis</i> Trägårdh, 1902)	
Punctoribatidae Thor, 1937	<i>Mycobates parmeliae</i> (Michael, 1884)	9
	<i>M. tridactylus</i> Willmann, 1929	1, 2, 3
Phenopeloppidae	<i>Eupelops acromios</i> (Hermann, 1804)	1, 2
Petrunkévitch, 1955	<i>E. geminus</i> (Berlese, 1916)	9
	<i>E. planicornis</i> (Schränk, 1803)	9
	<i>E. plicatus</i> (Koch, 1835)	7
	(= <i>Pelops auritus</i> Koch, 1839)	
	<i>E. torulosus</i> (Koch, 1839)	7, 8
Tegoribatidae Grandjean, 1954	<i>Lepidozetes singularis</i> Berlese, 1910	9
Parakalummidae Grandjean, 1936	<i>Neoribates auranthiacus</i> (Oudemans, 1914)	9
Galumnidae Jacot, 1925	<i>Galumna</i> sp.	7
34 семейства	78 видов	

Примечание. Обозначение районов исследования – как и в табл. 1.

В целом от 8 до 35% видов орибатид каждого из исследованных горных местообитаний не были выявлены в других районах Хибин. Учитывая сложный пересеченный рельеф, неоднородность почвенного покрова и выраженную высотную поясность, следует ожидать расширение фаунистического списка панцирных клещей при дальнейшем исследовании этого горного массива, в первую очередь за счёт видов с широкими ареалами.

Литература

1. Бызова Ю.Б., Уваров А.В., Губина В.Г. и др. Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника. М.: Наука, 1986. 311 с.
2. Зенкова И.В. Почвенная орибатифауна в зоне воздействия алюминиевого завода // Состояние и перспективы развития промышленного комплекса на Кольском Севере. Апатиты: КНЦ РАН, 2007. С. 37-41.
3. Зенкова И.В., Зайцев А.С., Залиш Л.В., Лисковая А.А. Почвообитающие панцирные клещи (Acariformes: Oribatida) таежной и тундровой зон Мурманской области // Труды Карельского НЦ РАН, 2011 (1): 54-67.
4. Кривоуцкий Д.А. Панцирные клещи в почвах тундры // Pedobiologia, 1966a 6(3): 277-280.
5. Кривоуцкий Д.А. Панцирные клещи из окрестностей Беломорской биологической станции Московского Университета // Вестник МГУ, 1966b(1): 42-45.
6. Лебедев В.Д. Распространение панцирных клещей (Acarî, Oribatida) на островах и побережье Баренцева моря. Автореф. дисс. канд-та геогр. наук. Ставрополь, 2009. 22 с.
7. Леонов В.Д., Рахлеева А.А. Состав и распределение сообществ микроартропод в ландшафтно-экологическом профиле высотной поясности горы Вудъяврчорр (Мурманская область, Хибинские горы) // Известия Пензенского гос. пед. ун-та им. Белинского. Естественные науки, 2011 (25): 376-382.
8. Лисковая А.А. Фаунистическое и экологическое разнообразие панцирных клещей (Acariformes: Oribatei) в экосистемах Кольского Севера. Автореф. дисс. канд-та биол. наук. Петрозаводск, 2011. 28 с.
9. Мелехина Е.Н. Таксономическое разнообразие и ареалогия орибатид (Oribatei) европейского Севера России // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2011 2(6): 30-37.
10. Мелехина Е.Н., Зиновьева А.Н. Первые сведения о панцирных клещах (Acarî: Oribatida) хребта Пай-Хой // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2012. 2(10): 42-50.
11. Панцирные клещи: Морфология, развитие, филогения, экология, методы исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* C.L. Koch, 1839. М.: Наука, 1995. 224 с.
12. Рябинин Н.А. История изучения фауны панцирных клещей (Acarîoformes, Oribatida) Дальнего Востока России // Чтения памяти А.И. Куренцова, 2004. Вып. XV. Хабаровск: Дальнаука. С. 122-130.
13. Сидорчук Е.А. К фауне панцирных клещей (Acariformes, Oribatida) Полярного Урала // Зоол. журн., 2009, 88 (7): 1-9.
14. Hegggen, M.P. Oribatid mites of Alpine Fennoscandia // Norwegian Journal of Entomology, 2010 (57): P. 38-70.
15. Karppinen, E. & Krivolutsky, D.A. List of oribatid mites (Acarina, Oribatei) of northern palaearctic region. 1. Europe // Acta Entomol. Fennica, 1982 (41): P. 1-18.
16. Materna, J. Oribatid communities (Acarî: Oribatida) inhabiting saxicolous mosses and lichens in the Krkonoše Mts. (Czech Republic) // Pedobiologia, 2000 (44): P. 40-62.
17. Skubala, P., & Gulvik, M. Pioneer oribatid mite communities (Acarî, Oribatida) in newly exposed natural (glacier foreland) and anthropogenic (post-industrial dump) habitats // Polish Journal Of Ecology, 2005 (53): P. 395-407.
18. Subias, L.S. Listado sistemático, sinonimico y biogeográfico de los Acaros Oribatidos (Acariformes: Oribatida) del mundo (1758-2002) // Graellsia, 2004 (60), 305 pp. (Actualizado de 2012, 564 pp.).

Змитрович И.В.¹, Малышева В.Ф.¹, Косолапов Д.А.², Большаков С.Ю.¹, Ежов О.Н.³

¹Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург
iv_zmitrovich@mail.ru

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

³Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск
olegezhik@gmail.com

РЕДКИЙ БОРЕАЛЬНЫЙ ВИД *POLYPORUS CHOSENIAE* (BASIDIOMYCOTA, POLYPORALES): НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ И ТАКСОНОМИИ

Древовидные и кустарниковые ивы бореального пояса, развивающиеся в условиях естественной динамики, по мере старения и отмирания части побегов создают условия для заселения ксилотрофными базидиомицетами, часть из которых относится к категориям редких и индикаторных видов. Многие ксилотрофные базидиомицеты демонстрируют определенную степень специализации к этой породе, древесина которой характеризуется некоторыми специфическими особенностями, в частности, повышенной концентрацией салицилатов, достаточно слабым годичным приростом и высокой плотностью. Максимальное разнообразие ниш, открываемое ивой для грибов, свойственно для старовозрастных деревьев и куртин, сохраняющихся обычно в фрагментах старовозрастных и девственных таежных лесов, связанных с оконной динамикой в ложбинах стока (*Salix caprea*, *S. aurita*) или в ненарушенных пойменных сообществах (*S. fragilis*, *S. alba*, *S. phylicifolia*, *S. triandra*, *S. cinerea*, *S. arbutifolia* и некоторые др.).

К числу таких редких видов относится чозениевый трутовик (*Polyporus choseniae*), встречающийся изредка на Дальнем Востоке, в Центральной и Южной Сибири (Васильков, 1967; Parmasto, 1975; Власенко, 2010) и совсем недавно обнаруженный в Республике Коми (рис. 1). Понимание этого таксона различными микологами неоднозначно, поэтому целью данной работы является обобщение морфологических и таксономических данных об этом виде.



Рис. 1. *Polyporus choseniae* (LE 301310) на усыхающем стволе ивы. Приполярный Урал (Республика Коми). Фото Д.А. Косолапова

Polyporus choseniae (Vassilkov) Parmasto был описан Б.П. Васильковым (1967) под названием *Piptoporus chozeniae* по материалу, собранному им совместно с Э.Л. Нездойминого на Дальнем Востоке в пойме р. Ола на мертвом стволе *Salix* (*Chozenia*) *arbutifolia*. В 1975 г. Э. Пармасто

(Parmasto, 1975) переносит данный вид в род *Polyporus* и приводит данные об изученных им образцах этого вида, собранных на различных видах рода *Salix* в Якутии, Бурятии и Туве.

В 1999 г. Ю.-Ч. Дай (Dai, 1999) на основании сравнения диагноза *Polyporus choseniae* с дальневосточным материалом по *P. ulmi* Bondartsev et Ljub. in Bondartsev сводит первый вид в синонимы второго, хотя еще автор вида *P. choseniae* Б.П. Васильков упоминал, что его вид отличается от '*Piptoporus*' *ulmi* зачаточной ножкой и пробковатой тканью, в связи с чем даже перенес второй вид в род *Polyporus* (Васильков, 1967).

В то же время Р. Торн (Thorn, 2000), изучив типовой материал Б.П. Василькова по *Polyporus choseniae* и Л.Н. Васильевой по *P. ulmi*, подтвердил аутентичность обоих видов и привел обширные описания их макро- и микроморфологических особенностей. В связи с тем, что название *P. ulmi* Bondartsev et Ljub является позднейшим омонимом *P. ulmi* Paulet [современное название *P. squamosus* (Huds.) Fr.], Р. Торн предлагает для этого вида использовать новый эпитет *P. vassilievae* Thorn (Thorn, 2000).

Л. Риварден в разное время принимает *P. choseniae* в качестве самостоятельного вида (Núñez, Ryvardeen, 1995; Crisai-Greilhuber, Ryvardeen, 1997), либо сводит его в синонимы *P. varius* (Núñez, Ryvardeen, 2001).

И.В. Змитрович и соавторы (Zmitrovich et al., 2010) дополнительно изучают известный к тому времени материал по *P. choseniae* и сравнивают его с образцами *Polyporus pseudobetulinus* (Murashk. ex Pilát) Thorn, Kotir. et Niemelä, собранными на ивах (*Salix caprea*). Они подтверждают принадлежность *P. choseniae* к роду *Polyporus* и удаленность этого таксона от *P. pseudobetulinus*.

В 2007 г. Ю.-Ч. Дай с соавторами (Dai et al., 2007) из Тибета описывают новый вид *P. subvarius* C.J. Yu et Y.C. Dai, приуроченный к живой иве (*Salix* sp.), краткий диагноз которого в существенных чертах отвечает диагнозу Б. П. Василькова, данному *P. choseniae*. В примечании, правда, авторы упоминают отличие *P. subvarius* от трактуемого ими широко *P. ulmi* (incl. *P. choseniae*), заключающееся, по их мнению, в более светло окрашенной ножке и более мелких порах у '*P. ulmi*' (поры типового материала *P. subvarius* – 1-2 на мм). Группа японских исследователей (Sotome et al., 2011) провела молекулярное исследование материала, собранного группой Ю.-Ч. Дая, и показала его аутентичность, при этом материал по '*P. ulmi*' sensu Y.C. Dai авторами не тестировался и упор был сделан на сравнении этого вида с *P. pseudobetulinus*.

С целью выяснения аутентичности материала *P. choseniae* в 2013 г. нами было сделано 3 попытки выделения ДНК из типового материала, хранящегося в микологическом гербарии Ботанического института им. В.Л. Комарова (LE 22545), которые не дали положительного результата. По всей вероятности, это связано с тем, что образец был полностью протравлен сулемой.

В 2010 г. Д.А. Косолаповым *P. choseniae* был обнаружен на сухостое ивы (*Salix* sp.) в пойме р. Кожим (Республика Коми). Материал оказался пригоден для выделения ДНК (октябрь 2013 г.).

Проведенная реконструкция нуклеотидной последовательности ДНК этого образца и ее анализ показали идентичность полученной последовательности с таковой *P. subvarius* (Sotome et al., 2011) – дистанция между сиквенсами *P. choseniae* и '*P. subvarius*' составила всего 0.6%.

В то же время проведенный сравнительно-морфологический анализ образца из Коми с типовым материалом *P. choseniae* однозначно свидетельствуют об их идентичности. Особенно показательны в этом отношении спектры варибельности базидиоспор (табл. 1).

В этой связи нами предложено обозначить материал *P. choseniae* из Республики Коми в качестве эпитипа *P. choseniae* (Zmitrovich et al., 2014), а *P. subvarius*, таким образом, становится позднейшим синонимом этого вида.

Далее следует диагноз *P. choseniae*, учитывающий новейшую сравнительно-морфологическую и молекулярно-таксономическую информацию.

Таблица 1

Варибельность базидиоспор у *Polyporus choseniae* и морфологически близких видов

Вид и образец	L, µm	L _m , µm	W, µm	W _m , µm	Q	Q _m
<i>P. choseniae</i> LE 22545	10.33–10.53	10.43	3.87–4.84	4.43	2.09–2.59	2.36
<i>P. choseniae</i> LE 301310	9.97–11.64	10.57	3.76–4.68	4.22	2.26–2.77	2.51
<i>P. pseudobetulinus</i> LE 301291	6.91–8.54	7.82	2.66–3.35	2.86	2.46–3.01	2.74
<i>P. varius</i> LE 257413	7.99–9.38	8.68	2.86–3.68	3.33	2.39–2.86	2.62
<i>P. varius</i> LE 298833	6.65–9.09	7.60	3.00–3.85	3.32	2.08–2.58	2.29

Примечание: Было измерено 30 спор/образец. Микроскоп – «AxioImager A1». Увеличение ×1000. Среда – 5% КОН.

Polyporus choseniae (Vassilkov) Parmasto (ut '*chozeniae*'), *Folia Cryptog. Estonica* 5: 35, 1975 ('1974'). □ *Piptoporus choseniae* Vassilkov, *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* 4: 244, 1967 – *Polyporus subvarius* C. J. Yu et Y. C. Dai in Y. C. Dai, C. J. Yu et Wang, *Ann. Bot. Fennici* 44(2): 142, 2007.

Базидиомы однолетние, одиночные или в небольших сростках, 4-15 см в диам., 0.5-2.0 см толщ., вначале раковиновидные, затем плоские или слегка вогнутые, с зауженным в ножку основанием или даже с короткой боковой ножкой. Поверхность шляпок вначале шероховатая, радиально-точечно-чешуйчатая до радиально-волокнутой у края, вначале желтовато-кремовая, затем палевая до интенсивно охряной. Край слегка волнистый и лопастной, прямой, затем подворачивающийся сверху радиально-волокнустый и одноцветный с поверхностью шляпки. Гименофор однослойный, 0.5-5 мм толщ., нечетко дифференцированный от ткани. Поверхность гименофора вначале желтовато-кремовая, затем грязно-желтая с оливково-охряным налетом по краю трубочек. Поры округлые, 1-4 на 1 мм.

Гифальная система димитическая со скелетно-связывающими гифами. Генеративные гифы 1.5-3 мкм в диам., с пряжками, регулярно ветвящиеся, тонкостенные, гиалиновые. Скелетные гифы 3-х типов: 1) регулярно дихотомически-ветвящиеся, 2.5-12.5 мкм в диам. (диаметр значительно падает на периферии дендрита); 2) арбориформные придатки регулярно дихотомически-ветвящихся гиф 2-15×1-3.5 мкм; 3) волокновидные почти сплошные *colon*-подобно извитые гифы 2-5 мкм в диам. Цистид нет. Базидии 20-40×5.5-7 мкм, булабовидные, 4-споровые, с пряжкой у основания. Споры 9-11.7×3.7-4.8 μm ($Q^* = 2.4$), симметрично веретеновидные или ладьевидные, с коротким апикулюсом, гладкие, тонкостенные, ацианофильные, с одной или несколькими глобулами в цитоплазме.

Растет на усыхающих видах рода *Salix*, вызывая белую гниль древесины.

Тип: Россия, Магаданский край, окр. г. Магадан, ивняк, на сухом стволе *Salix (Chozenia) arbutifolia*. Собр. 16 08 1965 Э.Л. Нездоймино и Б.П. Васильков (LE 22545).

Эпитип: Россия, Республика Коми, Интинский р-н, национальный парк «Югыд ва», 11 км по р. Кожим от устья р. Большая Каталамбию, ивняк разнотравно-вейниковый, на сухом стволе *Salix* sp. Собр. 30 07 2010 Д.А. Косолапов (LE 301310). (Дубликат хранится в Гербарии Коми научного центра РАН – SYKO).

Дополнительный материал: Россия, Иркутская обл., Кашельниковский р-н, ивняк, на усыхающей *Salix (Chozenia) arbutifolia*. Собр. 10 08 1969 Э.Л. Нездоймино и Б.П. Васильков (LE 30505, LE 30506).

Исследование поддержано РФФИ (грант № 12-04-33018 мол_а_вед).

Литература

1. Васильков Б.П. Новый вид трутового гриба на чозении // Новости систематики низших растений. 1967. Т. 4. С. 244-246.
2. Власенко В.А. Новинки рода *Polyporus* (Polyporaceae, Basidiomycota) для микобиоты Алтая // Растительный мир Азиатской России. 2010. № 1. С. 29-32.
3. Dai Y.C. Changbai wood-rotting fungi 11. Species of *Polyporus* sensu stricto // Fung. Sci. 1999. Vol. 14. P. 67-77.
4. Dai Y.C. Polypores from eastern Xizang (Tibet), western China // Ann. Bot. Fennici. 2007. Vol. 44. P. 135-145.
5. Krisai-Greilhuber I., Ryvarden L. *Polyporus chozeniae*: a boreal polypore, new for Europe // Boll. Gr. micol. G. Bres. 1997. Vol. 40. P. 281-284.
6. Núñez M., Ryvarden L. Polypores, new to Japan 1. Species of *Polyporus*, with a note on *P. hartmanni* // Mycoscience. 1995. Vol. 36. P. 61-65.
7. Núñez M., Ryvarden L. East Asian polypores 2. Polyporaceae s. lato // Synopsis Fungorum. 2001. Vol. 14. P. 170-522.
8. Parmasto E. On *Polyporus chozeniae* (Vassilk.) Parm. comb. nov. and related species // Folia Cryptog. Estonica. 1975. Fasc. 5. P. 35-39.
9. Sotome K., Hattori T., Ota Yu. Taxonomic study on a threatened polypore, *Polyporus pseudobetulinus*, and a morphologically similar species, *P. subvarius* // Mycoscience. 2011. Vol. 52. P. 319-326.
10. Thorn R.G. Some polypores misclassified in *Piptoporus* // Karstenia. 2000. Vol. 40. P. 181-187.
11. Zmitrovich I.V., Malysheva V.F., Kosolapov D.A., Bolshakov S.Yu. Characterisation and epitypification of *Polyporus choseniae* (Polyporales, Basidiomycota) // Микология и фитопатология, 2014. Т. 48, вып. 4 (в печати).

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЪЕДОБНЫХ ГРИБАХ
В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ»****Введение**

Сбор и потребление съедобных грибов имеет давнюю традицию на Севере России. В настоящее время грибы активно собираются для домашнего потребления, для продажи на местных рынках, для заготовительной промышленности пищевых продуктов. Употребление съедобных грибов является чрезвычайно значимым для жителей Мурманской области, как источник дополнительного питания, источник освобожденного от налогов дохода и диетическое приложение. Значительное влияние на окружающую среду региона оказывает комбинат «Североникель», представляющий собой источник аэротехногенных загрязнений, содержащих сернистый ангидрид и тяжелые металлы, разносящиеся ветром на десятки и даже сотни километров.

Объекты и методы исследований. Объекты исследований - съедобные грибы: *Leccinum versipelle* (Fr. et Hök) Snell., *Boletus edulis* Bull., *Suillus variegates* (Sw.) Kuntze, *Russula* sp. и *Lactarius torminosus* (Schaeff.) Gray. Образцы грибов отбирались в августе-сентябре 2011-2012 гг. на различном удалении от комбината «Североникель» в зоне расположения мониторинговых площадок (табл. 1). Плодовые тела трубчатых грибов (белый гриб, подосиновик, моховик желто-бурый) в свежем виде разделяли на гименофор, шляпки и ножки; пластинчатые грибы (сыроежки и волнушка розовая) разделялись на шляпки и ножки. Затем отдельные части гриба мелко измельчались и высушивались в электросушилке при установленной температуре 40-45° С. Получали смешанную пробу, включающую часть гриба (например, только шляпки или ножки) с 3-5 и более грибов одного вида.

Таблица 1

Характеристика пробных площадок

ППП	Расстояние от источника загрязнения, км	Тип леса	Количество смешанных проб
23-98	270 (фон)	Сосняк кустарничково-лишайниковый	10
12-94	100	Ельник кустарничково-зеленомошный	4
М1К4	48	Сосняк кустарничково-лишайниковый	4
8-93	31	Ельник кустарничково-зеленомошный	2
М1К5	31	Сосняк кустарничковый	7
2Р-06	31	Сосняк лишайниково-кустарничковый	10
1S-06	31	Ельник кустарничково-зеленомошный	10
6-92	28	Ельник злаково-кустарничковый	4
М1К7	10	Сосновое техногенное редколесье	11
1-85	7	Еловое техногенное редколесье	8

Элементы Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, P, S, Pb, Cd отдельно в каждой высушенной части гриба определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, серу – колориметрически. В результате изучения содержания химических элементов в различных частях плодовых тел условно выделяли 5 типов распределения (Костычев, 2009) с учетом наших исследований: первый тип: максимальные концентрации элементов фиксировались в гименофоре, средние – в шляпках, минимальные – в ножках; второй тип: шляпки > гименофор > ножки; третий тип: гименофор > ножки > шляпки; четвертый тип: шляпки > ножки > гименофор; пятый тип: ножки > гименофор > шляпки.

Результаты исследований. Рассмотрим распределение элементов в трубчатых грибах (подосиновике, белом грибе и моховике желто-буром).

Подосиновик. Содержание элементов в каждой фракции подосиновика представлено в таблице 2. В условиях природных экосистем (фон, 270 км от источника загрязнения), не испытывающих существенного техногенного загрязнения, отмечено преобладание первого типа распределения элементов (максимальные концентрации - в гименофоре, средние - в шляпке, минимальные - в ножках). Эту закономерность хорошо иллюстрируют данные по Mg, Zn, Cu, P, Cd. В фоновых

условиях из биофильных элементов в составе подосиновика преобладают К, S, Р и Mg. По тяжелым металлам химический состав отличается более высоким содержанием Zn, Cu и Cd.

По мере приближения к источнику загрязнения происходит увеличение содержания рассматриваемых элементов в плодовых телах гриба. Установлено, что в гимениальном слое содержание многих биофильных элементов и большей части тяжелых металлов, также как и в фоновых условиях, остается значительно выше по сравнению с остальной частью плодового тела. На мониторинговых площадках (10 и 31 км от комбината), преобладает первый тип распределения элементов. Содержание Mn и Ni в гимениальном слое в меньше, чем в остальной части плодового тела, особенно вблизи комбината «Североникель». Из макроэлементов доминируют К, S и Р. Следует отметить, что по мере удаления от комбината увеличивается содержание Са, Mn, и Р, причем в каждой фракции гриба соответственно. Закономерность прослеживается во всех частях гриба: чем ближе к источнику загрязнения, тем ниже концентрация. В условиях экосистем, характеризующихся техногенным загрязнением, содержание Ni было в десятки раз выше по сравнению с фоновыми условиями. Причем, данное соотношение больше всего прослеживается в шляпках и ножках гриба, где разница в среднем превышает 12–13 раз, в гименофоре – в 4 раза. По мере удаления от комбината характерно уменьшение концентраций и для Zn, Cu, Pb и Cd. Тем не менее, в каждой фракции гриба данная закономерность проявляется по-разному. Так в гименофоре содержание Zn, Cu и Cd увеличивается при приближении к комбинату, а в ножках и шляпках высокие концентрации приходится и на фоновые участки экосистем.

Белый гриб. Образцы гриба были отобраны на незначительном расстоянии друг от друга, то есть в экосистемах, с достаточно сходным техногенным загрязнением. В содержании химических элементов в отдельных частях гриба прослеживается некая закономерность, при которой на более близком расстоянии к источнику (5 км от источника загрязнения) максимальные их концентрации фиксируются в гименофоре, минимальные – в шляпках, средние – в ножках (третий тип), это можно проследить по Cu, Zn, Mg и Р. При удалении от источника (в 7 км) изменяется и ведущий характер накопления элементов и имеет место второй тип распределения химических элементов (шляпка > гименофор > ножка). Эту зависимость хорошо иллюстрируют данные по Ni, Cu, Р, S, Pb, Cd, Mg.

В целом различие концентраций большинства микроэлементов в белых грибах, собранных в 5, 7 и 10 км от источника, невелико и в среднем составляет 1.5–2 раза. Результаты анализа показали, что белый гриб аккумулирует больше всего К, кроме того, наблюдаются высокие концентрации S, Р, Са, Mg и Fe. Максимальное содержание Cu и Zn выявлено в гименофоре грибов, в ножках и шляпках их количество почти вдвое меньше. По мере удаления от источника загрязнения, содержание Ni уменьшается равномерно. Для Zn, Cu, Pb максимум отмечается на расстоянии 7 км в условиях елового техногенного редколесья, однако затем происходит резкое снижение значений.

Моховик желто-бурый. В связи с малым количеством проб моховика можно определить величину и избирательный характер накопления тяжелых металлов только в шляпках и ножках гриба. Результаты исследований показывают, что в фоновых условиях практически все из исследуемых нами химических элементов, содержатся в шляпках гриба примерно в 2 раза больше по сравнению с их концентрациями в ножках (табл. 2). Для Mn и Pb характерен противоположный характер распределения элементов, максимальное содержание фиксируется в ножке, а минимальное – в шляпке гриба. Среди макроэлементов преобладают Са, К, Fe, Р и S. Высокие концентрации отмечаются по Zn и Cd. Отмечено высокое содержание Fe (3006.2 мг/кг), по данным финских исследователей (Ohtonen et al., 1993), моховик является активным биоконцентратором железа.

В условиях техногенной нагрузки основной характер распределение элементов в плодовых телах гриба сходен с условиями фона. Исследуемые элементы содержатся в больших количествах в шляпке гриба. Для Mn, Ni и S характерно равномерное распределение элементов в исследуемых фракциях гриба. При приближении к источнику загрязнения наблюдается резкое снижение количества макроэлементов в плодовом теле гриба. Так на расстоянии 31 км от источника содержание Fe в шляпках и ножках гриба составляет 2257.9 мг/кг, а в 7 км этот показатель равен 28.6 мг/кг. Данная закономерность также характерна Са, Mn и Р. Максимальные значения по Cu отмечены в условиях соснового техногенного редколесья (10 км от источника загрязнения) в шляпках грибов, для Zn максимум зафиксирован в еловом техногенном редколесье.

Рассмотрим состав и распределение элементов в пластинчатых грибах (сыроежке и волнушке розовой).

Сыроежка. Содержание элементов в грибах, собранных в лесных экосистемах на разном удалении от источника выбросов, приведено в таблице 3. Анализ плодовых тел *Russula* sp., собранных в фоновых условиях, показал, что некоторые элементы доминируют в шляпках, по сравнению с их содержанием в ножках гриба. Среди макроэлементов преобладают К, Са, Mg, Р и S. Среди тяжелых металлов интенсивно аккумулируются Zn и Cu.

Таблица 2

Содержание элементов в трубчатых грибах по мере удаления от комбината «Североникель», мг/кг

Расстояние, км	Анализируемая часть гриба	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	P	S	Pb	Cd
Подосиновик (<i>Leccinum versipelle</i>)													
10	гименофор	44.4	1193.3	40597.8	43.8	0.9	211.5	7.3	110.0	9919.3	9426.1	0.2	н/о
31		64.8	1053.5	36019.2	37.4	8.7	194.2	7.7	95.3	8322.3	10413.2	0.2	н/о
270		121.2	1089.3	34516.3	34.7	10.6	121.1	1.8	61.8	9330.7	11352.1	0.3	н/о
7	шляпки	43.6	949.9	36832.6	54.0	7.6	248.8	29.2	87.1	7305.2	7690.7	0.4	н/о
10		125.8	604.0	24033.9	51.3	8.4	67.6	23.9	39.4	3175.0	6022.0	0.3	0.7
31		162.1	620.0	25064.4	22.4	12.6	71.4	6.2	32.5	3023.6	7702.4	0.2	0.7
270		160.8	885.9	36220.5	45.2	20.8	82.8	1.9	39.8	5395.1	8537.4	0.3	0.6
7	ножки	186.1	488.3	21620.2	33.8	7.5	58.9	34.6	53.5	2957.6	6445.5	0.2	н/о
10		58.8	235.4	18186.3	25.1	5.6	31.6	18.3	20.5	1986.1	6743.3	0.2	0.2
31		83.6	360.3	17860.9	21.8	19.2	48.6	5.8	19.6	2827.9	7204.0	0.1	0.3
270		188.5	630.3	22234.9	35.5	38.9	67.9	1.3	27.9	4957.3	9065.8	0.4	0.6
Белый гриб (<i>Boletus edulis</i>)													
5	гименофор	446.8	1134.5	26655.3	79.5	7.8	198.3	23.4	285.6	6207.5	6258.2	0.5	0.8
7		20.7	1026.3	25904.2	52.6	8.8	208.2	19.0	651.8	10368.2	8780.6	1.3	н/о
10		23.2	774.5	27106.2	43.5	7.4	125.6	14.2	79.7	5485.7	7959.2	0.3	1.9
5	шляпки	613.1	443.4	15517.5	39.1	9.3	31.6	28.6	81.4	2372.5	5900.3	0.2	0.004
7		39.0	704.1	26762.2	53.0	11.4	119.1	14.2	316.3	6124.7	8187.5	0.8	н/о
10		1219.4	678.6	19068.0	852.3	20.1	29.6	9.0	20.6	3161.8	2033.3	0.2	0.4
5	ножки	300.7	596.2	29919.5	348.1	9.0	82.6	122.5	133.2	3423.6	6198.1	0.9	0.004
7		59.0	374.5	11557.3	20.5	7.3	41.3	11.5	159.6	3209.1	7408.2	0.7	н/о
10		91.6	314.0	10704.6	83.7	13.1	58.6	15.9	75.0	2823.4	14520.9	0.1	0.7
Моховик желто-бурый (<i>Suillus variegates</i>)													
7	шляпки и ножки	26.0	937.2	43471.6	28.6	4.4	93.4	27.9	36.1	4870.0	2367.6	0.2	0.8
10	шляпки	78.5	1046.8	27217.6	1570.2	7.6	73.8	45.8	83.1	7450.5	1971.5	0.4	н/о
	ножки	59.2	447.6	18923.7	914.5	7.1	34.0	43.4	46.8	3780.3	1912.6	0.3	н/о
31	шляпки и ножки	82.8	676.2	23424.5	2257.9	11.1	56.6	14.0	45.3	5494.6	1616.7	0.2	1.1
270	шляпки	673.9	1336.1	36898.2	3006.2	20.7	115.0	2.8	30.1	10252.4	2914.7	0.4	0.9
	ножки	97.7	516.8	18699.0	1579.0	25.8	53.9	1.6	12.0	4653.3	1510.6	1.1	0.3

Таблица 3

Содержание элементов в пластинчатых грибах по мере удаления от комбината «Североникель», мг/кг

Рассто- яние, км	Анализируемая часть гриба	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	P	S	Pb	Cd
Сыроежки (<i>Russula</i> sp.)													
7	шляпки	128.6	858.5	37410.3	35.5	9.6	214.3	51.4	119.5	4609.9	1900.5	1.6	1.5
10		77.0	756.9	37555.2	23.6	14.5	213.8	41.0	96.9	4726.6	1511.5	1.2	0.6
28		77.1	912.8	43053.5	29.8	28.0	107.1	14.1	74.9	6082.3	1984.5	0.6	0.5
31		67.8	869.5	39063.9	16.9	22.3	105.2	11.8	74.0	6412.9	1638.6	0.7	0.3
270		135.2	896.2	38050.1	29.4	30.7	162.9	1.7	67.3	6460.3	1467.4	0.7	0.2
7	ножки	292.1	584.3	31405.5	31.6	7.2	182.6	55.5	68.6	3067.4	1271.6	1.1	0.6
10		107.6	569.7	26588.1	21.3	10.5	143.1	31.7	61.9	2364.4	877.0	0.7	0.4
28		65.0	652.2	35691.3	31.2	10.2	89.8	9.8	61.3	3928.1	1020.8	0.3	0.2
31		22.9	523.0	22198.9	17.1	8.2	61.4	12.7	36.0	2561.2	905.7	0.4	0.1
270		72.4	755.3	30212.9	24.1	22.9	124.4	1.2	50.2	5211.8	1139.5	0.4	0.1
Волнушки (<i>Lactarius torminosus</i>)													
10	шляпки	142.1	1239.3	30549.3	83.6	6.5	111.5	24.6	37.9	4890.1	1599.1	0.4	0.9
28	шляпки	79.0	1289.6	31595.2	60.9	6.6	153.6	8.5	16.0	6818.3	1579.8	0.2	0.3
31	шляпки	30.4	1142.7	23304.3	28.4	16.7	89.7	10.4	11.1	5498.5	1239.1	0.2	0.2
	ножки	295.7	458.6	20688.6	16.7	102.2	76.7	9.4	10.6	1972.4	531.1	0.2	0.01
100	шляпки	122.0	1301.1	26675.6	50.1	9.0	102.1	2.9	20.0	6880.5	2262.4	0.2	0.1
260	в основном шляпки	153.4	1208.7	32625.4	35.8	30.6	136.6	1.7	10.0	2267.3	1350.3	0.04	0.04

По мере приближения к источнику загрязнения прослеживается более интенсивное накопление многих элементов в плодовых телах гриба, по сравнению с фоновым участком. Причем в шляпках гриба содержание некоторых элементов значительно выше, чем их концентрации в ножках. Разница между отдельными элементами в данных частях гриба составляет 2-3 раза. Высокие концентрации характерны для Ni и Zn. Причем содержание Ni в шляпках вблизи источника загрязнения в 30 раз выше в сравнении с фоном.

Волнушка. Собрано незначительное количество проб исследуемого вида (в основном в шляпки), поэтому накопление элементов по степени их распределения в шляпках и ножках гриба в условиях фона определить не удалось (табл.3). В фоновых условиях отмечены высокие концентрации макроэлементов K, P, S, Mg. Среди тяжелых металлов в наибольшей степени концентрируется Zn.

При приближении к источнику загрязнения в волнушках наблюдается увеличение концентраций химических элементов, особенно тяжелых металлов. Данная закономерность хорошо прослеживается в отношении Zn, Ni, Cu, Cd. Для таких макроэлементов как Mn, P, Mg, S и Ca характерна обратная зависимость, при которой их концентрации увеличиваются по мере удаления от источника загрязнения. Так для Mn разница между концентрациями элемента в фоновых условиях и в участках вблизи комбината составляет 4.5 раза, для остальных элементов разница в среднем составляет 1,5 раза. Определить характер распределения элементов отдельно по каждой фракции можно по содержанию элементов в шляпке и ножке гриба на расстоянии 31 км от источника загрязнения. В шляпках гриба содержание многих элементов значительно выше, чем их концентрации в ножках, так для P, Mg и S данная разница превышает 1.5–2 раза; для Cd – 23 раза. Наоборот, Ca Mn и Pb преобладают в ножках гриба.

Заключение

Содержание элементов в съедобных грибах сильно варьирует. В гименофоре съедобных трубчатых грибов исследуемые элементы аккумулируются более интенсивно, чем в шляпках и ножках. Вероятно, это объясняется тем, что биохимические процессы, связанные в первую очередь с образованием спор в базидиомах, протекают наиболее интенсивно именно в гименофоре (Костычев, 2009). Содержание тяжелых металлов в шляпках пластинчатых грибов выше, чем в трубчатых, эта особенность отмечена и другими исследователями (Баркана, Панкратова, Силина, 1990; Barcan, Kovnatsky, Smetannikova, 1998).

В условиях аэротехногенного загрязнения концентрации тяжелых металлов в съедобных грибах достоверно выше по сравнению с фоном. По мере приближения к источнику загрязнения наблюдается увеличение содержания меди и никеля и уменьшение основных элементов питания (Ca, Mg, K, Mn, P). Тяжелые металлы в съедобных грибах в условиях промышленного загрязнения распределяются в следующие ряды: в подосиновике - $Zn > Cu > Ni > Cd > Pb$; в белом грибе - $Cu > Zn > Ni > Cd > Pb$; в моховике - $Cu > Zn > Ni > Cd > Pb$; в сыроежке - $Zn > Cu > Ni > Pb > Cd$; в волнушке - $Zn > Cu > Ni >> Cd > Pb$.

В связи с реконструкцией комбината «Североникель» и сокращением промышленных выбросов в начале XXI века, наблюдается снижение концентраций по никелю и меди в съедобных грибах на расстоянии 80-100 км от источника загрязнения по сравнению с результатами исследований, проведенными в конце 80-х годов XX века.

Рекомендуется собирать съедобные грибы не ближе 30-ти км от комбината «Североникель» в южном и юго-западном направлении вдоль трассы Мончегорск – Полярные Зори и на расстоянии 50 м от основных дорог. При чистке грибов для приготовления в пищу желательно срезать трубчатый слой у белых грибов, подосиновиков, подберезовиков, моховиков.

Литература

1. Баркан В.Ш., Панкратова Р.П., Силина А.В. Накопление никеля и меди лесными ягодами и грибами, произрастающими в окрестностях комбината «Североникель» (г. Мончегорск) // Растительные ресурсы, 1990. Т. 26. № 4. С. 498-509.
2. Костычев А.А. Биоабсорбция тяжелых металлов и мышьяка агарикоидными и гастероидными базидиомицетами // Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М., 2009. 23 с.
3. Barcan V. Sh., Kovnatsky E.F., Smetannikova M.S. Absorption of heavy metals in wild berries and edible mushrooms in area affected by smelter emissions // Water, Air and Soil Pollution, 1998. Vol. 103. P. 173-195.
4. Ohtonen R., Vdren H., Markola A.M. et al. A review of forest soil biology under the influence of gaseous pollutants and CO₂ // Aquilo Ser. Bot., 1993. Vol. 32. P. 41-54.

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МИКОРИЗ ЕЛИ В ДРЕВОСТОЯХ, ПРОЙДЕННЫХ ВЫБОРОЧНЫМИ РУБКАМИ

Разреживание древостоев влечет за собой изменение освещенности, влажности и температуры, что сказывается в частности и на корневой системе. В то же время, перемещение любой техники под пологом леса неизбежно сопровождается некоторыми негативными явлениями, которые отражаются в первую очередь на корневых системах деревьев.

В ходе процесса эволюции совместного питания высших растений и грибов сформировался своеобразный орган – микориза (грибокорень). Для таежной зоны с низкой температурой и коротким вегетационным периодом характерны заторможенность минерализации органических веществ и преобладание грубогумусных почв, бедных элементами питания, особенно подвижными формами азота. Этот общий фон следует оценивать как благоприятный для осуществления симбиоза высшего растения с грибом (Шубин, 1980).

В таежной зоне микоризообразование у древесных пород происходит повсеместно. Все основные лесобразующие породы имеют эктомикоризы, для которых характерны отсутствие корневых волосков и изоляция сосущих окончаний корней от почвы грибным чехлом (Шубин, 1973, 1983). Ослабление микоризообразования у древесных растений и обеднение состава микоризных грибов, как правило, сопровождается ухудшением состояния лесов и падением в них прироста древесины (Шубин, 1990).

При перемещении лесозаготовительной техники происходит нарушение верхних горизонтов почвы, что ведет к ухудшению ее водного, воздушного и теплового режима и, соответственно к ухудшению функционирования корневой системы. В результате уплотнения верхних слоев почвы и образования колеи от проезда техники, страдают питающие дерево корни, основная масса которых размещена в этих горизонтах (Соколовская и др., 1977; Kardell, 1978). После воздействия техники водно-физические свойства почвогрунтов постепенно восстанавливаются. Однако этот процесс достаточно длительный (Серый и др., 1991; Murphy, 1982; Карпечко, 2008). Некоторые исследователи утверждают, что в зависимости от степени уплотнения почвы для восстановления ее водно-физических свойств может потребоваться 18–40 лет (Буш, Иевинь, 1984; Рубцов и др., 1990).

Работа проводилась в ельнике черничном, пройденном выборочной рубкой давностью 5 лет. При исследовании использовался метод монолитов, отбираемых по всей площади участка (10 шт. – технологический коридор; 10 шт. – пасека). Размер монолита составлял 10х10 см. Глубина образца – 20 см, поскольку это наиболее корнеобитаемый слой почвы, к тому же подвергающийся значительному воздействию движителей лесозаготовительных машин. Монолит был разделен на почвенные горизонты. Далее, отдельно из подстилки и минерального слоя почвы извлекались корни предпоследнего порядка общей длиной с каждого образца не менее 10 см.

Среди корешков предпоследнего порядка отдельно учитывались безмикоризные окончания и микоризы. Цвет, форма, количество микориз, их длина фиксировались двумя способами: 1) при просмотре в бинокляр с помощью микрометра; 2) при анализе фотографий с помощью программы Sigma Scan Pro.

Во время проведения количественного анализа сосущих окончаний измерялась длина всех проводящих корней, отобранных в каждом из образцов, также осуществлялся пересчет числа окончаний на единицу длины проводящего корня (плотность размещения микориз) (Семенова, 1980; Чумак, 1982).

В ходе исследования были выделены две основные формы микориз ели: простая и папоротниковидная. Обычно большее количество микориз встречается в верхнем слое почвы. В лесной подстилке преобладают микоризы простой формы. Это относится как к технологическому коридору, так и к пасеке, где воздействие движителей заготовительной техники сведено к минимуму. Причем в технологическом коридоре разница между количеством микориз простой формы и папоротниковидной составляет 63%. В пасеке это отличие менее ощутимо – 20%. В минеральном слое почвы пасеки микориз простой формы больше на 25%, чем папоротниковидной. В минеральном слое почвы коридора, напротив, больше микориз папоротниковидной формы. Надо отметить, что, как правило, в технологическом коридоре микориз меньше, чем в пасеке, что объясняется негативным влиянием лесозаготовительной техники.

В лесной подстилке технологического коридора плотность размещения микориз почти в 2 раза меньше, чем в подстилке пасаеки. В минеральном слое почвы наблюдается обратная тенденция, когда плотность микоризы в коридоре больше. Вероятно, это связано с тем, что изменение почвенных условий минерального слоя почвы в коридоре после рубки не столь велико, как у лесной подстилки и он (минеральный слой) по своим физическим свойствам (влажность, температура) представляет собой более благоприятный субстрат для микоризообразования.

Длина микориз простой и папоротниковидной формы в лесной подстилке больше в технологическом коридоре. Обратная картина в минеральном слое почвы, где микоризы длиннее в пасаеке.

Было получено, что безмикоризных окончаний меньше, чем микориз, это относится и к пасаеке и к технологическому коридору. Плотность размещения на корне микориз превышает безмикоризные окончания в 2-8 раз.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что перемещение техники во время лесозаготовительных работ сопровождается не только изменением водно-физических свойств почвы, механическими повреждениями корней, снижением их массы, но также и нарушением формирования микориз, что в свою очередь может негативно отразиться на приросте древесины. Однако нельзя отрицать и положительного влияния измененных после рубки экологических условий (освещенность, влажность, температура) на микоризообразование. Таким образом, для того, чтобы определить соотношение между положительным и отрицательным влиянием антропогенного воздействия, а также для изучения динамики формирования микориз после проведения рубки необходимы дальнейшие исследования.

Литература

1. Буш К.К., Иевинь И.К. Экологические и технологические основы рубок ухода. Рига: Зинатне, 1984. 174 с.
2. Карпечко А.Ю. Изменение плотности и корненасыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах южной Карелии // Лесоведение. 2008. № 5. С. 66-70.
3. Рубцов М.В., Дерюгин А.А., Салмина Ю.Н., Гурцев В.И. Водорегулирующая роль таежных лесов. М.: Агропромиздат, 1990. 223 с.
4. Семенова Л.А. Морфология микориз сосны обыкновенной в спелых лесах // Микоризные грибы и микоризы лесобразующих пород севера. Петрозаводск: карельский филиал академии наук СССР Институт леса, 1980. С. 103-132.
5. Серый В.С., Анисеева В.А., Вялых Н.И., Кубрак Н.И. Изменение лесорастительных условий вырубок при современных лесозаготовках // Экологические исследования в лесах Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991. С. 3-15.
6. Соколовская Н.А., Ревут И.Б., Маркова И.А., Шевляков И.Р. Роль плотности почвы при лесовосстановлении // Лесоведение. 1977. № 2. С. 44-51.
7. Чумак Н.Ф. Микориза сосны на песчаных почвах в связи с применением удобрений: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1982. 25 с.
8. Шубин В.И. Микотрофность древесных пород, ее значение при разведении леса в таежной зоне. Л.: Наука, 1973. 264 с.
9. Шубин В.И. Микоризные грибы и микоризы лесобразующих пород Севера. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1980. 185 с.
10. Шубин В.И. Пути использования микотрофии древесных пород в лесном хозяйстве таежной зоны. Препринт доклада на заседании Ученого совета Института леса 26 декабря 1983 г. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1983. 40 с.
11. Шубин В.И. Макромицеты лесных биоценозов таежной зоны и их использование. Л.: Наука, 1990. 197 с.
12. Kardell L. Traktorskador och tillvaxtforluster hos gran – analys av ett 10 arigt forsok. Summary: Increment losses of Norway spruce caused by tractor logging. Sveriges SkogsvForb. Tidskr. Hefte, 1978. B. 3. S. 305-321.
13. Murphy G. Soil damage associated with production thinning // N. Z. J. Forest. Sci, 1982. V. 12. № 2. P. 281-292.

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАУНЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ *MICROMAMMALIA* НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ (ЛАПЛАНДСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

На Кольском п-ове в подзоне северной тайги мониторинг мелких млекопитающих *Micromammalia* ведется с 1936 г. на стационаре, который находится в центральной гористой части полуострова на территории Лапландского заповедника. Количественные учёты на нём ведутся ежегодно, за исключением одного перерыва в военные 1942-1945 гг. Местоположение стационара (67°39' N, 32° 36' E) и метод проведения учётов ни разу не меняли.

Учёты численности мелких млекопитающих проводили методом ловушко-линий (Кучерук, 1963). Линия состояла из 100 ловушек Геро и работала 4-5 суток. В качестве приманки использовали кубики ржаного хлеба (1 куб. см), смоченные подсолнечным нерафинированным маслом. Ловушки расставлялись на расстоянии 10 м одна от другой и проверялись один раз в сутки. Относительная численность зверьков оценивалась по числу их попаданий на 100 ловушко-суток или на 10 канавко-суток. Кроме этого, вводится, для обеспечения пропорциональности между численностью животных и обычным показателем учёта, улучшенный показатель плотности полёвок, отражающий занятость ловушек. В этом случае улучшенный показатель численности рассчитывается как отношение числа добытых зверьков к количеству эффективных ловушек ($Tэ$):

$$Tэ = 1/2 (T_i + T_n), \text{ где}$$

T_i - количество настороженных ловушек в начале учёта, а

T_n - количество настороженных ловушек в конце учёта.

Учётные работы проводятся в первой декаде сентября, по окончании периода размножения грызунов. Размножение насекомоядных млекопитающих к осени также полностью прекращается. Мониторинг численности норвежского и лесного леммингов осуществляли путем прямых наблюдений, регистрации следов жизнедеятельности грызунов и методом ловчих траншей. Продолжительность циклов рассчитывали от фазы депрессии до года перед наступлением очередной депрессии численности. Всего отработано автором лично более 20000 ловушко-суток и привлечено материалов, собранных коллегами по Лапландскому заповеднику в объеме 18000 ловушко-суток. Прослежено всего 17 полных популяционных циклов лесных полевков.

На территории Лапландского заповедника в Мурманской области (подзона северной тайги) обитают 8 видов мышевидных грызунов и 6 видов землероек. Из них к доминантам относятся норвежский лемминг *Lemmus lemmus* и красно-серая полёвка *Clethrionomys rufocanus*, бурозубки обыкновенная *Sorex araneus* и средняя *S. caecutiens*, к субдоминантам – полевки красная *Cl. rutilus* и рыжая *Cl. glareolus*. В отдельные годы регистрируется высокая численность серых полёвок, особенно экономки *Microtus oeconomus*, и спорадически темной *M. agrestis*. Редко на стационаре регистрируются лесной лемминг *Myopus schisticolor*, обыкновенная кутора *Neomys fodiens*, крошечная *S. minutissimus* и малая бурозубка *S. minutus*. На стационаре не отмечены за время его существования два вида мелких млекопитающих – равнозубая бурозубка *S. isodon* и водяная полевка *Arvicola terrestris*.

Основу фауны мышевидных грызунов лесного пояса центрального района Кольского полуострова составляют лесные виды, которые относятся к нескольким группам, отличающимся по истории формирования и характеру современного распространения. Самую многочисленную группу представляют таёжные виды фаунистически связанные с хвойными лесами: красная полевка, красно-серая полевка, темная полевка, полевка-экономка, лесной лемминг и рыжая полевка. Последний вид находится на северной окраине своего ареала и тяготеет к еловым лесам региона. Норвежский лемминг относится к горно-тундровым формам. Он не является малоподвижным грызуном, как это свойственно полевкам. В период своих сезонных миграций пути перемещений леммингов значительно превышают средние значения дистанций всех остальных видов мышевидных грызунов и насекомоядных. Динамике численности лесных полёвок свойственна структура циклов, характерная для Восточной Фенноскандии (Семенов-Тянь-Шанский, 1970; Окулова, Катаев, 2003; Stenseth, 1999). За 77-летний мониторинг было прослежено 17 популяционных циклов у красно-серой полёвки; из них было 4-летних – девять, 5-летних – шесть и 6-летних – два (табл.).

Результаты учёта мелких млекопитающих за 1936-20013 гг. на многолетнем стационаре «Ельнюн»
в центральной части Кольского п-ова

Год	Поряд- ковый номер цикла	Число ловушко- суток	Поймано зверьков	Показатель учёта на 1000 ловушко-суток (улучшенный показатель учёта)					
				суммарный	полёвки			серые полёвки, лемминги	земле- ройки
1	2	4	5		красно- серая	рыжая	красная		
6	7	8	9	10	11				
1936	I	409	28	68	-	34	2	-	32
1937	I	391	145	361	84	254	5	5	13
1938	I	316	261	824	477	259	25	53	10
1939	II	495	6	12	2	4	4	-	2
1940	II	306	83	271	45	215	4	-	7
1941	II	269	261	970	305	658	7	-	-
1942	II	-	-	-	-	-	-	-	-
1943	III	-	-	-	-	-	-	-	-
1944	III	-	-	-	-	-	-	-	-
1945	III	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	III	332	212	640	450	151	2	36	3
1947	IV	478	28	59	59	-	-	-	-
1948	IV	452	67	148	49	53	-	-	46
1949	IV	365	231	633	384	205	19	-	22
1950	IV	366	236	645	583	23	14	-	25
1951	V	999	1	1	1	-	-	-	-
1952	V	482	28	58	19	25	-	-	14
1953	V	419	138	331	105	144	5	-	77
1954	V	334	88	263	147	86	-	3	27
1955	VI	476	32	67	42	10	-	-	15
1956	VI	268	42	156	70	56	-	-	30
1957	VI	229	95	415	140	214	4	-	57
1958	VI	313	193	617	520	84	3	-	10
1959	VI	386	140	362	313	13	5	-	31
1960	VII	496	1	2	-	-	-	-	2
1961	VII	487	11	22	12	2	2	-	8
1962	VII	371	207	558	402	86	-	-	70
1963	VII	330	203	614	584	3	-	-	15
1964	VII	364	192	513	430	-	-	-	79
1965	VIII	482	19	39	10	-	-	-	29
1966	VIII	478	23	48	19	-	-	-	29
1967	VIII	464	54	116	69	2	-	-	45
1968	VIII	458	61	133	85	4	-	7	37
1969	VIII	430	99	230	151	28	0	37	14
1970	VIII	413	130	315	255	27	0	19	14
1971	IX	457	43	94	61	7	0	0	26
1972	IX	454	79	174	42	26	0	0	106
1973	IX	367	254	692	499	65	0	14	114
1974	IX	356	202	567	455	48	0	0	64
1975	X	476	25	52	48	0	0	0	4
1976	X	460	60	130	28	2	0	0	100
1977	X	340	226	664	508	56	0	56	44
1978	X	358	142	397	358	0	0	33	6
1979	XI	491	7	14	0	0	0	0	14
1980	XI	466	43	92	22	6	2	2	60
1981	XI	321	142	442	274	56	6	50	56
1982	XI	324	219	676	611	19	3	37	6
1983	XI	432	80	185	174	0	0	2	9
1984	XII	488	11	22	0	0	0	0	22

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
1985	XII	470	44	93	36	2	0	0	55
1986	XII	425	117	275	244	0	0	26	4
1987	XII	318	312	981	896	0	0	57	28
1988	XII	400	175	438	428	0	0	8	2
1989	XII	496	5	10	6	0	0	0	4
1990	XIII	472	27	57	40	0	0	0	17
1991	XIII	404	158	391	344	2	0	15	30
1992	XIII	384	170	443	383	0	0	8	52
1993	XIII	458	64	140	140	0	0	0	0
1994	XIV	487	16	33	27	0	2	0	4
1995	XIV	485	16	33	29	4	0	0	0
1996	XIV	423	103	244	225	0	5	0	14
1997	XIV	423	150	354	347	0	0	0	7
1998	XIV	406	109	268	266	0	0	0	2
1999	XV	477	21	44	19	0	0	0	25
2000	XV	482	27	56	6	0	0	0	50
2001	XV	445	77	173	47	0	5	0	121
2002	XV	417	100	239	183	14	7	2	33
2003	XV	373	179	480	364	54	11	3	48
2004	XV	411	94	228	214	12	0	0	2
2005	XVI	477	28	58	13	8	6	0	31
2006	XVI	405	118	290	69	126	7	0	88
2007	XVI	360	231	642	553	53	8	11	17
2008	XVI	376	185	492	412	13	3	5	59
2009	XVII	485	22	45	8	0	0	0	35
2010	XVII	450	76	169	47	2	11	0	106
2011	XVII	507	293	953	826	19	62	19	25
2012	XVII	500	80	160	160	0	0	0	0
2013	XVIII	498	43	95	33	0	0	0	59

Численность этого фонового вида на Кольском п-ове с 1955 г. имела тенденцию увеличения продолжительности отдельных популяционных циклов на год или два. В последнее время красно-серая полёвка, по данным учётов на стационаре «Ельнюн», стала преобладающим по численности видом, сменив в этом отношении рыжую полёвку (Катаев, 2005; 2012). У рыжей полёвки каждый подъём численности ранее продолжался два года с 4-летней цикличностью, а с 1974 года “пики” начали длиться с чередованием по 2-3 года. С 1983 по 2001 гг. рыжая полёвка на стационаре отмечалась в среднем каждые 6 лет. После 2002 года вид стал регистрироваться ежегодно с 3-летней цикличностью. Пики численности красно-серых полёвок и норвежских леммингов хронологически нередко совпадают (1938, 1946, 1958, 1970, 1977, 1982, 2011 гг.). Депрессии численности полёвок и леммингов почти всегда наступали одновременно и бывали очень глубокими (1939, 1951, 1960, 1965, 1979, 1984, 1989, 2000, 2009).

При общем циркумполярном распространении арктических леммингов, ареал норвежского лемминга изолирован от остальных видов и ограничен Фенноскандией, в том числе Кольским п-овом в России. Массовое размножение, приводящее к высокой численности норвежских леммингов в данном регионе, как правило, охватывает два смежных года: 1929-30, 1933-34, 1937-38, 1941-42, 1946, 1958-59, 1969-70, 1977-78, 1982-83 и в 2011 гг. До середины 40-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 с 1974 г. 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 1998 гг. на юге полуострова.

У лесных леммингов подъемы численности происходили в 1933-34, 1937-38, 1958-59, 1969-70 гг. Кроме того, лесные лемминги отмечены на Кольском п-ове вне указанных периодов массового размножения: в его центральной части в 1971, 1998-1999 гг. (Катаев, Катаева 1999) и в южной части - в 1982-83, 1987-88, 1991 и 1996 гг. (Бойко, 2000). 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. Серые полевки регистрировались на стационаре Ельнюн в следующие годы: 1933-34; 1937-38; 1945-46; 1969-70; 1973-74; 1977-78; 1981-82; 1986-87; 1991-92; 1996-97; 2001-02; 2007-08. Показатель численности в указанные годы составлял от 1.5 до 2.0 экз. на 100 ловушко-суток.

В динамике численности двух доминирующих видов землероек с 1962 по 2011 гг. прослежено 9 «землеройковых» лет, когда численность обыкновенной землеройки была 5 и более экз. на 100 ловушко-суток, 15 лет крайне бедных на землероек, когда их численность не превышала 0.5 экз. на 100 ловушко-суток и 25 лет с промежуточной численностью. Число последовательных лет с высокой и средней численностью животных составляло от 1 до 5 лет, а с минимальной от 1 до 3. Неритмичные в целом флуктуации численности популяции обыкновенной бурозубки, в отдельные временные промежутки (1976-1985 гг.) демонстрировали 4-летнюю периодичность. Численность двух доминирующих видов – обыкновенной и средней бурозубок – колеблется согласованно. Численность малой бурозубки в Лапландском заповеднике незначительна и характер её колебаний за изученный промежуток времени не прослеживается. Видовое соотношение обыкновенной, средней и малой бурозубок на стационаре выражается в среднем за полувековой период как 54:39:7. Анализ результатов многолетних учётов, полученных на стационаре «Ельнюн», выявил, что общий показатель численности для трёх указанных видов землероек изменялся в период с 1936 по 1950 гг. с 6-летним ритмом – каждые 3 года низкой численности сменялись 3 годами обилия животных. Далее последовал сбой в периодичности, после которого длительность популяционных циклов сократилась до 4 лет. С 1986 г. по настоящее время наступил новый сбой в динамике численности насекомоядных с отсутствием цикличности и почти ежегодной их регистрацией с показателем численности от 0.5 до 8 экз. на 100 ловушко-суток. Из прослеженных у лесных полевок 17 полных популяционных циклов отмечено, что их продолжительность для красно-серой полевки постепенно увеличивалась с 4 лет в период с 1935 по 1954 гг. до 5-6 в последующие годы, (в среднем 4.5 г.). Сходная тенденция за указанные временные промежутки обнаружена и в популяции норвежского лемминга – продление циклов с 5.0 до 11.4 (в среднем 8.3 г.). Различия в длине микродинамических циклов полевок и леммингов увеличились, в основном по причине участвовавших за последние годы многолетних депрессий. Отметим, что в популяции красной полевки цикл длиннее, чем у рыжей, также за счет большей продолжительности ее фаз депрессии. Среди серых полевок увеличенный цикл присущ темной полевке за счет длительной фазы депрессии. При сравнении продолжительности циклов лесных и серых полевок выяснилось, их примерное сходство, причем доля лет пика численности больше у лесных, а период депрессии максимален у серых полевок. Сравнение структур циклов изученных видов полевок и леммингов выявило как общие (фазы подъема и нарастания) так родоспецифические (фазы пика и депрессии) признаки. Однако, это деление условное – фаза депрессии, например, наиболее длительной оказалась у красной и темной полевок. На основании выявленных популяционных сбоев не лишено смысла предположение, что эти региональные нарушения явились откликом на начавшиеся изменения в длительно неизменной и однородной среде существования животных (Катаев, Окулова, 2010).

Многолетний мониторинг численности показывает, что на Кольском полуострове в населении мышевидных грызунов происходит в последние десятилетия удлинение популяционных циклов. Это относится в первую очередь к лесным полевам *Clethrionomys* (Kataev et al., 1994; Катаев, 2012). Серые полевки *Microtus* менее показательны в этом отношении – родоспецифичность циклики этих животных несколько иная. В населении леммингов *Lemmus* и землероек бурозубок *Sorex* наблюдаются неритмичность и сбои в чередовании подъемов и спадов межгодовой численности чаще, чем у других видов мелких млекопитающих. Тем не менее, циклы мышевидных грызунов Кольского Севера достаточно сходны по своей протяженности, соотношению популяционных фаз и высоте пиков, несмотря на нестабильность природных условий региона исследований.

Литература

1. Бойко Н.С. Видовое разнообразие и численность млекопитающих *Mammalia* L., 1778 и акватории Кандалакшского заповедника // Рациональное использование прибрежной зоны северных морей. С-Пб., 2000. С. 70-93.
2. Катаев Г.Д. Оценка состояния сообществ млекопитающих северо-таежных экосистем в окрестностях предприятия по производству никеля // Экология, 2005. № 6. С. 460-465.
3. Катаев Г.Д. Мониторинг численности мелких млекопитающих в Лапландском заповеднике (1936–2006 гг.) // Труды Лапландского гос. природного биосферного заповедника. Вып. VI. М. Изд-во «Перо», 2012. С. 314-327.
4. Катаев Г.Д., Катаева Р.И. Лесной лемминг в фауне Кольского Севера // Материалы научно-практической конференции, посвященной 25-летию заповедника «Пинежский». (16-25 августа 1999 года, п. Пинега). Архангельск, 1999. С. 100-103.
5. Катаев Г.Д., Окулова Н.М. Норвежский лемминг *Lemmus lemmus*, L. 1758. в период глобального потепления // Доклады Академии наук, 2010. Т. 435, № 5. С. 711-713.
6. Кучерук В.В. Новое в методике количественного учета вредных грызунов и землероек // Организация и методы учета вредных грызунов. М.: АН СССР, 1963. С. 159-183.
7. Окулова Н.М., Катаев Г.Д. Многолетняя динамика численности красно-серой полевки *Clethrionomys rufocanus*, *Microtinae*, *Rodentia* в разных частях ареала // Зоологический журнал, 2003. Т. 83, № 9. С. 1095-1111.
8. Семёнов-Тян-Шанский О.И. Цикличность в популяциях лесных полёвок // Бюлл. Моск. общ-ва испыт. природы. Отд. Биол., 1970. Т. 75 (2). С. 11-26.
9. Kataev G., Suomela J., Palokangas P. Densities of microtine rodents along a pollution gradient from a copper-nickel smelter // Oecologia. 1994. V. 97. P. 491-498.
10. Stenseth N.C. Population cycles in voles and lemmings: density dependence and phase dependence in a stochastic world // Oikos. 1999. V. 87. P. 427-461.

Кашулина Г.М., Кубрак А.Н.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН, г. Анапты
galina.kashulina@gmail.com

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОТНОГО СТАТУСА ПОЧВ ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРНИКЕЛЬ»

Медно-никелевый комбинат «Североникель» на Кольском полуострове является одним из крупнейших источником выбросов SO₂ и тяжелых металлов на Севере Европы. Длительное воздействие выбросов этого предприятия привело к экстремально высокому уровню химического загрязнения тяжелыми металлами всех поверхностных компонентов окружающей среды, а также к обширному и серьезному нарушению экосистем в регионе. Максимальные объемы выбросов SO₂ этим предприятием (около 250 тыс. т в год) пришлось на середину 80-ых. За последние 20 лет в соответствии с требованиями международной Конвенции 1979 года выбросы SO₂ были снижены до около 30 тыс. т в год. Однако, кумулятивные выбросы SO₂ за все время деятельности этого предприятия к настоящему времени достигли более 20 млн. т.

Основной интерес для ученых данная территория представляет с точки зрения химического загрязнения почв большим спектром элементов. Наиболее масштабные и экстремальные уровни загрязнения свойственны главным металлам-загрязнителям медно-никелевого производства - Ni и Cu. К настоящему времени содержание Ni и Cu в верхнем органогенном горизонте почв локальной зоны воздействия комбината «Североникель» достигло уровней свойственных медно-никелевым рудам – до 10000 мг/кг и более (Кашулина и др. 2010). Небольшой интерес к проблеме закисления, несмотря на то, что основным компонентом выбросов промышленных предприятий является SO₂, обусловлен отсутствием четкого проявления этого процесса и противоречивостью между теоретическими предположениями и натурными наблюдениями.

Как показали результаты наших предшествующих исследований, несмотря на огромные объемы выбросов SO₂, закисление почв наблюдалось лишь в единичных случаях. Особенно

значительное снижение кислотности (почти на 1 pH единицу) было отмечено в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» с наиболее нарушенными экосистемами (Кашулина, 2002). В целом, кислотность почв индустриальной части Кольского полуострова была ниже, по сравнению с фоновыми условиями Северной Финляндии. Основной причиной отсутствия подкисляющего эффекта и его негативного влияния на питательный статус почв является низкая реакционная способность SO_2 и присутствие достаточных количеств основных катионов в выбросах, способных частично или полностью нейтрализовать кислотные компоненты.

Современное состояние и динамику показателей кислотного статуса почв в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» изучали в составе комплексного ландшафтного почвенно-геоботанического мониторинга в период 2001, 2002, 2005-2012 гг. Эти исследования проводили в рамках региональной программы «Охрана и гигиена окружающей среды и обеспечение экологической безопасности в Мурманской области» совместно с ОАО «Кольский геологический информационно-лабораторный центр».

В 2001 году на территории водосборного бассейна оз. Мончеозеро для организации мониторинга было выбрано 5 малых водосборов (I-V) размером 10-30 км². На сопряженных элементах ландшафта (вершины холмов, склоны, подножия холмов или горных склонов и локальные депрессии, представленные низинными болотами) в каждом водосборе было заложено по три-четыре индивидуальные стационарные площадки. Из-за большой протяженности водосбор II был разделен на 2 части, обозначенные как II и IIА. Номер индивидуальной стационарной площадки складывается из номера водосбора и номера площадки в нем через дефис, обозначенной цифрами от 1 до 4, начиная с вершины. Ландшафтный подход позволил изучить кислотный статус всех основных типов почв региона – автоморфных почв - подзолов и их техногенных дериватов; полугидроморфных почв – торфяно-подзолов глеевых (подножия склонов) и торфяных эутрофных почв низинных болот в локальных депрессиях. Как показали предшествующие исследования (Кашулина, 2002; Кашулина и др., 2010), наиболее серьезные последствия выбросы промышленных предприятий на почвы оказывают косвенным путем через разрушение растительности и прекращение поступления свежего растительного опада. При длительном отсутствии поступления свежего растительного опада органическое вещество коренной экосистемы постепенно разлагается, инициируя физическую эрозию почв. Особенности современного почвообразования, включая физическую эрозию, в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» уже обусловили изменения классификационного положения почв на уроне подтипа и, даже, типа.

Опробование основных генетических горизонтов почв проводились из индивидуальных разрезов, заложенных в центре каждой площадки мониторинга в 2001 году. Смешанные пробы верхнего 3-х см слоя верхних генетических горизонтов почв основных парцелл отбирались ежегодно в конце вегетационного периода. В образцах определяли pH водной и солевой вытяжек, гидролитическую кислотность, а также обменные Са и Mg общепринятыми методами. Наши исследования были сосредоточены в локальной зоне. Показатели, характеризующие кислотный статус почв региона в фоновых условиях, были взяты из опубликованных источников. Природное варьирование актуальной кислотности (pH_{водн.}) подзолов представлено данными с 650 разрезов, заложенных при проведении комплексного экогеохимического картирования - проект «Экогеохимия Кольского полуострова» (Reimann et al., 1998). Для характеристики фоновых значений других показателей кислотного статуса почв использованы данные В.Н. Переверзева (2004, 2013).

pH водной вытяжки эродирующего верхнего органогенного горизонта подзолов локальной зоны (рис.1, табл. 1) в настоящее время варьировало от 3.4 до 6.1 (медиана 4.75). В фоновых условиях (север Финляндии) этот показатель варьирует от 3.3 до 4.3 (медиана 3.8). По всем статистическим показателям (табл. 1) pH_{водн.} образцов из локальной зоны воздействия комбината «Североникель» было выше по сравнению с фоном.

По результатам проекта «Экогеохимия Кольского полуострова» ни одна величина pH водной вытяжки почвы верхнего органогенного горизонта на Кольском полуострове не опустилась ниже природного варьирования. Уже для 12% территории на Кольском полуострове pH_{вод.} почвы была выше критического уровня (95%-ль фона – 4.2), а в 6% – pH была выше верхнего предела природного варьирования. В локальной зоне комбината «Североникель» в настоящее время pH_{вод.} почв выше верхнего предела варьирования в фоновых условиях наблюдается уже для 94% образцов.

Варьирование актуальной кислотности в верхнем органогенном горизонте основных парцелл обследованных площадок по годам, как правило, не превышало 1 pH-единицу (рис. 2). Как было показано ранее (Левина, 1969), в естественных условиях на одной площадке в сезонной динамике

варьирование актуальной кислотности также составило 1 рН-единицу. Т.е., актуальная кислотность является очень динамичным почвенным показателем и для него характерно очень высокое варьированием во времени. рНвод. на площадке I-1 в основной парцелле – пустоши техногенной в современной динамике варьировало от 4.1 (2002 г.) до 4.8 (2008 г.).

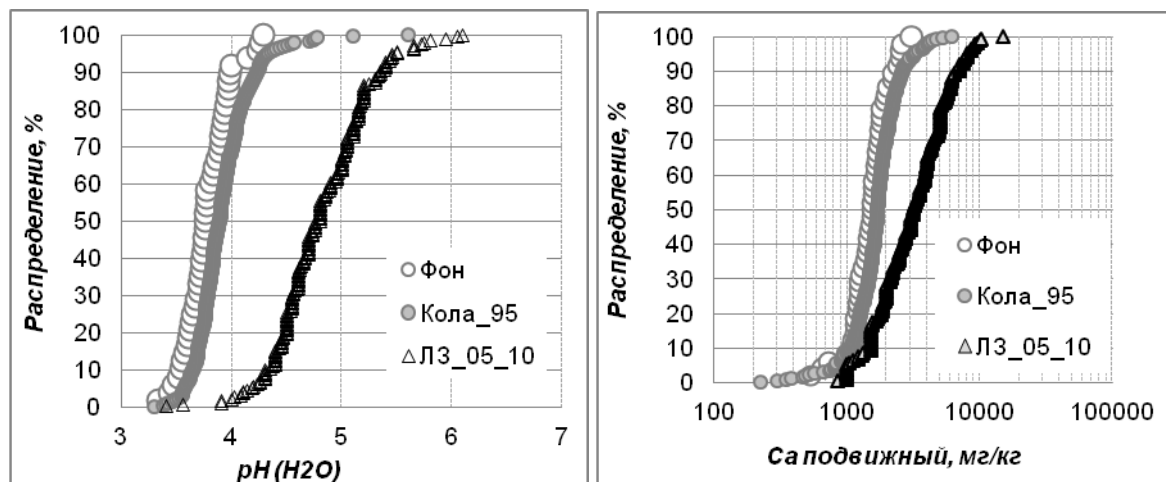


Рис. 1. Распределение кислотности и содержания подвижного Са в подстилке подзолов фоновых условий (фон), индустриальной западной части Кольского полуострова по результатам комплексного экогеохимического картирования в 1995 г. (Кола_95) и локальной зоны воздействия комбината «Североникель» в 2001-2012 гг. (ЛЗ_05_10)

Таблица 1

Основные статистические показатели (медиана, минимум, максимум, а также значения 5-ти 95%-сентилей) распределение кислотности и содержания подвижного Са в подстилке подзолов фоновых условий (фон), индустриальной западной части Кольского полуострова по результатам комплексного экогеохимического картирования в 1995 г. (Кола_95) и локальной зоны воздействия комбината «Североникель» в 2005-2012 гг. (ЛЗ_01_12)

	n	min	5%-тиль	Медиана	95%-тиль	max
рНводн.						
Фон	48	3.34	3.46	3.77	4.20	4.29
Кола_95	292	3.30	3.57	3.89	4.32	5.60
ЛЗ_01_12	207	3.40	4.16	4.75	5.48	6.10
Подвижный Са, мг/кг						
Фон	48	540	720	1540	2500	3040
Кола_95	292	220	820	1700	3200	6200
ЛЗ_01_12	207	820	1025	3000	8600	10600

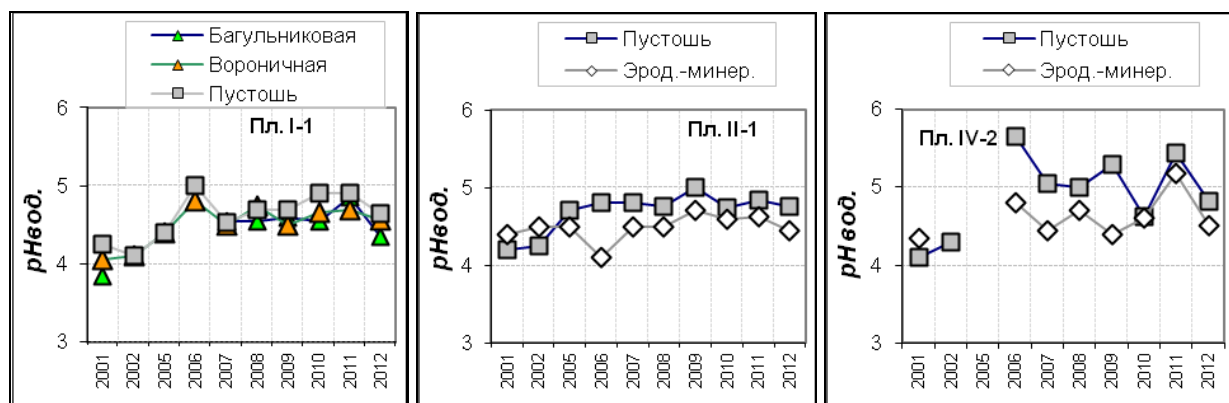


Рис. 2. Многолетняя динамика актуальной кислотности (рН водной вытяжки) верхнего органогенного горизонта почв основных парцелл стационарных площадок в локальной зоне воздействия комбината «Североникель»

В близком интервале варьирование актуальной кислотности наблюдалось на более загрязненной и разрушенной площадке II-1. Наиболее высокое варьирование актуальной кислотности по годам было отмечено на самой загрязненной и нарушенной площадке IV-2: от 4.1 (2001 г.) до 5.6 (2006 г.) рН-единицы. Благодаря богатству почвообразующего материала Са и Mg, кислотность верхнего органогенного горизонта горных подзолов (пл. V-2) варьировала в менее кислой области: ни одно значение рН_{вдн.} здесь не опустилась ниже 4.6. Основной чертой распределения актуальной кислотности в многолетней динамике на всех обследованных площадках являются ее более высокие значения в первые годы наблюдений: 2001, 2002 и 2006 гг.

Близкими фоновыми значениями характеризуется актуальная кислотность верхнего органогенного горизонта торфяно-подзолов глеевых (Переверзев, 2004, 2013). В локальной зоне рН водной вытяжки верхнего органогенного горизонта полугидроморфных почв – торфяно-подзолов глеевых варьировало также в чуть менее кислой области по сравнению с фоновыми: от 3.6 (пл. II-2 в 2001 г., парцелла пустошь техногенная) до 5.2 (пл. IIА-2 в 2006 г., парцелла техногенная пустошь).

Актуальная кислотность верхнего горизонта торфяных эутрофных почв в локальной зоне в настоящее время (рН_{вдн.} варьировала от 4.6 до 6.2) была также существенно ниже по сравнению с незагрязненными почвами этого типа в регионе (Переверзев, 2004, 2013).

Анализ распределения актуальной кислотности почв по элементам ландшафта показал, что в большинство лет наблюдений кислотность верхнего органогенного горизонта торфяных эутрофных почв локальных депрессий была ниже по сравнению с почвами автономных позиций ландшафта и подножий склонов. Различия по кислотности между подзолами, занимающими вершины холмов, и торфяно-подзолами глеевыми, формирующимися у подножий склонов, были незначительными.

Содержание подвижного Са, от присутствия которого в почвенном поглощающем комплексе зависит кислотность почвы, в почвах западной части Кольского полуострова, подверженной воздействию промышленных выбросов выше, чем в фоновых условиях (рис. 1, табл.1). Содержание подвижного Са эродирующего верхнего органогенного горизонта подзолов локальной зоны в настоящее время варьировало от 820 до 10600 мг/кг (медиана 3000 мг/кг). В фоновых условиях (север Финляндии) этот показатель варьирует от 540 до 3040 мг/кг (медиана 1540 мг/кг). Т.е., по всем статистическим показателям содержание подвижного Са в образцах из локальной зоны воздействия комбината «Североникель» было выше по сравнению с фоном, несмотря на то, что кумулятивные выбросы закисляющего газа - SO₂ к настоящему времени составили более 20 млн. т.

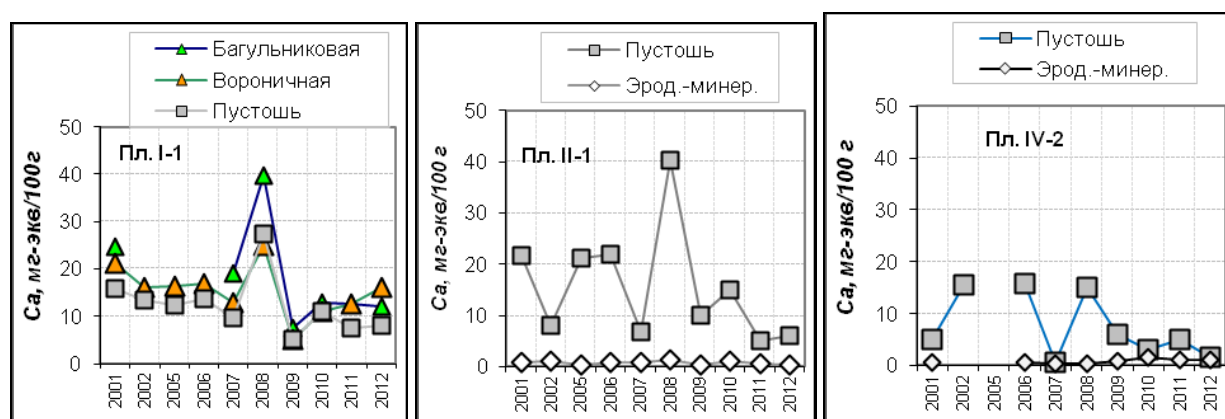


Рис. 3. Многолетняя динамика содержания обменного Са в верхнем органогенном горизонте почв основных парцелл на стационарных площадках в локальной зоне воздействия комбината «Североникель»

Варьирование содержания обменного Са в верхнем органогенном горизонте почв основных парцелл обследованных площадок по годам показано на рис. 3. Варьирование содержания обменного Са, как и актуальной кислотности, по годам является довольно значительным. Так, содержание обменного Са в верхнем органогенном горизонте пустоши техногенной за годы наблюдений на наименее разрушенной и загрязненной площадке I-1 варьировало от 5 до 28 мг-экв/100 г. почвы, т.е.

более 5 раз. На площадке II-1, в аналогичной парцелле варьирование содержания обменного Са было более значительным: от 5 до 75 мг-экв/100 г. Варьирование содержания обменного Са в аналогичной парцелле самой загрязненной и разрушенной площадки IV-2 было также значительным, но в более низкой области: от 0.7 до 16 мг-экв/100 г. почвы. Благодаря богатству почвообразующего материала щелочноземельными элементами, содержание обменного Са в верхнем органогенном горизонте горного подзола (пл. V-2) не опускалось ниже 20 мг-экв/100 г. почвы.

В отличие от распределения актуальной кислотности в многолетней динамике, более высокие значения содержания обменного Са пришлось на первые годы наблюдений. Еще одной особенностью распределения содержания обменного Са в верхнем органогенном горизонте обследованных почв является тот факт, что на большинстве площадок максимальные значения пришлось на 2008 год, в летний период которого выпало наименьшее количество осадков.

Анализ распределения содержания обменного Са в верхнем органогенном горизонте почв по элементам ландшафта показал, что в большинство лет наблюдений его содержание было наиболее высоким в торфяных почвах низинных болот. Различия по содержанию обменного Са между подзолами, занимающими вершины холмов, и торфяно-подзолами глеевыми, формирующимися у подножий склонов, были незначительными.

Различия в характере изменений pH водн. и содержания обменного Са (рис. 2, 3) в многолетней динамике, а также отсутствие корреляции между этими показателями свидетельствуют о том, что кислотность верхнего органогенного горизонта почв в локальной зоне не определяется содержанием преобладающего обменного катиона – Са.

Варьирование всех остальных показателей кислотного статуса почв (содержание обменного Mg, а также степень насыщенности ППП основаниями) в локальной зоне лишь в единичных случаях выходило за рамки природного варьирования. Различия между индивидуальными площадками по показателям кислотного статуса зависели от степени деградации почв, богатства почвообразующего материала основаниями и положения в ландшафте. На распределение показателей кислотного статуса всех обследованных почв по годам значительное влияние оказывало количество осадков за вегетационный период.

Всем сотрудникам ОАО «Кольский геологический информационно-лабораторный центр» и лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН, участвовавшим в полевых работах и химическом анализе образцов почв, авторы выражают глубокую признательность.

Литература

1. *Кашулина Г.М.* Аэротехногенная трансформация почв Европейского субарктического региона. Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 2002. Ч. 1. 158 с. Ч. 2. 234 с.
2. *Кашулина Г.М., Переверзев В.Н., Литвинова Т.И.* Трансформация органического вещества почв в условиях экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» // Почвоведение, 2010. № 10. С. 1265-1275.
3. *Переверзев В.Н.* Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004. 232 с.
4. *Переверзев В.Н.* Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в Северной Фенноскандии. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2013. 158 с.
5. *Левина В.И.* Сезонная динамика влажности и химических свойств подзолистых, горно-подзолистых и горно-тундровых почв Мурманской области / Почвенные режимы на Полярном Севере. Л.: Наука, 1969. С.5-58.
6. *Reimann C., Ayras M., Chekushin V., Bogatyrev I., Boyd R., Caritat P. de, Dutter R., Finne T.E., Jager O., Kashulina G., Lehto O., Niskavaara H., Pavlov V., Raisanen M.L. Strand T., Volden T.* Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. NGU - GTK - CKE Special Publication, Geological Survey of Norway, Trondheim. 1998a. 745 p.

Ковалева В.А., Хабибуллина Ф.М., Кузнецова Е.Г.

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kovaleva@ib.komisc.ru*

МИКРОБИОТА ТУНДРОВЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ УГЛЕДОБЫЧИ

В настоящее время усиливается нарушение почвенного покрова при добыче полезных ископаемых, приводящее к частичному или полному разрушению естественных экосистем. Особенно остро эта проблема стоит вследствие добычи полезных ископаемых таких как каменный уголь на Севере. Одним из крупных угледобывающих районов на Европейском северо-востоке является Воркутинский район Республики Коми. В процессе извлечения полезных ископаемых происходит нарушение почвенно-растительного покрова и формирование породных отвалов на значительной территории. Отвалы также служат источником аэрогенного загрязнения прилегающей территории (Воркута – город на угле..., 2004). Для выявления степени трансформации природных экосистем под влиянием различных видов нарушений и загрязнения могут быть использованы данные по изучению сообществ почвенных микроорганизмов, чутко реагирующих на изменения среды обитания. В тундровой зоне микробиологические характеристики почв природных и антропогенно трансформированных экосистем изучены недостаточно. В Воркутинском районе исследовалось влияние угледобывающей промышленности только на почвенные водоросли (Природная среда тундры..., 2005). Целью данного исследования было изучение микробного комплекса тундровых почв в зоне воздействия породного отвала, образующегося при добыче угля на шахте «Воркутинская».

Исследования проводили на территории расположения породного отвала шахты «Воркутинская», который функционирует с 1994 г. по настоящее время. Отвал образован шахтными породами, имеющими углисто-аргиллитовый состав. Площадь основания отвала составляет 160 тыс. м², высота около 25 м, объем вмещающей породы более 2500 тыс. м³. Развития растительности на отвале не отмечено. Участки, на которых проводились исследования, расположены по направлению к востоку от отвала. Были отобраны образцы почв и отвальной породы на химический и микробиологический анализы.

Количество разных групп микроорганизмов определяли методом разведения почвенной суспензии с последующим высевом ее на различные агаризованные питательные среды (Методы почвенной микробиологии..., 1991). Изучение микромицетного комплекса проводили с применением инструментальных и различных микробиологических и биохимических методов (Мирчинк, 1988; Звягинцев, 199; Методы почвенной микробиологии..., 1991). Идентификацию микроскопических грибов осуществляли по определителям (Милько, 1974; Ramirez, 1982; Domsch et al., 2007). Химический анализ образцов почв проведен в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий Росстандарта России. Для определения содержания кислоторастворимых форм Zn, Cu, Co, V, Ni, Sr, Mn, Ba использовался метод атомно-эмиссионной спектроскопии в индукционно-связанной плазме. Анализ проводили на приборе Spectro Ciros (Германия). Количество Hg определяли методом атомной абсорбции. Статистическую обработку данных производили с помощью пакета программ Statistica-6.0, MS Excel 5.0, Biodiversity.

На основании визуального обследования территории были выделены три зоны по влиянию техногенного объекта на состояние почвенно-растительного покрова. К первой зоне максимального воздействия (импактной) относятся прилегающие к породному отвалу участки, расположенные в радиусе около 50 м. Вторая зона умеренного воздействия (буферная) находится примерно в 700 м от границы отвала, третья зона (условно фоновая) - в 4 км.

Участок в импактной зоне расположен к северу от отвала и представляет собой нарушенную ерниково-ивняковую разнотравно-моховую тундру. Почва имеет следующее строение. Сверху, глубиной до 2 см, слой из опада трав и слаборазложившихся моховых остатков, ниже суглинок до 4 см, темно-серый, вязкий, сырой, переплетен корнями трав. Под слабоодревнованным слоем наблюдается неравномерно окрашенный суглинок – на сизо-сером фоне ржаво-бурые пятна. На глубине от 6 до 18 см отмечена погребенная масса торфянистого слоя с остатками кустарниковой растительности. С глубины 18-20 см следует глеево-тиксотропный суглинок, аналогичный такому же в ненарушенных почвах.

В буферной (умеренного воздействия отвала) зоне участок, где проводились исследования, расположен примерно в 600 м в северном направлении от участка в импактной зоне и представляет собой ерниково-ивняковую пушицево-моховую тундру. Почва в буферной зоне – тундровая торфянисто-поверхностно-глеевая суглинистая имеет строение A0A1 - Bg - BC, характерное для целинных тундровых почв. Участок, на котором был заложен разрез, характеризуется меньшей степенью гидроморфизма по сравнению с импактной зоной.

В качестве фонового выбран участок ивняково-ерниковой кустарничково-моховой тундрой, расположенный в 4 км к востоку от породного отвала на плоской вершине водораздельной гряды. Почвенный разрез был заложен на межбугорковом участке, где почва тундровая торфянисто-поверхностно-глеевая суглинистая характеризуется следующим строением: A0A1 - Gtx - Bg – BC.

Для оценки степени загрязнения почв изучалось содержание в них некоторых микроэлементов. В породе отвала и в почвах определяли содержание тех элементов, которые, главным образом, участвуют в загрязнении почв под воздействием шахтного комплекса. Результаты анализа приведены в таблице 1. Почвы кислые – значения pH колеблются в пределах 4.6-5.5. Отвальная порода (смешанный образец) характеризуется слабощелочной реакцией и повышенным содержанием органического углерода и фосфора.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в почвах и отвальной породе, мг/кг

Местоположение	Горизонт глубина, см	pH	Cu	Zn	V	Co	Ni	Mn	Sr	Ba
Породный отвал	0-10	8.0	56	77	40	18	90	480	98	180
Импактная зона	A0 0-2	5.6	16	49	42	9	29	450	51	120
	Gtx 2-10	5.0	13	39	51	9	28	430	36	160
Буферная зона	A0A1 0-10	5.5	13	45	50	9	25	350	35	98
	Bg 10-20	4.6	11	45	58	11	24	370	18	68
Фон	A0A1 0-6	5.2	12	50	49	8	21	450	36	90
	Gtx 6-20	4.9	5	27	48	6	13	220	12	41

По данным количественного химического анализа содержание большинства микроэлементов в почвах соответствует фоновым значениям для рассматриваемой территории (Дымов и др., 2010) и не превышает ПДК (ОДК) (ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2511-09).

Относительно более высокие концентрации некоторых микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Ni, Ba) в органогенных горизонтах по сравнению с минеральными связаны с процессом биогенной аккумуляции. Отвальная порода характеризуется более повышенным количеством Cu, Zn, Co, Ni, и, особенно, Sr и Ba по сравнению с почвами. Установлено, что основными микроэлементами углевмещающих пород являются именно барий и стронций (Природная среда тундры..., 2005). В почве импактной зоны также отмечено более высокое содержание Sr и Ba, чем в почвах буферного и фонового участков, что, по-видимому, связано с загрязнением угольной пылью прилегающей к отвалу территории.

Субстрат породного отвала характеризуется низкой биологической активностью. В ряду почв зон *фоновая*→*буферная*→*импактная* отмечено возрастание общей биомассы микроорганизмов с особенно резким увеличением доли спор и дрожжеподобных организмов (табл. 2). Обилие дрожжевых грибов в почве импактной зоны может быть связано с наличием здесь травянистой растительности, остатки которой легче подвергаются разложению по сравнению с мхами. Развитию дрожжевых грибов может также способствовать повышение гидроморфизма на участке, расположенном вблизи отвала, и создание анаэробных условий, а также изменение температурного режима в сторону потепления, что благоприятствует процессам брожения.

Таблица 2

Биомасса микроорганизмов в почвах и отвальной породе, мг/г

Горизонт	Бактерии	Мицелий грибов	Споры грибов и дрожжеподобные организмы	Всего
Породный отвал				
	0.002	0.12	0.01	0.14
Импактная зона				
A0A1	0.08	1.4	0.14	1.62
Gtx	0.0002	0.07	0.007	0.08
Буферная зона				
A0A1	0.02	0.80	0.07	0.89

Gtx	0.0002	0.02	0.01	0.03
Фон				
A0A1	0.04	0.4	0.004	0.44
Gtx	0.0002	0.0	0.02	0.02

Данные по изменению биомассы микроорганизмов, определенные люминесцентным методом, подтверждаются результатами исследования основных физиологических групп микроорганизмов, проведенного чашечным методом. В субстрате породного отвала численность микроорганизмов всех физиологических групп микроорганизмов значительно ниже, чем в почвах (табл. 3).

Самой высокой численностью трофических групп микроорганизмов характеризуется почва импактной зоны. Увеличение численности аммонификаторов, минерализаторов по сравнению с олигонитрофилами и олиготрофами может указывать на активизацию процессов разложения органического вещества, поступающего с опадом растений и угольной пылью. В буферной зоне численность всех основных трофических групп ниже в 2-3 раза по сравнению с импактной зоной и близка к фону, что свидетельствует об уменьшении влияния отвала с увеличением расстояния от его границы.

Из отвальной породы выделены и идентифицированы виды микромицетов из отделов *Zygomycota*, *Basidiomycota* и формального класса *Anamorphic fungi*. Наибольшее видовое разнообразие обнаружено среди анаморфных грибов и зигомицетов. Зигомицеты представлены видами из родов *Mucor* и *Mortierella*. Из образцов породы активно выделялись и доминировали колонии *Mycelia sterilia*, главным образом, темно-бурые и черные. К доминирующим можно отнести два вида рода *Mortierella* - *M. alpina* и *M. cephalosporina*. Из разряда часто встречающихся высоким обилием характеризовались темноцветные анаморфные микромицеты – *Cladosporium herbarum*, *Aureobasidium pullulans*, *Macrosporium commune* и из зигомицетов *Mucor racemosus*. Разряд редко встречающихся и случайных грибов, был представлен видами из родов *Phoma*, *Hymicola*, светлоокрашенными колониями без спороношений, зигомицетами - *Mucor alboater*, *M. circinelloides*, *M. globosum*, *M. hiemalis*, а также базидиальным грибом - *Zygodesmus marginatus*.

Таблица 3

Характеристика основных эколого-трофических групп микроорганизмов
(численность микроорганизмов в млн КОЕ/г а.с.п.)

Горизонт	Аммонификаторы	Минерализаторы	Олигонитрофилы	Олиготрофы	Грибы
Породный отвал					
	8.8±1.8	5.7±1.1	1.6±0.4	1.5±0.5	0.05±0.01
Импактная зона					
A0A1	88.5±4.4	99.1±3.8	30.8±4.1	32.9±2.8	0.6±0.01
Gtx	8.2±2.8	9.7±1.3	8.5±2.2	9.0±1.0	0.03±0.01
Буферная зона					
A0A1	35.1±8.3	37.5±2.1	14.8±2.8	14.1±2.7	0.9±0.05
Gtx	1.04±0.9	4.7±2.8	1.1±0.8	4.4±2.2	0.03±0.01
Фон					
A0A1	23.6±2.3	25.7±4.2	10.1±1.3	12.3±2.2	0.6±0.02
Gtx	5.0±1.1	5.9±1.2	4.7±2.1	3.8±1.5	0.02±0.01

В почве импактной зоны отмечается «перерождение» типичного комплекса микромицетов, в результате чего в почве импактной зоны обильно представлены виды, редко встречающиеся или вовсе нетипичные для зональных почв: *Mucor alboater*, *M. globosum*, *M. hiemalis*, *M. circinelloides*, *M. racemosus*, *Mortierella pusilla*, *M. cephalosporina*, *Mortierella turficola*, *Paecilomyces carneus*, *Umbelopsis sp.*, *Paecilomyces inflatus*, *Penicillium purpureascens*, *Penicillium nigricans*, *Mycelia sterilia* (темно-коричневый тяжистый). Некоторые виды, часто встречающиеся в целинной почве, перешли в разряд редких (*Mycelia sterilia* (с/о), или, наоборот, редкие виды в разряд доминирующих (*Aureobasidium pullulans*). На питательной среде Виноградского вокруг почвенных комочков наблюдалось активное их обрастание дрожжевыми грибами, в том числе и рода *Candida*.

В буферной зоне в почве выделены и идентифицированы виды микромицетов из отдела *Zygomycota* и формального класса *Anamorphic fungi*. Среди доминирующих и частых видов представлены как типичные для тундры *Geomyces pannorum* и *Penicillium lanosum*, *Cladosporium herbarum*, *Mycelia sterilia* (с/о),

Mortierella alpina, так и виды, активно развивающиеся в импактной зоне - *Paecilomyces inflatus*, *Penicillium nigricans*, и обнаруженный только в этой зоне вид - *Trichoderma polysporum*.

В целинной почве фонового участка наиболее часто отмечались виды родов *Umbelopsis* и *Mortierella*. Среди доминирующих и частых видов представлены как типичные для тундры *Geomyces pannorum*, *P. lanosum* и белая пушистая форма стерильного мицелия, так и виды, характерные для более разнообразных климатических условий *Penicillium camemberti*, *P. kapuscinskii*, *P. simplicissimum*, *P. lanosum*. Среди редких видов выделены следующие вид рода *Aspergillus* (*Aspergillus versicolor*) и виды рода *Penicillium*.

Наибольшее сходство по Жаккару наблюдалось в парах: фон - буферная зона (69.2%), импактная - породный отвал (45.2%) и буферная - импактная (40%), наименьшее сходство фоновой почвы и породного отвала (17.1%).

Таким образом, угольная пыль, попадающая на прилегающие к породному отвалу участки природных экосистем, загрязняет почву и способствует изменению субстрата для обитания микроорганизмов. Вместе с тем, данный техногенный объект не является источником значительного загрязнения почв аэрогенным путем. Высокой биологической активности и формированию в импактной зоне своеобразного комплекса микроорганизмов в большей мере, по-видимому, способствовало изменение микроклимата, увеличение доли травянистой растительности. В составе почвенной микробиоты присутствуют виды, устойчивые к техногенному воздействию и характерные для антропогенно нарушенных местообитаний – черные стерильные колонии *Mycelia sterilia*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aureobasidium pullulans*, *Paecilomyces carneus*, *P. inflatus*, *Mucor* sp., а также дрожжевые грибы рода *Candida*.

Почвы буферной зоны испытывают меньшее воздействие породного отвала. По содержанию бария, стронция и тяжелых металлов они незначительно отличаются от почв фона. Состав почвенной микробиоты сходен с составом фоновой почвы, вместе с тем высока доля и эвритопных видов микромицетов из родов *Paecilomyces* и *Mucor*.

Литература

1. Воркута – город на угле, город в Арктике / под ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2004. 352 с.
2. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
3. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 11 с.
4. Дымов А.А., Лаптева Е.М., Калашиников А.В., Денева С.В. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводов в почвах Большеземельской тундры // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 4. С. 43-48.
5. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48-54.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
7. Милько А.А. Определитель мукооральных грибов. Киев: Наукова думка, 1974. 303 с.
8. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
9. Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) / под ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2005. 246 с.
10. Domsh K.H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.
11. Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam-N.-Y.-Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.

Конакова Т.Н., Колесникова А.А.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

konakova@ib.komisc.ru

СОСТАВ И ЧИСЛЕННОСТЬ НЕКОТОРЫХ ГРУПП КРУПНЫХ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Территория Республики Коми уникальна. В настоящее время здесь еще сохранились не тронутые хозяйственной деятельностью человека различные биоценозы. К тому же площадь республики охватывает сразу несколько природных зон, что позволяет выявить закономерности изменения таксономического и видового разнообразия беспозвоночных в широтном аспекте в пределах таежной зоны от южной до крайне северной тайги.

Население хвойных лесов Республики Коми довольно разнообразно. Основные и более подробные почвенно-зоологические исследования на территории республики проводились в пределах средней тайги, по остальным природным подзонам имеются лишь отрывочные данные. Поэтому целью данной работы – определение состава и численности почвенной мезофауны в хвойных лесах в пределах подзон средней и северной тайги.

Наибольшую часть пространства Республики Коми занимает подзона средней тайги (более 95% территории), на долю северной тайги приходится 25.4%. Территория среднетаежной зоны занимает большую часть Вычегодско-Мезенской равнины и южную часть Печорской низменности, к северу простирается примерно до 63°20' с.ш. Климат характеризуется как умеренно-континентальный или умеренно-холодный. Основные площади покрыты еловыми лесами (наиболее типичными являются ельники чернично-зеленомошные, встречаются долгомошные и сфагновые ельники). Высота еловых древостоев, в среднем, составляет 18-20 м, сомкнутость крон - 0.6-0.8, класс бонитета – III-V. Второе место после ельников в подзоне средней тайги занимают сосновые леса. Сосновые леса покрывают боровые террасы и междуречные равнины. В кустарничковом ярусе разных формаций таежной зоны преобладают черника, брусника. В долинах рек и на водораздельных участках с богатыми почвами в лесных сообществах развивается сомкнутый травяной ярус, состоящий, в основном, из папоротника, хвоща лесного, костянки, майника и других. Напочвенный покров среднетаежных лесов состоит из зеленых мхов, при увеличении влажности сменяемых кукушкиным льном и сфагновыми мхами. Для сухих сосновых лесов характерны лишайники (Леса Республики Коми, 1999). В почвенном покрове средней тайги развиты типичные подзолистые почвы, общая площадь которых составляет 4.2% территории республики. Общие свойства подзолистых почв: высокая кислотность, фульватный характер гумусовых соединений, выщелоченность обменных оснований, подзолистый горизонт обеднен илистой фракцией, водный режим промывной (Атлас почв ..., 2010).

Большая часть территории северной тайги расположена на Печорской низменности. Северотаежная подзона характеризуется умеренно-континентальным климатом с частой сменой воздушных масс, с преобладанием пасмурной и дождливой погоды, продолжительной зимой и коротким прохладным летом. В основном преобладают елово-березовые леса и ельники с естественной примесью сосны и березы, кустарничково-долгомошно-зеленомошного и сфагнового типов. Большая часть территории лесов заболочена. Высота древостоя составляет 15-17 м, сомкнутость крон 0.5-0.7, класс бонитета – V (редко IV). Древесный ярус северотаежных ельников хорошо развит, но обычно одиночный. Характер напочвенного покрова обусловлен в основном фактором увлажнения. Особенностью еловых лесов является участие на плакорах болотных кустарничков и трав. Значительную роль в подзоне северной тайги играют сосновые леса, занимающие боровые террасы и равнины в бассейнах рек. Древостой низкорослый и разреженный. Представлены сосновые леса в основном сфагновыми и зеленомошно-лишайниковыми типами. Очень распространены заболоченные типы лесов (Леса Республики Коми, 1999; Торлопова, Ильчуков, 2007). Почвенный покров подзоны северной тайги представлен торфяно-подзолисто-глееватыми, торфяно-подзолистыми контактно-глеевыми иллювиально-гумусовыми, торфянисто-подзолисто-глееватыми и подзолисто-глееватыми почвами (Атлас почв..., 2010).

В 2007-2012 гг. авторами были обследованы основные типы хвойных лесов таежной зоны в различных районах Республики Коми (табл. 1). Для выявления состава и численности почвенных беспозвоночных использовали стандартные методы почвенно-зоологических исследований (Количественные ..., 1987). Статистическую обработку материала выполняли в соответствии с методическими рекомендациями М.Б. Потапова и Н.А. Кузнецовой (2011). Выделение биотопических и трофических групп основных таксонов беспозвоночных осуществлено на основе литературных данных (Шарова, Филиппов, 2004; Грюнталь, 2008, Silfverberg, 1992, Колесникова, 2005 и др.).

По результатам проведенных исследований, в хвойных лесах средней тайги было зарегистрировано по 11-14 таксонов крупных почвенных беспозвоночных. Наиболее многочисленны в составе почвенной мезофауны Araneae, Opiliones, Lithobiidae, Formycidae. В ельниках часто

встречаются Mollusca и Lumbricidae. Ранее в ельнике черничном авторами были зарегистрированы единичные особи редкого в Республике Коми кивсяка *Polizonium germanicum*. Lithobiidae представлены подстилочным, эвритопным, обычным для Северной Европы видом *Lithobius curtipes*, численность которого сопряжена с увеличением мощности подстилки (Anderson, 1983). Coleoptera в обследованных биотопах представлены пятью семействами. Из семейства Carabidae зарегистрировано по восемь видов. Абсолютным доминантом в рассмотренных сосновых лесах является *Calathus micropterus*, в ельниках доминируют жуки *Pterostichus oblongopunctatus* и *C. micropterus*, предпочитающие среднетаежные леса с хорошо развитым моховым покровом (Конакова и др., 2010). Семейство Staphylinidae в сосняках представлено 11 видами, в ельниках - 25. Наиболее часто в подстилке сосновых лесов является *Drusilla canaliculata*, *Acidota crenata*, *Oxypoda annularis*, *Stenus flavipalpis*. Абсолютным доминантом среди стафилинид в ельниках является вид *Zyras humeralis*, кроме того, высоко обилие *Quedius fuliginosus*, *Oxypoda annularis*, видов родов *Lathrobium*, *Geostiba circellaris*, *Quedius molochinus*, *Othius lapidicola*. В семействах Elateridae и Curculionidae зарегистрировано по одному виду. Семейство Cantharidae представлено личиночными стадиями. Общая численность мезофауны низка в сосняках лишайникового и багульниково-сфагнового типов, высока в зеленомошно-лишайниковом сосняке. Более высокие значения численности также наблюдаются и в ельниках со средней степенью увлажнения. На всех участках преобладают трофические группы зоофагов и полифагов, низка значимость таких функциональных групп, как фитофаги и сапрофаги. В сосняках в отдельные месяцы в большом количестве зарегистрированы фитофаги из семейства Curculionidae. Долгоносики обычны в сосняках весь вегетационный период, однако наиболее активны в мае-июне. В ельниках увеличивается доля сапрофагов (до 30% в ельнике чернично-зеленомошном), что обусловлено увеличением численности дождевых червей и моллюсков. По биотопической приуроченности преобладают виды эвритопной и лесной групп. При увеличении влажности подстилки наблюдается увеличение доли эвритопной и лугово-лесной групп.

Таблица 1

Типы исследуемых биотопов в таежной зоне Республики Коми

СРЕДНЯЯ ТАЙГА	
Биотоп	Тип почвы
<i>Сосновые леса</i>	
сосняк вересково-лишайниковый	подзол маломощный иллювиально-железистый
сосняк лишайниково-зеленомошный	подзол маломощный иллювиально-железистый
сосняк багульниково-сфагновый	торфяно-глеевая
<i>Еловые леса</i>	
ельник черничный	подзол иллювиально-железистый
ельник чернично-зеленомошный	торфянисто-подзолистая
ельник сфагновый	торфянисто-подзолистая
СЕВЕРНАЯ ТАЙГА	
<i>Сосновые леса</i>	
сосняк зеленомошно-лишайниковый	подзол
сосняк зеленомошный	подзол
сосняк багульниково-сфагновый	торфяно-подзол
<i>Еловые леса</i>	
ельник зеленомошный	глееподзолистая
ельник долгомошный	торфянисто-подзолисто-глееватая
ельник сфагновый	торфяно-подзолисто-глеевая

В составе мезофауны рассмотренных северотаежных сосняков и ельников зарегистрировано по 8-13 таксонов. Доминантами по численности в сосняке лишайниково-зеленомошном являются личинки двукрылых, мягкотелки, трипсы, в сосняке зеленомошном к этим группам добавляются кокциды, в сосняке багульниково-сфагновом наряду с этими таксонами преобладают олигохеты. В ельниках доминируют личинки двукрылых, щелкунов, мягкотелок. Повсеместно в подстилке встречаются Aganeae, отдающие предпочтение подзолистым почвам с хорошо развитым моховым покровом. Среди Lithobiidae зарегистрирован единственным вид *Lithobius curtipes*. Дождевые черви

представлены двумя видами – *Eisenia nordenskioldi* и *Dendrobaena octaedra*. Эти виды устойчивы к отрицательным температурам, обладают широким экологическим диапазоном и рядом адаптивных возможностей (Мещерякова, 2011). Coleoptera в обследованных сосняках представлены семействами, чьи виды обычны в почвах таежных хвойных лесов. Семейства Carabidae, Elateridae, Cantharidae представлены личиночными стадиями, не идентифицированными до вида. Среди имаго коротконадкрылых жуков в сосняках зарегистрированы *Oxypoda annularis*, *Lathrobium boreale*, *Acidota crenata*, *Othius lapidicola*; в ельниках – *Liogluta micans* и *Othius lapidicola*. Численность мезофауны в северотаежных зональных лесах в два-три раза превышает максимальные значения этого показателя (44.5-312.7 экз./м²) для европейского трансекта (Стриганова, 1997). Четкой тенденции к увеличению численности мезофауны по градиенту увлажнения в хвойных лесах не прослеживается. Трофическая структура мезофауны в сосняках и ельниках аналогична, преобладают трофические группы зоофагов и полифагов, низка значимость таких функциональных групп, как фитофаги и сапрофаги, причем в лесах зеленомошного типа уменьшается доля сапрофагов. По биотопической приуроченности везде преобладают виды эвритопной и лесной групп. Особенно велика доля лесных видов (до 80%) в ксерофитных и мезофитных лесах. В гигрофитных хвойных лесах на долю этой группы приходится примерно 50%, при этом увеличивается доля эвритопной и лугово-лесной групп.

Распределение крупных беспозвоночных по ландшафтно-экологическому ряду типично для таежной зоны. Еловые леса отличаются большим богатством почвенных беспозвоночных, чем сосновые леса. Кроме того, они обладают сильной буферностью, т.е. способностью противостоять воздействию различных факторов и обеспечивать поддержание стабильных условий. Этим и объясняются незначительные изменения основных характеристик почвенной мезофауны в рассмотренных ельниках, различающихся по степени увлажнения. В целом для лесов зеленомошного типа характерны самые разнообразные сообщества крупных почвенных беспозвоночных, отличающиеся от других рассмотренных сообществ более высокой численностью. Северотаежные биоценозы представлены меньшим видовым разнообразием мезофауны, чем среднетаежные и южнотаежные леса. Выявленный видовой состав мезофауны в исследуемых лесах соответствует таковому для Фенноскандии, Мурманской, Архангельской областей (Huhta et al., 1987; Стриганова, 1997; Колесникова, 2005; Зенкова и др., 2011), а для отдельных групп мезофауны (например, жужелиц) не является полным (Шарова, Филиппов, 2004).

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ОБН РАН, проект № 12-Г-4-1001 и молодежного научного гранта УрО РАН, проект № 14-4-НП-89.

Литература

1. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
2. Грюнталь С.Ю. Организация сообществ жужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесов Восточно-Европейской (Русской) равнины. М.: Галлея-Принт, 2008. 484 с.
3. Колесникова А.А. Пространственное распределение стафилинид европейского Северо-Востока России // Закономерности зональной организации комплексов животного населения на европейском Северо-Востоке. Сыктывкар, 2005. С. 206-231. (Тр. Коми научного центра УрО Российской АН, № 177).
4. Количественные методы в почвенной зоологии. М.: Наука, 1987. 287 с.
5. Конакова Т.Н., Колесникова А.А., Долгин М.М. Разнообразие и экология жужелиц (Coleoptera: Carabidae) в среднетаежных лесах Республики Коми // Бюлл. МОИП. Отд. Биол., 2010. Т. 115. Вып. 2. С. 9-16.
6. Леса Республики Коми / Под ред.: Г.Н. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
7. Мещерякова Е.Н. Устойчивость дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae, Moniligastridae) к отрицательным температурам: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб: Принт_Экспересс. 18 с.
8. Потапов М.Б., Кузнецова Н.А. Методы исследования сообществ микроартропод: пособие для студентов и аспирантов. М.: Т-во научных изданий КМК, 2011. 84 с.
9. Стриганова Б.Р. Зональные тренды динамики разнообразия сообществ почвообитающих беспозвоночных // Динамика биоразнообразия животного мира. М., 1997. С. 25-33.
10. Горлопова Н.В., Ильчуков С.В. Сосновые леса европейского Северо-Востока: структура, состояние, флористический комплекс. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 191 с.
11. Шарова И.Х., Филиппов Б.Ю. Экология жужелиц лесов в дельте Северной Двины. Архангельск, 2004. 116 с.

12. Anderson G. Post-embryonic development of *Lithobius curtipes* C.L. Koch (Chilopoda: Lithobiidae) // Ent. Scand, 1983. Vol. 14. P. 387-394.
13. Huhta V., Culmala S. Soil Fauna and Soil Fertility. Moscow, 1987. 169 p.
14. Silfverberg H. Enumeratio coleopterorum Fennoscandiae, Daniae et Baltiae. Helsinki: Helsingfors, 1992. P. 28-40.

Корнейкова М.В.¹, Лебедева Е.В.²

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

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург
mayk202@yandex.ru

МЕДЛЕННО И БЫСТРОРАСТУЩИЕ ПОЧВЕННЫЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ В ПОЧВАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Микобиота арктических почв отличается от микобиоты почв более южных районов рядом специфических черт, обусловленных особенностями среды их обитания. Микроорганизмы развиваются в условиях холодного бореального климата, часто в переувлажненных, бедных элементами минерального питания почвах. Растительный опад обогащен значительным количеством труднорастворимых соединений. Вследствие этого среди микобиоты северных почв преобладают олиготрофные, мезо- и психротолерантные микроорганизмы, осуществляющие круговорот веществ в условиях низких температур и обедненных питательными элементами сред, они имеют интенсивную скорость размножения и высокую продуктивность в короткий вегетационный период (Евдокимова, Мозгова, 2001).

Адаптация грибов к экстремальным природным условиям выражена в редукции жизненного цикла, доминировании стерильных форм мицелия, уменьшении диаметра грибных гиф. В наших северных почвах грибные гифы тоньше, диаметр их составляет в среднем 3 мкм (Евдокимова, 1995), тогда как в других районах средний диаметр гиф равен 5 мкм (Alexander, 1961).

Одним из критериев развития микроскопических грибов является их радиальная скорость роста. Радиальная скорость роста зависит от систематического положения гриба, его возраста (возраста культуры), концентрации в среде основных источников питания и энергии, а также других экологических факторов (Романов, 1980; Бухало, 1988).

Цель настоящей работы – выявить медленно- и быстрорастущие микроскопические грибы в почвах Кольского Севера в зависимости от таксономической принадлежности и сезона года.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования был выбран 31 вид микроскопических грибов, доминирующих в подзолистых почвах Кольского полуострова и относящихся к 2 отделам, 4 классам, 6 порядкам, 8 семействам, 11 родам (табл. 1). Колонии грибов выращивали на среде сусло-агар в трехкратной повторности. Стандартное количество посевного материала наносили на поверхность среды методом укола. Термостатирование культур проводили при + 27°C. Колонии измеряли ежедневно в течение семи суток в одно и то же время в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Радиальную скорость роста колоний рассчитывали по формуле:

$$Kr = (r - r_0) / (t - t_0),$$

где k – радиальная скорость роста; r_0 – радиус колоний в начальный момент времени t_0 ;

r – радиус колоний в момент времени t .

Результаты и обсуждения. Влияние сезона на скорость роста микроскопических грибов. Исследования были проведены с грибами рр. *Mortierella*, *Umbelopsis* и *Penicillium* в период с 2003 по 2006 гг. Было выявлено, что скорость роста грибов р. *Penicillium* не зависит от сезона года и колеблется в пределах 0.10–0.26 мм/час (рис. 1). В то время как грибы рр. *Mortierella*, *Umbelopsis* изменяли скорость своего роста в зависимости от сезона года (рис. 2). Наиболее активно они росли в летний период, чем в зимний. На рис. 2 представлена скорость роста колоний грибов р. *Mortierella*, *Umbelopsis* в зимние периоды 2003, 2004, 2005 гг. и летние периоды 2004, 2005, 2006 гг.

В периоды 2003-2004 гг. и 2004-2005 гг. наибольшая разница в скорости роста колоний микроскопических грибов была отмечена у *M. isabellina*. Летний прирост, рассчитанный в мм за

1 ч, в 3.5 раза и в 2.3. раза превышал зимний в периоды 2003-2004 и 2004-2005 гг. соответственно. Наименьшая разница в оба сезона была у *M. longicollis*.

В период 2005-2006 гг. максимальная разница в скорости роста была отмечена у *M. alpina*. Летний прирост в 2 раза превышал зимний, тогда как у остальных представителей разница была в 1.5-1.7 раз.

Скорость роста грибов р. *Mortierella* изменялась в пределах 0.16–0.44 мм/час.

Таблица 1

Систематика микроскопических грибов

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Trichomaceae	Aspergillus	<i>A. fumigatus</i>
					<i>A. niger</i>
					<i>A. versicolor</i>
				Penicillium	<i>P. aurantiogriseum</i>
					<i>P. canescens</i>
					<i>P. charlesii</i>
					<i>P. chermesinum</i>
					<i>P. decumbens</i>
					<i>P. glabrum</i>
					<i>P. implicatum</i>
					<i>P. janthinellum</i>
					<i>P. ochraceum</i>
					<i>P. raistrickii</i>
					<i>P. simplicissimum</i>
					<i>P. spinulosum</i>
					<i>P. steckii</i>
					<i>P. verrucosum</i>
				Paecilomyces	<i>Paec. variotii</i>
	Dothideomycetes	Pleosporales	Pleosporaceae	Alternaria	<i>A. alternata</i>
			Dothioraceae	Aureobasidium	<i>A. pullulans</i>
		Capnodiales	Davidiellaceae	Cladosporium	<i>C. herbarum</i>
Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium		<i>F. moniliforme</i>
					<i>F. oxysporum</i>
					<i>F. solani</i>
		Hypocreaceae	Trichoderma		<i>T. koningii</i>
					<i>T. viride</i>
			Gliocladium		<i>G. catenulatum</i>
Zygomycota	Unclassified	Mucorales	Umbelopsidaceae	Umbelopsis	<i>U. isabellina</i>
					<i>U. ramanniana</i>
		Mortierellales	Mortierellaceae	Mortierella	<i>M. alpina</i>
					<i>M. longicollis</i>

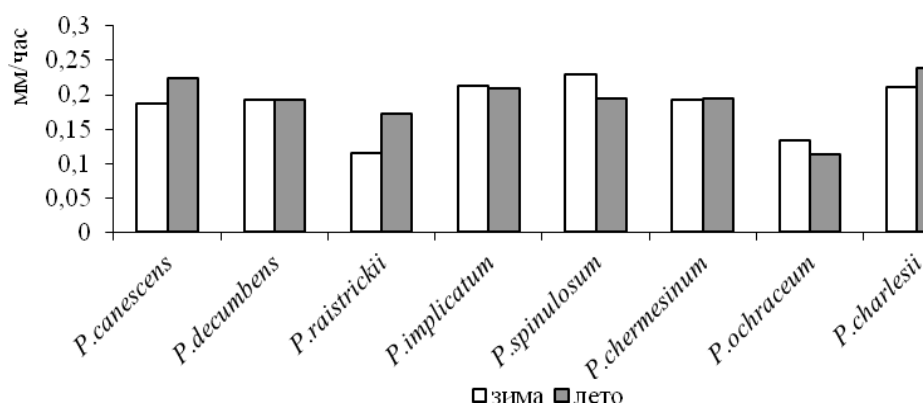


Рис. 1. Скорость роста грибов р. *Penicillium* в зимний и летний периоды (мм/час)

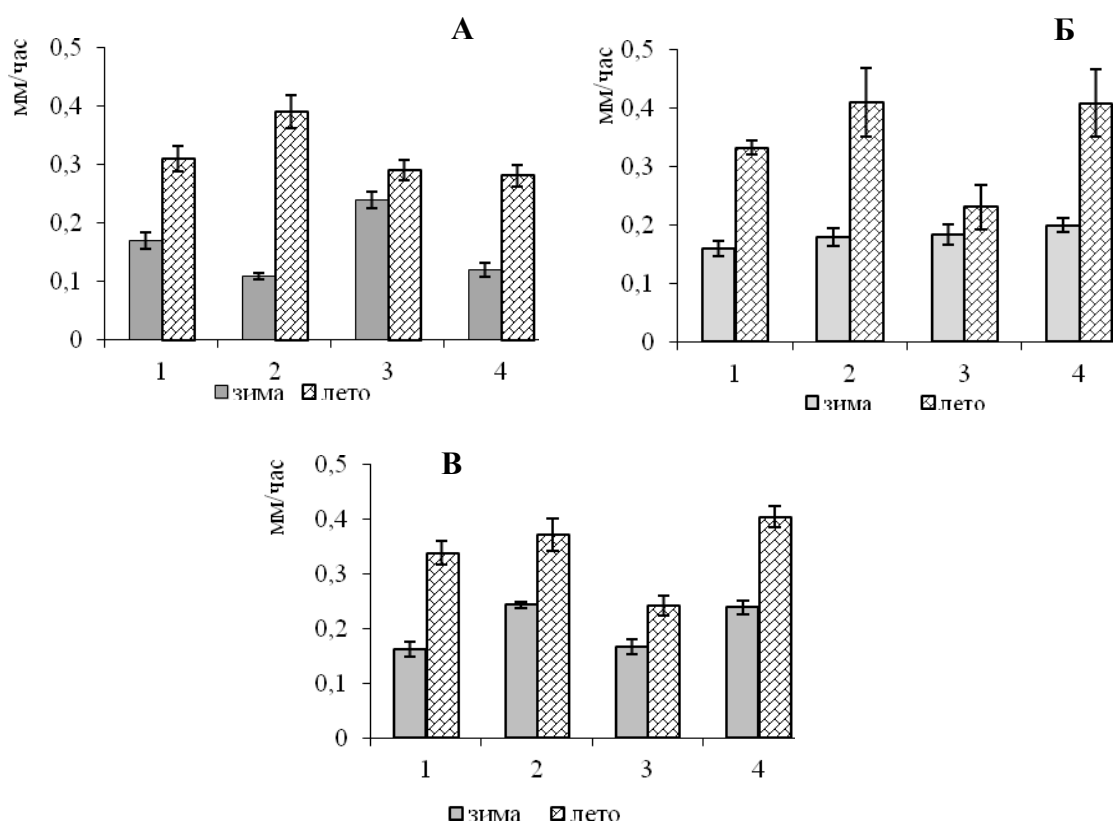


Рис. 2. Скорость роста грибов pp. *Mortierella*, *Umbelopsis* в зимний и летний периоды (мм/ч).
 А— зима 2003, лето 2004 гг., Б - зима 2004, лето 2005 гг., В – зима 2005, лето 2006 гг.
 1 – *M. alpina*, 2 – *U. isabellina*, 3 – *M. longicollis*, 4 – *U. ramanniana*

Группы микроскопических грибов в зависимости от их скорости роста. В таблице 2 представлены данные о скорости роста микроскопических грибов разной таксономической принадлежности.

Таблица 2

Радиальная скорость роста колоний микроскопических грибов, мм/час

Вид	Скорость роста, мм/час
1	2
<i>Alternaria alternata</i>	0.43
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0.14
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0.55
<i>A. niger</i>	0.50

<i>A. versicolor</i>	0.50
<i>Cladosporium herbarum</i>	0.17
<i>Fusarium moniliforme</i>	0.58
<i>F.oxysporum</i>	0.50
<i>F.solani</i>	0.51
<i>Gliocladium catenulatum</i>	1.25
<i>Mortierella alpina</i>	0.34
<i>M. longicollis</i>	0.34
<i>Paecilomyces variotii</i>	0.63
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	0.17
<i>P. canescens</i>	0.19
<i>P. charlesii</i>	0.23
<i>P. chermesinum</i>	0.19

1	2
<i>P. decumbens</i>	0.19
<i>P. glabrum</i>	0.28
<i>P. implicatum</i>	0.21
<i>P. janthinellum</i>	0.17
<i>P. ochraceum</i>	0.13
<i>P. raistrickii</i>	0.15
<i>P. simplicissimum</i>	0.22
<i>P. spinulosum</i>	0.22
<i>P. steckii</i>	0.12
<i>P. verrucosum</i>	0.16
<i>Trichoderma koningii</i>	0.63
<i>T.viride</i>	1.25
<i>Umbelopsis isabellina</i>	0.39
<i>U. ramanniana</i>	0.41

Все грибы можно условно разделить на три группы по критерию скорости роста: 1 – медленнорастущие (скорость роста до 0.29 мм/час), 2 – грибы со средней скоростью роста (скорость роста 0.30–0.49 мм/час), 3 – быстрорастущие (скорость роста более 0.50 мм/час) (табл. 3).

Таблица 3

Группы микроскопических грибов в зависимости от их скорости роста

Медленнорастущие грибы	Грибы со средней скоростью роста	Быстрорастущие грибы
<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Cladosporium herbarum</i>	<i>Mortierella alpina</i>	<i>A. niger</i>
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	<i>M. longicollis</i>	<i>A. versicolor</i>
<i>P. canescens</i>	<i>Umbelopsis isabellina</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>
<i>P. charlesii</i>	<i>U. ramanniana</i>	<i>F.oxysporum</i>
<i>P. chermesinum</i>		<i>F.solani</i>
<i>P. decumbens</i>		<i>Gliocladium catenulatum</i>
<i>P. glabrum</i>		<i>Paecilomyces variotii</i>
<i>P. implicatum</i>		<i>Trichoderma koningii</i>
<i>P. janthinellum</i>		<i>T.viride</i>
<i>P. ochraceum</i>		
<i>P. raistrickii</i>		
<i>P. simplicissimum</i>		
<i>P. spinulosum</i>		
<i>P. steckii</i>		
<i>P. verrucosum</i>		

Группа медленнорастущих грибов включает грибы pp. *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Penicillium*, относящиеся к классам *Dothideomycetes* и *Eurotiomycetes* отдела *Ascomycota*. Скорость роста грибов р. *Penicillium* колебалась в пределах 0.13-0.28 мм/ч.

Группа грибов со средней скоростью роста включает представителей pp. *Alternaria* и *Mortierella* (= *Umbelopsis*), относящихся к классу *Dothideomycetes* отдела *Ascomycota* и классу *Incertae sedis* отдела *Zygomycota* соответственно.

Группа быстрорастущих грибов была самой разнообразной по родовому составу. Она включала представителей pp. *Aspergillus*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Paecilomyces*, *Trichoderma*. Все представители относились к отделу *Ascomycota*, классам *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes*. Максимальная скорость роста была выявлена у видов *Gliocladium catenulatum* и *Trichoderma viride*, она составила 1.25 мм/ч.

Таким образом, скорость роста микроскопических грибов, выделенных из почв Кольского Севера, колеблется в пределах 0.13-1.25 мм/ч. Зависимость скорости роста от таксономической принадлежности была выявлена только на родовом уровне. К группе медленнорастущих грибов относились *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Penicillium*, со средней скоростью роста - *Alternaria* и *Mortierella* (= *Umbelopsis*), быстрорастущих – *Aspergillus*, *Fusarium*, *Glilocladium*, *Paecilomyces*, *Trichoderma*. Скорость роста грибов р. *Mortierella* (= *Umbelopsis*) изменялась в зависимости от сезона года, в летний период грибы росли активнее, чем в зимнее.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограмма «Биоразнообразие: состояние и динамика».

Литература

1. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре / А.С. Бухало. Киев: Наук. думка, 1988. 144 с.
2. Евдокимова Г.А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. Апатиты: Кол. научн. центр РАН, 1995. 272 с.
3. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: Кол. научн. центр РАН, 2001. 184 с.
4. Романов Ю.А. Биологические ритмы на разных уровнях биологической организации [Текст] / Ю.А. Романов // Проблемы космической биологии. 1980. № 4. С. 10–25. Библиогр.: С. 11.
5. Alexander M. Introduction to soil microbiology. New York, John Wiley Sons. 1961. 472 p.

Королев А.Н.¹, Шадрин Д.М.¹, Пылина Я.И.¹, Порошин Е.А.¹, Бобрецов А.В.², Петров А.Н.¹, Быховец Н.М.¹

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
korolev@ib.komisc.ru

²Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник, п. Якша
avbobr@mail.ru

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА *cyt b* мтДНК ОБЫКНОВЕННОЙ БУРОЗУБКИ ЭКОТОНА ТАЙГА – ТУНДРА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) – широко распространенный вид, ареал которого охватывает преимущественно лесную зону на пространстве от Британских островов до оз. Байкал. Для обыкновенной бурозубки характерна значительная морфологическая и хромосомная изменчивость. В настоящее время описана 71 хромосомная раса этого вида (Щипанов и др., 2009а). Считается, что хромосомные расы представляют собой будущие виды, находящиеся на разных стадиях формирования, поэтому обыкновенная бурозубка часто возводится в ранг надвида. Это свидетельствует об значительной интенсивности протекания микроэволюционных процессов у этого вида, благодаря чему он является модельным объектом эколого-эволюционных исследований (Щипанов и др., 2009а; Wojcik et al., 2002; Orlov et al., 2007). Большое преимущество в выявлении эволюционных изменений имеют молекулярно-генетические методы, бурно развивающиеся в последние десятилетия (Банникова, 2004). Однако на фоне достаточно обширных сведений о кариологии популяций обыкновенной бурозубки их молекулярная изменчивость все еще остается слабо изученной. Особенно это относится к восточноевропейскому участку ареала вида, исследования по которому единичны (Григорьева, 2011). Настоящая работа, целью которой является выявление генетического разнообразия обыкновенной бурозубки, обитающей в полосе экотона тайга – тундра европейского Северо-Востока России, позволяет в какой-то мере закрыть этот пробел. Оценка генетического разнообразия проводилась на основании анализа полиморфизма гена *cyt b* мтДНК, который широко используется в качестве филогенетического маркера.

Материал и методы. Для изучения генетического полиморфизма был собран материал в виде 15 образцов мышечных тканей обыкновенной бурозубки из трех точек на территории европейского Северо-Востока России (табл.1). Отлов зверьков производился давилками. Образцы фиксировали по стандартной методике в 96%-ном этиловом спирте.

Характеристика анализируемого материала

Место сбора материала	Координаты	Подзона растительности*	№ образца
Республика Коми (далее РК), Усть-Цилемский район, с. Усть-Цильма	65°26'24.5" с.ш. 52°10'27.5" в.д.	Северная тайга	8, 9, 10, 11, 12, 13, 15
РК, Интинский район, р. Бол. Роговая	67°01'05" с.ш. 61°37'27" в.д.	Южная лесотундра	6, 7
Ненецкий автономный округ (далее НАО), оз. Мал. Сяттейты	67°32'55" с.ш. 62°42'34" в.д.	Южная тундра	1, 2, 3, 4, 5, 14

Примечание: * Подзоны растительности приведены по: Геоботаническое районирование..., 1989.

Выделение геномной ДНК было произведено с помощью набора «FastDNASpinKit» («QBioGene», Канада) согласно инструкциям производителя. Выделенную ДНК хранили при температуре -20°C. Амплификацию проводили в реакционной смеси объемом 25 мкл, содержащей 5 мкл ScreenMix («Евроген», Россия), 5 мкл каждого праймера (0.3 мкМ), 9.0 мкл воды без нуклеаз («Ambion», США) и 1.0 мкл геномной ДНК (1-100 нг). Для амплификации последовательности гена *cyt b* использовали общепринятые праймеры L14734 (AAAAACCATCGTTGTTATTCAACT) и H15985 (TAGAATGTCAGCTTTGGGTGCT) (Ohdachi et al., 2001). Амплификацию проводили в термоциклере SwiftMiniPro («ESCO», Сингапур) по следующей схеме: предварительная денатурация – 5 мин при 95°C, 35 циклов; денатурация – 30 с при 94°C; отжиг – 1 мин при 57°C; элонгация – 1 мин при 72°C; финальная элонгация – 2 мин при 72°C. Продукты реакции амплификации разделяли методом электрофореза в 1.3%-м агарозном геле в 1х трисацетатном буферном растворе, окрашивали бромистым этидием, для визуализации использовали трансиллюминатор UVT-1 («Биоком», Россия). В качестве маркера длины фрагментов ДНК использовали 100 bp Ladder DNA marker (100 bp-3000 bp) («ThermoScientific», ЕС). Для очистки полученного продукта использовали набор QIAquickGelExtractionKit («Qiagen», Германия). Количество выделенной ДНК и ПЦР-продукта определяли на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама» («Люмэкс», Россия). Секвенирование проводилось с использованием набора реагентов ABI PrismBigDyeTerminator v. 1.1 на приборе ABI PRISM 310 GeneticAnalyzer («AppliedBiosystems», США) на базе ЦКП «Молекулярная биология» в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН. Выравнивание последовательностей проводили вручную и автоматически с помощью программы ClustalW, входящей в пакет программ MEGA 5.

Результаты и обсуждение. С целью определения полиморфизма гена *cyt b* мтДНК обыкновенной бурозубки были получены последовательности длиной 1215 п.н., длина выровненных последовательностей составила 1223 п.н. Выявлено 1186 консервативных и 30 вариабельных (из них 25 парсимони-информативных и 5 уникальных) сайтов, 4 транзиции и 6 трансверсий. Установлено наличие девяти гаплотипов, различия между ними составили от одного до четырех нуклеотидов. Четыре гаплотипа из девяти оказались уникальными (№№ 1, 5, 8, 12). Пять гаплотипов встречаются в двух-трех образцах.

На основании полученных последовательностей был проведен филогенетический анализ, по результатам которого было построено филогенетическое древо (рис. 1).

На древе анализируемые образцы четко разделились на две клады. Первая включает бурозубок с востока рассматриваемого региона (Интинский район РК, НАО), вторая – с запада (Усть-Цилемский район РК). Генетическая дистанция между образцами клад составляет от 0.006 до 0.014. Статистически значимое разделение образцов по признаку места сбора отмечается также внутри первой клад, при том, что расстояние между точками сбора образцов невелико (порядка 80 км) и сколь-нибудь значимых географических преград между ними нет.

На европейском Северо-Востоке России обитает один подвид обыкновенной бурозубки - *S. a. araneus* Linnaeus, 1758 (Млекопитающие, 1994). В то же время здесь обнаружены семь хромосомных рас этого вида (Щипанов и др., 2009б). К сожалению, у нас нет сведений о том, к каким хромосомным расам относятся проанализированные образцы. Отметим только, что не далее чем в 80 км от с. Усть-Цильма отмечена раса Печора, ареал которой протянулся между реками Печора и Мезень. Однако, априори отнести к ней анализируемые выборки невозможно по той причине, что в распространении рас не проявляется каких-либо явно видимых закономерностей (Щипанов и др., 2009а).

Сопоставление наших материалов с материалами из GenBank (проанализированы 336 последовательностей длиной 953 п.н., при этом полученные нами последовательности были обрезаны до указанной длины; использована двухпараметрическая модель Кимуры, методы объединения ближайших соседей и максимального правдоподобия, коэффициент бутстрепа – 1000) показало (филогенетическое древо не приводится из-за громоздкости), что бурозубки Усть-Цилемского района РК близки животным ряда регионов европейской части России, в частности Московской области и Республики Карелия, а также бурозубкам Венгрии. Бурозубки Интинского района РК и НАО имеют существенно более широкие связи. Помимо сходства с животными европейской части России они близки также бурозубкам Финляндии, Польши, Швейцарии, Франции, Шотландии. Полученные нами результаты подтверждают ранее высказанное мнение об отсутствии значительной генетической дифференциации бурозубок европейской части России (Balakirev et al., 2007).

Работа выполнена при поддержке Правительства Республики Коми и гранта РФФИ 13-04-98823.

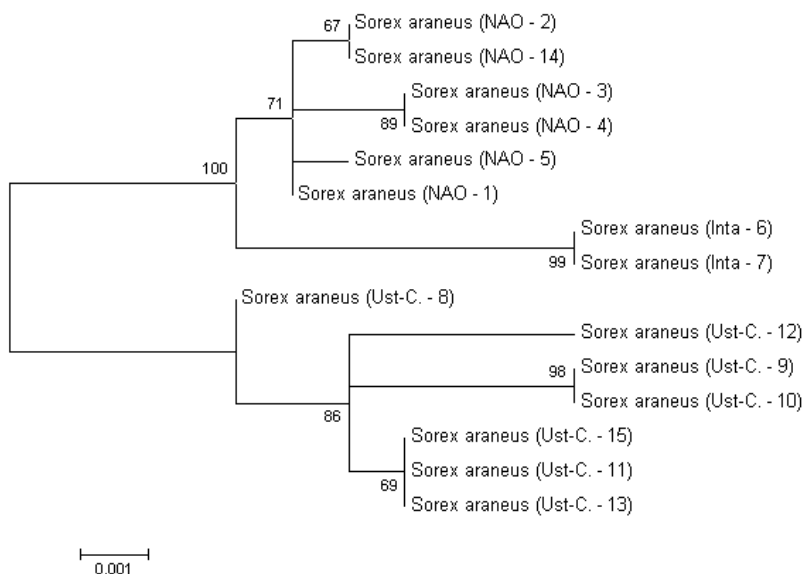


Рис. 1. Филогенетическое древо представителей разных популяций обыкновенной бурозубки экотона тайга – тундра европейского Северо-Востока России (эволюционная модель Таджимы-Неи, объединение методом ближайшего соседа, коэффициент бутстрепа – 1000)

Литература

1. Банникова А.А. Молекулярные маркеры и современная филогенетика млекопитающих // Журнал общей биологии, 2004. Т. 65. № 4. С. 278-305.
2. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / Отв. ред. В.Д. Александрова, Т.К. Юрковская. Л.: Изд-во «Наука», 1989. 64 с.
3. Григорьева О.О. Молекулярно-генетические особенности внутривидовых форм обыкновенной бурозубки *Sorex araneus* (Mammalia): Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2011. 26 с.
4. Млекопитающие. Насекомоядные, Рукокрылые, Зайцеобразные, Грызуны / Отв. ред. В.Н. Большаков. СПб., 1994. 280 с. (Фауна европейского Северо-Востока России. Млекопитающие; Т. 2, Ч. 1).
5. Щипанов Н.А., Бобрецов А.В., Павлова С.В., Демидова Т.Б. Ареалы хромосомных рас и новые гибридные зоны обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) на европейском Северо-Востоке России // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере: Мат. докладов. Сыктывкар, 2009б. С. 142-144.
6. Щипанов Н.А., Булатова Н.Ш., Павлова С.В., Щипанов А.Н. Обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus*) – модельный вид эколого-эволюционных исследований // Зоологический журнал, 2009. Т. 88. № 8. С. 975-989.
7. Balakirev A.E., Illarionova N.A., Potapov S.G., Orlov V.N. DNA polymorphism within *Sorex araneus* from European Russia as inferred from mtDNA cytochrome *b* sequences // Russian Journal of Theriology. 2007. Vol. 6. No. 1. P. 35-42.

8. *Ohdachi S.D., Dokuchaev N.E., Hasegawa M., Masuda R.* Intraspecific phylogeny and geographical variation of six species of northeastern Asiatic *Sorex* shrews based on the mitochondrial cytochrome *b* sequences // *Molecular Ecology*. 2001. Vol. 10. P. 2199-2213.
9. *Orlov V.N., Kozlovsky A.I., Okulova N.M., Balakirev A.E.* Postglacial recolonisation of European Russia by the common shrew *Sorex araneus* // *Russian Journal of Theriology*. 2007. Vol. 6. No. 1. P. 97-104.
10. *Wojcik J., Ratkiewicz M., Searle J.* Evolution of the common shrew *Sorex araneus*: chromosomal and molecular aspects // *Acta theriologica*. 2002. Vol. 47. Supp. 1. P. 139-167.

Кочкарев П.В., Кочкарев А.П.

Государственный природный биосферный заповедник «Центральносибирский»,
п. Бор, Красноярский край
korpavel57@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОДОБНЫМИ УЧАСТНИКАМИ ТУНДРОВОЙ БИОТЫ НА ЗИМНИХ ПАСТБИЩАХ ТАЙМЫРА, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ НОРИЛЬСКОГО ГМК

Материал собирался на территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края (площадь 82 млн. га) в период с 2004 по 2013 годы. Для наших целей обследованы в местах зимних пастбищ используемых диким северным оленем на территории Таймыра.. Экоотоксикологический анализ природных популяций млекопитающих позволяет произвести оценку воздействия химических агентов на живущие организмы и изучить их ответные реакции на эти воздействия. Значительные материалы по подобному анализу природных популяций птиц и млекопитающих Севера (Карелия) представлены в публикациях Э.В. Ивантера и Н.В. Медведева (2007); В.В. Дьяконов и др. (1996); Н.В. Медведев (2003), в Беларуси И.К. Владковская и др. (1983).

Для сравнительного анализа поступления микроэлементов в том числе и тяжелых металлов нами выбраны следующие животные объекты - дикий северный олень (*Rangifer tarandus*), заяц беляк (*Lepus timidus*), тундряная куропатка (*Lagopus lagopus*). Все эти представители животного мира Таймыра в основе своего рациона имеют растительную пищу. Таким образом, мы ставили перед собой задачу выяснить влияет ли избирательность потребления растительных кормов, различия в морфологии пищеварительной системы на аккумуляцию тяжелых металлов в организмах исследуемых животных, обитающих в однородном биотопе. Все обследованные пастбища находились на расстоянии 60-200 км от центральной части НПР (Норильского промышленного района).

При добыче животных производилась морфометрическая обработка и отбирался материал для анализа на содержание микроэлементов. У каждого объекта для анализа бралось: - содержимое желудка, у птиц содержимое зоба; - печень, почки, сердце, мышцы, волос и перья; - собиралась и содержимое прямого кишечника (экскременты). На пробных площадках собирались растения которые поедали животные в зимний период. В различных морфологических частях растений (стебель, почки, кора) определялось содержание тяжелых металлов (Pb, Hg, Cu, Ni, Cd, As, Fe). Количественная и качественная оценка наличия ТМ определяли в лаборатории Референтного центра Управления Россельхознадзора по Красноярскому краю.

В виду специфичности потребления кормов различными представителями фауны Таймыра мы провели анализ концентрации тяжелых металлов в частях растений и в целом. Содержание ТМ в различных частях кустарников в зимний период статично, в весенний период (май-июнь) происходит изменения в количественном составе ТМ. Это мы проследили на четырех модельных кустах ольховника.

Как показали наши исследования на изучаемых биотопах уровень накопления тяжелых металлов растениями, как в видовом аспекте, так и в их частях различен. В качестве примера мы выбрали данные с пробных площадок на западе Таймыра (табл.1). Образцы коры у ольховника не брались в связи с тем, что в зимний период кора этого кустарника не употребляется в пищу ни одним участником зимней биоты. Это показали как наши наблюдения, так и данные многих авторов изучающих питание растительноядных зверей и птиц на Таймыре (Вахтина, 1963; Подкорытов, 1969; Колпашников, 1979; 2000; 2004; Щелкунова, 1980; 2000; Крашевский, 1987.). Дикий северный олень на зимних пастбищах добывает корм из под снега, раскапывая снежный покров практический до

поверхности почвы. По данным исследователей в начале зимнего периода основу питания северного оленя составляют травянистые корма до 39%, травянистые ветошные до 35% (Колпашиков, 1979; 2000; 2004). Такие особенности в питании дикого северного оленя связана с физиологией пищеварения копытных животных имеющих многокамерные желудки.

Необходимость потребления ими влажных кормов убедительно доказана А.Данилкиным на примере изучения питания сибирской косули в Курганской области (Данилкин, 2011). В связи с этим дикий северный олень вынужден в поисках соответствующего корма раскапывать снег и активно передвигаться по пастбищу. Суточное потребления корма оленем в этот период составляет 8-11 кг (Колпашиков, 2000; 2004).

Таблица 1

Содержание ТМ в различных частях растений на зимних пастбищах
Западного Таймыра (мг/кг сухого вещества)

Место сбора материалов	Вид растения	Часть растения	Микроэлементы и тяжелые металлы					
			Hg	Pb	Cd	Cu	Ni	Fe
западные зимние пастбища	Ольховник кустарниковый- <i>Duschekia fruticosa</i> (Rupr)	побеги	0.003-0.005	0.02-0.05	0.2-0.95	5.8-12.5	2.3-4.8	9.6-25.3
		почки	0.005-0.006	0.02-0.03	0.08-0.15	3.5-4.2	2.2-4.5	9.5-23.5
	Ива сизая- <i>Salix glauca</i> L.	побеги	0.004-0.006	0.009-0.05	0.2-0.82	11.9-13.8	1.6-5.2	3.9-29.7
		почки	0.005-0.006	0.02-0.04	0.034-0.14	7.3-8.4	2.2-4.8	6.4-14.5
		кора	0.003-0.006	0.25-0.54	0.21-0.56	8.9-12.4	2.1-3.1	45-87
	Ива арктическая- <i>Salix arctica</i> Pall	побеги	0.002-0.003	0.01-0.05	0.08-0.12	10.2-12.1	1.9-5.1	42.3-76.2
		почки	0.003-0.004	0.01-0.04	0.03-0.07	6.5-7.3	1.2-4.7	6.7-17.8
		кора	0.004-0.005	0.12-0.35	0.26-0.46	7.8-10.5	2.5-3.8	56-95
	Осока- <i>Carex</i> (вид не определен)		0.005-0.007	0.05-0.09	0.08-0.16	9.5-12.3	1.9-4.2	33.6-185.6

Основа рациона, как оленей, так и зайцев составляют травянистая ветошь злаков и стебли вечнозеленых кустарничков. Содержание Cu 9.5-12.3, Fe 33.6-185.6, Cd 0.08-0.16 мг/кг для пастбищ Западного Таймыра и Cu 6.7-9.4, Fe 21.4-67.2, Cd 0.008-0.012 мг/кг для пастбищ Восточного Таймыра. Повышенное содержание в кормовых растениях Cu, Fe и Cd на пастбищах запада связано с непосредственной близостью Норильского промышленного района. Из-за однородности рационов питания зайцев и оленей в этот период года уровень потребления ТМ сходен.

Тяжелые металлы в содержимом желудка зайца беляка и дикого северного оленя на зимних пастбищах достоверно различаются друг от друга, имеют положительную коррелятивную зависимость от уровня содержания тяжелых металлов в частях растений используемых этими животными в корм $r=0.68$, $p=0.03$

Безусловно, наличие ТМ в растениях показывает не только уровень воздействия ГМК, но и их произрастания в условиях геохимической провинции. Это в свою очередь сказывается на наличии тяжелых металлов в содержимом желудков (млекопитающих) и содержимом зоба (птицы) (табл.2).

Таблица 2

ТМ в пробах содержимого желудков и зобов, животных на зимних пастбищах
Западного Таймыра (мг/кг сухого вещества)

Объект животного мира	Микроэлементы					
	Ars	Pb	Cd	Co	Ni	Fe
	M±m Lim	M±m Lim	M±m Lim	M±m Lim	M±m Lim	M±m Lim
Дикий северный олень (n=27)	0.006±0.001 0.005-0.009	1.0±0.15 0.9-1.68	0.19±0.08 0.07-0.32	0.2±0.04 0.15-0.26	1.9±0.35 1.26-3.1	152±15 111-181
Заяц беляк (n=28)	>0.083	0.65±0.07 0.38-1.03	0.18±0.04 0.1-0.24	0.17±0.03 0.13-0.24	2.2±0.45 1.4-3.4	115±18 98-142
белая куропатка (n=26)	>0.083	0.23±0.04 0.18-0.75	0.12±0.02 0.09-0.17	0.09±0.01 0.06-0.12	1.1±0.03 0.09-1.6	37±5 24-49

Содержание ТМ в основных кормах дикого северного оленя выше, чем содержание ТМ в кормах используемых зайцем беляком и тундряной куропаткой.

В ноябре, когда высота снежного покрова превышает 70 см., олени откочевывают в гористую местность, и пасутся там, где ветрами сдувается снеговой покров и его толщина не превышает 30-50 см. Для зайцев беляков такие зимние биотопы не являются комфортными, поэтому они перемещаются в поймы рек и ручьев. Рацион зайцев в этот период состоит из коры кустарников 60-75%, и тонких побегов 25-30%. В этих биотопах высокий снежный покров позволяет осваивать зайцам средний и верхний ярус кустарников. Содержание ТМ в коре кустарников Cu 10.2-17.8, Fe 56.5-112.3, Cd 0.15-0.86 мг/кг Западный Таймыр и Cu 8.3-11.4, Fe 13.6-28.8, Cd < 0.005 мг/кг Восточный Таймыр. Разные рационы питания у оленей и зайцев в сложный период середины зимы приносят в организмы животных различное количество ТМ. Специализация зайца беляка основана на потреблении в зимний период коры и молодых побегов кустарниковой растительности, то есть потребляются наиболее доступные корма оставшиеся над поверхностью снегового покрова. Количественный анализ содержимого желудков зайцев беляков (n= 35) добытых в утреннее время в феврале показал, что вес содержимого желудка колеблется от 75 до 165 г. Содержимое состоит 67-80% кора ивы, ольхи, 15-35% концы веточек этих же кустарников.

Аналогичная биологическая адаптация и куропаток потребляющих в зимний период в основном почки и концевые побеги кустарников. Это видимо, связано и с физиологией пищеварения пернатых, так как эти корма наилучшим образом перевариваются мускульным желудком куропаток в отсутствие гастролитов. Проведенный нами количественный анализ содержимого зоба куропаток (n=63) добытых в феврале в полуденное время показал, что в зобе содержится от 35 г. до 78 г. корма. От 210 шт. до 445 шт. почек ольхи и ивы, от 12 до 20 концевых кусочков веточек длиной 1.5-2.5 см.

В конце апреля стада дикого северного оленя покидают горные массивы и перемещаются на обогреваемые солнцем речные террасы, где начинают потреблять кустарниковую растительность и по возможности доставать травянистую ветوشь. На эти покосы приходят и зайцы. Микроэлементный состав рационов опять становится сходным.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- избирательность потребления кормов растительными представителями фауны Таймыра, влияет на объем ТМ проникающих в организм животных;
- имеется выраженное межвидовое различие в уровне загрязненности ТМ представителей тундровой биоты;
- техногенное загрязнение территории западного Таймыра, перешло порог, когда можно было бы говорить о незначительных загрязнениях;
- представляется возможным использовать модельные растения как индикаторы загрязнения животного мира.

Литература

1. *Вахтина Т.В.* Тундровые кустарники и их использование в оленеводстве //Тр. НИИСХ Крайнего Севера. Красноярск, 1963. Т. 11. С. 51-56.
2. *Владковская И.К., Владковский В.Б., Каган Л.М.* Микроэлементы в органах и тканях некоторых видов птиц Белорусской ССР // Докл., АН БССР, 1983. Т. 27, № 12. С. 1106-1108.
3. *Данилкин А.А.* Курганский опыт восстановления, сохранения и использования ресурсов сибирской косули // Вестник охотоведения, 2011. Т. 8. № 2. С. 179-187.
4. *Дьяконов В.В., Козлов В.А., Коржицкая З.А.* Оценка загрязнения тяжелыми металлами серой лесных экосистем Республики Карелия // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск. 1996. С. 167-182.
5. *Ивантер Э.В., Медведев Н.В.* Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера. М.: Наука, 2007. 230 с.
6. *Колпащиков Л.А.* Использование зимних пастбищ дикими оленями // Проблемы охраны и хозяйственного использования ресурсов диких животных Енисейского Севера. Новосибирск, 1977. С. 19-27.
7. *Колпащиков Л.А.* Дикий северный олень Таймыра (особенности экологии и рациональное использование ресурсов): Автореферат. дис. на соиск. учен. степени канд.биол.наук. М., 1982. 23 с.
8. *Колпащиков Л.А.* Таймырская популяция дикого северного оленя(биологические основы управления и устойчивого использования ресурсов): Автореферат. дис. на соиск. учен. степени докт.биол.наук. Норильск, 2000. 48 с.

9. Крашевский О.Р. К питанию зайца-беляка Центральных Путоран в снежный период // Науч.-техн. бюлл. ВАСХНИЛ. Сиб. отд., 1987. С. 21-26.
10. Медведев Н.В. Накопление тяжелых металлов в организмах охотничье-промысловых животных на Северо-Западе России / Ин-т леса Кар. НЦ РАН. Петрозаводск, 2003. 26 с. Деп. в ВИНТИ 19.09.03, № 1701-B2003.
11. Подкорытов Ф.М. Содержание микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, Pb) в почвах, кормовых растениях и в организме оленя в условиях Таймыра. Автореферат. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук. Дубровицы, 1969. 24 с.
12. Щелкунова Р.П. Растительность и кормовые ресурсы для оленеводства Автореферат. дис. на соиск. учен. степени докт. биол. наук- Новосибирск, 1980. 43 с.
13. Щелкунова Р.П. Растительность и кормовые ресурсы оленеводства Таймыра// Аграрная Россия. М., 2000. № 3. С. 36-38.
14. Поспелова Е.Б., Поспелов И.Н. Флора сосудистых растений Таймыра и сопредельных территорий. М.: Т-во научных изданий КМК, 2007. 457 с.

Кузнецов М.А.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

ПРОДУКЦИЯ УГЛЕРОДА В КОРЕННЫХ ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ НА БОЛОТНО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

На европейском Северо-востоке еловые леса являются доминирующими. К настоящему времени в рассматриваемом регионе запасы фитомассы в ельниках на автоморфных почвах оценены достаточно полно, тогда как в заболоченных типах фитоценозов на полугидроморфных почвах данные, характеризующие продуктивность фитоценозов, недостаточны.

Цель данной работы - оценка запасов углерода фитомассы и продукции ельников чернично-сфагнового и долгомошно-сфагнового на болотно-подзолистых почвах средней тайги.

Ельник чернично-сфагновый произрастает на территории Ляльского лесозоологического стационара. Древостой V класса бонитета, разновозрастный (106-200 лет), состав его 9Е1Б+С ед.Пх. Средняя высота ели 16 м, диаметр 20 см. Всего на 1 га 625 растущих деревьев, 95 сухостоя и валежа – 200 экз.га⁻¹. Почва торфянисто-подзолисто-глееватая суглинистая, подстилаемая тяжелым суглинком. Ельник долгомошно-сфагновый произрастает на территории Чернамского лесозоологического стационара. Древостой разновозрастный (70-200), V класса бонитета, имеет состав 6ЕЗБ1С. Средний диаметр ели 13 см, средняя высота 12 м. Количество растущих деревьев 1900, сухих – 100, валежа – 126 экз.га⁻¹. Почва торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусово-железистая супесчаная подстилаемая суглинками.

Пробные площади размером 40×50 м заложены согласно ОСТ 56-69-83. На них проведен сплошной перебор деревьев древостоя, подроста, валежа. Возраст древостоя определяли по модельным деревьям и с помощью кернов, взятых с 20 деревьев. Фитомассу и прирост надземной части древесных растений определяли методом модельных деревьев (Уткин, 1975). Проанализировано 14 деревьев ели и 3 березы разных ступеней толщины. Массу и прирост подземных органов растений методом крупных и мелких монолитов (Орлов, 1967). Пересчет запасов органической массы ценозов на массу углерода осуществляли дифференцированно по компонентам с применением коэффициентов (0.45–0.53), свойственных отдельным фракциям (Бобкова, Тужилкина, 2001).

Запас углерода в фитомассе *древостоя* ельника чернично-сфагнового составил 85.5-87.6 т га⁻¹, из них на долю стволовой древесины приходится 54.8-55.0%, коры стволовой – 6.9-8.0, ветвей – 7.7-8.4, хвои (листьев) – 7.6-7.9, корней – 20.8-23.0%.

В ельнике чернично-сфагновом в древесных растениях *подроста* (6.6 тыс. экз.га⁻¹) запасается 0.67 т Сга⁻¹, в долгомошно-сфагновом при количестве подроста 3 тыс. экз.га⁻¹ – 0.46 т Сга⁻¹, а при количестве 1.85 тыс. экз.га⁻¹ – 0.35 т Сга⁻¹. В *подлеске* ельника чернично-сфагнового аккумулируется 0.04, а в ельнике долгомошно-сфагновом – 0.03 т га⁻¹ органического вещества или 0.02 и 0.015 т Сга⁻¹ соответственно. Растения *напочвенного покрова* заболоченных ельников накапливают порядка 1.95 т Сга⁻¹.

Наиболее важной характеристикой продукционного процесса и углеродного цикла лесных экосистем является биологическая продуктивность фитоценозов. Интенсивность продуцирования органического вещества, определяющая ход процессов развития фитоценозов в экосистемах, используется в целях оценки углероддепонирующей емкости лесов.

В старовозрастных ельниках годовичное депонирование углерода составляет 3.1-3.3 т Сга⁻¹. Из них на долю хвои (листьев) приходится 25.6-28.5%, корней – 24.7-25.7, древесины – 14.6-14.7, ветвей – 10.3-14.2% от общей продукции фитомассы. Участие растений напочвенного покрова составляет 15.6-16.9% от всей нетто-продукции углерода.

Таким образом, в заболоченных ельниках на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах формируются древостой невысокой продуктивности. Фактором, определяющим структуру и накопление органической массы в этих типах сообществ, является гидротермический режим почв.

Литература

1. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология, 2001. № 1. С. 69-71.
2. Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годовичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение, 1967. № 1. С. 64-69.
3. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) / Лесоведение и лесоводство // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1975. Т. 1. С. 9-189.

Кузнецов М.А., Осипов А.Ф.

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kuznetsov_ma@ib.komisc.ru*

ДЕСТРУКЦИОННОЕ ЗВЕНО УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА ХВОЙНЫХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Количественная характеристика параметров органического круговорота углерода в лесных экосистемах необходима для оценки их роли в глобальном углеродном цикле, что особенно актуально в связи с обсуждаемыми проблемами определения биосферных функций лесов. Потоки углерода в деструкционном звене углеродного цикла обеспечивают возврат в атмосферу углерода, изъятого из нее растениями в процессе фотосинтеза для создания чистой первичной продукции. Он осуществляется в результате минерализации органического вещества мертвого растительного материала до конечных продуктов распада и гумификации (Лесные экосистемы..., 2002; Пулы и потоки..., 2007).

На территории Республики Коми хвойные экосистемы занимают около 25 млн. га, из них примерно половина приходится на заболоченные типы сообществ. Так, если изучению компонентов углеродного цикла хвойных экосистем на автоморфных почвах в рассматриваемом регионе посвящено достаточно большое количество работ, то заболоченные типы сообществ на полугидроморфных почвах в этом плане исследованы недостаточно.

Работа выполнена на территории Ляльского (62° 17' с.ш., 50° 40' в.д.) стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сосняк чернично сфагновый (10С+Е,Б,Ос, 118 лет), развитый на торфянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-железистая почве. Средняя высота сосны 13 м, диаметр 16 см. Число растущих деревьев 1210 экз. га⁻¹ с запасом древесины 194 м²га⁻¹. Ельник чернично-сфагновый разновозрастный (106-200 лет), состав его 9Е1Б+С ед.Пх. Средняя высота ели 16 м, диаметр 20 см. Всего на 1 га 625 растущих деревьев с запасом древесины 194 м²га⁻¹. Почва торфянисто-подзолисто-глееватая.

Согласно ОСТ 56-69-83 были заложены постоянные пробные площади, на которых проведен сплошной пересчет деревьев. Количество опада растений древесного яруса определяли с помощью 15-20 опадоулавливателей размером 0.5 x 0.5 м (Родин и др., 1968). Массу опада травяно-кустарничкового яруса и мхов определяли по их приросту. Пересчет запасов опада и подстилки на массу углерода осуществляли по коэффициентам, свойственным отдельным фракциям (Бобкова, Тужилкина, 2001). Закладывали компоненты опада в лесную подстилку для оценки их разложения в капроновых мешочках в пятикратной повторности. Подстилку отбирали металлическим шаблоном

площадью 94.99 см² в 25 кратной повторности. Содержание азота и углерода в подстилке проводилось методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе азота ANA-1500 (фирма Карло Эрба) в аналитической лаборатории Института Биологии Коми НЦ УрО РАН.

Лесной опад играет важную роль в биологическом круговороте веществ между фитоценозом и почвой, переводя углерод из фитомассы в подстилку. Количество поступающего опада, его состав и интенсивность разложения в основном определяют характер формирования лесной подстилки, морфологическое строение и свойства почвы.

В 118-летнем сосняке чернично-сфагновом в среднем за три года наблюдения опад углерода древостоя составляет 0.7 т Сга⁻¹. На долю активной части приходится 36–61%, неактивной - 16-32%, растительных остатков 2-4, корней 17-28%. В зимне-весенний период опадает 26-34, в летне-осенний – 66-74% массы опада надземных органов древесных растений. В исследуемом сосняке с опадом растений напочвенного покрова поступает 1.14 т Сга⁻¹. Значительную часть формируют корни и надземные органы кустарничков - 65 и 25%, соответственно. На долю мхов, лишайников и трав приходится 10% от массы годового опада.

В старовозрастном ельнике чернично-сфагновом за зимне-весенний период в чернично-сфагновом поступает 54%, в течение сентября-октября – 24 и в летние месяцы – 22% годового опада. Выявлено, что ежегодно на поверхность почвы чернично-сфагнового ельника с древесным опадом поступает 1.3 т Сга⁻¹. Наибольшее его количество приходится на хвою, ветви и шишки ели и составляет 56.1, 11.4 и 9.9% соответственно. Листья березы занимают 8.1%, эпифитные лишайники – 3.7, кора ели и сосны – 1.7, листья осины, березы и сосны – 1.1, прочих компонентов – 12.9%. С корнепадом древесных растений поступает 0.79 т Сга⁻¹. Опад травянистых растений равен 0.78 т Сга⁻¹. Из них на долю многолетних кустарничков приходится 13.8%, травянистых растений - 22.5, а мхов, в основном сфагновых, – 53.2%. Масса опада корней травяно-кустарничкового яруса составляет 10.6% от опада растений напочвенного покрова.

Важным показателем, отражающим процесс преобразования опада в подстилку, является скорость разложения его компонентов. Деструкция растительного вещества в старовозрастных хвойных фитоценозах исследовалась на фракциях опада, играющих основную роль в его общей массе. Интенсивность разложения различных компонентов опада хвойных сообществ невысокая и варьирует от 36 до 3% в год для компонентов древесного опада и 59-20% в год для растений напочвенного покрова

Скорость разложения отдельных компонентов растительного опада сосняка чернично-сфагнового изменяется в соответствии с рядом: черника > □ травянистые растения > листья березы > □ □ хвоя сосны > □ зеленые мхи > □ сфагновые мхи > □ ветви. По убыванию степени разложения фракции опада ельника располагаются следующим образом: листья березы > хвоя сосны > хвоя ели > ветви ели > шишки ели > кора ели.

Подгоризонты лесной подстилки исследуемых сосняка и ельника ежегодно теряют в весе 3-8 и 0.2-9.6% соответственно. Более активное разложение наблюдается в ферментативном слое.

Интенсивность потока CO₂ с поверхности почвы является одним из важных показателей углеродного цикла наземных экосистем. Количество CO₂, выделяемое почвами, определяется различными факторами, как биологическими – стадией развития и темпом жизнедеятельности почвенной флоры и фауны, дыханием корней, так и климатическими - температурой, влажностью воздуха и почвы, количеством поступающих осадков, ветром и др. По количеству углекислоты, выделяемой с поверхности почвы, можно судить об интенсивности процессов разложения органического вещества (Лесные экосистемы..., 2002; Пулы и потоки..., 2007).

Установлены закономерности сезонной динамики эмиссии диоксида углерода с поверхности болотно-подзолистых почв хвойных сообществ. Интенсивность выделения углекислого газа постепенно повышается после таяния снега. Более высокие показатели потоков CO₂ из почвы отмечаются в конце июля — начале августа для сосняка (0.5–1.4 мкмоль CO₂ м⁻²с⁻¹) и в конце июня - начале июля для ельника (1.7–2.7 мкмоль CO₂ м⁻²с⁻¹). Большое влияние на процесс выделения CO₂ оказывают погодные условия вегетационного сезона и гидротермические особенности болотно-подзолистой почвы.

Таким образом, в старовозрастных хвойных сообществах с лесным опадом поступает 1.8–2.8 т Сга⁻¹ год⁻¹. Сезоннопромерзающие и холодные болотно-подзолистые почвы в совокупности с застойно-промывным водным режимом являются экологически неблагоприятными условиями для деструкции растительных остатков. Все это приводит к накоплению органического вещества в виде довольно мощной (13-19 см) подстилки с запасом 27-34 т С га⁻¹.

Литература

4. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология, 2001. № 1. С. 69-71.
5. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Ф.И. Плешиков, Е.А. Ваганов, Э.Ф. Ведрова и др. Новосибирск: СО РАН, 2002. 356 с.
6. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. Заварзин Г.А. М.: Наука, 2007. 315 с.
7. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.

Лебедева Е.В., Богомолова Е.В., Кирицели И.Ю.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

АЭРОМИКОТА БОТАНИЧЕСКОГО САДА И ОРАНЖЕРЕЙ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.Л. КОМАРОВА РАН

Первые оранжереи в Аптекарском огороде (прародителе Ботанического сада), основанном по именному указу Петра I в 1713 г., были построены в 20-30-х годах XVIII в. на Петроградской стороне Санкт-Петербурга. Ботанический сад – уникальный оазис в центре Санкт-Петербурга на Северо-западе России. Стоит сказать, что в научной литературе существуют лишь единичные исследования микологического окружения растений – так называемой аэромикоты.

Поэтому впервые в 2010 г. нами было решено начать исследования по изучению воздушной микобиоты сада и оранжерей. Эти исследования мы решили начать еще и потому, что за последние годы экологическая обстановка в таком большом мегаполисе, как Санкт-Петербург, как впрочем и в других городах России резко ухудшилась, главным образом за счет выбросов в атмосферу различных агрессивных газов. Поэтому мы полагаем, что наступило время, когда исследования микроскопических грибов в воздушной среде сада и оранжерей могут пролить свет на многие вопросы в данной области и, в конечном итоге, принести определенную практическую пользу.

Целью данного исследования было изучение видового состава и комплексов микромицетов воздушной среды Ботанического сада и оранжерей. Исследования проводили весной (апрель-май) и осенью (октябрь-ноябрь) 2010 г. В летние месяцы исследования решено было не проводить, т.к. лето было не характерно жарким для Северо-Западного региона.

Пробы воздуха для микологического анализа отбирали пробоотборником Burkard в 16 различных точках сада, а также в 10 оранжереях тропического маршрута и в 7 оранжереях субтропического маршрута. Температурно-влажностный режим во время отбора проб воздуха измеряли прибором «ТКА-ПКМ». Температура воздуха в саду во время отбора проб весной в апреле-мае составляла +12...+15°C, а влажность 50–60%; осенью (октябрь-ноябрь) – +8...+10°C, а влажность – 70–80%.

Оранжереи являются особой экологической нишей с замкнутым пространством, с большими объемами почвы, многочисленными растениями и определенным температурно-влажностным режимом, зависящим от поливов растений, а с сентября по апрель с отопительным сезоном. В связи с этим количество и состав микроскопических грибов в воздушной среде оранжерей, очевидно, претерпевает определенные изменения, которые мы попытались выявить. Площадь оранжерей, в которых были проведены исследования, составляет около 9430 м².

Количество микромицетов в воздухе Ботанического сада в различных точках в весенние месяцы колеблется от 750 до 1500 КОЕ/м³, а в осенние месяцы – от 300 до 800 КОЕ/м³. Установлено, что число КОЕ/м³ как весной, так и осенью было наибольшим вдоль автотрасс. Число КОЕ/м³ в центральных точках отбора проб воздуха в саду было наименьшим. Таким образом, можно говорить о некотором влиянии близости автомобильных трасс на аэромикоту Ботанического сада, что согласуется с данными по антропогенному влиянию на численность микромицетов в воздухе загрязненных районов Санкт-Петербурга (Иванова, Кирицели, 2007).

Количество микромицетов в воздухе оранжерей в весенние месяцы колеблется от 350 до 2375 КОЕ/м³, а осенью от 300 до 2400 КОЕ/м³, т.е. в воздушной среде оранжерей количество КОЕ/м³ практически не отличается в весенние и осенние месяцы. Скорее всего, это связано с периодическим

протапливанием оранжерей в весенне-осенний сезон. В то же время, при рассмотрении полученных результатов достаточно заметна разница в количестве микромицетов между оранжереями тропического и субтропического маршрутов. Так, наибольшее количество микромицетов в тропическом маршруте характерно для оранжерей влажного тропического леса. Для субтропического маршрута наибольшее количество микромицетов характерно для оранжерей хвойные и папоротники субтропических районов земного шара, растения средиземноморья и Южной Африки, и субтропических растений Северной и Южной Америки.

В результате изучения качественного состава воздушной микобиоты Ботанического сада и оранжерей было выделено 68 видов микромицетов из 31 рода. Большинство видов относится к анаморфным грибам. Количество видов микромицетов в воздухе оранжерей по сравнению с садом несколько выше. Преобладающими из общего списка являются роды *Penicillium* - 23 вида (34%), *Aspergillus* – 8 видов (12%), *Cladosporium* и *Mucor* по 3 вида (4%), далее роды *Acremonium*, *Geotrichum*, *Torula*, *Trichoderma* и *Verticillium* по 2 вида (3%), остальные роды насчитывают по 1 виду (31%).

Однако при рассмотрении встречаемости родов в саду и оранжереях наблюдаются некоторые отличия. Так, в воздушной среде на территории Ботанического сада виды рода *Verticillium* весной составляли 48%, а осенью 34%, встречаемость микромицетов из рода *Aspergillus* увеличивалась в осенний период, что, скорее всего, связано с необычно жарким летом в 2010 г. Встречаемость микромицетов рода *Cladosporium* не имела сезонной приуроченности, и составляла 7-8%.

В оранжереях встречаемость микромицетов из рода *Penicillium* увеличивалась с 23% весной, до 38% осенью. Доля рода *Aspergillus*, снижалась с 20% весной до 12% осенью. Для микромицетов рода *Cladosporium* не отмечена сезонная приуроченность. Осенью в оранжереях появляются грибы из рода *Acremonium*, которые составляют 6%. Таким образом, воздушная микобиота сада и оранжерей имеет характерные сезонные отличия.

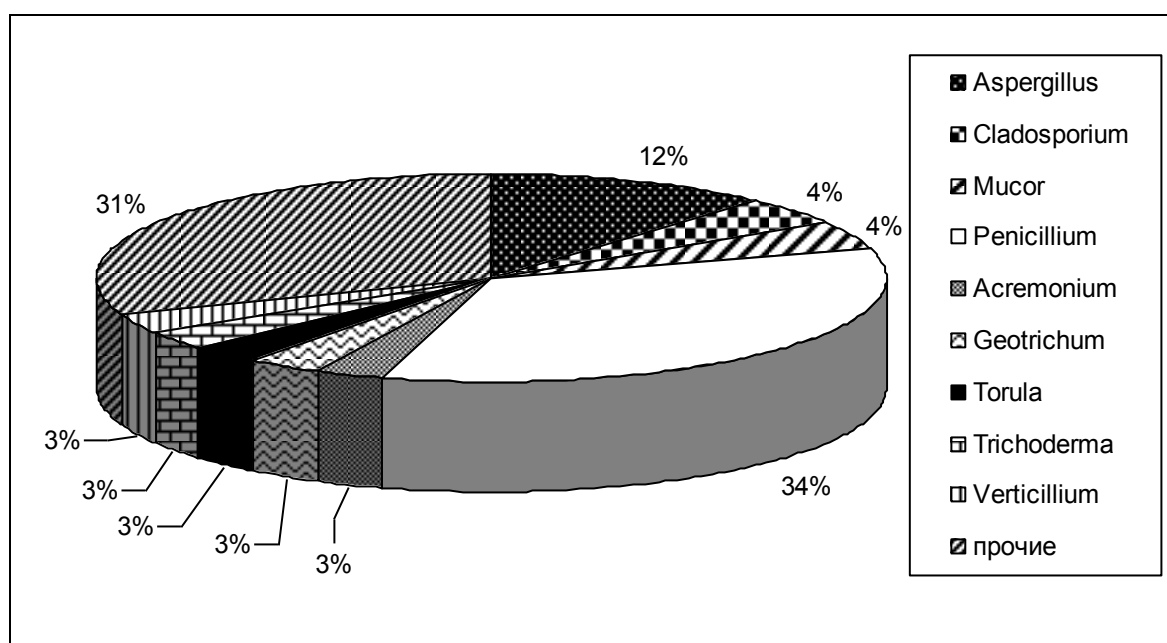


Рис. 1. Соотношение родов по числу видов (общий список)

Выше отмечалось, что исследований по изучению аэромикоты ботанических садов и оранжерей практически отсутствуют, однако в поле нашего зрения попала работа итальянских микологов М. Родольфи с соавт. (Rodolfi et al., 2003), проводивших исследования, подобные нашим, в Центральном ботаническом саду и оранжереях г. Павия (Италия). Авторами было выявлено 72 вида микромицетов из воздушной среды и филлопланы растений. Как и в наших исследованиях, преобладающими были грибы из родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Авторами отмечен фитопатоген *Gliocladium vermoesonii* = *Nalanthamala vermoesonii*, который также был выделен из воздуха наших оранжерей. Авторы не упоминают в своей работе видов из рода *Cladosporium*, два из которых – *C. cladosporioides* и *C. sphaerospermum* были выделены нами в чистую культуру не только из воздушной среды сада и оранжерей, но и с пораженных растений (герань, лавровишня и некоторые другие). Также колонии этих видов были отмечены в большом количестве на стенах и потолках

подсобных помещений оранжерей. Эти грибы являются не только часто встречающимися видами в почвах, воздухе, на органических остатках и различных материалах, но могут быть вторичными возбудителями болезней растений, а также вызывать легочные и кожные заболевания у человека и животных (Саттон и др., 2001; Егорова, Павлюк, 2006). Многие микромицеты выделенные в наших исследованиях являются обычными широко распространенными сапротрофами, но в определенных экологических условиях они могут представлять опасность как для растений, так и для человека, что подчеркивает важное значение подобных исследований, особенно при ухудшающейся экологической обстановке в Санкт-Петербурге. Наибольшее сходство видового состава аэромикоты отмечено между локальными местообитаниями в различные сезоны года (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты сходства видового состава микроскопических грибов в воздухе Ботанического сада и оранжерей в разные сезоны года. Над чертой – по коэффициенту Жаккара, под чертой – по коэффициенту Серенсена

		Сад		Оранжереи	
		Весна	Осень	Весна	Осень
Сад	Весна	-	-	-	-
	Осень	<u>0.32</u> 0.49	-	-	-
Оранжереи	Весна	<u>0.26</u> 0.41	<u>0.26</u> 0.41	-	-
	Осень	<u>0.25</u> 0.39	<u>0.21</u> 0.35	<u>0.29</u> 0.46	-

Для более детальной характеристики видов грибов, приуроченных к определенным экологическим условиям, данные по видовому составу необходимо дополнять количественными показателями. Это позволяет выделить структурные элементы – комплексы, образованные видами с разной частотой встречаемости.

В конце 1970-х, 1980-е и 1990-е гг. было проведено много исследований по изучению частоты встречаемости видов почвенных микромицетов, их типичных комплексах и о видах-индикаторах в связи с влиянием различных экологических факторов (Мирчинк, 1976; Озерская, 1980; Лебедева, 1986, 2000; Марфенина, 2005). Грибы с высокой частотой встречаемости (доминирующие и частые) являются основными компонентами комплекса микромицетов, играющими наиболее важную функциональную роль в сообществе. Виды с низкими значениями встречаемости, но постоянно обнаруживаемые, обеспечивают разнообразие комплекса, его специфику, но не несут большой функциональной нагрузки. Рассчитав частоту встречаемости видов, мы получили типичные комплексы микромицетов воздушной среды сада и оранжерей. В таблице 2 приведена частота встречаемости не всех выявленных видов грибов, а лишь тех, которые в каком-либо случае доминировали или часто встречались в саду или оранжереях.

В структуре комплексов среди некоторых видов происходит их перегруппировка. Так, *Alternaria alternata*, часто встречающаяся в саду весной, осенью становится редкой, а в оранжереях из редкой весной становится случайной осенью. *Aspergillus fumigatus*, не обнаруженный в саду весной, осенью становится частым видом, а в оранжереях он часто встречается весной, но осенью становится редким. Такие грибы, как *Cladosporium herbarum* и *Torula herbarum*, доминирующие весной и осенью в саду, становятся редкими и случайными видами в оранжереях, т.е. они более специфичны для аэромикоты сада, нежели для оранжерей. И наоборот, *Trichoderma viride* в саду встречается как редкий вид весной и случайный осенью, а в оранжереях имеет высокую частоту встречаемости как весной, так и осенью, т.е. все эти грибы способны существовать в широком диапазоне экологических условий. Ряд видов можно рассматривать как индикаторы экологических условий двух местообитаний (сада и оранжерей). Количество доминирующих и часто встречающихся видов в воздухе сада и оранжерей примерно одинаково и колеблется от 6 до 9. Настораживает факт, что среди доминирующих и часто встречающихся видов практически все являются либо фитопатогенами, либо возбудителями различных заболеваний человека и животных. В связи с этим мы полагаем, что в данной ситуации необходим постоянный микологический контроль, чтобы не допустить резкого увеличения процента нежелательных видов в воздушной среде сада и оранжерей.

Структура комплексов типичных видов микромицетов,
выделенных из воздушной среды сада и оранжерей

Виды	Частота встречаемости, %			
	Сад		Оранжереи	
	весна	осень	весна	осень
<i>Alternaria alternata</i>	30 (Ч)	10 (Р)	10 (Р)	5 (С)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	—	20 (Ч)	30 (Ч)	10 (Р)
<i>Aspergillus versicolor</i>	10 (Р)	10 (Р)	10 (Р)	20 (Ч)
<i>Aureobasidium pullulans</i>	20 (Ч)	50 (Д)	20 (Ч)	20 (Ч)
<i>Botrytis cinerea</i>	60 (Д)	10 (Р)	10 (Р)	10 (Р)
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	20 (Ч)	40 (Ч)	50 (Д)	60 (Д)
<i>Cladosporium herbarum</i>	70 (Д)	50 (Д)	10 (Р)	5 (С)
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	40 (Ч)	30 (Ч)	60 (Д)	40 (Ч)
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> var. <i>viridicatum</i>	5 (С)	10 (Р)	30 (Ч)	10 (Р)
<i>Penicillium commune</i>	20 (Ч)	30 (Ч)	40 (Ч)	30 (Ч)
<i>Penicillium lanoso-coeruleum</i>	10 (Р)	5 (С)	20 (Ч)	5 (С)
<i>Penicillium simplicissimum</i>	10 (Р)	5 (С)	60 (Д)	10 (Р)
<i>Torula herbarum</i>	50 (Д)	30 (Ч)	10 (Р)	5 (С)
<i>Trichoderma viride</i>	10 (Р)	5 (С)	20 (Ч)	40 (Ч)
Стерильный темноокрашенный мицелий	10 (Р)	15 (Р)	5 (С)	10 (Р)

Примечание: Д – доминирующие виды, Ч – часто встречающиеся виды, Р – редкие виды, С – случайные виды.

Таким образом, проведенные микологические исследования воздушной среды сада и оранжерей показали определенные изменения количественного и качественного состава микромицетов. Видовой состав микромицетов составляет 68 видов из 31 рода. В воздухе оранжерей он более разнообразен, чем в саду. Преобладающими видами являются микромицеты из родов *Penicillium* (23) и *Aspergillus* (8) видов. Использование показателя частоты встречаемости видов позволило выделить комплексы типичных видов грибов, характерных для аэромикоты сада и оранжерей. Четыре вида микромицетов: *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium aurantiogriseum* и *P. commune* являются видами-индикаторами воздушной среды двух различных местообитаний (сад и оранжереи). Доминирующие и часто встречающиеся виды исследованных местообитаний могут быть патогенами или фитопатогенами. Увеличение доли нежелательных видов в воздушной среде сада и оранжерей происходит под влиянием ухудшающейся экологической обстановки в центральной части Санкт-Петербурга, что требует микологического мониторинга (Лебедева и др., 2012).

По результатам проведенного исследования установлено, что экологическая обстановка в Ботаническом саду БИН РАН может быть охарактеризована как относительно неблагоприятная, вероятно, за счет воздействия выбросов автотранспорта.

Нами начаты исследования химического и микологического состава почвы Ботанического сада в тех же точках, которые ранее обследовались на предмет изучения аэромикоты.

Литература

- Егорова Л.Н., Павлюк Н.А. Анаморфные грибы на цветочных растениях в Ботаническом саду-институте ДВО РАН. Микология и фитопатология, 2006. 40(2). С. 93–100.
- Иванова А.М., Кирицели И.Ю. Комплексы микроскопических грибов в воздухе Санкт-Петербурга. Микология и фитопатология, 2007. 41(1). С. 40–47.
- Лебедева Е.В. Микромицеты почв в окрестностях предприятий азотных и суперфосфатных удобрений: Дис ... канд. биол. наук. Вильнюс–Ленинград. 1986. 191 с.
- Лебедева Е.В. Микромицеты – индикаторы техногенно загрязненных почв. Микология и криптогамная ботаника в России: традиции и современность. СПб. 2000. С. 173–178.
- Лебедева Е.В., Кирицели И.Ю., Богомолова Е.В. Микромицеты в воздухе Ботанического сада и оранжерей Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Микроскопические грибы в воздушной среде Санкт-Петербурга. СПб. 2012. С. 147–161.
- Марфенина О.Е. Антропогенная экология почв. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.

7. *Мирчинк Т. Г. М.* Почвенная микология, 1976. 206 с.
8. *Озерская С.М.* Структура комплексов почвенных грибов-микромитозов двух лесных биогеоценозов зоны смешанных лесов: Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ. 1980. 156 с.
9. *Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М.* Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 486 с.
10. *Rodolfi M., Lorenzi E., Picco A.M.* Study of the occurrence of greenhouse microfungi in a Botanical Garden. *Journal of Phytopathology*. 2003. 151(11-12). P. 591–599.

Литинский П.Ю.

*Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
litinsky@krc.karelia.ru*

БИОГЕОМАТИКА БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ – НЕОБХОДИМОСТЬ, ВОЗМОЖНОСТЬ, МЕТОДОЛОГИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Необходимость. На современном этапе развития естествознания нарастает необходимость смены научной парадигмы от анализа к синтезу. Причем, если в конце 20-го века формировались междисциплинарные научные направления, то в начале 21-го уже требуется объединение целых групп наук и технологий.

Исследования наземной части биосферы привели к осознанию того, что понять её структурно-функциональную организацию можно лишь на основе синтеза географического и экологического подходов (Сочава, 1979; Forman and Godron, 1986). Группой наук этого направления – геоботаникой, биогеоценологией, ландшафтной экологией (условно назовем её **биогеографией**) получен огромный массив данных о структуре и функциях биогеоценозов. Но абсолютное их большинство относится к отдельным модельным объектам – пробным площадям, трансектам и т. д., исследований межбиоценозных связей значительно меньше. И почти упускается из виду (по крайней мере, считается вторичным) одно обстоятельство – сколь бы детальными и точными такие исследования ни были, все они **имеют смысл** лишь в том случае, если их результаты в дальнейшем будут интегрированы и **адекватно экстраполированы** на всю изучаемую территорию. Для этого необходима геометрически корректная пространственная основа, структурная модель экосистем, отражающая динамику естественных и антропогенных изменений. Эта основа должна обеспечивать возможность **количественного** анализа и математического моделирования выявленных закономерностей.

Такая модель может быть создана лишь с использованием данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий, в настоящее время эта группа наук и технологий получила название **геоматика**. Работы в этой области активно ведутся в течение нескольких десятилетий, но в основном они носят локальный, методический характер и о широком использовании их в фундаментальной науке говорить пока рано.

Глобальная модель наземных экосистем (Барталев и др., 2007) создается на основе сканерных снимков с разрешением в несколько сотен метров, на которых можно выявить лишь наиболее крупные, генерализованные контуры растительного покрова планеты. Ввиду явного несоответствия масштабных уровней служить основой для интеграции детальных наземных исследований она может лишь формально.

В 1984 году появился мультиспектральный сканер Landsat TM, разрешение которого (30 м) сопоставимо с минимальными размерами растительного сообщества (Pignatti *et al*, 2002). С тех пор накоплен трудно представимый объем данных о структуре и динамике растительного покрова, который, как это ни парадоксально, до настоящего времени остается в значительной степени невостребованным, особенно в России. Научное сообщество до сих пор крайне недостаточно (а иногда и недостоверно) информировано о возможностях и перспективах использования геоматики в науках о Земле.

Сканерные снимки могут быть адекватно интерпретированы только на основе наземных данных, поэтому в определенном смысле невостребованными оказываются и результаты натурных исследований. Во всяком случае, осмысленное, неформальное объединение тех и других могло бы дать колоссальный «синергический» эффект для фундаментальной и прикладной науки.

Таким образом, налицо необходимость слияния двух групп наук и технологий – геоматики и биогеографии. Новую синтетическую науку можно назвать **биогеоматикой**. Малоизвестно, что в настоящее время возникло уникальное стечение обстоятельств, при котором развитие этого направления не требует **никаких финансовых затрат**.

Возможность. До конца 20 века данные сканирования были малодоступны ввиду их высокой стоимости и необходимости для их обработки компьютеров значительной по тем временам мощности, и специального программного обеспечения. Положение начало меняться с запуском в 1999 г. сканера Landsat 7 ETM+, снимки которого были многократно дешевле (и при этом даже несколько информативнее), чем у Landsat TM, а затем появились и в открытом доступе на правительственных и университетских сайтах (NASA, GLCF). Затем были открыты также архивы Landsat TM, и сейчас любому жителю планеты, вне зависимости от его местожительства и образования, доступны в онлайн-режиме высококачественные, геометрически корректные снимки (не только изображения, но и исходная цифровая информация) любого ее участка как минимум с 2-3 кратной повторностью за тридцать последних лет. Доступны также некоторые необходимые для геоматического моделирования цифровые модели высот, снимки других сканерных и радарных систем. На картографических разделах сайтов Google, Yandex, Bing большая часть территории Земли покрыта снимками сверхвысокого разрешения (менее 1 м), которые значительно облегчают интерпретацию снимков Landsat.

Прогресс компьютерной техники привел к тому, что для обработки снимков сейчас можно эффективно использовать персональные компьютеры среднего и даже низшего ценового уровня, то есть также практически бесплатные. Все вышесказанное позволяет говорить о наступившем конце «эры суперкомпьютерной ментальности» [Laestadius, 2003] в геоматике. Следует отметить, что высказанные тогда этим автором прогнозы относительно перспектив доступности геоинформации сбылись значительно больше, чем на 100%. Он справедливо полагал, что высокотехнологичные области финансируются за счет налогоплательщиков, и они не должны платить за получение информации дважды.

И наконец, существует такой, еще недооцененный цивилизационный феномен, как открытое (официально бесплатное) программное обеспечение (ПО). Если около десяти лет назад оно разрабатывалось в основном в операционной системе Linux, что в определенной степени ограничивало его доступность для «непрограммистов», то сейчас существуют Windows-версии большинства пакетов. От профессиональных они отличаются лишь несколько менее удобным и эстетичным интерфейсом, и (иногда) меньшим быстродействием. С другой стороны, многие «научно-исследовательские» алгоритмы реализованы только в открытом ПО. Наиболее распространенные ГИС-пакеты - QGIS, GRASS, SAGA включают все необходимые средства для обработки ДДЗ, существует большое количество руководств по их освоению, ведутся тематические форумы.

Таким образом, исходные данные для моделирования пространственной структуры экосистем, а также аппаратно/программное обеспечение общедоступны и бесплатны, требуются лишь интеллектуальные усилия по освоению технологий обработки снимков. Здесь существует препятствие, которое, возможно, и ограничивает развитие этого направления.

Методология. Традиционные, описанные в учебниках, методы извлечения информации из сканерных снимков – чисто математические. Они основаны на **формальной экстраполяции** данных ключевых участков на всю охваченную снимком территорию («управляемая классификация»), для чего используются универсальные статистические методы – обычно дискриминантный анализ. Но реальная информация о земной поверхности, отраженная в многомерном спектральном пространстве снимка, из-за технических и атмосферных факторов лишь **частично** согласуется с представлениями биологов о классификации растительного покрова – не говоря уже о том, что существуют различные варианты классификаций – экологические, геоботанические, ландшафтные, хозяйственные. Поэтому, например, разработчики пакета Idrisi в руководстве пользователя прямо указывают, что дискриминантный анализ при недостаточном качестве наземных данных может работать «terribly». Возможно, получение на начальных этапах удручающих результатов и отталкивает начинающих исследователей.

Принципиальный недостаток традиционного подхода в том, что при любом математическом методе обработки, и при наличии большого количества наземных эталонов, спектральное пространство снимка остается «черным ящиком». Исследователь не может оценить реальные размеры и расположение категорий, их пространственную сопряженность, то есть в прямом смысле слова действует **вслепую**.

Для выявления пространственной структуры экосистем целесообразнее применять иной способ извлечения информации из сканерных снимков. Суть его в том, что абстрактное многомерное спектральное пространство снимка определенным способом трансформируется в трехмерное, явным образом визуализируемое – т.е. создается его **модель**. Впервые идея была высказана почти 40 лет назад (Kauth and Thomas, 1976), когда еще не существовало не только трехмерной, но и вообще компьютерной графики – рисунки к статье выполнены тушью. Идея практически не используется современными исследователями, хотя развитая 3D-графика есть, например, в упомянутом пакете GRASS. Очевидно, причина в том, что такой метод не описан в руководствах, а его самостоятельная реализация требует наличия некоторых навыков программирования (и креативного мышления).

В видимом 3D-пространстве становится возможной интерпретация, имеющая ясный **биологический смысл** – например, сопоставление положения сегментов лесных экосистем с локальным вариантом эдафифитоценотической схемы типов леса. Таким образом, можно назвать данный метод *моделированием спектрального пространства*. Для таежных экосистем нами была разработана 3D-трансформация, в общих чертах сходная с Tasseled Cup, предложенной вышеуказанными авторами для сельскохозяйственных культур, но обеспечивающая лучшее разделение категорий (Литинский, 2011).

Результаты. Применение методики началось в северотаежной подзоне восточной Финноскандии. Сопоставление спектральной модели с наземными данными показало, что для лесных экосистем в значительной части случаев локализация сегментов прямо соответствует их положению в осях эдафифитоценотических координат, причем идентифицируются не только типы (иногда группы типов) леса, но и биогеоценотические комплексы (*четвертичные отложения - почва - растительность*). Естественно, в спектральном пространстве оси не перпендикулярны, а расположены под некоторым углом, в зависимости от параметров трансформации.

Так, для **(суб)климаксовых лесов** по *оси недостаточного увлажнения* за зеленомошными сосняками и ельниками моренных гряд (почвы – супесчаные подзолы) выстраиваются сосняки брусничные и лишайниковые флювиогляциальных равнин (песчаные подзолы), за которыми следуют сосняки каменистые/скальные на выходах кристаллических пород с моренным чехлом различной мощности (неполноразвитые и скелетные почвы).

По *оси избыточного застойного увлажнения* за зеленомошными идут сосняки долгомошные (ввиду сходных параметров древесного полога границы между ними не очень четко выражены), затем четкий сегмент сосняков багульниковых озерных равнин, затем сосняки сфагновые (здесь уже возможно выделение нескольких классов по полноте и типу болотных почв). Менее дифференцированы сегменты некоторых низкополнотных сосняков и ельников с различной долей участия обеих пород, их разделение возможно с учетом ландшафтного контекста и по геоморфометрической модели, с учетом экологической приуроченности к формам рельефа.

Четко вырисовываются две траектории восстановительной динамики **после рубки** – через смену пород и без таковой, также связанные с типом четвертичных отложений. На морене выражены все стадии от молодняков до приспевающих, на песках – лишь 1-2 стадии, здесь для более точной датировки необходимы разновременные данные (для значительной части территории они имеются).

Для **болотных экосистем** положение спектральных сегментов строго определяется типом водно-минерального питания (олиготрофное или мезотрофное) и степенью увлажнения поверхности. Четко обособленное положение от лесных и болотных экосистем занимают сегменты травянистой растительности, гари различной давности, карьеры и другие лишенные растительности категории.

Таким образом, при использовании данной методики выделяются все основные классы первичных экосистем подзоны, а также различные варианты и стадии их естественных и антропогенных нарушений, в настоящее время в общей сложности несколько десятков категорий, с детализацией масштаба примерно 1:25 000 (Литинский, 2012; 2013). Отметим, что созданные традиционными методами на основе аналогичных снимков модели таежных территорий существенно менее информативны, обычно включают до десяти категорий.

В настоящее время наиболее проработанный фрагмент включает территорию от южной границы подзоны до полярного круга (около 12 млн га). Верификация модели проводилась путем сопоставления с независимо создаваемой базой данных экотопов с координатной привязкой, и соответствие оказалось почти стопроцентным (Крышень, Литинский, 2013). Это свидетельствует о принципиально более высокой достоверности результатов по сравнению с традиционным подходом (заметим, что 3D-модель спектрального пространства наглядно **показывает** причину иногда странных результатов «управляемой классификации»). Развитие модели идет в направлении

расширения территориального охвата, увеличения степени детализации и подключения к модели функциональных блоков.

Тип комплекса *четвертичные отложения/растительность* определяет ход почвообразовательного процесса, биологическую продуктивность биоценоза и другие его характеристики. Поэтому в традиционном понимании, биогеоматическая модель – это «комплект карт»: а) четвертичных отложений; б) типов леса; в) типов болот; г) почв; д) биоресурсов; е) ненарушенных территорий; ж) хода возобновления на вырубках и др.

В практическом плане она является пространственной базой данных по природным ресурсам и биоразнообразию, и т.о. представляет собой наиболее адекватную картографическую основу для планирования экологически сбалансированного природопользования. Но еще важнее фундаментальное значение модели – интеграция результатов дискретных наблюдений в единый пространственно-временной континуум – комплексную структурно-функциональную модель растительного покрова, его взаимодействия с атмо-, гидро- и литосферой, а также служить отправной точкой мониторинга с 1980-х годов на десятилетия вперед.

Перспективы. Предварительный анализ спектральных моделей показывает, что их структура сходна у всех снимков Landsat TM/ETM+ таежных территорий Фенноскандии, Сибири, Канады, поэтому данный подход целесообразно использовать во всей бореальной зоне. Единая, экологически ориентированная методика обеспечит независимость от локальных классификаций экосистем и, соответственно, сопоставимость результатов в глобальном масштабе.

На первом этапе создания спектральной модели, формирования ее «каркаса», не нужны новые наземные данные, наоборот, требуется подробное изучение по литературным источникам и картографическим материалам структуры четвертичных отложений и растительного покрова территории. В качестве эталонных объектов идеально подходят охраняемые природные территории, поскольку в них подробно изучена биогеоценотическая структура, имеются картографические материалы, а для экосистем, находящихся в естественном состоянии, проще проводить локализацию спектральных классов. По мере детализации модели выявляются **недостаточно изученные** участки территории и характеристики биоценозов. Таким образом, модель будет способствовать и развитию традиционных биогеографических направлений. Она также внесет коррективы – возможно, весьма существенные – в модели, созданные упомянутыми выше формальными математическими методами. Даже если в некоторых случаях в процентном отношении разница будет невелика, модель безусловно будет способствовать качественно лучшему пониманию структурной организации растительного покрова.

Биогеоматическая модель дает возможность **количественного анализа** структуры экосистем методами ландшафтной экологии, реализованным, например, в пакетах GRASS и SAGA. Качественный скачок в развитии биогеоматики произойдет, когда станут доступны весьма дорогостоящие в настоящее время данные лазерной (лидарной) съемки, по которым рассчитываются детальные модели рельефа и архитектоники древесного полога. Декомпозиция спектральных классов по этим параметрам в несколько раз увеличит общее количество распознаваемых классов растительного покрова. Обработка этих данных потребует значительно большей вычислительной мощности, но решение проблемы обеспечит как прогресс собственно компьютеров (увеличение производительности процессоров и объемов памяти), так и развитие облачных технологий.

Всеобщая доступность данных и технологий биогеоматики создает все условия для ее изучения студентами и школьниками. Развитие биогеоматики смогут обеспечить лишь креативные личности, в равной степени компетентные в биологии, физике, математике и информатике. Разрешение чиновников от науки и образования для этого не требуется, начинать можно уже сейчас. Более подробно принципы и методы биогеоматического моделирования описаны в перечисленных ниже статьях, размещенных на сайте Карельского НЦ РАН.

Литература

1. *Барталев С.А., Исаев А.С., Еришов Д.В.* Актуальные задачи, возможности и перспективные направления методов спутникового мониторинга бореальных лесов // Международная конференция «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве», М: МГУЛ, 2007. С. 20-22.
2. *Крышень А.М., Литинский П.Ю.* Сопоставление и взаимная верификация геоинформационной и эколого-динамической моделей разнообразия лесных экосистем // Труды КарНЦ РАН. No 2. Сер. Биогеография. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 86-91.

3. *Литинский П.Ю.* Классификация сканерных снимков методом моделирования спектрального пространства // Труды КарНЦ РАН РАН, Сер. «Математическое моделирование и информационные технологии», Вып. 2. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 45-54.
4. *Литинский П.Ю.* Геоинформационная модель наземных экосистем северотаежной подзоны восточной Фенноскандии // Труды КарНЦ РАН. No 1. Сер. Биogeография. Вып. 13. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 3-15.
5. *Литинский П.Ю.* Геоинформационная модель наземных экосистем хребта Маанселькя (район оз. Паанаярви) // Труды КарНЦ РАН. No 2. Сер. Биogeография. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 97-100.
6. *Сочава В. Б.* Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 190 с.
7. *Kauth, R.J. and Thomas. G.S.* The Tasseled Cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Proceedings on the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 4b: 41-51, 6 June - 2 July 1976 (West Lafayette, Indiana: LARS, Purdue University).
8. *Laestadius L.* Конец эры суперкомпьютерной ментальности // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. Материалы международной конференции, 26-28 ноября 2003, М. С. 15-19.
9. *Pignatti S., Box E. O., Fujiwara K.* A new paradigm for the XXIth century // Ann. Bot. 2002. Vol. 2. P. 30–57.

Лиханова И.А., Арчегова И.Б.

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
likhanova@ib.komisc.ru*

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Промышленное освоение природных ресурсов Республика Коми активизировалось во второй половине XX века. Разработка крупных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, Печорского угольного бассейна, рудных месторождений Тимана и Урала происходит в наиболее уязвимых к антропогенному влиянию подзонах южной кустарниковой тундры, северной и южной лесотундры, крайнесеверной и северной тайги. Высокая степень уязвимости к техногенным нарушениям и длительный период самовосстановления природных экосистем Севера определяют необходимость ускорения восстановительного процесса на посттехногенных территориях. Высокие темпы нарушения земель Республики Коми в 80-е годы прошлого столетия (до 3.5-4 тыс. га ежегодно) послужили толчком к началу изучения приемов их восстановления. О слабой, к тому времени проработанности теоретической базы и практических приемов рекультивации земель на Севере говорит то, что нередко рекультивационные работы ограничивались проведением только первого, т.е. технического этапа (Охрана..., 1991; Охрана..., 1996; Государственные доклады...). Биологический этап зачастую не проводился, так как считалось приемлемым оставлять нарушенные земли на самозарастание.

Первые исследования рекультивации нарушенных земель в подзонах крайнесеверной и северной тайги Республики Коми были проведены сотрудниками Сыктывкарского государственного университета Н.П. Акульшиной и Н.Н. Лобовиковым (1981). В целях восстановления земель, лишенных почвенно-растительного покрова в ходе строительства трассы нефтепровода Возей-Уса-Ухта, предложено использовать метод гидропосева. Состав гидросмеси в расчете на 1 га площади включал 3000-5000 кг воды, 400-600 кг скопа (отход лесопромышленного комплекса), 150 кг нитроаммофоски и семена трав районированных сортов и/или местных популяций овсяниц луговой и красной, мятлика лугового, лисохвоста лугового, арктофилы рыжеватой, канареечника тростниковидного, полевицы гигантской, клевера ползучего и лугового. Норма высева травосмесей составляла до 40 кг/га, на склонах – до 120 кг/га. На песчаные техногенные пустоши рекомендовано возвращать биологически активный поверхностный слой почвы или наносить торф, ил слоем толщиной 10-15 см. На основе обобщения проведенных исследований были разработаны методические указания по технологии биологической рекультивации нарушенных земель

[Лобовиков, Акулышина, 1990], где интенсивность рекультивационных работ определялась по степени нарушенности почвенно-растительного покрова и возможности его самовосстановления.

Параллельно в этот же период в подзоне южной тундры (Воркутинский промышленный район) проводились исследования Институтом биологии Коми НЦ УрО РАН под руководством одного из авторов данной статьи – И.Б. Арчевой (Восстановление земель..., 2000). Был рекомендован основной агротехнический прием рекультивации – посев местных видов трав (норма высева – 10 кг/га) при внесении комплексных минеральных удобрений в дозе 45-90 кг/га действующего вещества (д.в.) каждого компонента. В ассортимент трав, пригодных для рекультивации нарушенных земель тундровой зоны, включены мятлик луговой, лисохвост луговой, бекмания обыкновенная, арктагостис широколистный, арктофила рыжеватая, луговик северный. Для целей рекультивации также рекомендовалось использовать разработанный и с положительным результатом испытанный биологически активный удобрительно-посевной гранулированный материал (БАГ), изготовленный из гидролизного лигнина (отхода целлюлозно-бумажного производства) в смеси с другими органическими и неорганическими удобрениями и семенами, обработанными комплексом азотфиксирующих бактерий (патент № 2099917). Уход за рекультивированной площадью включал ежегодную (не менее трех лет) подкормку трав азотным или комплексным удобрением в дозе 45-60 кг действующего вещества на га (кг д.в./га) каждого компонента. Подчеркивалось, что оценка качества рекультивации целесообразна не ранее чем на второй-третий год после посева трав. В качестве основного критерия сдачи участка предлагалось использовать проективное покрытие трав, которое должно быть не менее 70%.

В конце 1980-х годов сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН С.В. Дегтевой и Г.А. Симоновым на территории Кожимского месторождения золота (Приполярный Урал) были заложены опыты по биологической рекультивации отвалов после проведения горнотехнического этапа. Результаты полевых экспериментов показали, что посевы местных видов трав (мятлика лугового, овсяницы красной и овечьей, костреца безостого, канареечника тростниковидного, щучки дернистой) при норме высева семян до 20 кг/га и дозе внесения минеральных (преимущественно азотных) удобрений 20-40 кг д.в./га при создании посевов, до 45 кг д.в./га – при ежегодной подкормке обеспечивают через 3-4 года формирование агроценозов с общим проективным покрытием до 65%, и достижение противоэрозионного эффекта (закрепление субстрата) (Дегтева, Симонов, 1995).

Особого внимания требовали нефтезагрязненные земли. Первые работы по рекультивации нефтезагрязненных земель в Усинском районе выполнила Л.В. Чалышева совместно с В.П. Гладковым и З.Г. Гардиевской (1990). Параллельно велись исследования сотрудниками отдела геоботаники и рекультивации Института биологии Коми НЦ УрО РАН (И.Б. Арчевой, Т.В. Евдокимовой, Н.С. Котелиной, Е.Г. Кузнецовой, М.Ю. Маркаровой, Л.П. Турубановой), важным итогом которых стали рекомендации по рекультивации земель на Крайнем Севере (Рекультивация земель..., 1997). Особое внимание в них уделено аварийным ситуациям при добыче и транспорте нефти. На нефтезагрязненных участках после завершения механической очистки должен следовать процесс интенсивной доочистки, включающий регулярную обработку микробиологическим препаратом, внесение органических и минеральных удобрений. Перед проведением биорекультивации уровень остаточного загрязнения нефтью не должен быть выше 3%. В типовой схеме работ биологического этапа предусмотрены: подготовка субстрата перед посевом трав (внесение и заделка компоста из торфа и навоза (30 т/га), прикатывание субстрата), внесение минеральных удобрений (60-90 кг д.в./га по азоту, фосфору и калию), посев трав без заделки семян (норма высева 10-20 кг/га). Возможно использование БАГ. Для рекультивационных работ рекомендованы мятлик луговой, лисохвост луговой и тростниковидный, бекмания обыкновенная, овсяница красная, луговик северный, волоснец сибирский, регнерия волокнистая, арктофила рыжеватая, арктополевица широколистная, овсяница овечья, канареечник тростниковидный. На склонах посев трав целесообразно сочетать с посадкой черенков ив. До достижения 60-70% проективного покрытия трав ежегодно вносят азотные или комплексные удобрения (45-60 кг д.в./га каждого компонента).

Крупная авария 1994 года на нефтепроводе «Возей-Головные сооружения» (Усинский район) послужила толчком к активизации работ по исследованию микробиологических препаратов для очистки вод и почв от нефтезагрязнений. В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН был разработан и испытан препарат МУС-1 (Маркарова и др., 1998). В дальнейшем усовершенствованный микробиологический препарат «Универсал», показавший высокую эффективность, был рекомендован для применения (Маркарова, 2004). Разработана технология очистки

нефтезагрязненных природных объектов с помощью биосорбентов (авторы И.Б. Арчегова, Ф.М. Хабибуллина, А.А. Шубаков, Г.М. Тулякин, Ю.С. Жучихин и др.). Биосорбент представляет собой гидрофобный нефтяной сорбент из торфа низкотемпературной термической обработки с иммобилизованными специально подобранными штаммами углеводородокисляющих микроорганизмов и их ассоциаций (Экологические основы..., 2007). Применение биосорбента обеспечивает сбор нефти и деструкцию сорбированных нефтепродуктов. Гидрофобные свойства позволяют использовать биосорбент как на почвах, так и на водных поверхностях.

С 1995 года детальной разработкой приемов локализации аварийных разливов нефти и очистки нефтезагрязненных земель и водных поверхностей, занимались сотрудники Научно-исследовательского проектно-изыскательского института «Комимелиоводхоз-проект» под руководством Г.Н. Ерцева. В 2001 году был подготовлен «Регламент по приемке нарушенных и загрязненных нефтью земель после проведения восстановительных работ» (2001). Приведенные в нем расчетные ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) нефти в грунтах после проведения восстановительных работ служили практическими критериями для возвращения в хозяйственный оборот восстановленных объектов. Системные исследования по ликвидации последствий аварийных разливов нефти привели к разработке требований к технологиям рекультивации загрязненных нефтью земель в условиях Севера (2004), в которых были определены основные мероприятия по технической и биологической рекультивации нефтезагрязненных земель.

Расширение объемов практических разработок по рекультивации нарушенных земель на Севере выявляло недостаточность традиционного представления о рекультивации для условий Севера. Как впервые отмечается в книге «Биологическая рекультивация на Севере» (1992), смыслом биорекультивации на Крайнем Севере является ускоренное природовосстановление, то есть восстановление вторичной природной экосистемы. Подходы и приемы, рекультивации разработанные для территорий с более мягким климатом и развитым земледелием, не являются приемлемыми для условий Севера. Приемы должны быть адаптированы для конкретных биоклиматических условий и концептуально обоснованы. В качестве основы нового методологического подхода к восстановлению нарушенных земель заложен принцип системности. С его позиций любая экосистема является целостным образованием взаимосвязанных и взаимообусловленных компонентов – растительности, зоо-микробного комплекса и почвы. Главным механизмом, обеспечивающим устойчивое функционирование экосистемы, является биологический оборот органического (растительного) вещества, замыкающегося в почве и обеспечивающего стабильное воспроизводство растительного сообщества. Для восстановления разрушенных техногенным воздействием экосистем требуются комплексные мероприятия, направленные на одновременное восстановление всех ее компонентов.

На базе принципов системности и адаптивности под руководством И.Б. Арчеговой была создана концепция природовосстановления (Арчегова, 1998). Природовосстановление – деятельность, направленная на ускоренное восстановление разрушенных техногенным воздействием природных экосистем Севера, максимально соответствующих по типу разрушенным, с учетом специфики климатических условий и типа традиционного хозяйства коренного населения. В рамках концепции разработана схема практических приемов, включающая 2 этапа. На первом этапе, интенсивном, в короткие сроки (3-5 лет) с применением базового приема – посева местных многолетних трав по фону органических и минеральных удобрений – формируется травянистая экосистема и биогенно-аккумулятивный (новый плодородный) слой почвы. При загрязнении нарушенной территории нефтью на этом же этапе используют дополнительные специальные биологические приемы (внесение микробиологических препаратов, биосорбентов). Основным критерием завершения интенсивного этапа является формирование травянистого сообщества с общим проективным покрытием растений не менее 70% и морфологически оформленной луговоподобной почвы. Таким образом, на интенсивном этапе происходит ускорение восстановительного процесса за счет исключения первой инициальной (пионерной) сукцессионной стадии путем создания более продвинутой стадии – сомкнутого травянистого сообщества. На втором этапе, ассимиляционном, агрорежим снимается, и в процессе самовосстановительной сукцессии сформированная на первом этапе травянистая экосистема постепенно замещается лесной или тундровой. Эффективность применения схемы природовосстановления в условиях севера таежной и тундровой зон Республики Коми подтверждена применением на практике (Экологические принципы..., 2009).

В рамках концепции природовосстановления разработана и с положительным эффектом испытана нами (Лиханова И.А. и др.) оптимизированная технология восстановления лесных экосистем (Экологические принципы..., 2009). В противовес традиционной лесной рекультивации, сконцентрированной на восстановление только древесного яруса, она направлена на восстановление лесной экосистемы, как целостного единства основных ее компонентов. Показано, что эффективность восстановления лесной экосистемы на нарушенных землях севера таежной зоны достигается сочетанием агроприемов интенсивного этапа (внесение удобрений, посев многолетних трав) с посадкой крупномерных саженцев сосны обыкновенной, березы пушистой, лиственницы сибирской, высаживаемых с комом земли, что обеспечивает высокую приживаемость древесных растений, их активный рост при одновременном развитии травянистого покрова, обеспечивающего закрепление техногенного субстрата и формирование почвы, как компонента лесной экосистемы. Таким образом, агротехническими приемами достигается ускорение не только стадии формирования травянистого сообщества, но и стадии замещения травянистого сообщества лесным.

Итак, интенсификация добычи недроресурсов в Республике Коми, произошедшая в XX веке, привела к росту нарушенных земель. С 1980-х гг. в тундровой и на севере таежной зон Республики Коми начинается активная разработка практических приемов биологической рекультивации с учетом специфики биоклиматических условий Севера и потребностей традиционного хозяйствования. Разработка практических приемов биологической рекультивации привела к формированию новой теоретической базы процесса восстановления нарушенных земель – концепции природовосстановления и на ее основе – двухэтапной схемы практических приемов восстановления разрушенных техногенным воздействием экосистем. В схеме природовосстановления впервые в единую систему объединен весь цикл восстановления до конечной его цели – вторичной экосистемы, близкой к зональному типу. Природовосстановительные мероприятия должны вести к восстановлению экосистемы в полном объеме (а не отдельных ее компонентов), соответствовать конкретным географическим зональным природным условиям, поддерживать развитие традиционных форм хозяйствования населения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 3-04-98818 «Ускоренное восстановление лесных экосистем на посттехногенных территориях таежной зоны Республики Коми».

Литература

1. Акулышина Н.П., Лобовиков Н.Н., Менгалимов Х.Я. Опыт фитомелиорации эродированных почво-грунтов на трассе магистрального нефтепровода Возей-Уса-Ухта // Растительные ресурсы, 1981. Т. XVII. Вып. 2. С. 175-183.
2. Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере. (Научные доклады / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 412). Сыктывкар. 1998. 12 с.
3. Биологическая рекультивация на Севере (вопросы теории и практики). Сыктывкар, 1992. 104 с.
4. Восстановление земель на Крайнем Севере. Сыктывкар, 2000. 152 с.
5. Государственные доклады о состоянии окружающей природной среды Республики Коми за 1992 – 2010 гг.
6. Дегтева С.В., Симонов Г.А. Рекультивация земель на Севере. Вып. 2. Фиторекультивация отвалов отработанных россыпей в условиях Приполярного Урала. Сыктывкар, 1995. 40 с.
7. Лобовиков Н.Н., Акулышина Н.П. Технология биологической рекультивации нарушенных земель на Европейском Севере. Сыктывкар, 1990. 14 с.
8. Маркарова М.Ю. Опыт применения биопрепарата «Универсал» для рекультивации нефтезагрязненных земель // Экологические работы на месторождениях нефти тимано-печорской провинции. Матер. III науч.-практ. конф. Ухта, 2004. С. 229-233.
9. Маркарова М.Ю., Арчегова И.Б., Поливедкин В.В. Микробиологическая очистка загрязненных нефтью водоемов и резервуаров // Химия в интересах устойчивого развития, 1998. Вып. 6. С 343-348.
10. Охрана окружающей среды в Коми АССР. Стат. сб. / Сыктывкар: Госкомстат, 1991. 180 с.
11. Охрана окружающей среды Республики Коми в 1995 г. Стат. сб. / Сыктывкар: Госкомстат РК, 1996. 76 с.
12. Регламент по приемке нарушенных и загрязненных нефтью земель после проведения восстановительных работ. Сыктывкар, 2001. 32 с.
13. Рекультивация земель на Севере. Вып. 1. Рекомендации по рекультивации земель на Крайнем Севере. Сыктывкар, 1997. 34 с.

14. Требования к технологиям рекультивации загрязненных нефтью земель в условиях Севера. Сыктывкар, 2004. 134 с.
15. Чалышева Л.В., Гладков В.П., Гардиевская З.Г. Естественное зарастание нефтезагрязненных земель и опыт их рекультивации в условиях Севера // Эколого-экономические аспекты природопользования на Европейском Северо-Востоке. (Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 114). Сыктывкар, 1990. С. 74-82.
16. Экологические основы оптимизированной технологии восстановления нефтезагрязненных природных объектов на Севере. Сыктывкар, 2007. 140 с.
17. Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере. Сыктывкар, 2009. 176 с.

Лянгузова И.В.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова, г. Санкт-Петербург

irina@lya.spb.ru

АНАЛИЗ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Биогеоценозы Кольского полуострова испытывают воздействие двойного стресса: с одной стороны, суровые климатические условия Крайнего Севера, с другой – аэротехногенное загрязнение окружающей среды. В результате в зоне воздействия промышленных предприятий нарушается нормальное функционирование лесных экосистем вплоть до полного их разрушения и деградации, при этом сокращается видовое биоразнообразие, снижается продуктивность древостоев, разрушается напочвенный покров, происходит эрозия почвы (Влияние..., 1990; Лесные экосистемы..., 1990; Лукина, Черненко, 2008; Динамика..., 2009 и др.). Поллютанты оказывают как прямое токсическое действие на растительные организмы, так и косвенное; эти воздействия приводят к нарушению минерального питания растений, накоплению повышенных концентраций тяжелых металлов в их органах, а также к торможению роста и развития (Влияние..., 1990; Лукина, Никонов, 1996, 1998; Лянгузова, 1990, 2005, 2008, 2010). Однако при проведении исследований в биогеоценозах, подвергающихся аэротехногенному загрязнению, крайне трудно оценить степень воздействия на растения конкретных загрязнителей, выделить вклад каждого из них, а также разделить влияние газообразных токсических веществ, в первую очередь, диоксида серы, и твердых выпадений, включающих тяжелые металлы. Наиболее адекватным подходом для решения указанной проблемы является постановка вегетационных и полевых экспериментов (Ильин, 1991; Елькина, 2008; Титов и др., 2007; Костюк, 2009). Сопряженный анализ уровня загрязнения почвы и накопления тяжелых металлов в растительных организмах позволяет оценить их миграцию из загрязненной почвы в надземные органы растений.

Целью настоящей работы является анализ миграции ионов никеля и меди из загрязненного органогенного горизонта Al-Fe-гумусовой подзолистой почвы в ассимиляционные органы растений и живые части талломоов лишайников.

В 1992–1993 гг. в средневозрастных сосняках фонового района, удаленных от комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская обл.) на расстояние свыше 80 км, где отсутствуют визуально наблюдаемые повреждения растений, был заложен полевой эксперимент. В настоящей работе представлены результаты для одной постоянной пробной площади (ППП), заложенной в сосняке лишайниковом, давность последнего пожара в котором составляла 80 лет. Одна половина PPP была оставлена в качестве контроля. За период с 1992 по 1997 гг. на поверхность напочвенного покрова другой половины PPP вручную была рассеяна полиметаллическая пыль, выбрасываемая в атмосферу цехом рудной электроплавки комбината «Североникель». Рассыпание полиметаллической пыли на поверхность напочвенного покрова экспериментального участка привело к пространственно очень неравномерному загрязнению Al-Fe-грубогумусной подзолистой почвы.

В 2011 г. на всей территории экспериментального участка сосняка лишайникового было заложено 50 учетных площадок размером 50х50 см в местах с разной степенью нарушенности напочвенного покрова (градации проективного покрытия мохово-лишайникового яруса: 0–10, 10–30, 30–60, 60–80, 80–100%). На площадках были отобраны образцы органогенного горизонта почвы,

неразложившегося опада, хвои взрослых деревьев и подроста *Pinus sylvestris*, листьев *Betula pubescens* и *Vaccinium vitis-idaea*, а также живых частей лишайников *Cladina stellaris*, *Cl. rangiferina*, *Cl. mitis* и *Cladonia uncialis*. На территории, примыкающей к экспериментальному участку, были отобраны контрольные пробы почвы, растений и лишайников.

Во всех образцах почвы было определено содержание кислоторастворимых форм Ni, Cu и Co (вытяжка 1.0 HCl) методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В образцах растительного материала (хвоя, листья, слоевища лишайников) после сухого озоления при температуре 450°C и растворения золы в HCl было определено содержание Ni, Cu и Co методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием методов описательной статистики, корреляционного и регрессионного анализов. В таблице приведены средние значения, стандартные ошибки и интервалы варьирования концентраций тяжелых металлов в проанализированных образцах.

На контрольном участке ППП суммарное содержание кислоторастворимых форм Ni, Cu и Co в органогенном горизонте почвы не превышает 20 мг/кг (табл. 1), что находится в пределах региональных фоновых значений. В пределах экспериментального участка ППП среднее содержание тех же соединений тяжелых металлов в лесной подстилке соответственно в 21, 29 и 5.3 раза превышает их концентрации в контроле, при этом максимальные значения превышают минимальные в 37, 39, 27 раз соответственно.

Таблица 1

Содержание (мг/кг абс. сух. в-ва) тяжелых металлов в различных компонентах биогеоценоза на контрольном и экспериментальном участках

Вид	Участок	Ni	Cu	Co
Лесная подстилка	Контроль	6.7±0.1	9.5±0.1	1.1±0.1
	Эксперимент	140±14 (14.4–534)	278±20 (22.0–864)	5.8±0.6 (0.9–24.2)
Неразложившийся опад	Контроль	7.1±0.9	5.6±0.4	1.2±0.1
	Эксперимент	39.1±3.1 (5.8–119)	75.5±8.9 (5.4–378)	4.2±0.4 (0.5–17.4)
Взрослые деревья <i>Pinus sylvestris</i>	Контроль	1.3±0.1	1.8±0.1	<1.0
	Эксперимент	2.8±0.2 (1.5–5.0)	2.3±0.1 (1.8–3.0)	<1.0
Подрост <i>Pinus sylvestris</i>	Контроль	1.0±0.1	2.0±0.2	<1.0
	Эксперимент	4.2±0.3 (2.4–5.8)	2.1±0.1 (1.8–2.6)	<1.0
<i>Betula pubescens</i>	Контроль	5.4±0.2	4.9±0.3	<1.0
	Эксперимент	8.4±0.2 (7.0–9.7)	3.8±0.3 (3.5–4.0)	<1.0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Контроль	1.3±0.2	3.3±0.1	<1.0
	Эксперимент	6.3±0.3 (2.2–11.2)	4.3±0.1 (2.9–6.1)	<1.0
<i>Cladina stellaris</i>	Контроль	2.0±0.2	2.1±0.1	<1.0
	Эксперимент	2.5±0.1 (1.3–4.2)	2.7±0.1 (1.8–4.0)	<1.0
<i>Cladina rangiferina</i>	Контроль	1.8±0.1	1.0±0.1	<1.0
	Эксперимент	2.1±0.1 (1.3–3.8)	1.9±0.1 (0.8–5.0)	<1.0
<i>Cladina mitis</i>	Контроль	2.7±0.1	1.6±0.1	<1.0
	Эксперимент	3.6±0.2 (2.3–6.8)	2.0±0.1 (1.5–3.5)	<1.0
<i>Cladonia uncialis</i>	Контроль	1.4±0.3	1.7±0.1	<1.0
	Эксперимент	2.3±0.1 (1.4–4.6)	1.8±0.1 (1.5–3.0)	<1.0

В пределах контрольного участка содержание Ni и Cu в неразложившемся опаде сопоставимо с концентрациями их кислоторастворимых форм в органогенном горизонте почвы (табл. 1). На экспериментальном участке интервал варьирования концентраций тяжелых металлов в опаде существенно более узкий по сравнению с таковым лесной подстилки, и среднее содержание Ni, Cu и Co в нем в 3.6, 3.7 и 1.4 раз меньше по отношению к соответствующим величинам в лесной подстилке. Все коэффициенты корреляции между содержанием Ni, Cu, Co в опаде и подстилке значимы ($p < 0.05$) и составляют 0.76, 0.64 и 0.71 соответственно. Суммарное содержание тяжелых металлов в опаде с достаточно высокой точностью аппроксимируется линейным регрессионным уравнением (коэффициенты уравнения: -6.6 и 3.4 , $r = 0.68$, $p = 0.0000$). Столь высокие концентрации тяжелых металлов в неразложившемся опаде, возможно, обусловлены его загрязнением почвенными частицами.

Загрязнение органогенного горизонта Al-Fe-грубогумусной подзолистой почвы вызывает 1.3–2-кратное увеличение содержания Ni и Cu в 1–3-летней хвое взрослых деревьев *Pinus sylvestris* (табл. 1). Следует отметить, что содержание марганца в хвое сосен экспериментального участка не снижается по сравнению с контрольным значением, что подтверждает отсутствие стресса у растений. Столь незначительное повышение содержания загрязнителей в ассимиляционных органах взрослых сосен обусловлено залеганием основной массы корней в минеральных, малозагрязненных горизонтах почвы, что подтверждается отсутствием корреляции между содержанием тяжелых металлов в хвое взрослых сосен и лесной подстилке (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов в листьях (хвое) или талломах лишайников и концентрацией их кислоторастворимых форм в лесной подстилке на экспериментальном участке

Вид	Элемент	Содержание в лесной подстилке	
		Ni	Cu
Деревья <i>Pinus sylvestris</i>	Ni	0.15	
	Cu		0.13
Подрост <i>Pinus sylvestris</i>	Ni	0.86*	
	Cu		0.11
<i>Betula pubescens</i>	Ni	0.17	
	Cu		0.04
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Ni	0.65*	
	Cu		0.28
<i>Cladina stellaris</i>	Ni	0.21	
	Cu		0.46
<i>Cladina rangiferina</i>	Ni	0.01	
	Cu		0.12
<i>Cladina mitis</i>	Ni	0.06	
	Cu		0.60*
<i>Cladonia uncialis</i>	Ni	0.08	
	Cu		0.55

*Различия достоверны при уровне значимости < 0.05 .

В пределах экспериментального участка средняя концентрация Ni в 1-летней хвое подроста *Pinus sylvestris* возрастает в 4.2 раза по сравнению с его контрольным значением, а содержание Cu достоверно не изменяется (табл. 1). Повышенное содержание Ni в хвое обусловлено более быстрым по сравнению с ионами меди поступлением ионов никеля из загрязненной почвы в надземную часть подроста. В пользу этого утверждения свидетельствуют данные табл. 2, значимая связь существует только между содержанием Ni в 1-летней хвое подроста и концентрацией его кислоторастворимых форм в подстилке.

В листьях деревьев *Betula pubescens* на экспериментальном участке среднее содержание Ni лишь в 1.6 раз превышает его значение в контроле, а содержание Cu достоверно не различается на двух участках (табл. 1). Отсутствие корреляции между содержанием соединений Ni и Cu в лесной подстилке и листьях березы (табл. 2), по-видимому, обусловлено залеганием корней деревьев в минеральных менее загрязненных горизонтах почвы.

Среднее содержание Ni и Cu в листьях *Vaccinium vitis-idaea* на контрольном участке находится в пределах нормального их содержания для растений. На экспериментальном участке среднее содержание Ni почти в 5 раз, а Cu – лишь в 1.3 раза превышает соответствующие фоновые концентрации (табл. 1). Размах варьирования содержания исследуемых тяжелых металлов в листьях кустарничка существенно меньше, чем в лесной подстилке, и превышение максимальных значений над минимальными составляет для Ni – 5, а для Cu – лишь 2 раза. Повышение содержания исследуемых тяжелых металлов в листьях кустарничка обусловлено их корневым поглощением из загрязненной лесной подстилки, причем скорость поглощения и передвижения ионов никеля из почвы в ассимиляционные органы существенно выше, чем ионов меди. Это косвенно подтверждается и результатами корреляционного анализа: значимая связь выявлена между содержанием Ni в листьях кустарничка и концентрацией его кислоторастворимых форм в лесной подстилке (табл. 2). Сравнение полученных данных с ПДК показывает, что среднее содержание Ni в лекарственном сырье незначительно превышает ПДК, а на отдельных учетных площадках это превышение достигает 2–3 раз, содержание Cu в листьях брусники на всей территории экспериментального участка не достигает ПДК.

На контрольном участке интервал варьирования содержания Ni и Cu в живых частях талломов 4-х видов лишайников (*Cladina stellaris*, *Cl. rangiferina*, *Cl. mitis*, *Cladonia uncialis*) достаточно узок – от 0.9 до 2.8 мг/кг АСВ, и средние концентрации тяжелых металлов находятся в пределах региональных фоновых значений (табл. 1). На экспериментальном участке среднее содержание обоих металлов практически во всех видах лишайников достоверно выше по отношению к их фоновым концентрациям. Наибольшие значения среднего содержания и размаха варьирования Ni отмечены в талломах *Cladina mitis*, в то время как аналогичные показатели для Cu наблюдаются у *Cladina stellaris*. Наименьшим уровнем накопления тяжелых металлов на экспериментальном участке характеризуется вид *Cladonia uncialis*. В целом даже максимальные значения концентраций металлов в среднем не более чем в 2 раза превышают их фоновое содержание во всех исследуемых видах лишайников. Несущественное возрастание концентраций Ni и Cu в живых частях лишайников свидетельствует о незначительной миграции тяжелых металлов из загрязненной почвы в слоевища лишайников. Вышесказанное подтверждают и результаты корреляционного анализа данных: практически во всех случаях связь между содержанием тяжелых металлов в живых частях талломов лишайников и лесной подстилке отсутствует (табл. 2).

Таким образом, для сосудистых растений (*Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Vaccinium vitis-idaea*), имеющих корневую стратегию минерального питания, загрязнение почвы полиметаллической пылью приводит к 1.5–5-кратному увеличению содержания тяжелых металлов в их ассимиляционных органах. В связи с отсутствием корневого питания и минимальным контактом с загрязненной почвой уровень накопления тяжелых металлов живыми частями 4-х видов лишайников (*Cladina stellaris*, *Cl. rangiferina*, *Cl. mitis*, *Cladonia uncialis*) не более чем в 2 раза превышает значения их концентраций в контроле.

Сравнение концентраций Ni и Cu в органогенном горизонте Al-Fe-грубогумусной подзолистой почвы, неразложившемся опаде, ассимиляционных органах высших растений и живых частях талломов лишайников показывает, что это соотношение различается в разных компонентах биогеоценоза. Если в лесной подстилке содержание кислоторастворимых форм меди в 2 раза превышает таковое никеля, то в листьях (хвое) растений во всех случаях содержание никеля достоверно больше по отношению к таковому меди (табл. 1). Из сказанного следует, что миграция ионов никеля из загрязненной почвы в надземную часть растений осуществляется быстрее, чем ионов меди. В неразложившемся опаде содержание меди так же, как и в лесной подстилке, в 2 раза превышает концентрацию соединений никеля, т.е. содержание тяжелых металлов в растительном опаде обусловлено их концентрациями в верхнем органогенном горизонте загрязненной почвы, что подтверждается значимыми коэффициентами корреляции. Для лишайников поступление ионов никеля и меди в живую часть талломов не связано с их содержанием в загрязненной полиметаллической пыли лесной подстилке, о чем свидетельствует отсутствие корреляции между этими показателями практически во всех случаях (табл. 2). Повышенное содержание тяжелых металлов в живых частях слоевищ лишайников, по-видимому, обусловлено загрязнением почвенными частицами при их ветровом переносе.

Работа выполнена в рамках плановой темы лаборатории экологии растительных сообществ БИН РАН «Проблемы восстановления нарушенных таежных лесов Севера России». Автор искренне благодарит д.б.н. В.Т. Ярмишко и В.Ш. Баркана – инициаторов и вдохновителей постановки полевого эксперимента, к.б.н. М.Н. Катаеву и А.И. Беляеву за помощь в проведении химических анализов.

Литература

1. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: Наука, 1990. 195 с.
2. Елькина Г.Я. Поведение меди в системе почва–растение в условиях Европейского Северо-Востока // *Агрохимия*. 2008. № 6. С. 72–79.
3. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
4. Костюк В.И. Устойчивость овса к тяжелым металлам. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. 117 с.
5. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. 200 с.
6. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с., Ч. 2. 192 с.
7. Лукина Н. В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
8. Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
9. Лукина Н.В., Черненькова Т.В. Техногенные сукцессии в лесах Кольского полуострова // *Экология*. 2008. № 5. С. 329–337.
10. Лянгузова И.В. Аккумуляция химических элементов в экосистемах сосновых лесов Кольского полуострова в условиях атмосферного загрязнения. Автореф. дисс.... канд. биол. наук. Л., 1990. 20 с.
11. Лянгузова И.В. Тяжелые металлы в системе почва–растение: подвижность, поступление и распределение // *Проблемы экологии растительных сообществ севера*. СПб.: ООО «ВВМ», 2005. С. 175–189.
12. Лянгузова И.В. Динамика содержания никеля и меди в растениях сосновых лесов Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // *Раст. ресурсы*. 2008. Т. 44, вып. 4. С. 91-98.
13. Лянгузова И.В. Толерантность компонентов лесных экосистем севера России к аэротехногенному загрязнению. Автореф. дисс.... докт. биол. наук. СПб., 2010. 39 с.
14. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 172 с.

Макарова О.А., Поликарпова Н.В.

*Государственный природный заповедник «Пасвик», п. Раякоски, Мурманская область
pasvik.zapovednik@yandex.ru*

ООПТ ПЕЧЕНГСКОГО РАЙОНА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ: СУЩЕСТВУЮЩАЯ СЕТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАСШИРЕНИЯ

Печенгский район, как административная единица, входящая в состав Мурманской области, официально был создан в послевоенный период – 21 июля 1945 года. Представляет собой вытянутую с юга -запада на северо -восток территорию на северо -западе области с координатами от 68°30 до 70° с.ш. и от 28°30 до 33° 20 в.д., общей площадью 8.7 тыс. кв. км.

Район охватывает две растительно-географические зоны – лесную (подзону северной тайги) и тундровую (подзону южной тундры) с промежуточной подзоной лесотундры. Северная граница тайги доходит практически до Баренцева моря по долине реки Паз. Эта река вытекает из озера Инари, и вместе с ним представляет типичную озерно-речную систему Севера. Здесь произрастают самые северные в Европе сосновые леса. Ель встречается крайне редко, небольшими угнетенными куртинами в долинных комплексах (Макарова, Поликарпова, 2011), но становится обычной породой в 70-100 км восточнее Пазы, примерно от линии Приречный-Корзуново.

Чрезвычайный интерес представляет геология района. Значительную площадь занимают древние горизонты архейской и протерозойской эры. Именно здесь была пробурена Кольская сверхглубокая скважина, достигшая уровня 12 262 м. Горные массивы расположены в центральной и северной частях района. Наибольшей высоты достигают горы Куорпукас (631 м н.у.м.), Матерт (528 м), Пасаритунтури (503 м); остальные высоты – гораздо ниже, и в среднем находятся в пределах 300 м. Несмотря на относительно небольшую высоту гор, для них характерна высотная поясность.

Практически до 1940 гг. этот край характеризовался малой заселенностью, основным видом деятельности было собирательство. Причина тому – особый уклад жизни местного населения –

саамов, кочующих по своей земле в течение года. В определенный сезон это был промысел семги, добыча озерной и речной рыбы, в другое время уделялось большее внимание выпасу оленей, заготовке и сплаву бревен для разных целей. Сельское хозяйство было явно неразвито, в некоторых усадьбах, главным образом, у финнов-иммигрантов из центральных и южных провинций Финляндии были небольшие посевы ячменя, высаживался картофель, репа и некоторые другие культуры. Кроме того, отмечено скотоводство в виде небольших стад коров и единичных овец. Домашнее оленеводство, в отличие от соседних Финляндии и Норвегии, не процветало, хотя саамы держали стада оленей для разных нужд.

С 1924 по 1944 гг. Печенгский район вошел в состав Финляндии, что повлекло изменение в жизни населения, численность которого возросла. Обнаружены богатые залежи медно-никелевых руд, началось их промышленное освоение. Построена первая гидроэлектростанция в Янискоски на реке Паз, заложен поселок Никель. В послевоенный период в связи с возвращением района советскому государству это направление приняло широкие масштабы. Жизнь края резко изменилась. В районе был введен строгий пограничный режим с большим количеством застав и военных поселков. Безусловно, увеличение численности населения, развитие огромного градообразующего предприятия «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК», постройка на реке Паз семи ГЭС (5 из которых принадлежат России и 2 – Норвегии), наличие военных баз и объектов, все это заметно повлияло на природу. Леса на огромных пространствах были вырублены, пострадали от пожаров, сформировались техногенные пустоши вблизи пгт. Никель и г. Заполярный, берега реки Паз при формировании водохранилищ станций были затоплены. Постройка и эксплуатация автомобильных дорог и железнодорожной линии Никель-Мурманск также привели к оскудению биологических ресурсов. Уменьшилась численность охотничье-промысловых видов зверей и птиц, рыбные запасы оказались сильно подорванными, ягодные и грибные ресурсы сократились из-за активной эксплуатации и уменьшения площади лесов. Мурманская оленеводческая станция и другие хозяйства области какое-то время держали стадо оленей на полуострове Рыбачий, однако браконьерство и отсутствие контроля не способствовали развитию оленеводства.

В настоящее время новые направления в экономике Печенгского района развиваются крайне медленно, несмотря на значительный потенциал этой территории. Отмечены некоторые успехи в рыборазведении, началась работа по развитию туризма и, в частности, по таким экзотическим направлениям, как дайвинг (в Печенгской губе). Вместе с тем все это находится на зачаточном уровне, хотя возможности для приграничного района огромны (Циркунов, 2007).

В 2013 г. разработан и утвержден Инвестиционный паспорт Печенгского района (Инвестиционный..., 2013), согласно которому планируется реализация некоторых проектов:

1. Развитие северного оленеводства (на п-овах Средний и Рыбачий);
2. Создание визит-центра заповедника «Пасвик»;
3. Создание туристской инфраструктуры на п-овах Средний и Рыбачий;
4. Развитие морского порта в Лиинахамари;
5. Строительство отеля в районе оз. Шуонияур;
6. Развитие морского дайвинга, крабового сафари, морской рыбалки;
7. Создание исследовательской базы на Кольской сверхглубокой скважине.

При этом первые четыре пункта относятся к числу наиболее привлекательных для района инвестиционных проектов (Инвестиционный..., 2013). Все они связаны как с созданием и развитием сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), так и с преобразованием природы, угрозами и рисками для ООПТ (например, оленеводство и морской порт).

На наш взгляд, одним из действенных способов охраны природы и содействия экономическому развитию регионов является создание новых ООПТ и расширение уже существующей сети (ФЗ-33, 1995). ООПТ имеют значительный туристический и рекреационный потенциал, способный развивать экономику, при наличии финансовых вложений, должной охраны, экскурсоводов, туроператоров и соответствующих служб, ответственных за функционирование инфраструктуры (подъезд, вывоз мусора, туалеты, питание).

Из всего набора типов ООПТ в Печенгском районе в настоящий момент эта сеть представлена заповедниками и памятниками природы. Это Айновы острова, входящие в состав Кандалакшского заповедника, и заповедник «Пасвик», три памятника природы регионального значения (Биогруппа елей на границе ареала, Кедр сибирский, Водопад на реке Шуони-йоки). Зеленые зоны вокруг пгт. Никель и г. Заполярный, защитные лесные полосы вдоль дорог, по берегам некоторых рек хотя и играют роль в сохранении природы, но к ООПТ напрямую не относятся. Таким образом, сеть ООПТ в Печенгском районе крайне мала, не разнообразна, имеет общую площадь 16 563,7 га и не достигает 2% от общей территории района.

Сегодняшняя ситуация довольно тревожная, т.к. только заповедные участки находятся под контролем. Остальная территория практически беззащитна. Развитие в последнее время туризма, главным образом, стихийного, при наличии огромного количества автомобилей, снегоходов, квадроциклов, и при отсутствии контроля ведет к лесным пожарам, вытаптыванию, браконьерству.

В 2011 г. была утверждена Концепция функционирования и развития сети ООПТ Мурманской области до 2018 года и на перспективу до 2038 года (Концепция., 2011). Она создавалась в период перестройки природоохранных органов и имеет ряд недочетов. В частности, не были учтены некоторые важные предложения, из которых на первом месте стоит создание охранной зоны заповедника «Пасвик» (Макарова и др., 2005а, б). Также не прошло наше предложение по организации на пограничной реке Ворьема (Гренсе-Якобсельв) двустороннего участка, наподобие заповедника «Пасвик» (Концепция., 2011; Доклад, 2012). В таблице мы собрали предложения по разворачиванию сети ООПТ в Печенгском районе.

Перспективные и предполагаемые ООПТ в Печенгском районе (Концепция., 2011)

Название ООПТ	Тип ООПТ, год создания	Местонахождение	Площадь, га	Описание
1	2	3	4	5
Перспективные – создание до 2018 года				
Полуострова Рыбачий и Средний	природный парк	Полуострова Рыбачий, Средний, часть возвышенности Муста-Тунтури	126 500	Территория является уникальной по распространению редких видов растений, представляет большой интерес для биogeографических исследований. Представлены памятники истории и культуры, территория имеет мемориальное значение как памятник воинской славы в годы Великой Отечественной войны
Болота у озера Алла- Аккаярви	памятник природы	Восточнее н.п. Приречный, к северо- западу от озера Алла- Аккаярви	6 566	Места обитания редких видов птиц, занесенных в Красные книги РФ и Мурманской области (в том числе грязовика). Ключевая орнитологическая территория РФ
Предполагаемые – на перспективу до 2038 года				
Ельники Алла- Аккаярви	заказник	Восточнее н.п. Приречный, к югу и юго-востоку от озера Алла-Аккаярви	109 454	Крупный массив малонарушенных, преимущественно еловых лесов, имеющих большое средообразующее значение. Места обитания редких видов растений и птиц, в том числе занесенных в Красную книгу РФ. Отдельные редкие виды имеют высокую концентрацию
Пазовский	заказник	Район поселков Раякоски и Янискоски, примыкает к российско-норвежской и российско- финляндской границе	32 604	Заказник, направленный на сохранение охотничьей фауны и северных старовозрастных лесов. Скопления лесов в зимний период. В реке Наутсийоки сохранилась популяция европейской жемчужницы – вида, занесенного в Красную книгу РФ
Леса в истоках реки Малая Печенга	памятник природы	Около 8 км к юго- западу от ж/д станции Титовка, междуречье рек Титовка и Печенга	10 360	Леса у северной границы лесного фонда. Места обитания редких видов крупных хищных птиц, занесенных в Красные книги РФ и Мурманской области

1	2	3	4	5
Охранная зона заповедника «Пасвик»	охранная зона заповедника	Район гор Куройв, Каскама, Кораблекк и озера Нилиярви. Напротив центральной части заповедника, примыкает к его восточной границе	9 967	Участок северных лесов с горными тундрами, являющиеся местами обитания редких видов растений и птиц. Игрет роль охранной зоны, мониторинговой территории и района для проведения работ по экопросвещению для заповедника «Пасвик».
<i>Долина реки Ворьема</i>	федеральный заказник, кластер заповедника «Пасвик»	На крайнем северо-западе района, на границе с Норвегией. Правый берег реки Ворьема (Гренсе-Якобсэльв), в среднем и нижнем течении, устье и прилегающие участки морского побережья	1 290	Долинные разнотравные и кустарничковые березняки, участок приморской тундры и акватории Баренцева моря.
Итого	7 ООПТ		296 741	34% площади района

Таким образом, существующие ООПТ Печенгского района занимают менее 2%, в случае создания всех запланированных на данный момент ООПТ площадь их в районе возрастет многократно (табл. 1). Однако следует заметить, что в таблице 1 приводятся предварительные значения площадей, которые уточняются в ходе проектирования.

Трудности с созданием ООПТ известны, этот сложный процесс в современных условиях зависит от значительного количества согласований разными организациями. Сложности могут быть вызваны как конфликтом интересов сторон, так и текущими планами социально-экономического развития территории. Вопрос планирования, выбор перспективных под ООПТ участков, ставится одним из первых. Предлагаемые и существующие ООПТ Печенгского района охватывают разные растительно-географические зоны (северная тайга, лесотундра, тундра, а также интразональные комплексы – долинные леса и болота), представлены разными формами (заповедник, природный парк, заказник, памятник природы), имеют разное подчинение (федеральное, региональное), выполняют разные задачи и, следовательно, имеют разнообразные возможности для участия в экономическом развитии района. Второй вопрос – сам процесс проектирования ООПТ. От того, насколько тщательно к нему подошли (планирование работ, организация научных экспедиций, сбор данных, своевременность и качество подготовки материалов обследования, подготовка отчета по проекту, проведение необходимых согласований), зависит успех всего дела. Немаловажна здесь оперативность и последовательность действий, а также серьезная поддержка администрации района и согласованная работа разных структур, направленная на сохранение и бережное использование природных ресурсов.

В этой связи вызывает большой вопрос состыковка планов Печенгского района по развитию оленеводства на территориях п-овов Рыбачий и Средний и планов создания здесь же одноименного природного парка регионального значения (табл. 1). Поэтому необходимо согласование планов развития таких мест, как полуостров Рыбачий, имеющих исключительно природное и культурно-историческое значение.

Мы имеем печальный опыт не согласованной работы при создании ООПТ в Печенгском районе. В начале 1990-х гг. предлагалось организовать в районе пос. Янискоски и Раякоски Пазовский заказник федерального значения, проект которого был готов и направлен в разные инстанции; чуть позже обсуждалась возможность трансформации проекта в биосферный полигон тогда только созданного заповедника «Пасвик» или охранную зону (площадь менялась от 54 тыс. га до 4 га). Эти предложения не были поддержаны местной администрацией (Летопись природы, 2001). Несколько позже рассматривался вопрос по созданию охранной зоны вблизи центральной части заповедника «Пасвик», первоначально на площади 7.1 тыс. га. Вопрос был согласован со всеми

ведомствами, но отклонен районной администрацией (Летопись природы, 2003). В результате пос. Янискоски был исключен из списка действующих населенных пунктов, и люди оставили освоенные места.

Одновременно с этими вопросами широко обсуждалось предложение о создании в Печенгском районе территории традиционного природопользования с разведением оленей (предложения группы под руководством акад. Е.Е. Сыроечковского, ИПЭЭ РАН), но и это предложение осталось на бумаге, несмотря на периодические попытки возрождения оленеводства на Рыбачьем и в окрестностях. Различные варианты организовать новую ООПТ в Печенгском районе от заказчика до национального парка в свое время не были приняты во внимание (Макарова, 1993), в том числе идея организации Печенгского национального парка (Хохлов, 2010).

Еще одно предложение заповедника «Пасвик» - создание трехстороннего парка «Инари-Паз» (первоначальное название), с выделением со стороны России небольшого участка вокруг горы Муоткаварра (точки, где встречаются границы трех государств-соседей) было активно поддержано норвежской и финской сторонами, а также руководителями соответствующих служб Министерства природных ресурсов (Москва) и Управления федеральной службы по надзору в сфере природопользования по СЗФО (Санкт-Петербург). В результате трехлетнего проекта в 2008 г. заповедник Пасвик вошел в состав Трехстороннего парка «Пасвик-Инари» (нынешнее название) как заповедное «ядро» и получил сертификат Федерации Европарк. При этом создания новой, дополнительной ООПТ ни на одной стороне от границы не произошло. Существующие ООПТ в каждой из стран, примыкающие к госгранице, объединились в единую международную ООПТ более высокого ранга (Поликарпова, 2010).

Анализ списка существующих ООПТ Печенгского района (Макарова, Кондратович, 1992; 2003; Кондратович, Макарова, 2002) и результатов научных исследований, проводимых в Печенгском районе, позволил предложить новые участки для включения в перспективную сеть ООПТ района (Макарова и др., 2005). Но эти предложения не были учтены при разработке Концепции (2011). Прошло почти 3 года с момента ее утверждения, однако многие запланированные к созданию ООПТ не были созданы. На наш взгляд, настало время для пересмотра Концепции развития сети ООПТ Мурманской области, как по участкам, так и по срокам организации новых ООПТ. К новой редакции Концепции дополнительно к уже заявленным в ней ООПТ мы предлагаем следующие участки в Печенгском районе:

1. **Долина реки Воръема:** заказник, природный парк либо кластер заповедника «Пасвик». На норвежской стороне на левом берегу реки уже создана ООПТ «Гренсе-Якобсэльв» (Verneplan, 2005), поэтому создание партнерского участка с российской стороны, по образцу заповедника «Пасвик», было бы целесообразно. Цель: мониторинг состояния наземных, пресноводных и морских экосистем на Крайнем Севере от лесного пояса к прибрежной тундре, для контроля транспортировки нефти и ее влияния на биоту общей реки и прибрежной зоны, для изучения изменений климата в Арктике и трансграничного атмосферного загрязнения. Такая ООПТ может быть создана по градиенту с «Пасвиком» в рамках Зеленого пояса Фенноскандии (Makarova et al., 2000; Макарова, Поликарпова, 2011). На Шпицбергене разворачивается грандиозная научная сеть по изучению Севера, в том числе фенологические исследования. В рамках проекта «Зеленый пояс Фенноскандии» возможно создание кластерного участка заповедника «Пасвик» для ведения разнообразного мониторинга, как по программе «Летопись природы» (Макарова, 1999; Макарова, Поликарпова, 2013), так и по специальным российским и международным программам. Долина Воръемы – это один из ключевых участков для сохранения путей миграции птиц, поэтому создание новой ООПТ с российской стороны создаст северное охраняемое звено цепи таких участков, идущей от Янискоски через собственно территорию заповедника до Воръемы и гор Пасаритунтури (Макарова и др., 2005; Макарова, 2006; Макарова, 2010). Предложение о создании двусторонней ООПТ наподобие Пасвика ранее было озвучено норвежской стороной (Макарова и др., 2009). В ближайшее время коммуна Сёр-Варангер намерена вести новое строительство на реке Паз, при этом будет принимать во внимание сохранение природных ресурсов и культурного наследия. В Киркенесе создается нефтяной терминал и будет создан морской промышленный парк; планируется изменение старого договора о рыболовстве на реке Паз. К норвежскому национальному достоянию отнесены разведение семги, морской и пресноводный сиг, сохранение культуры саамов-скольтов. Именно в связи с активными действиями приграничных стран, которые активно развивают свою экономику, крайне важна защита рек Паз и Воръема, создание ООПТ в их долинах, в т.ч. компенсационных, для укрепления международного сотрудничества, развития науки и экономики на российской стороне. Это согласуется и с инвестиционными планами Печенгского района.

2. **Гора Муоткаварра:** природный парк на границе с Норвегией и Финляндией, как модельный для развития туризма и спорта в пограничной полосе – участок с российской стороны от пос. Раякоски к горе Муоткаварра. Здесь ежегодно в течение лишь одного дня в марте проводится международный спортивный праздник «Лыжня Дружбы» Баренцева региона. В остальное время территория могла бы стать природно-историческим маршрутом под открытым небом, с возможностью проведения пеших прогулок и экскурсий.

3. **Долина реки Наутси:** памятник природы, коренные старовозрастные сосновые леса, молодняки после рубок, разновозрастные леса, болота; в реке обитает популяция редкого вида пресноводного моллюска – европейской жемчужницы.

4. **Борисоглебский:** природный парк на левом берегу реки Паз в районе старинной церкви Бориса и Глеба, самые северные ленточные леса, культурно-историческое наследие. Представляет интерес идея создания природного парка и вокруг Трифонов Печенгского мужского монастыря.

5. **Территория традиционного природопользования,** в т.ч. для разведения северных оленей (домашних). Можно рассматривать территорию в районе Приречного. Создание саамской деревни Тальвикюля, развитие патриотического туризма.

По нашему мнению, Печенгский район представляет исключительный интерес для развития сети ООПТ. Создание новых охраняемых природных территорий здесь актуально как в связи с планами реконструкции железной дороги Киркенеса-Мурманска, усилением потока людей, рыборазведением, готовящейся транспортировкой и переработкой нефти, но еще и по причине текущей политической ситуации. В таком значительно преобразованном промышленностью районе необходимо создавать новые участки для сохранения природы в ее первозданном виде, проведения исследований, развития экологического просвещения и регулируемого туризма.

В настоящее время в Министерстве природных ресурсов и экологии Мурманской области вопросами ООПТ занимается отдел экологической экспертизы. На наш взгляд крайне важно создание специального отдела ООПТ, биоразнообразия и Красной книги. Такой отдел стал бы центром постоянного мониторинга состояния существующих ООПТ и создания новых. Актуально возрождение муниципальных комитетов экологии, которые в сотрудничестве с региональным министерством могли бы полноценно выполнять задачи охраны природы.

Сохраняя природу, мы сохраняем историко-культурное наследие не только Печенгского района или Мурманской области, но и России (Макарова, 2007; Мацак, 2005; Сконнинг-Кольстрём и др., 1996; Поликарпова, Макарова, 2011). В связи с этим, целесообразно провести специальные слушания в Областной думе, чтобы предложить Правительству Мурманской области согласованный план действий по сохранению природного и культурно-исторического наследия Печенгского района, который в настоящий момент играет ключевую роль в международных отношениях на Севере.

Литература

1. Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2011 г., Мурманск, 2012.
2. Инвестиционный паспорт Печенгского района. <http://mines.gov-murman.ru> – 20.02.2014
3. *Кондратович И.И., Макарова О.А.* Памятники природы Мурманской области. Апатиты, 2002. 71 с.
4. Концепция развития сети ООПТ Мурманской области до 2018 года и на перспективу до 2038 года. Утв. Постановлением Правительства Мурманской области от 24.03.2011 № 128-ПП.
5. Летопись природы заповедника «Пасвик». Книга 10, 2003 г. Рязань, 2005. 182 с.
6. Летопись природы заповедника «Пасвик». Книга 6, 1999 г. Мурманск, 2001. 110 с.
7. *Макарова О.А.* Использование ООПТ для целей мониторинга за миграциями птиц // Миграционные пути и стоянки птиц в Восточной Фенноскандии. СПб., 2006. С. 37-38.
8. Макарова О.А. Национальный парк в Печенгском районе // Советская Печенга. 16 ноября 1993. Никель. С. 2.
9. *Макарова О.А.* Предлагаемые пункты наблюдений за миграциями птиц в заповеднике «Пасвик» и его окрестностях // Изучение динамики популяций мигрирующих птиц и тенденций их изменений на Северо-Западе России. Вып. 8. СПб., 2010. С. 97-99.
10. *Макарова О.А.* Проблемы трансграничного сотрудничества на примере заповедника «Пасвик» // Трансграничные особо охраняемые природные территории Северной Евразии: теория и практика. Науч.-практ. бюлл. № 2. М., 1999. С. 27-29.
11. *Макарова О.А.* Роль заповедника «Пасвик» в изучении и сохранении природы и культурно-исторического наследия на границе России, Норвегии и Финляндии // Историко-культурное наследие и природное разнообразие: опыт деятельности охраняемых территорий. Смоленск, 2007. С. 350-353.

12. Макарова О.А., Кондратович И.И. Особо охраняемые природные территории Мурманской области. Апатиты, 1992. 68 с.
13. Макарова О.А., Кондратович И.И., Петров В.Н. Особо охраняемые природные территории Мурманской области. Справочное пособие. 2-е издание. Мурманск-Апатиты, 2003. 71 с.
14. Макарова О.А., Поликарпова Н.В. Гармонизация научных исследований Зеленого пояса Фенноскандии // Зеленый пояс Фенноскандии. Материалы междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2013. С. 114-115.
15. Макарова О.А., Поликарпова Н.В. Еловые рефугиумы на севере Зеленого пояса Фенноскандии // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. Мат-лы Всеросс. научн. конф. с междунар. участ. Т. I. СПб., 2011. С. 155-158.
16. Макарова О.А., Поликарпова Н.В., Хлебосолов Е.И., Хлебосолова О.А. Создание ключевых участков как способ увеличения репрезентативности ООПТ // Тезисы докладов Международного Контактного форума по сохранению местообитаний в Баренцевом регионе. Сыктывкар, 2005. С. 119-120.
17. Макарова О.А., Поликарпова Н.В., Христиансен Б., Кальске Т.Х. Международное сотрудничество по организации ООПТ // Сохранение биологического разнообразия наземных и морских экосистем в условиях высоких широт. Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 13-15.04.2009). Мурманск, 2009. С. 165-168.
18. Макарова О.А., Хохлов А.М., Поликарпова Н.В. Перспективы развития сети ООПТ в Печенгском районе Мурманской области // Вклад ООПТ в экологическую устойчивость региона. Мат-лы конф., посвящ. 75-летию Башкирского гос. природного заповедника. Уфа, 2005. С. 32-34.
19. Мацак В.А. Печенга – опыт краеведческой энциклопедии. Мурманск, 2005. 1006 с.
20. Поликарпова Н.В. Трехсторонний парк «Пасвик-Инари». Итоги и перспективы сотрудничества // Заповедное дело. Научно-метод. записки. Вып. 14. М., 2010. С. 132-139.
21. Поликарпова Н.В., Макарова О.А. Проблема сбора и сохранения культурно-исторических материалов на ООПТ // Особо охраняемые природные территории в XXI веке: современное состояние и перспективы развития. Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участ., посвящ. 20-летию юбилею Национального парка «Водлозерский» (1-3 июня 2011 г.). Петрозаводск, 2011. С. 332-335.
22. Сконнинг-Кольстрём Р.Э., Макарова О., Тинис Т. Природа и население пограничной области Инари-Паз. Осло, 1996. 101 с.
23. Федеральный закон Российской Федерации «Об особо охраняемых природных территориях» от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ.
24. Хохлов А.М. Печенгский национальный парк // Сохранение биологического разнообразия наземных и морских экосистем в условиях высоких широт. Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 13-15.04.2009). Мурманск, 2009. С. 295-296.
25. Циркунов И.Б. Анализ возможностей создания дестинации в Печенгском районе // Наука и бизнес на Мурмане. Науч.-практ. ж-л. Сер. Экология и человек. № 4 (61). Т. 5. Маршруты Печенгского района. Мурманск, 2007. С. 36-39.
26. Makarova O.A., Khlebosolov Je.I., Kashevarov B.N., Heikila R. Species diversity of plants and animals in the Friendship and Pasvik Nature Reserves // Biodiversity and conservation of Boreal Nature. Kuhmo, 2000. 30 p.
27. Verneplan for rik lauvskog i Finnmark. Alta, 2005. 144 p. <http://ru.wikipedia.org/wiki> - 20.02.2014

Малицкий С.В., Ростовцева Е.Л.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет, г. Москва
wsnb@yandex.ru

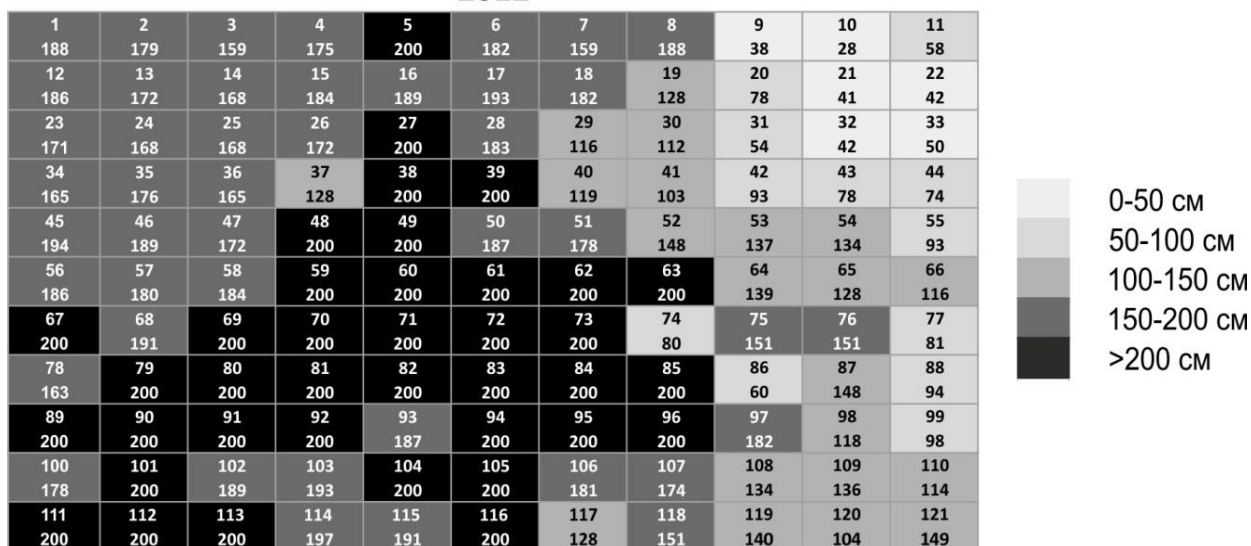
МОНИТОРИНГ СЕЗОННО-ТАЛОГО СЛОЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА САЛМ ПЛОЩАДКЕ УМБОЗЕРО

Вечная мерзлота или многолетне-мерзлые породы составляет от 60% до 65% территории России. Под вечной мерзлотой определяют любое вещество, находящееся ниже поверхности земли, температура которого на протяжении двух или более последовательных лет остается отрицательной, и в котором хотя бы часть воды перешла в кристаллическое состояние (лед). В зависимости от сомкнутости многолетне-мерзлых пород различают области их сплошного, прерывистого, островного и редкоостровного распространения, между которыми можно провести условные границы

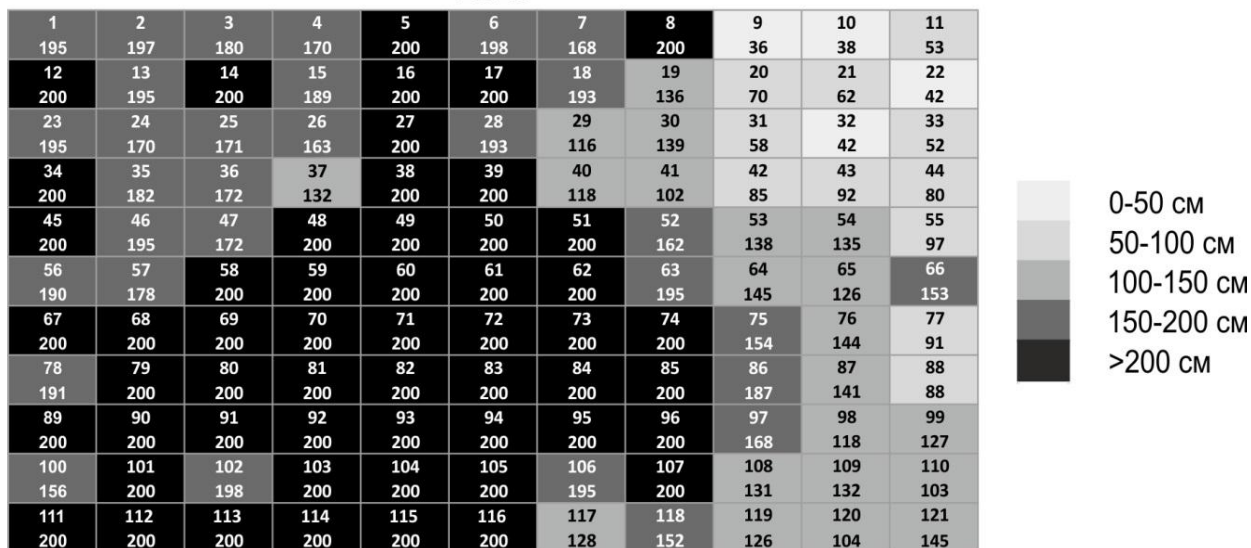
(Мельников и др., 1998). Основным источником пополнения сведений о состоянии многолетне-мерзлых пород является измерение мощности сезонно-талого слоя в рамках программы циркумполярного мониторинга деятельного слоя (Circumpolar Active Layer Monitoring, CALM). На основании данных о межгодовой изменчивости мощности сезонно-талого слоя можно исследовать ее отклик на изменение климата. На территории России в разное время было организовано 49 мониторинговых площадок, как в восточных, так западных пределах вечной мерзлоты, осуществляющих наблюдения по стандартизированной методике (Brown et. al., 2000).

Толщина активного слоя на мониторинговой площадке (N 67.7724°, E 34.1820°)
Умбозеро в полевых исследованиях 2012 и 2013 гг.

2012



2013



Наиболее распространенным является метод измерения сезонно-талого слоя с помощью металлического щупа, основанный на разнице в плотности протаявшего и мерзлого грунта. Также глубина сезонно-талого слоя может быть косвенно определена путем интерполяции температурных данных по глубине грунта, которые проводятся с помощью миниатюрных температурных датчиков-логгеров. Интерполяция полученных температурных данных по глубине позволяет проследить динамику сезонного оттаивания и определить максимум мощности сезонно-талого слоя (Семенов, 2012).

В 2011 г. была заложена площадка по стандартизированной методике на участке в дельте реки Майвальтайок, впадающей в Умбозеро Мурманской области. Мониторинговая площадка (N 67.7724°, E 34.1820°) представляет собой квадрат 100x100 м, расположенный в районе спорадической вечной

мерзлоты в северной тайге на второй озерной террасе на западном берегу озера Умбозеро. Терраса состоит из торфа до 2.5 м и подстилается грубыми песками. Измерения сезонно-талого слоя на площадке проводились по стандартизированным методикам в 121 узловой точке (площадка разбита на 100 квадратов, со стороной в 10 м каждый). На территории площадки составлено геоботаническое описание, отобраны образцы почвы для изучения видового состава мицелиальных грибов (Малицкий, 2013). В 2013 г. отобраны образцы почвы на мезофауну. Данные по глубине активного слоя во всех узловых точках за период 2012–2013 годов представлены в виде таблицы. Фон ячеек таблицы пропорционален глубине активного слоя в данной точке, – чем больше значение глубины активного слоя, тем более темным цветом окрашен фон ячейки (справа от таблицы есть цветовая легенда, позволяющая ориентироваться в интервалах глубин).

Вечная мерзлота находится в торфяниках на глубине 1.4–1.7 м (1.45 ± 0.48 м). Самая малая глубина активного слоя в 2012 г. (0.3–0.9 м) обнаруживается в 13% узловых точек. Около 27% узловых точек имеют глубину залегания активного слоя за пределами границ, которые можно измерить с помощью 2-х метрового зонда. При этом нужно заметить, что ни топографическая картина участка, ни растительный покров никак не отражают столь высокие значения толщины активного слоя (ALT). Сравнение этого участка с другими, расположенными на южной границе вечной мерзлоты, показали, что это одна из самых теплых площадок вечной мерзлоты со 100x100 м сеткой, обследованных методом зондирования.

Так, в 1973–2002 гг. среднегодовая температура воздуха в Ловозере (место расположения ближайшей к участку метеостанции) была -1.4°C , а в 2013 г. она равнялась -0.9°C . Летняя среднегодовая температура воздуха в Ловозере составляла 11.2°C , что указывает на положительные тенденции для длины периода оттаивания. Для Ловозера это увеличение составляет от 166 до 176 дней. Данные, представленные в таблице, иллюстрируют значительное увеличение глубины оттаивания в пределах мониторинговой площадки, например, в точках 12, 34, 45 и 68 толщина активного слоя превысила 200 см, изменившись более чем на 10 см, по сравнению с тем же периодом предыдущего года. Особенно высокие значения глубины оттаивания наблюдаются в точках 74 и 86 – 120 см и 127 см соответственно. В меньшей степени увеличилась толщина в узлах 50, 51, 103, 114 и 115. В целом, по сравнению с 2012 г. среднее значение толщины активного слоя возросло с 159.4 см до 165.7 см в 2013 г. Сходное увеличение глубины оттаивания было обнаружено и на других площадках CALM в Арктической зоне европейской части России (Мажитова и др, 2008).

Литература

1. Мажитова Г.Г., Каверин Д.А. Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России // Криосфера Земли, 2007. Т. XI. № 4. С. 20–30.
2. Малицкий С.В., Ростовцева Е.Л., Георгиев А.А., Георгиева М.Л., Блинова И.В. Исследование площадки для мониторинга толщины активного слоя в зоне спорадической вечной мерзлоты в дельте реки Майвальтайок (Кольский полуостров) // Материалы научной конференции «Морская биология, геология, океанология - междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции МГУ (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27 февраля - 1 марта 2013 г.): Тезисы докладов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 360 с.
3. Мельников Е.С., Кондратьева К.А. Циркумарктическая карта многолетнемерзлых пород и грунтовых льдов (масштаб 1:10 000 000) // Криосфера Земли, 1998. Т. II. № 4. С. 58–61.
4. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Ред. С. М. Семенов. М. Росгидромет, 2012. 508 с.
5. Brown J., Hinkel K.M., and Nelson F.E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Research designs and initial results // Polar Geography. Vol. 24. No. 3. 2000. 258 p.

К ИЗУЧЕНИЮ ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЛАНДШАФТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ СИЙСКОГО ЛЕСОПАРКА

В последние годы нарастает интерес к ландшафтным подходам при рассмотрении направлений лесопользования (Громцев, 1993, 2010; Беручашвили, 1990; Исаченко, 1991, 1995; Киреев, 2000, 2006 и др.). Оказывается используемая традиционно лесохозяйственная оценка лесных земель, далеко не полно определяет весь комплекс весьма многофакторного функционального (продукционного и экосферного) их потенциала.

Авторами настоящей статьи, давно убежденными в справедливости этого положения предпринято осуществление комплексного анализа лесохозяйственной и ландшафтной организации лесных земель на примере пространств Сийского лесопарка. Район, представляющий в современных границах территорию лесопарка – интересный объект историко-культурного, природно-биогеоценотического рекреационного и ресурсно-сырьевого специфический ландшафт. По своему положению, по природным условиям лесопарк (примерно 23 тыс. га) вполне претендует на статус специфического лесного ландшафта, располагающего в зоне контакта северной и средней тайги.

Объект исследований располагается на территории Холмогорского района в устьевых частях водосборов рек второй и третьей величин (Сия, Ваймуга, Емца), несущих свои воды в Северную Двину. Общая протяженность речной сети 82.5 км. На пространствах лесопарка насчитывается 53 озера и 16 болот, среди которых выделяются особо крупные (более 200 га).

Природные условия лесопарка в общих чертах типичны для таежных пространств среднего течения С. Двины, но поражают удивительной сложностью и причудливостью гидрологической сети. Красавица Сия, проложившая себе путь по самым низменным заболоченным местообитаниям центральной части лесопарка выписывает причудливые кренделя меандричности, связывая в одну систему десятки озер разных размеров и очертаний, собирает лишние воды с ближайших болот. Роль ее в дренировании низменной равнины площадью около 15 тыс. га, трудно переоценить. Самая высокая точка на землях Лесопарка 60 м, отмечаемая вблизи озера Путанец, а самая низкая (18 м) на урезе вод оз. Плешкова.

- Современный рельеф ландшафта, как и на большинстве пространств бассейна С. Двины, сформировался под влиянием нескольких оледенений, чередующихся с морскими трансгрессиями. Выраженная равнинность большей части территории обуславливает высокую заболоченность и заозеренность. Местами проявляет себя карстовые процессы, связанные с выходами к дневной поверхности мергелей.

- Усредненная по лесному фонду лесистость территории лесопарка довольно высокая 60-70%. Преобладают хвойные леса с доминированием то сосны, то ели, с высокой долей насаждений климаксового облика. Но восточная и южная части лесопарка испытали большой пресс лесопромышленной экспансии в советское время. Здесь относительно велико участие производных насаждений со значительной долей лиственных пород.

- Изучение комплексной ландшафтной организации земель парка начато с выделения на его территории на основе лесотаксационных материалов нескольких ключевых участков, которые рассматриваются как географические местности, перманентно представляющие ландшафт района в целом.

Представляется интересным продемонстрировать предварительные результаты выбранных авторами методологии и методических приемов анализа структурной организации лесов на примере одной из местностей.

Местность № 4, выбранная для рассмотрения расположена севернее земель Сийского монастыря, практически также в центральной части территории лесопарка. Она охватывает земли 12-15 и частично 21-22 кварталов бывшего Емецкого лесничества. Местность характеризуется обобщенно как « низменная относительно высоко залесенная, сильно заболоченная и умеренно заозеренная равнина в ландшафте среднего левобережья С. Двины и представляющая устьевые части бассейнов притоков Двины: Ваймуги, Сии и Емцы - рек 2 порядка). Земли местности характеризуются неравномерной хозяйственной освоенностью. Наибольшая нагрузка лесозаготовки отмечалась в советское время, в 1950-70 годы. Освоение лесных ресурсов

происходило в типичном экстенсивном режиме. Местообитания лесных экосистем характеризуются типичными супесчаными, суглинистыми подзолами и подзолистыми оглееными разного типа, а также болотно-подзолистыми в разной степени дренированными почвами, с преобладанием измененных человеком лесных насаждений.

Общая площадь местности 1365 га. Лесистость отдельных урочищ изменяется от 15 до 88%, заболоченность от 1-до 85%, заозеренность – от доли процента до 34%. Представлены также лесные луга, сенокосы и земли производственного назначения. Общая площадь лесных (лесопокрытых) земель по местности в целом - 820 га или 60%. Из 820 га лесных земель 435 га (53%) занимают насаждения сосновой формации, 330 га (40%) – еловые насаждения; 6% (43 га) – березовые, 1% (8 га) - осинники.

Сообщества условно коренного типа составляют 8% (65 га), смешанного генезиса (измененные человеком и стихийными явлениями, но с преобладанием климатических компонентов) занимают 73% (590 га), производные - 19% (156 га). Доминируют спелые и перестойные древостои разновозрастные и условно одновозрастные. 11% занимают приспевающие смешанного состава. Средневозрастные насаждения представлены 10%, молодняки - 6%.

На большей части лесопокрытых площадей отмечаются процессы реабилитации – увеличения в составе лесов насаждений высокополнотных разновозрастных. Идет восполнение выведенных из состава частей древостоев, отнесенных к категории насаждений «Смешанного генезиса». Участки молодняков и средневозрастных древостоев представлены разными стадиями формирования производных (послерубочных) лесных сообществ.

Одним из характерных свойств местности является довольно высокая заболоченность. Болота (открыто заболоченные земли) большей частью представлены типичными верховыми болотами с мощными слоями чередования сфагнового, хвощево-сфагнового и древесно-травяно-мохового слоев торфа. Характерным свойством лесных земель местности является наличие заболоченных типов местообитаний (типов леса травяно-болотного, сфагнового, хвощево-травяного и долгомошного типов). Большинство озер и озерков соединены протоками - образуют системы. По комплексу слагающих земли местности свойств ПТК ее пространств разделяется на четыре урочища.

Урочище 1. Низменная слабо увалистая равнина с достаточно высокой лесистостью с невысокой заболоченностью, расположенная в северо-западной и западной частях квартала 12, в самой западной части местности. Леса имеют хорошо выраженные следы омоложения после промышленных рубок 1950-70 гг. Общая площадь урочища около 310 га. Лесная площадь 231 га или 74%. И была представлена 23 выделами-фациями. Озерами занято 105 га или 34% от общей площади урочища.

Урочище 2 – комплекс невысоких гряд - водоразделов между системой озер «Дубница» на западе и массивом болота «Мошное» на востоке, относительно высоко облесенная слабо заозеренная и слабо заболоченная с довольно пестрым набором насаждений с преобладанием экосистем производных групп генезиса на пространствах квартала 13 и узкой полосы на востоке в пределах квартала 14. Леса урочища представляли в прошлом фрагмент лесохозяйственной части бывшего Емецкого лесничества с нарушенной (в прошлом человеком и стихиями структурой) лесных земель. Ориентировочная площадь урочища 320 га. Леса занимают 281 га (88%). На болота приходится 22 га (7%), на озера 8 га (3%). Примерно 5 га (2%) занимали лесные луга, сенокосы и просеки.

Урочище 3. Плоская низменность с отметками 18-22 м представленная массивом болота «Мошное», занимающим 250 га в кв. 14 и 110 га в кв. 15. Болото общей площадью 360 га явно ледникового происхождения, образовавшийся на месте ледникового неглубокого озера. По режиму питания окраинные части на востоке и на западе имеют черты заболоченности типично переходного типа со смешанным питанием. На большей же части массива хорошо проявляются черты образования верхового типа. Лесная растительность в виде ивовых с ольхой кустарников, ерников, редких сосновых и сосново-березовых мелколесий распространена по окраинным болота и лишь редкими чахлыми сосновыми с березой и ерником редколесиями в отдельных частях болота в виде небольших островков сосняков с березой. Площадь типично лесопокрытой площади в основном по границе с западной окраинной пограничной части массива составляет около 50 га. Общая площадь урочища 410 га. 10 га (2%) занимает озеро в центральной части болота.

Урочище 4. Комплекс невысоких гряд – с преобладанием меридиального простираения с отметками 25 – 35-40 м в восточной части кв. 15 и в южной части кв. 14, частично в кв. 21. Комплекс гряд разделяет пространства массива болота Мошное в кв. 14 от системы озер Плоское и Плешково в кв. 15. Гряды хорошо облесены. Преобладают перестойные ельники смешанного генезиса и условно коренного типа. Общая площадь урочища 300 га. Лесная площадь 255 га (85%).

Болотами занято 32 га (10%). Дороги, линии ЛЭП, пустыри антропогенного происхождения и просеки составляют около 15 га (5%).

Соотношение по урочищам насаждений разных формаций преобладающих пород и их производительность приведены в таблице 1.

Таблица 1

Представленность насаждений разных формаций и средние их классы бонитета

N урочища	Площадь формаций, га					Средние классы бонитетов				
	С	Е	Б	Ос	Итого	С	Е	Б	Ос	В среднем
1	125	99	7	-	231	III,8	IV,1	II,6	-	IV,0
2	138	103	35	8	284	III,6	III,8	II,4	II,0	III,5
3	32	13	5	-	50	V,I	V,3	IV,0	-	V,2
4	140	62	43	10	255	III,4	IV,0	II,1	II,0	III,3
Итого, среднее	435	277	90	18	820	III,5	IV,1	II,4	II,0	III,6

Детальную структурную организацию лесных земель местности достаточно полно можно рассмотреть на примере урочища 1. Общая площадь урочища 310 га. Лесная (лесопокрытая площадь) 231 га (74%). Типологическую структуру насаждений характеризует диаграмма 1.

Формация	Представленность типов леса, га					
	брусн.	черн.	долг. м.	тр-бол.	сфагн.	Итого
Сосняки	60	38			27	125
Ельники		40	23	17	19	99
Березняки		4		3		7
Итого	60	82	23	20	46	231

Преобладающим типом лесорастительных условий является черничный (35%). Далее в порядке снижения участия располагаются: брусничный (26%), сфагновый вместе с хвоево-сфагновым в ельниках (20%), долгомошный (10%) и травяно-болотный (9%). В сосновой формации насаждения представлены полярными ТЛУ (зеленомошной и сфагновой групп). В ельниках спектр типов леса заметно шире.

Не очень глубокой, по сравнению с другими районами, оказалась трансформированность лесов. При этом механизмы трансформации (деятельность человека и стихийных сил) примерно одинаковы. Среди антропогенных факторов трансформации лесов на первом месте рубки леса, среди природных – ветровалы, буреломы и грибные болезни с разным соотношением по формациям и типам леса. Структуру категорий генезиса насаждений характеризует диаграмма

Структура типов генезиса насаждений, га

Формации	Категории происхождения (генезиса)					
	УК	Смг	Пр1	Пр2	Пр3	Пр3-1
Сосняки	20	63	10	12	4	16
Ельники	23	48			14	15
Березняки		7				
Итого	43	118	10	12	17	31

В формациях хвойных пород условно *коренные* насаждения составляют около 18%, *смешанного* происхождения – 51%, *производные* 1 типа (без смены пород) - 4%; со сменой сосны на ель – 5%, со сменой хвойных на лиственные – 7%, с обратимой сменой производных лиственных насаждений на хвойные – 15%.

Отмеченная выше выраженная равнинность пространств местности и ландшафта лесопарка в целом, обуславливает снижение проявления связей лесоводственной структуры лесов с ландшафтной организацией лесных земель. Тем не менее, удалось проследить по лесам хвойных формаций некоторые существенные закономерности.

Местообитания сосновых лесов располагаются на участках с абсолютными отметками от 16 до 50 м. Низкие отметки свойственны фациям сфагновых низкосомкнутых сообществ (Va-класс

бонитета, запасы 14-22 м³/га), а самые высокие – достаточно продуктивным соснякам брусничного типа (IV класс бонитета, запасы в спелом возрасте 160-220 м³/га). Наиболее продуктивные сосняки черничные (IV-III бонитет, запасы 200-260 м³) приурочены к местообитаниям с отметкам 22-42 м.

Биогеоценозы еловых насаждений встречаются на участках с абсолютными высотами от 18 до 36 м. Насаждения хвощево-сфагнового типа приурочены к участкам с отметками 18-20 м, ельники травяно-болотные – к высотам 18-22 м долгомошные – 22-30 м, черничные – 24-36 м долгомошного типа. Классы бонитет в ельниках изменяются от Va до III-IV, запасы от 20 до 270 м³/га.

Базис эрозии в сосновых насаждениях изменяется от 0 до 18 м. Нулевые значения характерны для участков сфагнового типа, самые высоки (6-18 м) – для сосняков брусничных. Сосняки черничники располагаются на склонах с базисом эрозии 6-11 м. В еловых лесах разница между верхним и нижним значениями положения участка над уровнем моря изменяется от 0 до 13 м. Нулевые величины свойственны насаждениям хвощево-сфагнового типа леса, самые высокие (8-13 м) - ельникам-черничникам.

Не установлено четкой закономерности в приуроченности типов леса к экспозиции склонов. В сосновых леса 18% насаждений приурочены к склонам СЗ и С экспозиции, 60% – к В и ЮЗ, 22% - к Ю и ЮВ склонам. В лесах еловой формации к склонам С и СВ экспозиции приурочено 46%, к восточным склонам – 12%, к южным – 10%, юго-западным - 32%. Представленное распределение не показывает связи с вероятной разницей в поступлении солнечной радиации на склоны разной экспозицией. Безусловно, здесь проявляется отмеченная равнинность рельефа и обусловленные ею низкие значения уклонов. Не могут не сказаться различия в структуре насаждений, в разной мере их трансформированности.

Типы местоположения насаждений (по Раменскому, 1971) безотносительно к формациям преобладающих пород, составляют в урочище следующий убывающий ряд: дренированные водоразделы и верхние части склонов – 45%, слабо дренированные верхние и средние части склонов – 24%, бессточные депрессии и западины – 22%, нижние части склонов с изменчивым сезонным дренажем – 9%. Ключевыми фациями в урочище можно признать участки сосняков брусничных, соподчиненными являются сосняки и ельники черничные, долгомошные, травяно-болотные. Замыкающими ряды фациями служат насаждения сфагновых сосняков и ельников или болота и озера. Представленные ряды типов леса и не лесных фаций составляют ряды фаций на тополого-типологических катенах (по Заугольной, 2004).

Пополнение лесоводственных характеристик лесных участков ландшафтными их параметрами расширяет свойства насаждений, как сырьевые так экосферные, что повышает их.

Литература

1. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте М.: Мысль, 1975. 288 с.
2. Багинский Г.А. Геология как область соприкосновения географии и социологии / Извест. ВГО, 1989. Т. 121, вып.1. С. 31-39.
3. Бауэр Л, Вайничке Х. Забота о ландшафте и охрана природы. М.: Прогресс. 1971. 265 с.
4. Беручашивили Н.Л. Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 288 с.
5. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., 1964. 230 с.
6. Гришанов Г.С., Мильков Ф.Н. Компоненты ландшафта и ландшафто-формирующие факторы // Известия ВГО, 1987. Т. 119, вып. 6. С. 511-517.
7. Громцев А.Н. Ландшафтные закономерности структуры и динамики среднетаежных сосняков. Сб. научных трудов Архангельских лесов Карелии. Петрозаводск. Карельский НЦ РАН, 1993. 160 с.
8. Заугольнова Л.Б. Структура лесных катенов полосенеморально-бореальных лесов/ Восточно-европейские леса (история в голоцене и современность). М.: Наука, 2004. Кн. 2. С. 89-108 .
9. Исаченко Г.А Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М., 1965.
10. Исаченко Г.А. Дискретность и континуальность в теории ландшафтоведения // Структура, функционирование, эволюция родных и антропогенных ландшафтов. М.Сп.1997. С. 23-25.
11. Преображенский В.С. Ландшафтные исследования. М. Наука, 1966. 128 с.
12. Солнцев В.Н. Структурное ландшафтоведение: основы концепции // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов. ИМ.-Сп., 1997. С. 11-14.
13. Раменский Л.Г. Основные закономерности растительного покрова и их изучение. /Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука,1971. С. 25-48.
14. Цветков В.Ф. Формирование производных насаждений в свете динамической типологии леса. Сб. трудов. Архангельск; СевНИИЛХ, 2010. С. 69-83.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА КАК ФОРМЫ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПИНЕЖСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

В настоящее время проблема защиты окружающей среды приобретает приоритетный характер. Это связано с осознанием опасности, нависшей над нашей планетой, в результате активного вмешательства человека в природные процессы, которое может привести к глобальному экологическому кризису, поставить под угрозу само существование биосферы. Лишь на основе переориентации человеческого сознания на экологические установки возможно создание экономических и политических условий для обеспечения экологически стабильного развития.

Природоохранная деятельность представляет собой совокупность различных мероприятий, направленных на улучшение окружающей природной среды и уменьшения негативного воздействия деятельности человека на природу. Одной из форм природоохранной деятельности может стать развитие экологического туризма, обеспечивающего осуществление всеобщего непрерывного экологического образования и воспитания всего населения и особенно молодежи.

Одним из перспективных районов для развития туризма на территории Архангельской области является Пинежский район. Он расположен на северо-востоке Архангельской области, в бассейне рек Пинега, правого притока Северной Двины, и Кулой. Площадь района – 32.12 тыс. км², протяженность с запада на восток составляет 204 км, с северо-запада на юго-восток – 339 км. Расстояние от с. Карпогоры – административного центра района - до г. Архангельска – 219 км. Пинежский район обладает значительными природным и культурно-историческим потенциалом.

Природно-рекреационные ресурсы Пинежского района включают рельеф, климат, внутренние воды, растительный покров и животный мир.

Территория Пинежского района расположена на северо-востоке Восточно-Европейской равнины. Для рельефа характерно чередование плоских заболоченных, платообразных, иногда холмистых водоразделов и хорошо разработанных речных долин. В пределы района заходит юго-восточная часть Беломорско-Кулойского плато, геологическое строение и рельеф которого отличаются от остальной территории. Здесь преобладает холмисто-увалистый, а также мелко- и среднехолмистый, участками плоскохолмистый рельеф. Абсолютные высоты достигают 145-175 м, колебание относительных высот составляет до 15-20 м. На территории Беломорско-Кулойского плато широко распространены карстовые формы рельефа (пещеры, воронки, провалы, ложбины и т.д.). Плотность поверхностного карста на отдельных участках превышает 1500 форм на 1 км², что является экстремально высоким значением для Европейской части России (Пинежский заповедник, 2002). Низкие температуры воздуха способствуют образованию и сохранению разнообразных ледяных форм: ледяных кристаллов и жил, наледей, сталактитов, сталагмитов, сталагнатов.

Климат Пинежского района умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха – 0.1⁰ С, средняя температура июля +14.5⁰ С, максимальная +34.5⁰ С; средняя температура января – 14.7⁰ С, минимальная –50.2⁰ С. Годовое количество осадков составляет около 550 мм, максимальное количество приходится на июнь – август, минимальное – на февраль – март (Пинежский заповедник, 2002). Для всех сезонов года характерна неустойчивость погоды, особенно весной и осенью.

Территория Пинежского района характеризуется развитием густой гидрографической сети. Здесь насчитывается 19 относительно крупных рек, множество малых рек и ручьев, а также большое количество озер (только на территории Пинежского государственного заповедника их 292) (Ларин, 1975). Самая крупная река – Пинега, ее протяженность в пределах района составляет 594 км. Облик долины реки значительно изменяется от истоков до устья. В верховьях Пинега представляет собой типичную равнинную реку, текущую по холмистой равнине; в среднем течении сменяются друг за другом участки обрывистого берега (так называемые «красные щели»), крупные массивы песчаных пляжей, крутые обрывистые берега, сложенные известняками и мергелями («белые щели»), крутые берега, сложенные гипсом; в нижнем течении Пинега опять становится спокойной равнинной рекой (Светлое Пинежье, 2008). Истоком реки Кулой является река Сотка, протекающая по территории Пинежского района. Ее протяженность – 135 км, площадь бассейна 827 км². Долину реки можно разделить на 3 участка. В верховьях Сотка течет по заболоченной равнине, пойма здесь широкая,

течение медленное, дно илистое. Среднее течение реки пересекает карстовый участок. Здесь долина представляет собой ущелье шириной 200-500 м, обрамленное отвесными скалами высотой 30-80 м, течение становится более стремительным, дно - порожистым. Русло реки образует излучины, приближается то к одному склону ущелья, то к другому. В нижнем течении Сотка протекает по песчаной равнине с низкими берегами и широкой поймой (Поселок Пинега и его окрестности, 2008). Большой интерес представляют исчезающие малые реки и ручьи Беломорско-Кулойского плато. Они могут полностью исчезать в пещерах, становясь подземными (р. Кумичевка), или периодически поглощаться и появляться на дне карстовых логов (ручей в Святом Логу). На них часто образуются водопады (Пинежский заповедник, 2002).

Пинежский район характеризуется большим разнообразием растительного покрова. Лесами занято 75% площади района. Здесь преобладают еловые зеленомошные, долгомошные и сфагновые леса. На песчаных террасах реки Пинеги распространены сосновые и сосново-березовые леса. В местах выхода карбонатных пород формируются лиственничные леса, однако крупных массивов они не образуют. Болота занимают 14% площади района, преобладают верховые болота. Леса района богаты различными грибами (белыми, подосиновиками, груздями, волнушками, рыжиками) и ягодами (черникой, брусникой, смородиной), на болотах собирают клюкву, морошку и др. (Светлое Пинежье, 2008).

Животный мир района типичен для таежной зоны. Основу промысловых охотничьих ресурсов составляют водоплавающие птицы (утки, гуси) и боровая дичь (рябчики, глухари, тетерева). В зимнее время разрешен лицензионный отстрел лосей и медведей. Реки и озера богаты рыбой, здесь обитают окунь, сиг, хариус, щука, лещ и другие виды.

Пинежье обладает и богатым культурным наследием: народным фольклором, памятниками деревянного зодчества, традиционными ремеслами (роспись и резьба по дереву, плетение и ткачество). В Пинежском районе находится более 50 памятников архитектуры, стоящих на государственном учете. Пинежье – родина святых праведников Иоанна Кронштадтского, Артемия Веркольского; пинежской сказительницы М.Д. Кривополеновой; знаменитого русского писателя Ф.А. Абрамова.

Своеобразие Пинежья заключается в том, что на его территории находятся такие неповторимые объекты как: Артемиево-Веркольский (кон. XVIII в. – нач. XX в.), Красногорский Богородицкий (кон. XVIII в. – вторая пол. XX в.) и Богословский монастыри (кон. XIX в. – нач. XX в.). В Пинежском районе сохранились культовые комплексы (Березник, Едома, Сояла, Чикинская), храмы (Ежемень, Кеврола, Кулой, Лавела, Немнюга, Пильгоры, Сульца, Чакола, Шотова), часовни (Крылово, Печгора, Почезерье, Усть-Ёжуга, Чешегора, Чушела, Шардомень). Ярким проявлением особенностей местной художественной культуры служит оригинальный тип пинежского храма (Заповедный Север, 1987). К его немногочисленным проявлениям относится Никольская церковь в Едоме (XV в.).

Пинежье славится самобытными северными сельскими домами и домами конца XIX в. – нач. XX в. (Волость, Высокая Гора, Городецк, Еркино, Кобелево, Кочмогора, Кулой, Кусогора, Кучкас, Сура, Холм, Шотова, Явзора). Пинежские дома поражают не только своими размерами, но и органическим сочетанием утилитарного и декоративного начал. Пинежскую деревню трудно представить себе без амбаров. Целые городки свайных амбаров встречаются у околиц пинежских сел (Волость, Городецк, Кобелево, Кулой, Чешегора, Шотогорка). Амбары, будучи похожими на дома, вносят ощущение масштаба в силуэт деревенской улицы, делают его более живыми и свободным (Мильчик, 1971).

Для развития туризма в Пинежье необходимо популяризировать среди населения Архангельской области, России престиж ознакомления с местным биологическим, ландшафтным, культурно-историческим разнообразием. Практическая деятельность в данной сфере должна осуществляться по нескольким направлениям:

- работа со средствами массовой информации (районная и областная пресса). Особый интерес представляют публикации о красоте, уникальности природы, истории и культуры Пинежья, его карстовом рельефе, флоре и фауне, архитектурных памятниках;
- рекламно-издательская деятельность, предусматривающая издания красочных и информационных брошюр, буклетов и другой печатной продукции;
- музейное дело, которое является наиболее старой и традиционной формой просветительской деятельности, краеведческой работы. Разнообразные экспозиции музея, пополняемые и обновляемые с учетом современных теоретических и практических разработок, позволяют показать все разнообразие и красоту Пинежья.

Уже в настоящее время следует обратить внимание на потенциальных туристов будущего – современных детей и подростков. Наиболее удачными формами работы в данном направлении являются:

- экологические экскурсии, носящие познавательный характер и нацеленные на углубление знаний, учебных и практических умений и навыков учащихся. Уникальные природные и историко-культурные комплексы экскурсанты имеют возможность наблюдать в течение всех сезонов года;

- экологические тропы, обеспечивающие непосредственное наблюдение и изучение объектов и явлений окружающей среды, экологически грамотное поведение в ней. Экологическая тропа рассчитана на разные категории посетителей, имеет несколько вариантов, учитывающих уровень подготовки различных групп экотуристов;

- экологические лагеря – форма работы, где отдых сочетается с повышением экологической грамотности. Очень популярен экологический лагерь в п. Голубино. Важным является то, что в экологическом лагере наряду с привлечением учащихся к природоохранной деятельности, расширением экологического кругозора, развитием практических умений самостоятельной работы в природе, происходит воздействие на эмоциональную сферу, эстетические чувства под влиянием природной красоты (Преминина и др., 2010).

Возможности реализации экологических туров определяются многими обстоятельствами, незнание которых делает бесполезной попытку проектирования потенциальных путешествий. Среди этих факторов важнейшими являются:

- туристско-рекреационный потенциал территории, определяющий набор рекреационных занятий, познавательную часть содержания тура, способ перемещения, длительность маршрута, протяженность маршрута, тип и продолжительность стоянок;

- возрастные, профессиональные, этнические, психологические и другие качества целевой группы, на которую ориентирован турпродукт;

- квалификация гидов, которые должны выполнять несколько функций одновременно: проектировать экотур, договариваться с местными жителями и властями (лесниками, рыбоохраной, администрацией и т.д.), обеспечивать техническое прохождение маршрута (обучение, помощь слабым и отстающим, страховку), проводить экскурсию на объектах экотура, поддерживать психологический микроклимат и настроение в группе;

- региональный инвестиционный климат, определяющий возможность развития экотуризма на той или иной территории. Без начальных инвестиций невозможно формирование туристской инфраструктуры (закупка транспорта и снаряжения, обустройство стоянок, реклама тура, подготовка гидов и т.д.). (Колбовский, 2008).

Организацией отдыха и туризма на территории Пинежского района занимаются различные туристские фирмы и частные предприниматели, однако существующих маршрутов недостаточно для развития индустрии туризма, некоторые из них нуждаются в совершенствовании. В качестве перспективного тура экологической направленности можно предложить комплексный туристский маршрут «По рекам Пинежья» продолжительностью 15 дней. Начало маршрута – с. Сура, окончание – п. Голубино.

1 день – выезд из Архангельска, прибытие в с. Карпогоры, переезд в с. Сура; размещение туристов в гостевом доме.

2 день - экскурсия по с. Сура - одному из древнейших поселений на Пинеге, первое упоминание о котором встречается в новгородских летописях 1137 года под названием «Сура поганая». Здесь родился протоиерей Андреевского собора в Кронштадте Иоанн Сергиев (Иоанн Кронштадтский). Основными достопримечательностями села являются: Иоанно-Богословский Сурский женский монастырь, основанный (первоначально как женская община) в 1899 г. Иоанном Сергиевым, был закрыт с 1920 г., с июня 2011 г. началась его реставрация; Свято-Никольский источник; деревянная Введенская церковь XVI в.; Троицкий скит в Летовской роще; Никольская церковь; музей Иоанна Кронштадтского.

3 день – начало сплава по р. Сура – левому притоку р. Пинега. Протекает по территории Сурского сельского поселения, длина реки 92 км, площадь бассейна 1100 км². Во время сплава происходит знакомство с природными особенностями Пинежского района и особенностями малых рек, так же возможно проведение простейших гидрологических наблюдений (измерение скорости течения, температуры воды, прозрачности, цветности и других показателей). Ночевка в палатках.

4 день – продолжение сплава по р. Сура, начало сплава по р. Пинега. Знакомство с природными особенностями территории; возможно продолжение наблюдений на реках, сравнение гидрологических характеристик малых и средних рек. Ночевка в палатках.

5 день – продолжение сплава по р. Пинега. Знакомство с природными особенностями территории; возможно проведение простейших геоботанических наблюдений в пойменной части

речной долины (изучение флористического состава травостоя, определение проективного покрытия, изучение хозяйственного использования пойменных лугов). Ночевка в палатках.

6 день – остановка в д. Веркола. Первые упоминания о Верколе встречается в писцовых книгах в 1552 году. Здесь родился, жил и был похоронен писатель Федор Абрамов (1920-1983 гг.). Основными достопримечательностями являются: литературно-мемориальный музей Ф.А. Абрамова; Артемиево-Веркольский мужской монастырь. В 1988 году для сохранения неповторимого культурно-природный ландшафта мест, связанных с жизнью и деятельностью Ф.А. Абрамова был создан Веркольский ландшафтный заказник. Ночевка в гостевом доме.

7 день – продолжение сплава, остановка в д. Ёркино. В деревне полностью сохранился самобытный архитектурный ансамбль, сформировавшийся в XVIII-XIX веках, старинные дома, изгороди, улицы амбаров, колодцы с журавлями. Детская фольклорная группа «Росток» проводит народные гуляния с песнями, танцами, играми. В 2002 году был открыт дом ремёсел «Марфин дом», в котором расположились мастерские по народным ремёслам. Здесь проводятся мастер-классы по ткачеству и приготовлению пищи по старинным рецептам. Достопримечательностью деревни является часовня Николая Чудотворца XVII века. В окрестностях деревни существует два родника, называвшиеся в старину «студенниками», которые могут стать объектами гидрологических наблюдений.

8 день – продолжение сплава, остановка в д. Церкова. Здесь действует Дом ремесел, в котором проходят мастер-классы по плетению из бересты, валянию, изготовлению тряпичных кукол. В нескольких километрах находится д. Ваймуши, достопримечательностями которой являются Никольская церковь XIX века, Троицкая церковь. Туристы могут посетить школьный краеведческий музей. Ночевка в палатках.

9 день – продолжение сплава до с. Карпогоры – административного центра Пинежского района, основанного в XIV-XV веках. Основными достопримечательностями являются улица «деревянных коней» - уголок старинной застройки на улице Ф. Абрамова; дом купца Щепоткина – типичный образец архитектуры провинции второй половины XIX века; дом народного творчества - здесь все желающие могут овладеть навыками ткачества, плетения поясов, лоскутного шитья, резьбы и росписи по дереву; подворье Свято-Артемиево - Веркольского мужского монастыря; храм Петра и Павла. Ночевка в гостинице.

10, 11 день – продолжение сплава по р. Пинега. Знакомство с природными особенностями территории, возможно проведение простейших геоботанических наблюдений на террасированной части речной долины (изучение сосновых лесов, сформировавшихся на песчаных террасах). Ночевки в палатках.

12 день – продолжение сплава, остановка в д. Чакола - одном из древнейших поселений на реке Пинеге. Здесь находится могила русской сказительницы, песенницы, сказочницы М.Д.Кривополеновой. Достопримечательностью деревни является церковь Екатерины Великомученицы XIX века. Ночевка в палатках.

13 день – сплав до п. Пинега - одного из древнейших населённых пунктов Архангельской области. Здесь находятся Пинежский краеведческий музей; администрация государственного природного заповедника «Пинежский», созданного в 1974 году для сохранения и изучения таёжных комплексов юго-востока Беломорско-Кулойского плато; музей карста. Ночевка в гостинице.

14 день – сплав до п. Голубино. Остановка у д. Красная горка, посещение Красногорского Богородицкого монастыря XVII века. Поселок Голубино – научная база Пинежского заповедника, расположенная в непосредственной близости от памятника природы «Голубинский карстовый массив». Ночевка на базе отдыха «Лесной отель «Голубино», туркомплекса «Красная Горка» или в палатках.

15 день – знакомство с природными особенностями территории: карстовыми формами рельефа на экологических тропах, проложенных по территории Голубинского карстового массива (Тараканий лог и пещера Голубинский провал) и Пинежского заповедника (Голубинский лог и лог Святого ручья). Во время экскурсий возможно проведение простейших геологических, геоморфологических и гидрологических наблюдений. Туристы могут познакомиться с научной деятельностью Пинежского заповедника. Окончание маршрута, отъезд в Архангельск.

Таким образом, сочетание традиционных и перспективных туристских маршрутов с активной научно-познавательной деятельностью отдыхающих может способствовать экологическому образованию и воспитанию населения, т.е. являться одной из форм природоохранной деятельности.

Литература

1. Заповедный Север. Архитектура. Искусство. Ландшафт / Сост. Гнедовский Б.В. М.: Советская Россия, 1987. 244 с.
2. Колбовский Е.Ю. Экологический туризм и экология туризма. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 256 с.
3. Ларин О.И. Пинежье. М.: Мысль, 1975. 153 с.
4. Мильчик М.И. По берегам Пинеги и Мезени. Л.: Изд-во «Искусство», 1971. 60 с.
5. Пинежский заповедник / Под ред. Л.В. Пучниной. Архангельск: Пинежский заповедник, 2002. 50 с.
6. Поселок Пинега и его окрестности / Г.А. Данилова. Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2008. 296 с.
7. Светлое Пинежье: путешествие по краю: справочник-путеводитель / А.А. Иванова, В.Н. Калущков. Архангельск: с. Карпогоры: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2008. 168 с.
8. Преминина Я.К., Александрова Е.Н., Хвостова А.В. Проблемы и перспективы использования туристско-рекреационного потенциала Пинежья // Страноведение и регионоведение в решении проблем устойчивого развития в современном мире: материалы Международной научной конференции. СПб: ВВМ, 2010. С. 409-414.

Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В.

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск
mikh@sifibr.irk.ru*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭМИССИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ

Исследования проводились в Байкальском регионе, где действуют два крупных алюминиевых завода – Братский (БрАЗ) и Иркутский (ИркАЗ), которые в совокупности выпускают ежегодно около 1.5 млн т алюминия. Кроме того, в регионе планируется строительство еще нескольких заводов этого профиля. Привлекательность размещения в Сибири алюминиевых предприятий, несмотря на удаленность от источников сырья и рынков сбыта, обуславливается низкой себестоимостью электроэнергетики.

В СИФИБР СО РАН мониторинговые исследования состояния лесов вблизи БрАЗа и ИркАЗа проводятся по существу со времени пуска этих заводов в 1960-х годах, не прекращены они и в настоящее время. Выявлена пространственная и временная динамика ослабления и усыхания хвойных насаждений, изучено токсическое действие фторидов и других кислотогенных газов на растительный организм, выделены репрезентативные показатели для диагностирования жизненного состояния дерева и древостоя, обоснована система оценки состояния лесов, загрязняемых промышленными эмиссиями (Rozhkov, Mikhailova, 1993; Михайлова, 1997; Михайлова, Бережная, 2000; Михайлова и соавт., 2005, 2011, 2013).

Целью наших настоящих исследований является анализ и обобщение современных данных для комплексной оценки, картографирования и прогнозирования состояния лесов, загрязняемых алюминиевыми заводами, отличающимися по мощности и технологии производства.

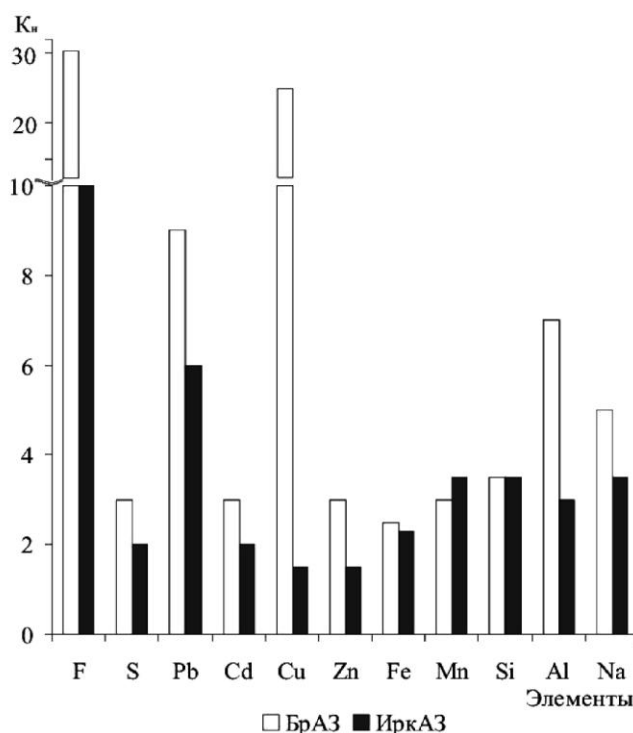
Ежегодно с выбросами БрАЗа в атмосферу поступает около 86 тыс. тонн загрязняющих веществ, объем эмиссий ИркАЗа равен 24.5 тыс. т (Государственный ..., 2013). Таким образом, мощность БрАЗа в 3.5 раза больше мощности ИркАЗа. Кроме того, БрАЗ расположен севернее, на территории с более жесткими природными условиями, что усиливает негативное воздействие техногенного загрязнения. Высокотоксичными компонентами выбросов алюминиевых заводов являются фторсодержащие газообразные и твердые фториды, а также диоксид серы, оксид углерода, неорганическая пыль, содержащая соединения алюминия и кремния, смолистые вещества, в состав которых входят различные СОЗ, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

На обоих заводах основная часть алюминия производится по технологии Содерберга с использованием самообжигающихся анодов верхнего токоподвода. Но имеется и существенное отличие – на ИркАЗе в рамках модернизации производства в последние пять лет внедрены в работу системы оборотного водоснабжения и сухой газоочистки, а также запущена новая серия электролизеров, работающих по технологии обожженных анодов. Технология Содерберга по себестоимости значительно выгоднее, поскольку аноды в течение продолжительного времени остаются электропроводными и

механически крепкими. Однако по мере сгорания такого анода выделяется большое количество токсических веществ, в частности фтористых соединений и смолистых веществ. Технология с использованием обожженных анодов гораздо дороже, но в экологическом плане она более эффективна, поскольку израсходованные аноды заменяются предварительно обожженными анодными блоками.

Состояние лесных экосистем оценивалось нами по комплексу параметров древостоев, травяного яруса и почвенного покрова в соответствии с методами, принятыми в РФ, и международной методикой ICP-Forests. На территории, загрязняемой выбросами ИркАЗа, было заложено 22 пробных площади, на территории, загрязняемой эмиссиями БрАЗа – 37. Закладка пробных площадей велась с учетом направления преобладающего атмосферного переноса и особенностей рельефа местности. На каждой пробной площади определяли основные лесотаксационные характеристики древостоев, проводили геоботаническое описание, оценивали визуальные параметры крон, морфоструктурные показатели стволов деревьев, побегов и хвои, кроме того, производилась закладка почвенных разрезов и описание горизонтов по глубине почвенного профиля. Изучаемые параметры древостоев и почв сравнивались с соответствующими показателями на фоновых участках, не подпадающих под основной атмосферный перенос выбросов и удаленных от техногенных источников до 100 км. Для аналитических исследований на содержание химических элементов и ряда соединений были отобраны пробы хвои сосны и почвенные образцы.

Установлено, что в условиях загрязнения эмиссиями алюминиевых заводов происходят значительные изменения элементного состава ассимиляционных органов деревьев сосны. При этом в хвое увеличивается количество элементов, преобладающих в составе промышленных выбросов (рисунок). Так, на территории влияния выбросов БрАЗа содержание фтора в хвое сосны возрастает более чем в 30 раз по сравнению с фоновым уровнем. При этом максимальное содержание этого элемента обнаружено в ассимиляционных органах деревьев на расстоянии до 3 км от завода в западном и восточном направлениях, а также на ветроударных склонах хребтов в южном и юго-западном направлениях. Прямая зависимость содержания фторидов в хвое сосны от количества фторсодержащих компонентов в выбросах подтверждается рассчитанным коэффициентом корреляции $r=0.86$ ($P < 0.05$, $n=40$). Высокая корреляционная связь установлена также между концентрацией серы в хвое сосны и уровнем диоксида серы в выбросах БрАЗа ($r = 0.85$, $P < 0.05$, $n = 40-60$). Меньшие негативные изменения элементного состава ассимиляционных органов сосны выявляются при воздействии эмиссий ИркАЗа. Так, уровень фтора в хвое возрастает до 10 раз, серы – в 2 раза по сравнению с фоновыми концентрациями.



Коэффициенты накопления (K_n) загрязняющих элементов хвоей сосны, произрастающей на расстоянии 3 км от Братского и Иркутского алюминиевых заводов

Помимо неорганических загрязнителей с выбросами алюминиевых заводов в атмосферу поступают органические поллютанты, в частности, ПАУ. Выделение этих веществ происходит в процессе электролиза и при производстве анодной массы. Ранее нами было показано, что ПАУ могут накапливаться в хвое сосны и оказывать негативное влияние на жизненное состояние древостоев (Gorshkov et al., 2006; Горшков и др., 2008). Максимальные концентрации ПАУ выявлены в хвое сосны на территории промзоны БрАЗа, здесь сумма 24 соединений этого класса составляет 6300 нг/г, что в 80 раз выше фоновых значений. На удалении от завода по разным направлениям на расстояние до 6 км сумма ПАУ резко снижается, однако остается выше фоновой в 20-25 раз, на удалении до 20 км – в 5-12 раз, до 30 км – в 2.5-4.5 раза, в 40 км – в 1.5-2.5 раза. На территории, загрязняемой выбросами ИркАЗа, максимальный уровень ПАУ, превышающий фоновые значения в 15 раз, регистрируется на удалении до 3 км от завода. На больших расстояниях сумма ПАУ снижается, но, тем не менее в 20 км она остается выше фоновой в 1.3-6.5 раза.

Негативное воздействие выбросов алюминиевых предприятий привело к существенному нарушению показателей состояния древостоев сосны, об этом свидетельствует изменение целого ряда физиологических и морфоструктурных параметров деревьев. Наиболее выражено снижение соотношения белкового и небелкового азота в хвое, уменьшение содержания фосфорных соединений, особенно органического кислоторастворимого фосфора, и других биогенных веществ и элементов, возрастание уровня дефолиации крон деревьев, сокращение прироста побегов (табл. 1).

Таблица 1

Морфоструктурные параметры стволов, побегов и хвои сосны
при воздействии выбросов алюминиевых заводов

Показатели	Алюминиевые заводы / Расстояние от заводов						Фоновые террито- рии
	Братский			Иркутский			
	3 км	10 км	20 км	3 км	10 км	20 км	
Высота ствола, (h) м	12.34± 2.41	15.00± 1.41	20.21± 4.36	19.45± 2.15	17.32± 2.47	19.47± 1.14	18.70± 1.41
Диаметр ствола (d), м	0.16± 0.02	0.19± 0.08	0.27± 0.06	0.23± 0.03	0.31± 0.06	0.33± 0.06	0.35± 0.01
Объем ствола (v)*, м ³	0.12± 0.02	0.20± 0.04	0.53± 0.05	0.30± 0.03	0.53± 0.08	0.77± 0.05	0.83± 0.02
Длина побегов 2-го года жизни, см	5.37± 1.21	9.85± 2.14	12.22± 3.99	8.51± 2.99	12.41± 2.77	17.64± 2.34	20.88± 3.47
Охвоенность побегов 2-го года жизни, шт.	93.4± 28.60	134.6± 6.18	157.2± 28.10	118.0± 40.46	198.2± 25.74	207.1± 28.02	231.1± 94.46
Масса хвои на побегах, г	0.79± 0.35	1.49± 0.51	2.31± 0.47	1.32± 0.49	2.63± 1.29	3.20± 0.82	4.80± 0.70
Масса одной хвоинки (m), мг	8.46± 0.18	11.07± 2.15	14.69± 1.57	11.19± 2.22	13.27± 0.89	15.45± 1.04	19.47± 0.57
Длина хвои (l), мм	39.42± 3.95	47.45± 4.85	50.79± 5.12	49.37± 5.37	53.70± 4.34	53.12± 4.32	53.48± 5.26
Коэффициент роста хвои (m/l)	0.21± 0.08	0.23± 0.04	0.29± 0.07	0.23± 0.06	0.25± 0.03	0.29± 0.07	0.36± 0.11

На территориях, загрязняемых выбросами алюминиевых заводов, наблюдается значительное нарушение почвенного покрова, в том числе, изменение структуры верхних гумусовых горизонтов и увеличение в них доли антропогенных включений. Исследования показали, что с увеличением степени техногенной нагрузки значительно снижается мощность лесной подстилки и гумусово-аккумулятивной толщи почв, увеличивается содержание физической глины (частиц < 0.01мм), возрастает плотность верхних горизонтов почв (в 1.5-2 раза), снижается влажность (на 60%), пористость (на 50%) и аэрация (на 75%). Ухудшение физических характеристик верхних генетических горизонтов почв приводит к высокой нарушенности почвенного покрова в целом (табл.2). Наибольший уровень антропогенного изменения почв наблюдается на территориях, расположенных на удалении 3 км от алюминиевых заводов. Почвенный профиль приобретает

нехарактерные для естественных почв признаки: нарушается расположение генетических горизонтов вплоть до полного их отсутствия, появляются линзы, потеки и прослои антропогенного происхождения. Кроме того, в почвах усиливаются процессы оглеения и вторичного засоления, которые характеризуются осветлением (белесостью) горизонтов в верхней части почвенного профиля и утяжелением гранулометрического состава в нижних слоях.

Таблица 2

Физические параметры верхнего горизонта серых лесных почв в зоне влияния выбросов алюминиевых заводов и на фоновых территориях

Параметры	Алюминиевые заводы / Расстояние от заводов						Фоновые территории
	Братский			Иркутский			
	3 км	10 км	20 км	3 км	10 км	20 км	
Мощность подстилки, см	0-1	1-3	2-5	0-1	2-3	3-4	5-8
Мощность гумус. толщи, см	1-4	2-7	3-10	1-5	3-10	4-15	15-20
Физическая глина, %	60	45	35	50	40	30	25
Влажность от объема, %	21.30	30.45	35.65	25.20	33.40	38.30	48.55
Объемный вес, г/см ³	1.35	1.15	1.05	1.25	1.20	1.10	0.85
Удельный вес, г/см ³	2.75	2.55	2.35	2.65	2.45	2.30	1.90
Пористость, %	36.30	48.20	54.30	43.65	50.40	60.35	68.70
Аэрация, %	11.15	15.25	24.45	13.45	17.55	28.40	45.35
Количество антропог. включ.,%	30	15	5	20	10	5	0
Нарушенность почв, %	70	55	40	55	30	20	5

Обнаружено, что в загрязненных почвах значительно изменяется кислотно-основной баланс. На удалении 3-10 км от алюминиевых заводов в лесной подстилке и верхних горизонтах регистрируется изменение кислотности в сторону щелочных значений до pH_{H_2O} 7.1 и более, в фоновых почвах pH_{H_2O} не превышает 5.6. Это вызвано оседанием грубодисперсных фракций щелочных аэрозолей на поверхности почвы. Другой причиной повышенной щелочности почв является изменение состава почвенно-поглощительного комплекса при загрязнении фторидами. В частности, в почвенном растворе образуются фториды кальция, химическое преобразование которых до гидрокарбонатов и бикарбонатов способствует повышению щелочности. Кроме того, почвы на территориях, прилегающих к алюминиевым заводам, загрязнены тяжелыми металлами. В органической подстилке и почвенных горизонтах регистрируются высокие концентрации свинца, кадмия, меди, цинка и других (превышение фонового уровня достигает 15–25 раз). На удалении более 10 км от заводов уровень загрязнения почв также повышен (до 4-8 раз), что является следствием переноса техногенных эмиссионных потоков.

Вместе с тем, результаты свидетельствуют, что почва, как компонент лесных биогеоценозов, в условиях техногенной нагрузки, даже высокой степени, проявляет большую устойчивость к воздействию промышленных эмиссий, чем растительность. По-видимому, это объясняется ее высокой буферной способностью. Как показали наши исследования, деградационные изменения почвенного профиля наблюдаются по истечении 20-30 лет с начала действия техногенного пресса.

Полученные результаты послужат основой для разработки карт-схем, отражающих степень повреждения лесных экосистем в современный период на территориях, подвергающихся воздействию выбросов БрАЗа и ИркАЗа, а также для осуществления динамического картографирования и прогнозирования состояния загрязняемых лесов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта РФФИ № 12-04-31036 мол_а.

Литература

- Горшков А.Г., Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Верецагин А.Л. Накопление полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной на территории Прибайкалья // Лесоведение, 2008. № 2. С. 21-26.
- Государственный доклад. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области за 2012 год. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. 337 с.
- Михайлова Т.А. Эколого-физиологическое состояние лесов, загрязняемых промышленными эмиссиями: Автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.16. Иркутск: СИФИБР СО РАН, 1997. 47 с.

4. Михайлова Т.А., Бережная Н.С. Оценка состояния сосновых лесов при длительном воздействии выбросов алюминиевого завода // География и природные ресурсы, 2000. № 1. С. 43-50.
5. Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Афанасьева Л.В., Игнатьева О.В., Шергина О.В. Воздействие фторсодержащих соединений на состояние хвойных лесов Предбайкалья // Лесоведение, 2005. № 2. С. 38-45.
6. Gorshkov A.G., Mikhailova T.A., Berezhnaya N.S. and Vereshchagin A.L. Pine needles as a biomonitor for estimation of the regional-scale distribution of organic pollutants // Doklady Earth Sciences, 2006. Vol. 408, No. 4. PP. 599-601.
7. Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V. Phytomonitoring of technogenic fluorides in Baikal region // Fluorine notes, 2011. № 3(76), URL: <http://notes.fluorine1.ru/>
8. Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V. Phytomonitoring of Air Pollution in the Baikal Region // Contemporary Problems of Ecology, 2013. Vol. 6, No. 5. PP. 549-554.
9. Rozhkov A.S., Mikhailova T.A. The Effect of Fluorine-Containing Emissions on Conifers - Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 143 p.

Молчанов А.Г., Молчанова Т.Г.

*Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская область
a.georgievich@gmail.com*

ЭМИССИЯ CO₂ ИЗ ПОЧВЫ В ЗАБОЛОЧЕННОМ СОСНЯКЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД

В ситуации, возможного будущего изменения климата сопутствующее изменение осадков будет иметь решающее значение для роста бореальных болот (Schipperges, Rydin, 1998). Высокоширотные торфяники содержат примерно одну треть от почвы органического углерода в мире, большинство из которых является производным от частично разложившихся растений сфагнома (торфа) (Loisel, Gallego-Sala, Yu, 2012). Болотно-подзолистые почвы выделяют в среднем 1.7-2.2 т C-CO₂/ га год (Кудеяров, Курганова, 2005). Болотная-подзолистая почва ельника чернично-сфагнового в средней тайге Республики Коми в течение вегетационного периода выделяет 2.3-2.7 т C/га (Кузнецов, 2010). Довольно много исследований получено по зависимости фотосинтеза сфагнома от его влажности (Murray et al., 1989; Schipperges, Rydin, 1998; Silvola, 1990; Haraguchi A., Yamada, 2011). Без наблюдений, прежде всего за уровнем почвенно-грунтовых вод на естественных и различно осушенных болотах, нельзя надежно утверждать, способствует ли в конкретном регионе изменение современного климата процессам разболочивания или усиления болотообразования (Вомперский, 2009). Эмиссия из почвы в заболоченных биогеоценозах в значительной степени зависит, кроме как от факторов окружающей среды, так и от уровня грунтовых вод. При опускании УПГВ эмиссия CO₂ зависит не только от влажности остатков сфагнома и торфа, но и также величины толщи почвы, которая освободилась от воды, т.е. массы почвы и остатков сфагнома, которые находятся в аэробных условиях. По данным А.В. Наумова и др. (1999) уровень стояния почвенно-грунтовых вод оказывает заметное влияние на величину потока CO₂. Закономерное понижение его к концу сезона приводит к сдвигу максимальных значений на конец августа – начало сентября. Амплитуда сезонных изменений скорости продуцирования CO₂ составляла 6.3-6.9 г CO₂/(м²сут). По данным турбулентно-пульсационных исследований экосистемы верховых болот могут быть как стоком, так и источником CO₂, и ее параметры определяются рядом факторов, ведущими из которых являются гидрометеорологические условия (Kurbatova, 2001; Курбатова и др., 2004).

В представленной работе будет рассмотрена зависимость выноса CO₂ с поверхности почвы от температуры и влажности воздуха при различных уровнях почвенно-грунтовых вод.

Исследования проводили в Угличском р-не Ярославской обл. в заболоченном пушицево-сфагновом сосняке, произрастающем на болотной торфянистой-глеевой почве (подзона южной тайги). Мощность торфяной залежи около 1 м. Сомкнутость соснового насаждения составляет 0.3. Микрорельеф мелкозападинный. Корневые шейки старых сосен до глубины 40-60 см погружены в торф. Пушицево-сфагновый сосняк Vб бонитета представлен двумя поколениями сосны 54 и 144 лет. Травяно-кустарничковый ярус высотой 49-60 см, с проективным покрытием 70-75%, в котором доминирует пушица влагалищная, багульник, а также клюква. Моховой покров сплошной,

с доминированием *Sphagnum fuscum*, при участии *Sph. medium* и *Sph. Rubellum*. На пнях и гниющем валежнике отмечены кукушкин лен (*Politrichum commune*), *Evernia* и *Bryales* [Арутюнян, Уткин, 1986].

Измерение эмиссии CO_2 с поверхности почвы с удаленной ассимилирующей части сфагнома («очёса» сфагнома) проводили в течение 2009-2011 гг. по открытой схеме по методу Edwards и Sollins (1973) с помощью инфракрасного газоанализатора «Кедр» (Москва), работающего по дифференциальной схеме или «LICOR- 820» (Li-Cor, США).. Для этого на поверхность «очёса» сфагнома устанавливали прозрачную камеру диаметром 20 см и высотой 10 см, через которую поддерживали постоянный проток атмосферного воздуха со скоростью 60-100 л/ч. Для входа воздуха в камеру были сделаны шесть отверстий диаметром 5 мм и одно для отбора воздуха. Проведенные ранее исследования показали, что для используемой камеры такая площадь отверстий приводит к минимальным ошибкам измерений, в этом случае подсос воздуха из почвы минимален (Татаринов, Молчанов, Ольчев, 2009). Показания газоанализатора регистрировались логгером (EMS, Чехия) одновременно с температурой и влажностью воздуха, каждые 20 мин. Регистрация показаний газообмена CO_2 проводится непрерывно круглосуточно с помощью изготовленного нами автоматического устройства для сбора данных газообмена растений, которое управляется логгером. В логгер поступают аналоговые сигналы из датчиков, регистрирующих параметры окружающей среды и газоанализатора, и он запоминает полученные данные в цифровом виде за период в 3-6 дней. Устройство позволяет осуществлять проведение эксперимента по алгоритму «опыт-контроль», т.е. в газоанализатор поступает сначала «опытный» воздух, прошедший через камеру, а затем воздух, поступающий в камеру – «контрольный». Время опроса 3-5 мин и управляется тем же логгером через компьютерную программу.

Газообмен CO_2 рассчитывался по формуле:

$$G_{sph} = (C_b - C_{control})F/S, \quad (1)$$

где G_{sph} – газообмен CO_2 (в $\text{мкмоль}/(\text{м}^2\text{с})$), C_b и $C_{control}$ – концентрации CO_2 в камере и окружающем воздухе вблизи камеры, соответственно (мг/л), F – поток воздуха через камеру (л/ч), S – площадь поверхности «очёса» в камере (м^2)

Газообмен CO_2 с поверхности «очёса» измеряли несколько раз (по 3-5 дней) за вегетационный период, когда уровень почвенно-грунтовых вод (УПГВ) был на разных глубинах: в мае 2009 г. – 4 см, в июне 2009 г. – 7 см, в июле 2009 г. – 33 см, в августе 2009 г. – 21 см и в августе 2011 гг. – 43 см.

Суточные изменения газообмена CO_2 с поверхности «очёса» в заболоченном сосняке, когда УПГВ стоит на глубине 7 см, представлены на рис. 1. Как видно из рисунка изменения интенсивности газообмена CO_2 с поверхности «очёса» довольно синхронные с изменениями температуры и относительной влажности воздуха. Средняя величина эмиссии CO_2 поверхности «очёса» в дневное время около $10 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. Ночью, со снижением температуры воздуха и увеличением влажности, эмиссия CO_2 снижается и составляет около $5 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. Таким образом, при неизменном уровне почвенно-грунтовых вод, эмиссия CO_2 зависит от температуры и влажности воздуха.

Рассмотрим как изменяется эмиссия CO_2 с поверхности «очёса» в зависимости от температуры воздуха при разных УПГВ. Как видно из рис. 2 при УПГВ = 4 см, когда большая часть сфагнома находится под водой, газообмен CO_2 с поверхности «очёса» с изменением температуры воздуха слабо изменяется, и в этих условиях наблюдается небольшая интенсивность эмиссии, около $0.5 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. С опусканием УПГВ до 7 см с увеличением температуры воздуха эмиссия CO_2 с поверхности очеса увеличивается. При таком уровне почвенно-грунтовых вод, наблюдается самая высокая эмиссия CO_2 и она имеет логарифмическую зависимость от температуры воздуха, изменяясь от 2 до 6 $\text{мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. При уровне грунтовых вод 21 см, несмотря на то, что масса торфа, участвующая в газообмене, увеличилась в три раза, эмиссия CO_2 снизилась почти в два раза и составила при температуре воздуха 15°C – $1.0 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$, а при температуре 23°C увеличилась до $2.5 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. При опускании УГВ до 33 см в связи с недавними обильными дождями эмиссия CO_2 с поверхности «очёса» значительно выросла и составила в зависимости от температуры от 2 до 6 $\text{мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. При опускании УПГВ до 43 см эмиссия CO_2 с поверхности «очёса» также зависит от температуры и изменяется при температуре от 10 до 25°C от 2 до 3 $\text{мкмоль } \text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. Таким образом, по сравнению с УПГВ 21 см, торфяная масса, участвующая в газообмене, хотя и увеличилась при уровне 43 см в два раза, интенсивность эмиссии практически осталась, как и при УПГВ в 21 см.

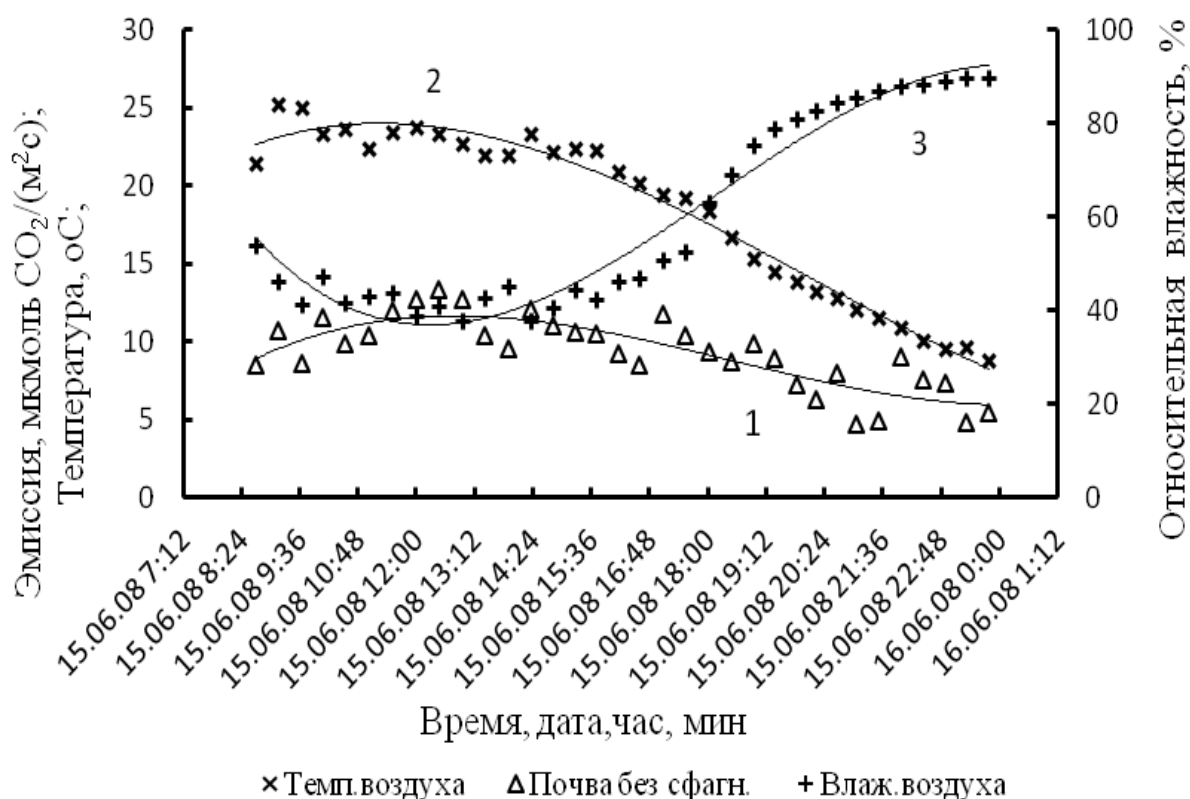


Рис. 1. Суточный ход эмиссии CO_2 с поверхности «очёса» (1), температуры (2) и влажности воздуха (3) при УПГВ=7 см

На основе полученных данных эмиссии CO_2 с поверхности «очёса» и показателей окружающей среды, было рассчитаны уравнения зависимости газообмена «очёса» сфагнума от температуры и влажности воздуха и УПГВ отдельно до уровня УПГВ 7 см, т.е. когда в газообмене участвуют только мертвые, неразложившаяся части сфагнума. С глубины от 21 до 43 см, когда в эмиссии CO_2 участвует высохшие неразложившиеся части сфагнума и нижележащая толща торфа.

При уровне почвенно-грунтовых до 7 см

$$y = 1.62476 \text{ УПГВ} + 0.47612T.в + 5.6718\text{Вл.в} - 0.00984T.в^2 - 5.68393\text{Вл.в} - 11.3375 \quad n=212, r^2=0.93.$$

При уровне почвенно-грунтовых вод от 21 см и глубже:

$$y = 0.042503 \text{ УПГВ} + 0.322131T.в + 0.03614\text{Вл.в} - 7.08139 \quad n=212 \quad r^2 = 0.94,$$

где $T.в$ – температура воздуха; Вл.в – влажность воздуха; УПГВ – уровень почвенных грунтовых вод

Закключение

Настоящее исследование показало, что в условиях южной тайги на олиготрофных болотах зависимость эмиссии CO_2 с «очёса» сфагнума от факторов окружающей среды в значительной степени регулируется уровнем почвенно-грунтовых вод.

Влияние температуры на эмиссию CO_2 «очёса» при УГВ с 7 до 33 см имеет хорошую зависимость и с увеличением температуры с 10 до 20 градусов увеличивается примерно в два раза. При УГВ = 43 см влияние температуру на эмиссию CO_2 поверхности «очёса» сказывается значительно слабее и увеличивается при изменении температуры на 10° меньше, чем на 40%. При УГВ = 4 см эмиссия CO_2 незначительна и равна около 0,2 мкмоль $\text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$. Таким образом, при УПГВ =7 и 21см при увеличении температуры воздуха эмиссия CO_2 с поверхности «очёса» увеличивается.

Большое влияние на эмиссию CO_2 оказывает количество осадков, в результате которых изменяется влажность неразложившихся частей сфагнума и торфа. Однако этот вопрос довольно сложный, так как надо учитывать изменение влажности по глубине почвы и его зависимости от величины осадков. Для этого необходимы дополнительные исследования, которые будут проведены в дальнейших исследованиях.

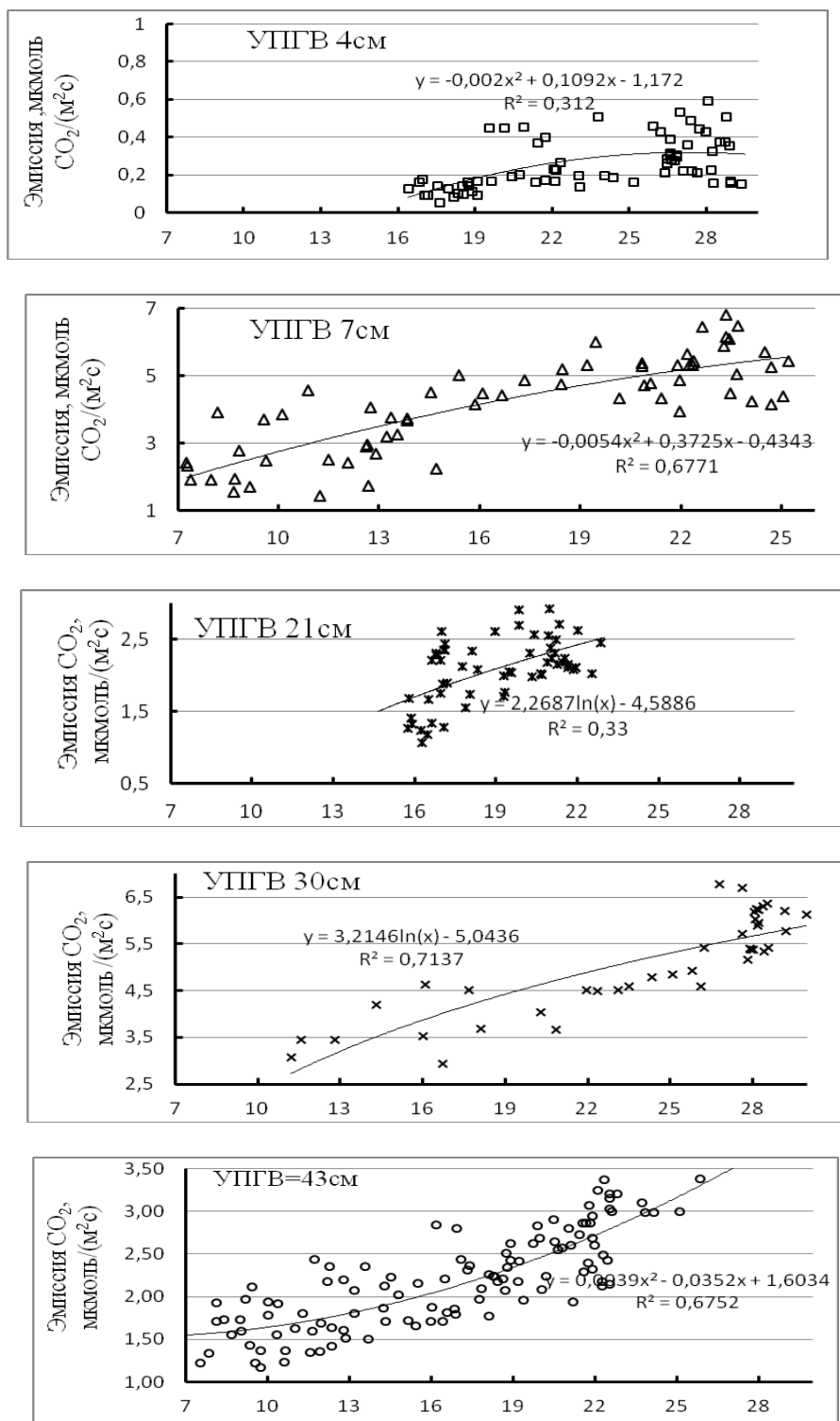


Рис 2. Зависимость эмиссии CO_2 из почвы от температуры воздуха при УГВ от 4 см до 43 см (сверху вниз). Температура, °C

Работа поддержана программой РАН “Биологические ресурсы”, РФФИ № 14-04-01568-а и № 14-05-00797-а.

Литература

1. Арутюнян С.Г., Уткин А.И. Биологическая продуктивность и вертикально- фракционная структура естественных средневозрастных древостоев трех типов сосняков // Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах / Под ред. Исаева А.С., Т.Э.-А. Фрей, А.Я. Орлова. М.: Наука, 1986. С. 163-177.

2. *Вомперский С.Э.* Влияние современного климата на болотообразование и гидролесомелиорацию // Структура и функции лесов Европейской России / Отв. ред. *Уткина И.А.* Ин-т лесоведения РАН. М.: ТНИ КМК, 2009. С. 31-51.
3. *Кудеяров В.Н., Курганова И.Н.* Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, моделирование, общие оценки // Почвоведение, 2005. № 9. С. 1112-1121.
4. *Кузнецов М.А.* Динамика содержания органического углерода в заболоченных ельниках средней тайги. Автореф. к.б.н. Сыктывар, 2010. 20 с.
5. *Курбатова Ю.А., Минаева Т.Ю., Татаринов Ф.А., Молчанов А.Г., Русанович Н.Р.* Временная и пространственная изменчивость газообмена CO₂ на верховом болоте южной европейской тайги // Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии / Гл. ред. *Н.П. Лаверов.* Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН. 2004. С. 41-46.
6. *Наумов А.В., Ефремова Т.Т., Ефремов С.П.* Продуцирование CO₂ торфяной почвой слабо осушенного мезотрофного болота в связи с гидротермическими условиями сезона // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания. / Отв. ред. *Вомперский С.Э., Сирин А.А.* М.: ГЕОС, 1999. С. 218-219.
7. *Harauchi A., Yamada N.* Temperature Dependency of Photosynthesis of *Sphagnum* spp. Distributed in the Warm-Temperate and the Cool-Temperate Mires of Japan // American Journal of Plant Sciences, 2011, V. 2. P. 716-725.
8. *Kurbatova J.* Effects of weather conditions on energy and mass exchange of the bog ecosystem in southern taiga in the European part of Russia. West Siberian peatlands and carbon cycle: past and present // Proceedings of the international field symposium. Noyabrsk. August 18-22. 2001. P. 514-53.
9. *Murray R.J., Harley P.C., Beyers J., Walz H., Tenhunen J.D.* Water content effects on photosynthetic response of *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska // Oecologia, 1989. T. 79. P. 244-250.
10. *Loisel J., Gallego-Sala A. V., Yu Z.* Global-scale pattern of peatland *Sphagnum* growth driven by photosynthetically active radiation and growing season length // Biogeosciences, 2012. V. 9. P. 2737-2746.
11. *Schipperges B., Rydin H.* Response of photosynthesis of *Sphagnum* species from contrasting microhabitats to tissue water content and repeated desiccation // New Phytol. 1998. T. 140. P. 677-684.
12. *Silvola J.* Combined effects of varying water content and CO₂ concentration on photosynthesis in *Sphagnum fuscum* // Holarctic Ecology 1990 V. 13. P. 224-228.

Мучник Е.Э.¹, Петрова О.В.^{2,3}

¹Институт лесоведения РАН, п. Успенское, Московская область

eugenia@lichenfield.com

²Кольский центр охраны дикой природы, г. Апатиты

³Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

olechka.v.petrova@gmail.com

АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРИРОДНОМ ЗОНИРОВАНИИ: ОСОЗНАННАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ

Планирование природоохранной деятельности в конкретных регионах, прежде всего, должно опираться на знания о природном зонировании территории. Это важно не только для анализа репрезентативности площадей особо охраняемых природных территорий (ООПТ) (Реймерс, Штильмарк, 1978), но и для уточнения ареалов распространения редких видов и присвоения им различных категорий в региональных Красных книгах. Для территории Российской Федерации в целом существует карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий (М. 1 : 800 000)» (1999) – «генерализованная» и не включающая административных границ краев и областей. На региональном уровне в разное время выполнено достаточно много серьезных работ по уточнению природного зонирования отдельных областей или крупных географических выделов (например, Черноземья и Нечерноземья России). Однако после 2000 г., когда несколько изменилась структура административно-территориального деления России, актуальной стала проблема анализа самых различных параметров в пределах Федеральных округов. В числе этих параметров и границы природных зон внутри того или иного Федерального округа.

В 2013 г. в рамках «классического» исследования разнообразия биоты в Центральной России (понимаемой в пределах Центрального Федерального округа) мы столкнулись с необходимостью сравнительного анализа зональных видовых списков, а также определения уровня репрезентативности сети ООПТ в отношении зональных биот, представленных в регионе. Поиски карты или карты-схемы, позволяющей выполнить подобные анализы, оказались безуспешными, поэтому была предпринята попытка создания такой карты-схемы.

Подготовка схемы природных зон Центральной России с детализацией границ субъектов Федерации и границ ООПТ федерального подчинения РФ велась программными средствами пакета ArcGIS. Для подготовки схемы использовались векторные слои из открытых источников, а именно:

- границы административно-территориального деления Российской Федерации (<http://gis-lab.info/qa/osm-adm.html>);

- границы ООПТ федерального подчинения Российской Федерации (<http://gis-lab.info/qa/oopt.html>);

- растровая топооснова (<http://kosmosnimki.ru>).

Границы природных зон отрисовывались с использованием нескольких литературных и картографических источников (Барталев и др., 2011; Геоботаническая..., 1954; Геоботаническое..., 1989; Зоны и типы поясности..., 1999; Карта растительности..., 1979; Колосова, Чурилова, 2004; Мильков, 1956; Овчинников Ю. И., Овчинников О.Ю., 2000; Огуреева и др., 1996; Природа Рязанской области, 2008). Растровые изображения привязывались в тематическом проекте ArcGIS к топооснове, после чего проводилась цифровка границ природных зон.

Подготовленная схема природных зон Центральной России с детализацией границ субъектов Федерации и границ ООПТ федерального подчинения РФ размещена на рисунке.

Выполненная карта-схема дает четкое представление о границах трех подзон лесной зоны (южно-таежных, хвойно-широколиственных и широколиственных лесов), лесостепной и степной зон; показывает зональное распределение ООПТ Федерального значения в пределах Центральной России. Знание такого распределения необходимо при проведении любых природоохранных работ – от ведения Красной книги до развития системы ООПТ.

При оценке категорий видов, предлагаемых к занесению в региональные Красные книги, необходимо, прежде всего, определить ареал распространения вида в целом и в данном регионе, в частности. Редкость вида может объясняться не только причинами антропогенного характера, но и естественным фактором нахождения его на границе ареала (эти границы довольно часто связаны с границами природных зон). В зависимости от лимитирующих факторов и существующих угроз виду присваивается та или иная категория (Категории и критерии..., 2002) и разрабатываются меры охраны.

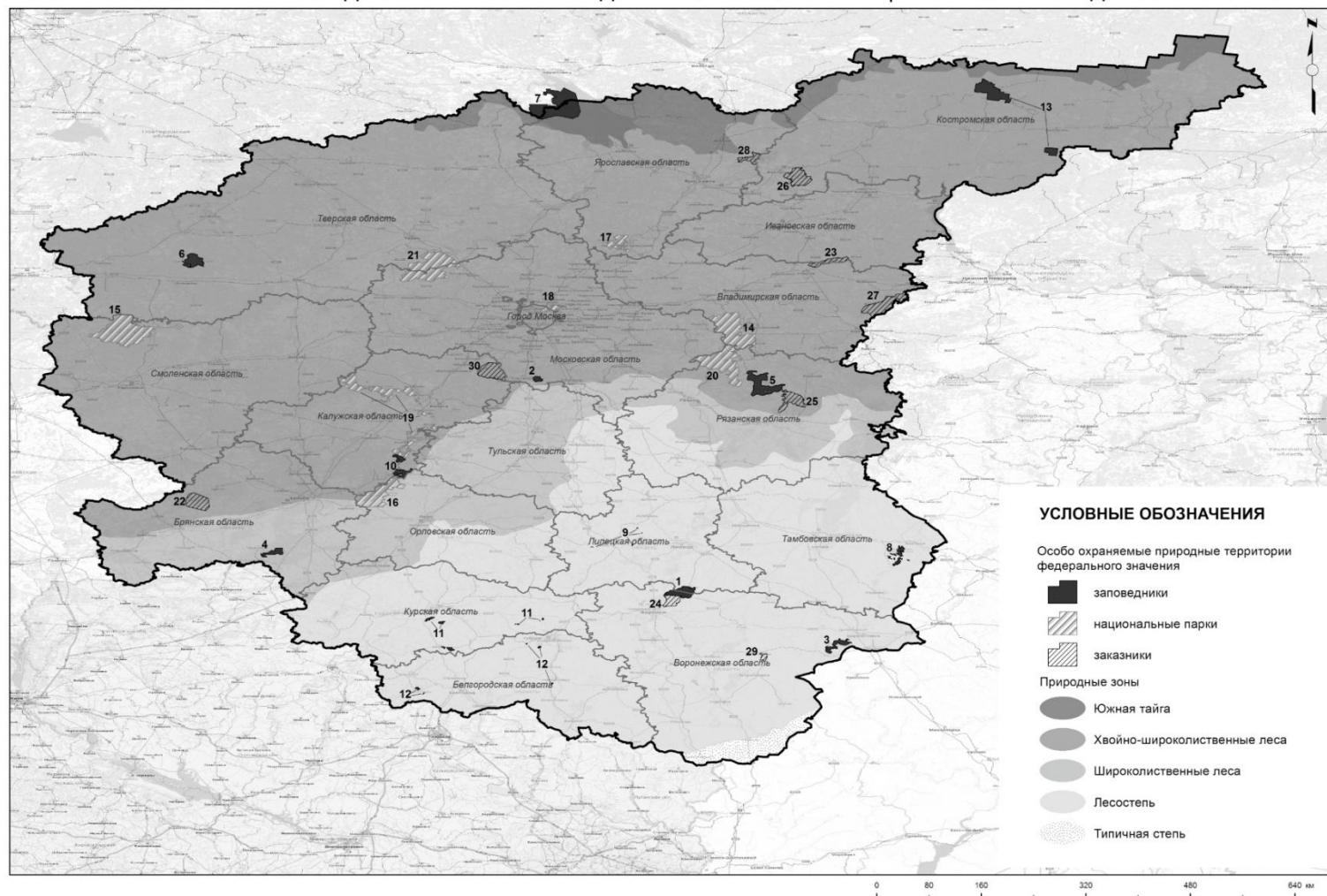
Развитие системы ООПТ, как Федеральной, так и региональной, должно, в первую очередь опираться на данные о репрезентативности уже существующей системы. Попытки оценки такой репрезентативности уже предпринимались в отношении системы Федеральных ООПТ Российской Федерации в целом. Авторы одной из работ (Никольский, Румянцев 2002) оценивают зональную репрезентативность системы государственных природных заповедников Российской Федерации, используя в качестве количественного критерия репрезентативности их площадь относительно площади каждой из природных зон страны. Такой подход, безусловно, имеет право на существование в масштабах страны, но для конкретных регионов является очень грубым «инструментом».

Во-первых, из-за общего масштаба работы именно Центральный Федеральный округ почти целиком оказался в одной «сводной» зоне: хвойно-широколиственных, широколиственных лесов и лесостепи, что не дает возможности оценки конкретной зональной репрезентативности значительного количества ООПТ.

Во-вторых, учитываются, исключительно, природные заповедники и полностью игнорируется система Национальных парков и Федеральных заказников. Как показано в другой работе (Оценка..., 2003), эти категории ООПТ (особенно, Федеральные заказники) в настоящее время играют значительную роль в сохранении биоразнообразия на уровне растительных сообществ.

В-третьих, хотя совокупные площади ООПТ и их соотношения с площадями природных зон или административных единиц (областей, Федеральных округов) могут служить некоторым основанием для оценок репрезентативности сети ООПТ, этот критерий никак нельзя признать достаточным. Несколько точнее для такой оценки служит критерий представленности в пределах ООПТ различных типов растительности (Оценка..., 2003). Тем не менее, и этот критерий не дает объективной картины, так как на его основе невозможно оценить репрезентативность видового разнообразия биоты охраняемых территорий в отношении зональных биот и, далее, можно получить данные о репрезентативности в отношении охраняемых видов (включенных в Красные книги различного уровня).

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА



ЗАПОВЕДНИКИ: 1 - Воронежский, 2 - Приокско-Тerrasный, 3 - Хоперский, 4 - Брянский лес, 5 - Окский, 6 - Центрально-Лесной, 7 - Дарвиновский, 8 - Воронинский, 9 - Галичья гора, 10 - Калужские засеки, 11 - Центрально-Черноземный, 12 - Белогорье, 13 - Кологривский лес
 НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРКИ: 14 - Мещера, 15 - Смоленское Поозерье, 16 - Орловское полесье, 17 - Плещеево озеро, 18 - Лосиный остров, 19 - Угра, 20 - Мещерский, 21 - Завидово
 ЗАКАЗНИКИ: 22 - Клетнянский, 23 - Клязьминский, 24 - Воронежский, 25 - Рязанский, 26 - Сумароковский, 27 - Муромский, 28 - Ярославский, 29 - Каменная степь, 30 - Таруса

На основе представленной карты-схемы и имеющихся видовых списков можно получить вполне объективные данные (зависящие, главным образом, от уровня изученности территорий и полноты списков – как региональных, так и отдельных ООПТ). Например, нами установлено, что в лесостепной зоне Центральной России лишенобиота ООПТ федерального значения включает 366 видов, таким образом, репрезентативность сети федеральных ООПТ составляет около 75% в отношении зональной лишенобиоты.

Из выявленного списка зональной лишенобиоты в Красные книги регионального уровня занесены 92 вида, из них 1 – *Cetraria steppae* (Savicz) Barreno et Varque – занесен в Красную книгу Российской Федерации [2008]. В пределах ООПТ федерального значения встречаются 76 охраняемых видов, репрезентативность сети федеральных ООПТ в отношении охраняемых видов составляет 82, 6%. Однако тот факт, что 16 охраняемых видов выявлены за пределами федеральных ООПТ, а 8 из них (в т. ч. занесенный в Красную книгу РФ) – за пределами и региональных ООПТ, свидетельствует о необходимости оптимизации современной сети ООПТ в лесостепной зоне Центральной России.

В последние годы накоплены обширные материалы о природном зонировании отдельных регионов, но он остается недоступен для проведения межрегиональных работ. Необходимо объединить все региональные данные и подготовить актуальный вариант карты природных зон хотя бы для Европейской части, а в перспективе, и для всей территории Российской Федерации.

Литература

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Еришов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.285–302
2. Геоботаническая карта СССР. (М 1 : 4000000) / Под ред. Е.М. Лавренко, В.Б. Сочава. М.: ГУГК, 1954.
3. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.
4. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий (М 1: 800 000) / Гл. ред. Огуреева Г.Н. // Серия карт природы для высшей школы. М.: Экор, 1999.
5. Карта растительности Европейской части СССР / Под ред. Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко (М 1 : 2500000). М, 1979.
6. Категории и критерии Красного списка МСОП. Версия 3.1. Подготовлено Комиссией по выживанию видов МСОП. МСОП, Гланд, Швейцария и Кембридж, Великобритания/ Пер. с англ. А.В.-А. Крейцберг, А.В. Быкова. Ташкент, 2002. 41 с.
7. Колосова Н.Н., Чурилова Е.А. Растительность // Атлас Московской области. М.: Просвещение, 2004. С. 10.
8. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Сост. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
9. Мильков Ф.Н. Физико-географический район и его содержание (на примере Русской равнины). М.: Географгиз, 1956. 221 с.
10. Никольский А.А., Румянцев В.Ю. Зональная репрезентативность системы природных заповедников Российской Федерации // Научные аспекты экологических проблем России: Тр. Всеросс. конф. памяти А.Л. Яншина. Т. 1. М.: Наука, 2002. С. 160-165.
11. Овчинников Ю.И., Овчинников О.Ю. Физическая география Тульской области. Тула: Пересвет, 2000. 143 с.
12. Огуреева Г.Н., Микляева И.М., Сулова Е.П., Швергунова Л.В. Карта растительности Московской области. (1: 200 000) / Гл. ред. Г.Н. Огуреева. М.: Экор, 1996.
13. Оценка репрезентативности, состояния и потенциальных угроз системе особо охраняемых природных территорий России / Яницкая Т.О., Аксенов Д.А., Дубинин М.Ю., Есипова Е.С., Карпачевский М.Л., Пуреховский А.Ж. // Лесной бюллетень № 24, декабрь 2003 <http://old.forest.ru/rus/bulletin/23/6.html> (последний просмотр 10.02.2014).
14. Природа Рязанской области / В.А. Кривцов и др.; науч. ред. В.А. Кривцов. Рязань: Изд-во РГУ имени С.А. Есенина, 2008. 407 с.
15. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 298 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	Стр. 5
-------------------------	-------------------

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

Гершенкоп А.Ш., Евдокимова Г.А. ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКУ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИЕЙ.....	9
Калабин Г.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	14
Капелькина Л.П. САМОЗАРАСТАНИЕ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРА РОССИИ.....	17
Кашулин Н.А., Кашулина Т.Г. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ РЕСУРСОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	21
Лозовик П.А. НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С УЧЕТОМ ИХ ПРИРОДНОЙ АССИМИЛЯЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД	26
Макаревич П.Р. МОРСКАЯ БИОТА АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.....	30
Максимов А.Л. СОВРЕМЕННЫЕ СОЦИАЛЬНЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА СЕВЕРЕ.....	32
Маслобоев В.А. РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АРКТИКИ.....	34
Моисеенко Т.И. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СОВРЕМЕННОЙ БИОСФЕРЕ.....	36
Немова Н.Н. БИОХИМИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РЫБ И ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ.....	39
Николаев А.И. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИТАНО-РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....	44
Субетто Д.А. СОВРЕМЕННЫЕ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА СЕВЕРЕ ЕВРАЗИИ.....	48
Яковлев В.А. ТОКСИФИКАЦИЯ, ЭВТРОФИКАЦИЯ, АЦИДИФИКАЦИЯ И ТЕРМОФИКАЦИЯ СУБАРКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ.....	49

Секция 1

ПРИРОДНАЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ДИНАМИКА ТУНДРОВЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	51
Андриянов В.В., Цветков В.Ф. МАСШТАБЫ И ГЛУБИНА АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ РАКУЛЬСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА)	55
Артемкина Н.А. ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА И УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХВОИ <i>JUNIPERUS SIBIRICA</i>	59
Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г., Панюков А.Н., Лиханова И.А. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА СЕВЕРЕ	62
Баркан В.Ш. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСНЫХ МХОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ ЦВЕТНЫМИ МЕТАЛЛАМИ	66
Батова Ю.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф., Титов А.Ф. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА)	68
Белашев Б.З., Болондинский В.К. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО РАДОНА НА ПОЯВЛЕНИЕ РОСТОВЫХ АНОМАЛИЙ У БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ДРУГИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ	72
Берлина Н.Г., Исаева Л.Г., Зануздаева Н.В. ДИНАМИКА ПЛОДОНОШЕНИЯ И РАЗВИТИЯ <i>RUBUS CHAMAEMORUS</i> L. В ЛАПЛАНДСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	76
Бобкова К.С. ЗАПАСЫ И ДИНАМИКА УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА	78
Бобрецов А.В., Петров А.Н., Быховец Н.М. ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЛЕВОК В ПРЕДГОРНОЙ ТАЙГЕ СЕВЕРНОГО УРАЛА: СВЯЗИ С КЛИМАТОМ И СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ	82
Болондинский В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОСИНТЕЗА ЛИСТЬЕВ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ НА УЧАСТКАХ С РАЗНЫМ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВЫ	86
Боровичев Е.А., Белкина О.А., Давыдов Д.А., Исаева Л.Г., Кожин М.Н., Константинова Н.А., Костина В.А., Урбанавичюс Г.П. РАСТЕНИЯ, ГРИБЫ И ЛИШАЙНИКИ ВО ВТОРОМ ИЗДАНИИ КРАСНОЙ КНИГИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ	91
Буянов И.Ю., Кочкарев А.П., Кочкарев П.В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ЖИВОТНЫХ В ЗАПОВЕДНИКЕ «ЦЕНТРАЛЬНОСИБИРСКИЙ»	95

Васильева Н.П. ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА	103
Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Перминова Е.М., Анисимов С.С., Новаковский А.Б. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБКАХ (РЕСПУБЛИКА КОМИ, СРЕДНЯЯ ТАЙГА)	108
Горшков В.В., Ставрова Н.И. СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ БЕРЕЗЫ ПУШИСТОЙ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ С РАЗЛИЧНОЙ ДАВНОСТЬЮ ПОЖАРА	112
Громцев А.Н. ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ	116
Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Трефилова Л.В., Фокина А.И. ЦИАНОБАКТЕРИИ В БИОМОНИТОРИНГЕ ПОЧВЫ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ	119
Другова Т.П., Костина В.А. РЕДКИЕ ВИДЫ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ И МХОВ ВО ФЛОРАХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛКОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ	123
Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ СНИЖЕНИИ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ	127
Елькина Г.Я., Лаптева Е.М. ЗАПАСЫ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В КУСТАРНИЧКОВО-ЛИШАЙНИКОВО-МОХОВОЙ ТУНДРЕ	130
Ершов В.В., Лукина Н.В. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ СОСТАВА ПОЛЮТАНТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА	133
Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В. МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ГОРНЫХ БЕРЕЗОВЫХ РЕДКОЛЕСИЙ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	141
Зайцев А.И. МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (<i>JUNIPERUS COMMUNIS</i> L.), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	144
Зенкова И.В., Мелехина Е.Н. ПАНЦИРНЫЕ КЛЕЩИ (ACARI: ORIBATIDA) ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА	149
Змитрович И.В., Малышева В.Ф., Косолапов Д.А., Большаков С.Ю., Ежов О.Н. РЕДКИЙ БОРЕАЛЬНЫЙ ВИД <i>POLYPORUS CHOSENIAE</i> (BASIDIOMYCOTA, POLYPORALES): НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ И ТАКСОНОМИИ	151
Исаева Л.Г. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЪЕДОБНЫХ ГРИБАХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ»	155
Карпечко А.Ю., Неронова Я.А. ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МИКОРИЗ ЕЛИ В ДРЕВОСТОЯХ, ПРОЙДЕННЫХ ВЫБОРОЧНЫМИ РУБКАМИ	159

Катаев Г.Д. МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАУНЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ <i>MICROMAMMALIA</i> НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ (ЛАПЛАНДСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)	163
Кашулина Г.М., Кубрак А.Н. СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОТНОГО СТАТУСА ПОЧВ ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ»	167
Ковалева В.А., Хабибуллина Ф.М., Кузнецова Е.Г. МИКРОБИОТА ТУНДРОВЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ УГЛЕДОБЫЧИ	171
Конакова Т.Н., Колесникова А.А. СОСТАВ И ЧИСЛЕННОСТЬ НЕКОТОРЫХ ГРУПП КРУПНЫХ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ	
Корнейкова М.В., Лебедева Е.В. МЕДЛЕННО И БЫСТРОРАСТУЩИЕ ПОЧВЕННЫЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ В ПОЧВАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА	174
Королев А.Н., Шадрин Д.М., Пылина Я.И., Порошин Е.А., Бобрецов А.В., Петров А.Н., Быховец Н.М. ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА <i>cyt b</i> мтДНК ОБЫКНОВЕННОЙ БУРОЗУБКИ ЭКОТОНА ТАЙГА – ТУНДРА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ	177
Кочкарев П.В., Кочкарев А.П. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОДОБНЫМИ УЧАСТНИКАМИ ТУНДРОВОЙ БИОТЫ НА ЗИМНИХ ПАСТБИЩАХ ТАЙМЫРА, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ НОРИЛЬСКОГО ГМК	178
Кузнецов М.А. ПРОДУКЦИЯ УГЛЕРОДА В КОРЕННЫХ ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ НА БОЛОТНО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ	180
Кузнецов М.А., Осипов А.Ф. ДЕСТРУКЦИОННОЕ ЗВЕНО УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА ХВОЙНЫХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ	184
Лебедева Е.В., Богомоллова Е.В., Кирцидели И.Ю. АЭРОМИКОТА БОТАНИЧЕСКОГО САДА И ОРАНЖЕРЕЙ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.Л. КОМАРОВА РАН	188
Литинский П.Ю. БИОГЕОМАТИКА БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ – НЕОБХОДИМОСТЬ, ВОЗМОЖНОСТЬ, МЕТОДОЛОГИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ	192
Лиханова И.А., Арчегова И.Б. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ...	196
Лянгузова И.В. АНАЛИЗ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	202
Макарова О.А., Поликарпова Н.В. ООПТ ПЕЧЕНГСКОГО РАЙОНА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ: СУЩЕСТВУЮЩАЯ СЕТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАСШИРЕНИЯ	205
Малицкий С.В., Ростовцева Е.Л. МОНИТОРИНГ СЕЗОННО-ТАЛОГО СЛОЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА САЛМ ПЛОЩАДКЕ УМБОЗЕРО	209
Маслова Н.А., Андриянов В.В. К ИЗУЧЕНИЮ ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЛАНДШАФТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ СИЙСКОГО ЛЕСОПАРКА	213
Михайлова А.Г., Хвостова А.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО	217

**ТУРИЗМА КАК ФОРМЫ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ПИНЕЖСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ).....**

Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В. **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭМИССИЙ
АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ.....**

Молчанов А.Г., Молчанова Т.Г. **ЭМИССИЯ CO₂ ИЗ ПОЧВЫ В ЗАБОЛОЧЕННОМ
СОСНЯКЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД.....**

Мучник Е.Э., Петрова О.В. **АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ
О ПРИРОДНОМ ЗОНИРОВАНИИ: ОСОЗНАННАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ**

CONTENT

FOREWORD..... Стр.
7

PLENARY SESSION

Gershenkop A.Sh., Evdokimova G.A. **IMPACT OF THE MICROBIOLOGICAL FACTOR
ON STORAGE AND PROCESSING OF FLOATATION WASTES** 9

Kalabin G.V. **USE OF SATELLITE MEASUREMENTS FOR ENVIRONMENTAL
ASSESSMENT OF MINING AREAS.....** 14

Kapelkina L.P. **SELF-ORGANIZED VEGETATION AND RESTORATION OF
DISTURBED LANDS IN THE DEPOSITS OF NORTHERN
RUSSIA.....** 17

Kashulin N.A., Kashulina T.G. **CURRENT STATE OF FRESHWATER RESOURCES
OF THE MURMANSK REGION. ISSUES AND
OPPORTUNITIES.....** 21

Lozovik P.A. **LIMITATION OF PERMITTED ANTHROPOGENIC LOAD ON WATER
OBJECTS WITH REGARD FOR THEIR NATURAL ASSIMILATION CAPACITY
AND REGIONAL GEOCHEMICAL PROPERTIES OF
WATERS.....** 26
30

Makarevich P.R. **MARINE BIOTA OF ARCTIC ECOSYSTEMS UNDER CONDITIONS
OF ANTHROPOGENIC IMPACT AND GLOBAL CLIMATE CHANGES.....** 32

Maksimov A.L. **CONTEMPORARY COSIAL AND MEDICO-BIOLOGICAL ASPECTS
OF HUMAN ADAPTAITION IN THE NORTH.....** 34

Masloboev V.A. **THE ROLE OF ENVIRONMENTAL STUDIES FOR SUSTAINABLE
DEVELOPMENT OF THE ARCTIC** 36

Moiseenko T.I. **EVOLUTIONARY PROCESSES IN PRESENT-DAY BIOSPHERE.....** 39

Nemova N.N. **A BIOCHEMICAL APPROACH FOR ASSESSMENT OF THE IMPACT
OF ANTHROPOGENC FACTORS ON FISH AND AQUEOUS INVETERBRATES** 44

Nikolaev A.I. **THE USE OF TITANIUM AND RARE-EARTH RAW MATERIALS
OF THE KOLA PENINSULA.....** 48

Subetto D.A. PRESENT-DAY PALEOLIMNOLOGICAL STUDIES IN THE NORTH OF EURASIA	49
Yakovlev V.A. TOXIFICATION, EUTROPHICATION, ACIDIFICATION AND THERMOFICATION OF SUBARCTIC WATER BODIES USING THE EXAMPLE OF BENTHIC COMMUNITIES	

Session 1

NATURAL AND ANTHROPOGENIC DYNAMICS OF TUNDRA AND FOREST ECOSYSTEMS, CONSERVATION OF BIODIVERCITY. PRESENT-DAY APPROACHES AND TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL CONSERVATION	51
Andriyanov V.V., Tsvetkov V.F. THE SCOPE AND RANGE OF THE ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS IN NORTHERN TAIGA FORESTS (USING THE EXAMPLE OF RAKULSK FOREST DISTRICT)	55
Artemkina N.A. EFFECTS OF AGE AND GROWTH CONDITIONS ON CHEMICAL COMPOSITION OF NEEDLES OF <i>JUNIPERUS SIBIRICA</i>	59
Arhegova I.B., Kuznetsova E.G., Panyukov A.N., Likhanova I.A. THEORETICAL AND PRACTICAL CONCEPTUAL BASELINE FOR RATIONAL NATURE MANAGEMENT IN THE NORTH	62
Barkan V.Sh. THE USE OF FOREST MOSSES FOR DYNAMICS ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL POLLUTION BY HEAVY NON-FERROUS METALS	66
Batova Yu.V., Kaznina N.M., Laidinen G.F., Titov A.F. EFFECTS OF TECHNOGENIC HEAVY METAL POLLUTION OF SOIL ON THE STATE OF URBAN VEGETATION (USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF PETROZAVODSK)	68
Belashev B.Z., Bolondinskiy V.K. EFFECTS OF SOIL RADON ON GROWTH ABNORMALITIES OF WEeping BIRCH AND OTHER WOODY PLANTS	72
Berlina N.G., Isaeva L.G., Zanuzdaeva N.V. FRUITAGE AND DEVELOPMENT DYNAMICS OF <i>RUBUS CHAMAEMORUS</i> L. IN LAPLAND STATE BIOSPHERE RESERVE (THE MURMNASK REGION)	76
Bobkova K.S. RESERVES AND DYNAMICS OF ORGANIC CARBON IN FOREST ECOSYSTEMS OF THE EUROPEAN NORTH	78
Bobretsov A.V., Petrov A.N., Bykhovets N.M. ABUNDANCE CHANGES OF RED-BACKED VOLES IN PIEDMONT TAIGA OF THE NORTHERN URALS: LINKS WITH CLIMATE AND HABITAT	82
Bolondinskiy V.K. STUDIES OF PHOTOSYNTHESIS DAYLIGHT DEPENDENCE	

OF LEAVES OF KARELIAN BIRCH ON THE PLOTS WITH DIFFERENT SOIL FERTILITY	86
Borovichev E.A., Belkina O.A., Davydov D.A., Isaeva L.G., Kozhin M.N., Konstantinova N.A., Kostina V.A., Urbanavichus G.P. PLANTS, FUNGI AND LICHENS IN THE SECOND EDITION OF THE RED BOOK OF THE MURMANSK REGION	91
Buyanov I.Yu., Kochkarev A.P., Kochkarev P.V. PROMISING METHODS OF ANIMAL MONITORING IN CENTRAL SIBERIAN RESERVE	95
Vasiljeva N.P. POSSIBILITIES AND LIMITATIONS FOR MONITORING OF FOREST COMMUNITIES UNDER CONDITIONS OF ATMOSPHERIC POLLUTION OF THE KOLA NORTH.....	100
Vinogradova Yu.A., Lapteva E.M., Perminova E.M., Anisimov S.S., Novakovskiy A.B. FUNCTIONAL STATUS OF MICROBIAL COMMUNITIES OF PODZOL SOILS IN UNEVEN-AGED LOGGED AREAS (THE KOMI REPUBLIC, MIDDLE TAIGA)	103
Gorshkov V.V., Stavrova N.I. STRUCTURE OF COENOPOPOPULATIONS OF PUBESCENT BIRCH IN NORTHERN TAIGA PINE-SPRUCE FORESTS WITH VARIOUS DATES OF FIRES	108
Gromtsev A.N. MAIN ENVIRONMENTAL AND ECONOMICAL EFFECTS OF FOREST ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS UNDER CONDITIONS OF NORTH-WESTERN TAIGA ZONE OF RUSSIA	112
Domracheva L.I., Kondakova L.V., Trefilova L.V., Fokina A.I. CYANOBACTERIA IN SOIL BIOMONITORING IN VARIOUS ECOSYSTEMS	116
Drugova T.P., Kostina V.A. RARE SPECIES OF VASCULAR PLANTS AND MOSSES IN THE FLORA OF CITIES AND SETTLEMENTS OF THE MURMANSK REGION	119
Evdokimova G.A., Mozgova N.P. SELF-RESTORATION OF SOILS IN INDUSTRIAL ZONES OF THE MURMANSK REGION AFTER A DECREASE OF TECHNOGENIC LOAD	123
Elkina G.Ya., Lapteva E.M. RESERVES OF MICRO-ELEMENTS IN DWARF SHRUB – LICHEN – MOSS TUNDRA	127
Ershov V.V., Lukina N.V. LONG-TERM DYNAMICS AND SPATIAL VARIATION OF POLLUTANT COMPOSITION IN ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS IN CONIFEROUS WOODS OF THE KOLA PENINSULA	130
Zhangurov E.V., Dubrovskiy Yu.A., Degteva S.V. MORPHOLOGICAL-GENETICAL PROPERTIES OF SOILS OF MOUNTAIN BIRCH OPEN WOODS IN PECHORO-ILYCHSKIY RESERVE	133
Zaitsev A.I. MORFOLOGO-ANATOMICAL PECULIARITIES OF NEEDLE OF <i>JUNIPERUS COMMUNIS</i> L. UNDER VARIOUS ENVIRONMENTAL AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS	135
Zenkova I.V., Melekhina E.N. ORIBATIDA OF THE Khibiny Mountain Massif	141
Zmitrovich I.V., Malysheva V.F., Kosolapov D.A., Bolshakov S.Yu., Ezhov O.N. RARE BOREAL SPECIES <i>POLYPORUS CHOSENIAE</i> (BASIDIOMYCOTA,	144

POLYPORALES): NEW DATA ON DISTRIBUTION AND TAXONOMY	149
Isaeva L.G. HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN EDIBLE MUSHROOMS IN THE IMPACT AREA OF THE SEVERONICKEL SMELTER.....	151
Karpechko A.Yu., Neronova Ya.A. MORPHOLOGICAL CHANGES OF SPRUCE MYCORRHIZAE IN THE FOREST STANDS SUBJECTED TO SELECTION CUTTINGS	155
Kataev G.D. MONITORING OF FAUNA OF SMALL MAMMALS <i>MICROMAMMALIA</i> ON THE KOLA PENINSULA (LAPLAND RESERVE)	159
Kashulina G.M., Kubrak A.N. PRESENT-DAY DYNAMICS OF SOIL ACIDIC STATUS INDICES IN THE MPACT AREA OF SEVERONIKEL SMELTER	163
Kovaleva V.A., Habibullina F.M., Kuznetsova E.G. MICROBIOTA OF TUNDRA SOILS IN THE AREAS OF COAL MINING	167
Konakova T.N., Kolesnikova A.A. COMPOSITION AND ABUNDANCE OF SOME GROUPS OF LARGE SOIL INVERTEBRATES IN CONIFEROUS FORESTS OF THE TAUGA ZONE IN THE KOMI REPUBLIC	171
Kornejkova M.V., Lebedeva E.V. SLOWLY AND RAPIDLY GROWING SOIL FUNGI IN SOILS OF THE KOLA PENINSULA	174
Korolev A.N., Shadrin D.M., Pylina Ya.I., Poroshin E.A., Bobretsov A.V., Petrov A.N., Bykhovets N.M. POLYMORPHISM OF THE GENE <i>CYT B MT</i> OF COMMON SHREW DNA IN THE TAIGA-TUNDRTA ECOTONE OF THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA	177
Kochkarev P.V., Kochkarev A.P. COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROELEMENT CONSUMPTION BY PHYTOVOROUS PARTICIPANTS OF THE TUNDRA BIOTA ON TAIMYR WINTER PASTURES AFFECTED BY NORILSK MINING AND METALLURGICAL COMPANY	178
Kuznetsov M.A. CARBON PRODUCTION IN INDIGENOUS SPRUCE PHYTOCOENOSES ON BOG-PODZOL SOILS OF MIDDLE TAIGA	180
Kuznetsov M.A., Osipov A.F. DESTRUCTIVE PART OF CARBON CYCLE IN CONIFEROUS BOGGED ECOSYSTEMS OF MIDDLE TAIGA.....	184
Lebedeva E.V., Bogomolova E.V., Kirtsideli I.Yu. AEROMYCOTA IN THE BOTANICAL GARDEN AND GREENHOUSES OF THE KOMAROV BOTANICAL GARDEN RAS....	188
Litinskiy P.Yu. BIOGEOMATICS OF THE BOREAL ZONE: NECESSITY, POSSIBILITY, METHODOLOGY AND PROSPECTS	192
Likhanova I.A., Archegova I.B. DEVELOPMENT OF THE IDEA OF BIOLOGICAL RECUltIVATION OF DISTURBED SOILS IN THE NORTH OF THE KOMI REPUBLIC	196
Lyanguzova I.V. ANALYSIS OF HEAVY METAL MIGRATIONS IN THE SOIL-PLANT SYSTEM UNDER CONDITIONS OF FIELD EXPERIMENT.....	202
Makarova O.A., Polikarpova N.V. SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF THE PECHENGA DISTRICT OF THE MURMANSK REGION: THE EXISTING NETWORK AND OUTLOOKS FOR EXPANSION.....	205
Malitskiy S.V., Rostovtseva E.L. MONITORING OF A SEASONAL-THAWED LAYER OF	

PERMAFROST AT UMBOZERO CALM PLOT.....	209
Maslova N.A., Andriyanov V.V. ON THE STUDY OF SILVICULTURAL-LANDSCAPE ORGANIZATION OF FOREST LANDS IN SIYSKIY PARKLAND.....	213
Mikhailova A.G., Khvostova A.V. OUTLOOKS FOR DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL TOURISM AS A FORM OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION (USING THE EXAMPLE OF THE PINEZHSKIY DISTRICT OF THE ARKHSNGEKS REGION).....	217
Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V. STATE ASSESSMENT OF FOREST ECOSYSTEMS SUBJECTED TO EMISSIONS FROM ALIMINIUM PLANTS.....	221
Molchanov A.G., Molchanova T.G. CO₂ EMISSIONS FROM SOIL IN A BOGGED PINE FOREST UNDER VARIOUS LEVELS OF SOIL-GROUNDWATERS.....	
Muchnik E.E., Petrova O.V. UP-TO-DATE DATA ON NATURAL ZONING: AWARE-NEED.....	