

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 2

**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 2.

– Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2014. – 264 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 2

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 2.

– Apatity: Publ.office of the Kola Science Center RAS, 2014. – 264 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

СЕКЦИЯ 1

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

Мязин В.А., Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П.

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

ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Продуцирование углекислого газа в почве осуществляется в основном в результате деятельности почвенных микроорганизмов, поэтому выделение CO_2 может служить характеристикой интенсивности протекающих биологических процессов, а также индикатором состояния почвенной биоты.

В рамках настоящей работы проводились исследования эмиссии CO_2 почвой в условиях влияния алюминиевого производства, а также при загрязнении нефтепродуктами (НП).

Обзор литературы, касающейся данной проблемы, показал, что загрязнение почвы нефтью и НП до определенной концентрации приводит к увеличению эмиссии CO_2 , в то время как превышение определенного критического уровня содержания НП в почве влечет за собой снижение эмиссии углекислого газа.

Так, в работе, проведенной на территории нефтяных месторождений Западного и Южного Казахстана, наибольшее выделение CO_2 из почвы наблюдалось при загрязнении нефтью в количестве 1.5%. В дальнейшем по мере увеличения дозы нефти «дыхание» почвы снижалось (Ибрагимова, 2009). Лабораторные исследования с дизельным топливом (ДТ) показали схожие результаты: при концентрации ДТ в почве 2% произошел рост интенсивности эмиссии CO_2 за счет увеличения содержания органического углерода. Увеличение содержания ДТ до 5% привело к снижению интенсивности выделения CO_2 , но в то же время оно оставалось на достаточно высоком уровне по отношению к незагрязненной почве (Денисова и др., 2011). Высокомолекулярные углеводороды ДТ способны увеличивать микробную биомассу, активность ферментов и интенсивность дыхания микроорганизмов, в то время как бензин, содержащий большее количество легких углеводородов (C_9 и меньше), приводил к снижению данных показателей (Завгородняя, Дроздова, 2011). Загрязнение выщелоченного чернозёма на территории Татарстана керосином привело к росту отношения базального «дыхания» загрязненной и незагрязненной почвы, что говорит об увеличении доступности органического вещества для почвенных микроорганизмов (Гафарова, Зарипова, 2005).

В результате деятельности предприятия по производству алюминия одним из основных загрязнителей, поступающих в окружающую среду, являются фторсодержащие соединения. Поступление фтора в почву происходит в основном за счет атмосферных выбросов предприятий.

Показано, что фторсодержащие соединения могут оказывать ингибирующее влияние на почвенные микроорганизмы (Евдокимова и др., 2005). При содержании фтора в почве более 1 г/кг происходит снижение численности микроорганизмов и активности таких ферментов как уреазы, фосфатазы и дегидрогеназы, а, следовательно, и снижение эмиссии CO_2 . В районе действия Братского алюминиевого завода интенсивность дыхания почвы несколько снижается в радиусе 8 км и постепенно возрастает к радиусу 20 км (Шихранов, 2004). Ингибирование активности почвенных

микроорганизмов приводит к торможению процессов разложения и росту содержания органического вещества в верхнем слое почвы вблизи алюминиевого завода (Танделов, 2012).

Исследования, проведенные в зоне влияния металлургического комбината «Североникель» КГМК, показали, что при воздействии атмосферного загрязнения интенсивность эмиссии CO_2 снижается в 1.8-9 раз в зависимости от расстояния от источника загрязнения (Кадулин, Копчик, 2013).

Объекты и методы. Исследования на нефтезагрязненной почве проводились в модельных опытах на стационарных площадках на территории Полярной опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. Данная территория расположена в 2.5 км юго-западнее г. Апатиты Мурманской области ($67^\circ 32' 54.8''$ с.ш., $33^\circ 22' 2.09''$ в.д., 130 м н.у.м.). Почва на участке – агрозём Al-Fe-гумусовый на песчаных озёрно-ледниковых отложениях. Пахотный горизонт 0-20 см.

Также определение эмиссии CO_2 проводили на участке, загрязненном НП 15 лет назад, расположенном на горе Каскама в Печенгском районе Мурманской области ($69^\circ 16' 42.9''$ с.ш., $29^\circ 28' 49.7''$ в.д., 350 м н.у.м.). Почвы на вершине и привершинных поверхностях маломощные, деградированные. В условиях отсутствия растений, способных удерживать субстрат, происходит вынос почвенного органического вещества и оголяются горные породы. Исходные почвы, не подверженные глубокой деградации, представлены подбурами и горными тундровыми примитивными щебнистыми почвами.

Участки исследования эмиссии CO_2 в условиях аэротехногенного загрязнения располагались в зоне влияния Кандалакшского алюминиевого завода (КАЗ): на север по градиенту загрязнения на расстоянии 0.5, 5, 10 и 20 км от источника выбросов ($67^\circ 11' 40.69''$ с.ш., $32^\circ 25' 44.12''$ в.д.). Почвы в районе исследования – подзолы иллювиально-мало гумусовые (железистые).

Определение массовой доли НП в почве проводили методом ИК-спектроскопии согласно ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 на анализаторе АН-2 (Методика выполнения..., 1998). Для анализа брали почвенные образцы из верхнего слоя 0-10 см.

Определение содержания валового и водорастворимого фтора проводили ионоселективным методом (Методика определения..., 1983). Для анализа брали образцы органогенного горизонта.

Эмиссию углекислого газа определяли полевым камерно-статическим методом (Определение интенсивности..., 1984).

Результаты и обсуждения. Интенсивность эмиссии CO_2 при загрязнении почвы НП. Влияние загрязнения почвы НП на эмиссию CO_2 исследовали в серии полевых модельных экспериментов с внесением определенного количества различных нефтепродуктов.

В первом опыте в качестве загрязнителя использовали смесь НП, состоящую из ДТ марки Л-0.2-62 (ГОСТ 305-82) и топочного мазута марки 100 (ГОСТ 10585-99) в соотношении 1.5:1. Количество НП, внесенных в почву – 10 л/м^2 . Интенсивность эмиссии CO_2 определяли в течение вегетационного периода с мая по сентябрь.

Интенсивность эмиссии CO_2 в чистой почве в течение вегетационного периода изменялась от 0.06 до $0.39 \text{ мг } \text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час и зависела от температуры и влажности почвы. В результате проведенного эксперимента было установлено, что через 2 сут после загрязнения почвы интенсивность эмиссии CO_2 незначительно снижалась по сравнению с незагрязненной почвой (рис. 1). Но уже через 10 сут выделение углекислого газа увеличивалось и оставалось на высоком уровне, по крайней мере, в течение месяца после загрязнения. Через 3 месяца интенсивность эмиссии CO_2 в загрязненной почве снижалась, но все еще превышала значения в незагрязненной почве в 1.2 раза.

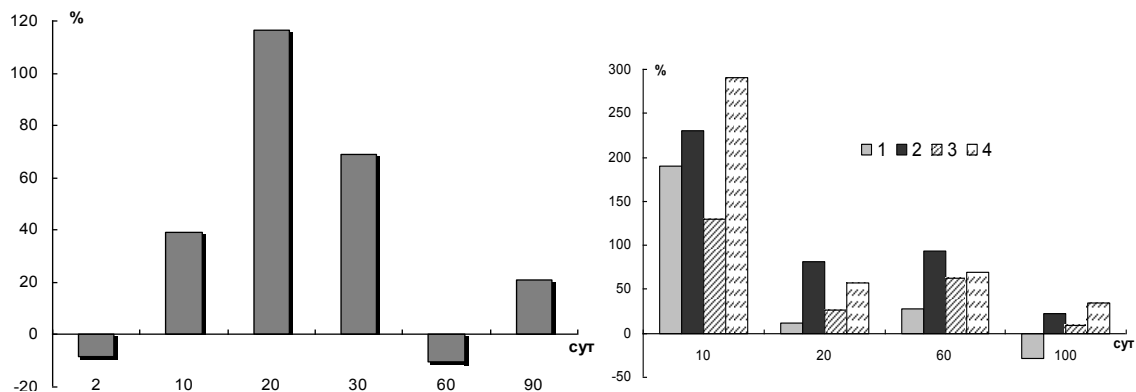


Рис. 1. Интенсивность эмиссии CO_2 почвой, загрязненной НП (% от незагрязненной почвы) Рис. 2. Интенсивность эмиссии CO_2 почвой, загрязненной НП (% от незагрязненной почвы); 1 – ДТ 1.4 л/м², 2 – ДТ 14 л/м², 3 – мазут 1.3 л/м², 4 – мазут 7.5 л/м²

Концентрация НП в почве после загрязнения составляла 55.9 г/кг, а через 3 месяца снизилась до 18.5 г/кг, причем наибольшую скорость снижения наблюдали в первые 2 суток после загрязнения. Таким образом, при содержании НП в почве в количестве 5% не произошло достоверного изменения интенсивности эмиссии CO_2 . При снижении концентрации НП в верхнем слое почвы до 2.7% наблюдали рост эмиссии в 1.4-2.2 раза по сравнению с контрольным значением.

Во втором модельном опыте в качестве загрязнителя использовали ДТ в количестве 1.4 и 14 л/м² и мазут топочный в количестве 1.3 и 7.5 л/м². Значения эмиссии CO_2 в чистой почве в период наблюдения изменялись от 0.1 до 0.32 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час. Загрязнение почвы указанными НП, как в низкой, так и в высокой дозе, привело к росту эмиссии углекислого газа (рис. 2). При этом более высокая концентрация НП вызывала более интенсивную эмиссию CO_2 . Наиболее интенсивное относительно незагрязненной почвы выделение CO_2 наблюдали через 10 суток после загрязнения. Через 20 суток интенсивность эмиссии снижалась, и в конце вегетационного периода достоверные различия с контрольными показаниями наблюдали только для вариантов с высокой степенью загрязнения (превышение в 1.1-1.3 раза).

Исходная концентрация НП составляла для низкой степени загрязнения ДТ – 5.11 г/кг, для высокой степени загрязнения – 22.51 г/кг, при внесении мазута – 3.26 и 26.48 г/кг соответственно. Таким образом, загрязнение почвы ДТ и мазутом в концентрации от 0.5 до 2.6% стимулировало выделение CO_2 почвой.

Кроме модельных полевых экспериментов проводили исследования интенсивности выделения углекислого газа почвы, загрязненной 15 лет назад в результате аварийного разлива НП. Интенсивность эмиссии CO_2 на участках с ненарушенной почвой составляла 0.25–0.43 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час. Выделение углекислого газа почвой, подверженной загрязнению НП, составляло от 0.03 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час на сильно деградированных участках, лишенных органогенного горизонта, до 0.41 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час на участках с остатками органогенного горизонта. Концентрация НП в грунте и почве составляла от 13.6 до 40.8 г/кг. Таким образом, на участках, лишенных органогенного горизонта – субстрата для развития микроорганизмов, интенсивность эмиссии CO_2 была чрезвычайно низкая. В то же время при наличии органогенного горизонта, хотя и сильно деградированного, эмиссия углекислого газа достоверно не отличалась от контрольных значений.

Так как на нефтезагрязненных участках в модельном опыте и на участке аварийного разлива не было растительного покрова, то основной вклад в эмиссию CO_2 вносили почвенные микроорганизмы, изменение численности которых вызывало изменение интенсивности эмиссии углекислого газа (Мязин, Евдокимова, 2012; Мязин, Фокина, 2013).

Интенсивность эмиссии CO_2 в зоне влияния алюминиевого производства. По мере удаления от источника выбросов – Кандалакшского алюминиевого завода – интенсивность эмиссии CO_2 увеличивалась с 0.24 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час на расстоянии 0.5 км от источника до 0.36 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ в час на расстоянии 20 км. При этом эмиссия CO_2 почвой в 10 и 20 км от КАЗ была достоверно выше, чем данный показатель на расстоянии 0.5 км. Обнаружена сильная отрицательная корреляция между интенсивностью эмиссии CO_2 и валовым содержанием фтора ($r = - 0.90$) и содержанием водорастворимого фтора ($r = - 0.88$) в почве (рис. 3).

А

В

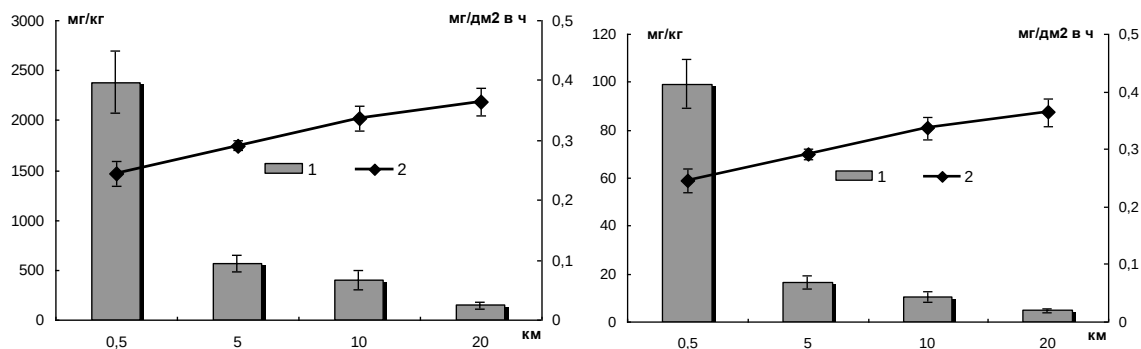


Рис. 3. Валовое содержание фтора (А) и его водорастворимой формы (В) в подстилке (1) и интенсивность эмиссии CO_2 почвой (2) в зоне влияния алюминиевого производства

На расстоянии 20 км от алюминиевого завода содержание водорастворимых соединений фтора не превышает ПДК, а валовое содержание фтора находится в допустимых пределах. Интенсивность эмиссии CO_2 в 20 км от КАЗ близка к контрольным значениям фоновой почвы.

Возможно, снижение эмиссии углекислого газа вблизи источника загрязнения в большей степени является результатом снижения корневого дыхания растений, подверженных влиянию выбросов. В микробном сообществе происходит достоверное уменьшение численности и биомассы микроскопических грибов, в то же время бактериальная составляющая микробиоценоза не уменьшается, а биомасса и длина мицелия актиномицетов увеличивается в 12-16 раз (Евдокимова и др., 2013).

Закключение

Установлено, что в почвенно-климатических условиях Мурманской области интенсивность эмиссии CO_2 почвой может служить показателем ее состояния при загрязнении НП и фтором.

Загрязнение почвы НП в концентрации до 5% вызывает увеличение эмиссии CO_2 в результате роста численности микроорганизмов и их активности. Это согласуется с данными, полученными рядом авторов для других географических районов. По мере снижения количества остаточных НП в почве уменьшается интенсивность эмиссии углекислого газа. При низком уровне загрязнения интенсивность выделения CO_2 возвращается к контрольным значениям к концу вегетационного периода, более высокое количество НП в почве приводит к увеличению эмиссии CO_2 на более продолжительный период.

Загрязнение почвы фтором в результате деятельности алюминиевого завода приводит к уменьшению интенсивности эмиссии CO_2 . Данный эффект наблюдается на расстоянии до 20 км от источника выбросов. По мере удаления от источника содержание фтора в почве снижается, и интенсивность эмиссии углекислого газа достигает фоновых значений для незагрязненных почв.

Литература

1. Гафарова Е.В., Зарипова С.К. Влияние цеолитсодержащей породы и эспарцета на биологические параметры выщелоченного чернозема, загрязненного смесью углеводов // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия, 2005. № 6 (40). С. 146-156.
2. Денисова А.П., Архипова Н.С., Халилова А.Ф., Зарипова С.К., Бреус В.А., Бреус И.П. Влияние загрязнения дизельным топливом на устойчивость культур и биологическую активность выщелоченного чернозема // Агрохимия. 2011. № 6. С. 41-50.
3. Евдокимова Г.А., Зенкова И.В., Мозгова Н.П., Переверзев В.Н. Почва и почвенная биота в условия загрязнения фтором. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН. 2005. – 155 с.
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. Завгородняя Ю.А., Дроздова О.Ю. Влияние гуминовых препаратов на микробиологическую активность почвы, загрязненной углеводородами // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2011» (Электронный ресурс). М.: МАКС Пресс, 2011. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).

6. *Ибрагимова С.Т.* Биологическое диагностирование нефтезагрязненных почв месторождений Казахстана: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16 / Ибрагимова Самал Токмагамбетовна. Алматы, 2009. 25 с.
7. *Кадулин М.С., Копчик Г.Н.* Эмиссия CO₂ почвами в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» в Кольской субарктике // Почвоведение. 2013. №11. С. 1387-1396.
8. Методика определения фтора в объектах внешней среды. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Часть 1. М.: Гидрометеиздат, 1983. 128 с.
9. *Мязин В.А., Евдокимова Г.А.* Биологическая активность почв северных приполярных областей при загрязнении нефтепродуктами // Инженерная экология, 2012. № 1. С. 17-23.
10. *Мязин В.А., Фокина Н.В.* Исследование эффективности различных способов биологической рекультивации почв, загрязненных нефтепродуктами, в климатических условиях Кольского полуострова // Современные проблемы загрязнения почв: сборник материалов IV Межд. научн. конф. М.: Изд. МГУ, 2013. С. 402-406.
11. Определение интенсивности «дыхания» почвы. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Часть 2. М.: Гидрометеиздат, 1984. 61 с.
12. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. 21 с.
13. *Танделов Ю.П.* Фтор в системе почва-растение. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.П. Танделов; под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. Красноярск, 2012. 146 с.
14. *Шихранов О.Г.* Влияние фторидов на древесную растительность в санитарно-защитной зоне Братского алюминиевого завода: автореф. дис. ...канд. с/х. наук: 03.00.16 / Шихранов Олег Геннадьевич. Красноярск, 2004. 17 с.

Назарова Л.Е.

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

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В КАРЕЛИИ В КОНЦЕ XX - НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ

В настоящее время значительный интерес и дискуссии вызывают вопросы, касающиеся происходящих изменений привычных климатических условий. Оценки наблюдаемых изменений климата на региональном уровне особо важны и актуальны, поскольку из-за значительных природно-обусловленных различий климата на территории России изменения климата в ее регионах проявляются крайне неравномерно. Региональные тенденции изменения климата необходимо учитывать в экономической деятельности многих отраслей промышленности, в развитии социальной инфраструктуры. Сельское хозяйство Республики Карелия представлено такими отраслями как растениеводство, птицеводство, животноводство, форелеводство, звероводство. Большое внимание уделяется развитию лесопромышленного комплекса и использованию озер и водохранилищ для рыболовства и рыбоводства. Для успешного развития указанных отраслей большое значение имеет исследование изменений и изменчивости регионального климата. Такие исследования проводятся в Институте водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Климату Карелии посвящено несколько работ, основанных на анализе данных наблюдений до 1980-х годов. Наиболее полная характеристика климата республики дана в работе А.А. Романова (1961). Климатические условия двух городов Карелии подробно рассмотрены в работах «Климат Петрозаводска» (1982) и «Климат Сортавалы» (1988). Карты, характеризующие климат Карелии, приведены в «Атласе Карельской АССР» (1989). В работе Н.Н. Филатова (1997) рассмотрены условия формирования и основные характеристики климата в районе Ладожского и Онежского озер. В сборнике «Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты» (2004) под редакцией Н.Н. Филатова анализируются данные по 2000 год включительно. Изменения климата последних 10-15 лет не нашли своего отражения в приведенных публикациях, а именно в это время отмечаются наиболее значимые изменения в климатических системах различного масштаба.

Исследования динамики температурного режима территории Карелии проводились по данным наблюдений на метеорологических станциях (МС) Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенных на территории

Республики, за период с 1950 по 2011 г. Анализировались средние годовые, месячные и суточные значения температуры воздуха и почвы, а так же были использованы данные наблюдений за атмосферным давлением на уровне станций. Под климатической нормой понималось среднее многолетнее значение за 1961-1990 гг. Полученные ряды, в зависимости от задач исследования, подвергались статистической обработке.

В течение XX и первого десятилетия XXI веков в целом отмечается положительная тенденция изменения средней годовой температуры воздуха по всей территории Карелии. В то же время внутривековой ход среднегодовой температуры воздуха не является монотонно возрастающим. Наиболее наглядно это можно увидеть, если многолетние ряды данных о средней годовой температуре воздуха представить в виде отклонений (аномалий) от климатической нормы, рассчитанной за 1961-1990 гг. Рост температуры с начала века к 1950-м годам сменился относительным похолоданием, на смену которого в 1980-е годы пришла новая волна потепления. Начиная с 1989 года, значения средней годовой температуры воздуха превышали климатическую норму практически во все годы (рис.1). Данная тенденция отмечена для всей территории Карелии (Назарова, 2008, 2012).

Обращает на себя внимание тот факт, что хотя все аномалии последних лет наблюдений положительны, дальнейший рост средней годовой температуры воздуха не отмечается. Данные тенденции описаны в работе Н.В. Груза и Э.Я. Раньковой (2012) для глобальных изменений температуры воздуха: «хотя десятилетие 2001-2010 гг. в целом остается самым теплым за весь период инструментальных наблюдений, внутри него монотонного потепления не наблюдается» (стр. 27).

При сравнении климатических норм средней годовой температуры воздуха в Карелии за два стандартных климатических периода 1931-1960 и 1961-1990 гг. и средних значений за 1991-2011 гг. для различных метеорологических станций республики были сделаны следующие выводы. Изменение климатических норм в течение двух климатических периодов не происходило совсем или было незначимым ($0.1-0.2^{\circ}\text{C}$), в то время как в конце XX - начале XXI веков средние многолетние значения годовой температуры воздуха превышают климатические нормы на $0.9-1.2^{\circ}\text{C}$.

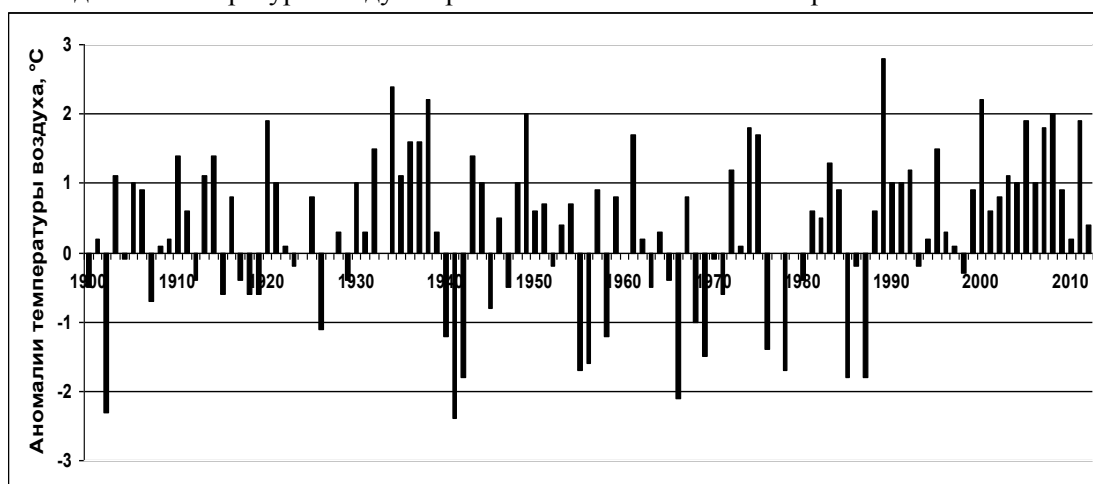


Рис. 1. Отклонения средней годовой температуры воздуха от климатической нормы (1961-1990 гг.).
МС Петрозаводск

При анализе колебаний температуры воздуха по месяцам следует отметить наибольшее значимое потепление, характерное для марта, по всей территории Карелии ($+0.5 \dots +0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет). Также значительно повышается температура воздуха зимних месяцев (в январе от $+0.3$ в северных районах до $+0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет в южных районах Карелии; в феврале $0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет по всей территории республики).

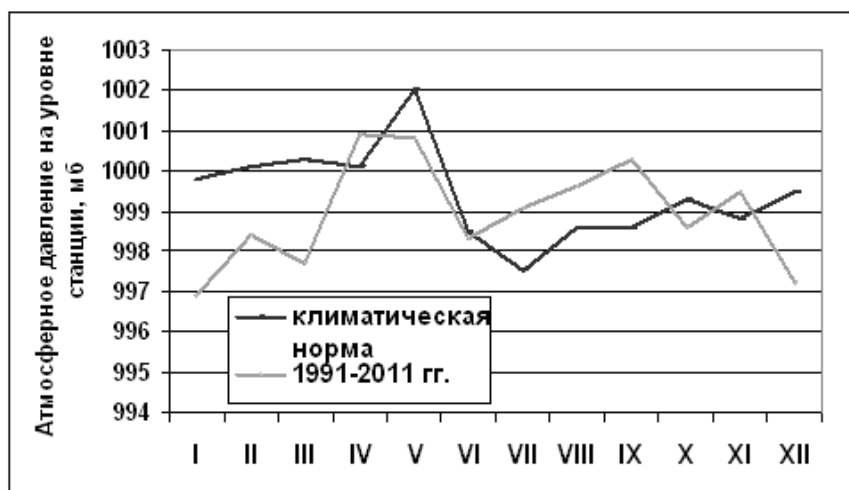


Рис. 2. Атмосферное давление на уровне станции: климатическая норма и среднее за 1991-2011 гг., мб, МС Петрозаводск

Причины зимнего потепления можно выявить, если обратиться к данным наблюдений за атмосферным давлением. Именно в зимние месяцы наблюдается понижение атмосферного давления относительно климатической нормы (рис. 2), что происходит в условиях увеличения повторяемости циклонической погоды. Циклоны, сформировавшиеся над Атлантикой, приносили влажные и теплые воздушные массы, вызывающие частые оттепели. Если обратиться к данным о числе дней без оттепели (за день без оттепели считали день, когда в течение всех суток температура воздуха по показаниям максимального термометра не поднималась выше 0°C), то можно увидеть, что на всей территории Карелии число морозных дней действительно сокращается. Оттепели наблюдаются чаще на 15-20 дней в течение зимы, зимние сезоны становятся более неустойчивыми по температурному режиму, что приводит к повышению средних месячных температур воздуха зимних месяцев.

Значительное повышение температуры воздуха в марте приводит к смещению дат наступления сезонов года. Так дата устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C в сторону повышения смещена примерно на 5-7 дней на более ранние сроки. Наступление летнего сезона (в Карелии это устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 10°C) происходит раньше многолетних сроков на 2-5 дней, заканчивается же летний сезон позже примерно на неделю. Дата перехода через 0°C в сторону понижения отмечается позже на 7-10 дней. В результате этого увеличена продолжительность летнего сезона и теплого периода года, число дней со средней суточной температурой воздуха выше 5°C и 10°C возросло для всей территории Карелии. В настоящее время можно говорить о первых откликах на такую перестройку температурного режима. Как было установлено в результате проведенных исследований, территория, с необходимой для развития иксодовых клещей теплообеспеченностью за период с 2000 по 2008 гг. значительно расширилась, способствуя тем самым росту численности и расселению *I. Persulcatus*. (Бугмырин и др., 2013). Граница распространения таёжного клеща в Карелии сместилась в северные районы республики.

Повышение температуры воздуха приводит к росту температуры почвы. Анализ данных наблюдений по вытяжным термометрам под естественным покровом на глубинах от 20 до 320 см показал, что в течение последних двух десятков лет годовая температура почвы на различных глубинах до 320 см на территории Карелии превышала климатическую норму. В южных районах республики аномалии составляли $1.0-1.5^{\circ}\text{C}$ (рис. 3), в центральной и северной Карелии – $0.5-1.0^{\circ}\text{C}$.

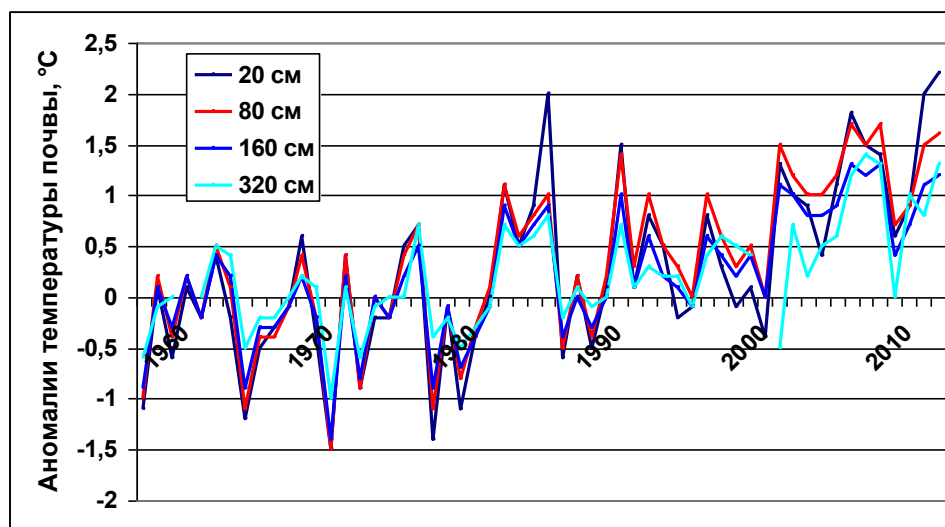


Рис. 3. Отклонения средней годовой температуры почвы на различных глубинах от климатической нормы (1961-1990 гг.), МС Петрозаводск

При этом следует отметить, что по климатической норме в южной Карелии на глубине 20 см с декабря до середины апреля должны наблюдаться отрицательные значения температуры почвы ($-1.5...-2.0^{\circ}\text{C}$), однако в течение 1991-2011 гг. промерзание почвы отмечено не было, в то время как в центральных и северных районах оно сохраняется. На остальных глубинах средние месячные значения температуры в течение года положительны.

Исследование основных характеристик температурного режима Карелии по данным метеорологических наблюдений в течение второй половины XX века и в начале XXI в. позволило сделать следующие выводы. Начиная с 1989 года наблюдается устойчивое превышение нормы средней годовой температуры воздуха на $1-2^{\circ}\text{C}$, хотя дальнейший рост температуры воздуха не наблюдается. Наиболее интенсивное потепление отмечается в зимние месяцы, что обусловлено частым наступлением оттепелей при прохождении циклонов, сформировавшихся над Атлантикой. В результате наблюдаемых изменений в температурном режиме территории даты наступления сезонов года оказались смещены относительно климатической нормы, увеличилась продолжительность летнего и теплого периодов года. Аномалии температуры почвы на глубинах от 20 до 320 см в основном положительны в течение последних 20 лет исследуемого периода времени, причем наблюдаемая изменчивость более выражена в южных районах Карелии.

Литература

1. Атлас Карельской АССР. М., 1989. С. 14-15.
2. Бугмырин С.В., Назарова Л.Е., Беспятова Л.А., Иешко Е.П. К вопросу о северной границе распространения *Ixodes persulcatus* (Acari: Ixodidae) в Карелии / Известия РАН. Серия биологическая, 2013. № 2. С. 240-244.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха Обнинск, ФГБХ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
4. Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 224 с.
5. Климат Петрозаводска / ред. Ц.А. Швер. Л., 1982. 212 с.
6. Климат Сортавалы / ред. Ц.А. Швер и Л.С. Раковой. Л., 1988. 117 с.
7. Назарова Л.Е. Многолетние изменения температуры воздуха в Карелии // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 75-79.
8. Назарова Л.Е. Особенности динамики температурного режима Карелии / География и природные ресурсы. 2012, № 4. С. 170-174.
9. Романов А.А. О климате Карелии. Петрозаводск, 1961. 139 с.
10. Филатов Н.Н. Изменения климата Восточной Финноскандии. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 1997. 147 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ КАРГОПОЛЬСКОЙ СУШИ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В Каргопольском районе, расположенном в юго-западной части Архангельской области, распространены дерново-подзолистые остаточно-карбонатные почвы на карбонатной морене, отличающиеся высоким плодородием. По современной классификации С.В. Горячкин (2010) определяет их как текстурно-метаморфические «грубогумусированные остаточно-карбонатные». Возможно, эти почвы сформировались в процессе освоения и сельскохозяйственного использования целинных подзолистых почв (Афанасьев, Кашанский, 1964). В Каргопольском районе до 70% всех сельскохозяйственных земель занято почвами на карбонатных отложениях (Кашанский, 1977).

Сложная и пространственно неоднородная история формирования, а также современный облик ландшафта «Каргопольской суши» обусловили яркую неоднородность и варьирование морфологии, свойств и почвообразовательных процессов, отличающие почвы от аналогов (подзолистых почв), распространенных в регионе. В них одновременно наблюдаются практически несовместимые свойства: высокая гумусность, высокое значение pH с сильной степенью оподзоленности (Скляров, Шарова, 1970).

Уникальность свойств почв Каргопольской суши требует не только бережного отношения к ним, но и изучения их постагрогенных трансформаций, усилившихся в последние десятилетия.

Изучили поля, вышедшие из сельскохозяйственного оборота 15-45 лет назад. До забрасывания они использовались под пропашные зерновые культуры, после отчуждения несколько лет были под сенокосами или пастбищами. В настоящий момент на всех полях густо разрастается злаково-разнотравный покров, сопровождающийся поселением древесных и кустарниковых пород различной густоты, что связано с площадью поля и стеной окружающего его леса. По общепринятым методикам выявлен видовой состав растительности напочвенного покрова, состав и численность древесных и кустарниковых пород, описаны почвенные разрезы и отобраны образцы на анализ агрохимических свойств почвы. Почвы диагностировали по классификации 1977 г.

Старопашотные земли находятся на стадии залужения. Залежи 15-25 лет имеют высокое разнообразие трав, в основном представленных луговыми видами (ежа сборная, горошек мышиный, нивяник обыкновенный, манжетка клубочковая, подмаренники и др.), но встречаются и рудеральные, такие как осот полевой, дескурения, бедренец камнеломка и другие. Индикаторами антропогенного вмешательства в сообщество является мать-и-мачеха, которая встречается на большинстве пробных площадей (проективное покрытие 10-15%), а также овсюг (проективное покрытие 0.5%). Под пологом подроста начинают появляться зеленые мхи, в основном три вида: плеурозий Шребера встречаемость до 60% под хвойным подростом), ритидиладельф трёхгранный, дикран метловидный (встречаемость 10-40%). На открытых участках единично встречается лишайник пельтигера собачья (встречаемость 20-30%).

На залежах 25-40 лет разнообразие видов представлено луговыми и лесными травами. Встречаемость луговых видов снижается с 33% до 25%, при этом увеличивается примерно на 4% число видов мохово-лишайникового покрова (появляется калиэргон, мний) и на 18% внеярусной группы (маслёнок зернистый), что характерно для формирования лесного сообщества. В состав травостоя включаются лесные травы: розга золотая, хвощ лесной, волчегородник, ожика волосистая, но встречаемость их небольшая (2.4%). Рудеральные и сегетальные виды отсутствуют.

В первые годы забрасывания (15-25 лет) пахотные поля зарастают светолюбивыми подлесочными породами (в среднем ива – 794 шт./га, рябина – 85 шт./га, шиповник – 25 шт./га). Вблизи бывших деревень обнаруживается малина, единично ирга. От стены леса возобновляется можжевельник. Позднее состав подлеска менее разнообразен. Доля ивы снижается (в среднем 60%), а рябина и малина – исчезают. Возрастает число теневыносливых подлесочных видов, таких как можжевельник, появляется черёмуха, которой не было учтено на более молодых залежах. Происходит смена подлесочных пород на виды, характерные для лесных фитоценозов.

Общая численность деревьев и кустарников на залежных полях колеблется в широком диапазоне от 220 шт./га до 17740 шт./га. На 15-25-летних залежах средняя численность составила

3046 шт/га, на 25-40-летних залежах она в среднем в три раза меньше - 1208 шт./га. Низкое число подроста связано с длительным 10-20-летним пастбищным использованием полей после пахоты. Небольшие по площади поля (до 1 га), окруженные по периметру источниками семеношения, полностью зарастают древесными породами. Эффект «маленького поля» приобретают также узкие поля большой площади. На больших по площади полях округлой формы даже через 40 лет древесные породы произрастают ближе к стене леса, а в центре поля встречаются единичные экземпляры.

С возрастом залежеобразования при постагрогенной сукцессии соотношение «подрост:подлесок» меняется. На залежах 15-25 лет значительная часть древесных видов представлена подлесочными породами (51-80%), тогда как на залежах 25-40 лет, преобладают древесные виды лесобразующих пород (81-90%).

Видовой состав растительности зависит от стены леса, окружающей поле. На залежных участках, где к полю примыкают источники обсеменения сосны, ели, ольхи и другие, появляются насаждения соответствующих пород. В составе подроста, как правило, преобладает ведущая порода древостоя. Несмотря на карбонатность почвообразующих пород, подрост лиственницы на полях встречается единично (4%). Семенники лиственницы сохранились на территории заброшенных урочищ (деревень), примыкающих к полям.

Поля в Каргопольском районе преимущественно зарастают светолюбивой сосной, среднее ее количество в составе подроста от 73% (15-25 лет забрасывания) до 51% (25-40 лет забрасывания). Сосна растет по II-IV классам бонитета, снижению которого способствует длительное хозяйственное использование в период залежеобразования, приводящее к уплотнению почвы.

Поля, заросшие с преобладанием ели встречаются редко. Залежные поля с плодородными влажными почвами, расположенные вблизи ольховых зарослей, быстро зарастают этой породой куртинами или сплошную. Берёза на полях с остаточными карбонатными почвами распространена слабо. Она появляется на тех площадях, где доля породы в составе стены леса составляет не менее 10%. Снижение численности березы может быть связано с сенокошением в первые годы забрасывания полей, ее низкой вегетативной способностью и прекращением роста при повреждении верхушечной почки, а позднее – с наличием травяной ветоши и высоким травостоем, мешающим прорастанию семян.

Несмотря на изменения, происходящие в растительности, на всех полях в почвенном профиле хорошо заметен пахотный горизонт, характерной особенностью которого является ровная граница, появившаяся в результате вспашки и перемешивания. Сформированный за время эксплуатации в сельском хозяйстве пахотный горизонт, в настоящее время представлен тяжелым суглинком, в некоторых случаях средним и легким суглинком.

Уже через 15-20 лет отчуждения почва по всем горизонтам профиля уплотнилась, и имеет типичную величину для подпахотных горизонтов, а иногда отмечается уплотнение до показателей, характерных для иллювиального горизонта нативных почв (1.4-1.7 г/см³). На залежах 25-40 лет плотность сложения сохраняется на уровне этих показателей. Наиболее сильное уплотнение пахотного горизонта вызывает временное использование земель под пастбище. Слеживание почв приводит к снижению общей скважности (29.7-38.0%) и скважности аэрации (3.2-12.8%). Только на отдельных полях с относительно легким гранулометрическим составом эти показатели находятся в пределах оптимума.

Для изучения динамики агрохимических свойств почв пашен за годы постагрогенной сукцессии (табл.) результаты исследований 2012 г. сравнили с данными агрохимического обследования, проведенного САС «Архангельская» в 1992 г. (Агрохимический очерк..., 1996).

Динамика агрохимических показателей почв Каргопольского района
за период постагрогенной сукцессии (1992-2012 гг.)

№ пробной площади	Год последней вспашки поля	Использование между турами обследования / длительность залежи, годы	pH _{KCl}		Содержание, мг/100 г почвы				Содержа- ние гумуса, %	
					P ₂ O ₅		K ₂ O			
			1992	2012	1992	2012	1992	2012	1992	2012
1Аэ	1991	сенокос 5/16	6.6	6.7	12.6	6.8	11.8	5.3	2.1	3.6
2Ти	1992	сенокос 4/16	6.5	6.4	20.0	18.8	13.2	5.9	2.6	2.1
3Во	1980	пастбище 20/12	6.2	5.7	18.1	1.8	15.7	4.5	2.7	2.1

4Ру	1991	сенокос 5/16	6.6	6.6	19.2	5.4	21.5	5.0	2.5	2.1
5Св	1990	сенокос 1/21	6.6	6.6	29.4	4.8	15.6	5.9	2.6	1.3
6Аб	1992	сенокос 4/16	6.5	6.5	13.7	3.0	14.0	4.9	2.2	2.2
7Мп	1970	сенокос 20/22	6.5	4.5	12.7	1.8	17.5	5.9	2.7	2.2
8Ак	1987	сенокос 3/22	6.3	6.7	23.8	6.6	13.6	7.1	2.4	3.0
9Ма	1992	пастбище 4/16	6.7	6.6	25.5	3.2	11.1	5.3	2.1	2.8
10Пп	1992	сенокос 4/16	6.7	6.7	13.5	5.4	14.0	4.7	2.6	3.5

В течение 20-ти лет после отчуждения реакция среды сельскохозяйственных почв сохраняется, а при более длительной залежи происходит закисление старопашотного горизонта почвы, в первую очередь за счет зарастания деревянистой растительности и поступающего в почву грубого опада. Величина обменной кислотности во всех пробных площадях 15-25 лет отчуждения имеет нейтральное значение ($pH_{KCl} = 6.4-6.7$), а в пахотном горизонте ПП 25-40 лет отчуждения значительно колеблется ($pH_{KCl} = 4.9-6.5$). Почвы залежных земель на карбонатных отложениях отличаются высокими показателями почвенного поглощающего комплекса. По емкости катионного обмена пахотного горизонта всем залежным почвам можно дать высокую оценку (41.5-51.6 мг-экв/100 г почвы), характерную для хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв.

Содержание гумуса в изученных залежных почвах составляет 1.29-3.59%, что близко средним значениям для пахотных почв по области (3.10%) и по агроклиматическому району II (2.92%), в котором расположен объект исследования (Агроэкологическая оценка..., 2013). Значительного снижения содержания гумуса на залежных полях не наблюдается. До забрасывания земель содержание гумуса в активно пахотных землях сельскохозяйственного предприятия составляло от 1.4-2.4% на средних и тяжёлых суглинках до 2.4-4% на лёгких суглинках (Агрохимический очерк ..., 1982).

После забрасывания почв и отчуждения их из активного сельскохозяйственного оборота (вспашка, мелиорация) происходит заметное снижение подвижных форм фосфора (до 1.8-18.8 мг/100 г) и, особенно, калия (до 4.5-7.1 мг/100 г). Доступные формы калия теряются в почве уже в течение 15-ти лет после отчуждения.

Таким образом, на дерново-подзолистых остаточных карбонатных почвах в Каргопольском районе Архангельской области наблюдается специфика трансформации залежей. Залежные пахотные земли до 40 лет сохраняют виды, участвующие в севообороте до забрасывания земель. Общая численность и видовое разнообразие древесных пород на залежных полях зависят от многих факторов, но прежде всего это породный состав стены примыкающего леса и наличие обсеменителей, хозяйственное использование полей до их забрасывания, плодородие почв, размер и форма полей. Зарастание снижается из-за длительного использования полей под пастбища – 10-20 лет в период постагрогенной сукцессии. После сенокосов (1-5 лет), происходит зарастание мелколиственными подлесочными видами, распространяющимися быстрее, чем хвойные породы. Поля небольшой площади зарастают полностью уже в первые 15-25 лет после забрасывания.

На старопашотных залежных полях с остаточными карбонатными почвами в Каргопольском районе из хвойных пород преобладает сосна, так как именно эта порода распространена в стенах примыкающего к полям леса. Ель возобновляется хуже и в основном под пологом появившейся сосны, ольхи, подлесочных пород. Лиственница появляется на залежных полях только при наличии обсеменителей, часто в урочищах заброшенных деревень. В то же время на плодородных, влажных заброшенных полях хорошо размножаются за счёт вегетативного и семенного размножения мелколиственные виды - ольха и ива, которые могут мешать возобновлению хозяйственно-ценных хвойных пород.

За период постагрогенной сукцессии высокопродуктивные почвы полей, выведенных из активного сельскохозяйственного оборота 20-45 лет назад, во многом сохраняют свои показатели. В них, не смотря на зарастание лесом, поддерживается благоприятная нейтральная реакция среды и гумусное состояние на уровне 2-3%. Потенциал обменного калия и фосфора может быть легко восстановлен как путем применения соответствующих удобрений, так и повышением микробиологической активности почвы при сельскохозяйственной реабилитации.

Литература

1. Агрохимический очерк о результатах проведённого агрохимического обследования почв совхоза «Каргопольский» Каргопольского района Архангельской области. Архангельск: МСХ РСФСР ВПНО «Россельхозхимия» областного производственного объединения «Архангельсксельхозхимия», 1982. 118 с.

2. Агрохимический очерк о результатах проведенного агрохимического обследования почв совхоза «Каргопольский» Каргопольского района Архангельской области. Архангельск: МСХ России «Ремтехпредхимснаб», 1996. 90 с.
3. Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных угодий Архангельской области: монография / Т.А. Блынская, С.В. Любова, О.Д. Кононов, Е.Н. Наквасина; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 124 с.
4. Афанасьев Г.В., Кашанский А.Д. Известкование кислых почв в Архангельской области. Архангельск: Северо-западное книжное издательство, 1964. 63 с.
5. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
6. Кашанский А.Д. Особенности почвообразования на карбонатной морене в среднетаёжной подзоне Европейского Севера СССР // Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв. М.: ТСХА, 1977. С. 35-50.
7. Скляр Г.А., Шарова А.С. Почвы лесов Европейского Севера. М.: Наука, 1970. 270 с.

Нувано В.Н., Рузанов В.Т.

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,
г. Анадырь
vlad_nuvano@mail.ru, gidrogeoruz@mail.ru*

ПРИРОДНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОЛЕНЕВОДСТВА НА ЧУКОТКЕ

Северный олень - важнейший компонент высокоширотных экосистем. Если посмотреть на геокриологическую карту Евразии, то можно заметить, что там, где есть вечная мерзлота, там живут народы, которые издревле связаны с домашним оленеводством: на западе - саами стран Скандинавии и Мурманской области, на севере - ненцы, ханты, манси, эвенки, якуты и др. народы, южнее - эвенки Китая и народ доха в Монголии, на крайнем Северо-Востоке - чукчи, коряки, эвены (всего в мире 26 оленеводческих народов).

Традиционно к крупнотаданному типу оленеводства относят оленеводов тундровой зоны. У оленеводов тайги всегда были небольшие стада домашних оленей. Поголовье оленей не всегда оставалось неизменным. Это можно связать с биологическими ресурсными циклами, популяционным ритмом, влиянием динамики продуктивности экосистем и другими свойствами природы. На численность домашних оленей влияли и периодические колебания экономической активности самого человека - нововведения, технологии, инвестиции, а также политические решения и т.д.). Тогда как колебания поголовья диких северных оленей (при незначительном опромысливании) зависят в большей степени от природных явлений, в первую очередь от климата (Нувано, 2004).

Формирование климата на Чукотке определяется влиянием двух океанов - Северного Ледовитого и Тихого со сложной атмосферной циркуляцией, а также географической широтой, радиационным балансом, распределением суши и вод, рельефом и высотой местности над уровнем моря (Яньшин, 1992). Прибрежные районы Чукотки, омываемые холодными морями, характеризуются небольшими величинами радиации, так как плотная облачность и частые туманы сокращают продолжительность солнечного сияния. Положительный баланс наблюдается лишь с мая по сентябрь. Минимум наблюдается в декабре, когда в районах, расположенных севернее широты 69°, суммарная радиация близка к 0, а на остальной части территории менее 4 МДж/м².

Что касается атмосферной циркуляции, то все прибрежные районы оказываются в неблагоприятном положении: зимой на них действуют очень холодные континентальные потоки; они ослабляют тепляющее влияние моря. Летом прибрежные районы находятся под воздействием холодных воздушных масс, увеличивающих облачность и повторяемость туманов. Скорость ветра заметно растет с запада на восток. На побережье Берингова пролива среднемесячные скорости ветра зимой превышают 8 м/с, достигая на мысе Наварин 138 м/с. Сочетание ветра, мороза и высокой влажности воздуха создает зимой чрезвычайно большую жесткость погоды, значительно превышающую жесткость погоды полюса холода Северного полушария - Оймякона.

На побережье Чукотского и Берингова морей средние январские температуры колеблются от –15 до –21°C, однако оттепели случаются во все зимние месяцы, что приводит к гололедице, осадкам в виде дождя и мокрого снега.

Крайне неблагоприятные условия содержание оленей на побережье морей зимой вынуждали оленеводов со своими стадами откочевывать в континентальную часть Чукотки. И наоборот, как пишет И.В. Друри, летовья стад более или менее постоянны и привязаны к морю или хребтам, где постоянные ветры и поздно тающие снега создают благоприятные условия летовки в отношении меньшего распространения комара, мошки и оводов. Замечено, что активность лёта кровососущих насекомых происходит при температуре выше 6°. В континентальных же районах Чукотки период со среднесуточной температурой выше 5° занимает 195-115 дней с конца мая до второй половины декады сентября.

В табл. 1 приводятся некоторые климатические данные (Клюкин, 1960; Яньшин, 1992) по метеостанциям, расположенным в основном в традиционных районах выпаса домашних оленей и движения диких.

Таблица 1

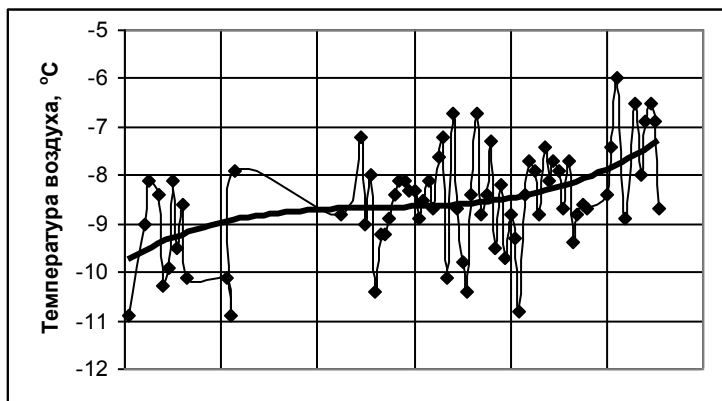
Климатические данные по метеостанциям на Чукотке

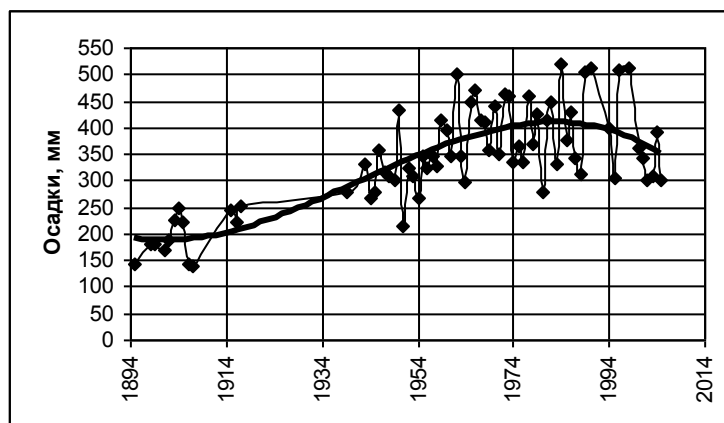
Метеостанция (МС)	Расстояние до моря, км	Температура воздуха, °C					Оттепели за зимний период / гололед, дней	Среднегодовая сумма осадков, мм
		Т ср. год.	Т макс	Т мин	Т макс (XII-III)	Т мин (VII-VIII)		
Анадырь	50 (до лимана 1)	-8,0	28	-51	6	-4	11 / 3	254
Марково	360	-8.8	32	-60	10	-6	6 / 2	337
Эньмувеем	300	-9.8	31	-61	2	-7	7 / 0	267
Еропол	310	-11.0	33	-64	5	-7	5 / 0	363
Островное	150	-12.2	34	58	8	-8	6 / 0	189
Омолон	325	-13.2	31	-63	6	-9	- / 0.5	239
Рау-Чуа	0	-13.9	30	-50	6	-4	- / 6	185
Амгуэма	70	-11.8	29	-53	4	-7	9 / 1	369

В континентальной части Чукотки наиболее длительные метеонаблюдения проводились по МС Марково – с 1895 г. по настоящее время, с перерывом между мировыми войнами. В целом по Марково тренд температуры воздуха и суммы осадков за столетие положительный, однако в последние 30 лет, примерно с 1975 г., чётко прослеживается тенденция резкого потепления (0.0465°C/год) и, напротив, уменьшения осадков (рисунок).

Для г. Анадыря, расположенного на побережье Анадырского лимана, установлено циклическое изменение среднегодовой температуры воздуха за последние 80 лет и «ускоренное» потепление после 1975 г. с темпом 0.0525°C/год (Рузанов, 2000).

В любой из зимних месяцев возможны оттепели, летних – снегопады и даже метели. Особенно часты оттепели на побережье Берингова моря и Чукотского полуострова (Яньшин, 1992). Прогнозируется, что с дальнейшим потеплением могут усилиться неблагоприятные для оленеводства процессы (гололед в зимний период, летняя жара с гнусом и др.).





Среднегодовая температура воздуха и сумма осадков по МС Марково

До XVII в. олени использовались чукчами как транспортное средство (И.С. Вдовин 1965; История Чукотки, 1989). Затем, начиная «со второй половины XVIII века чукчи полностью освоили крупнотабунное оленеводство, которое приобрело у них черты товарной отрасли. В начале XX века, когда на Аляске открывались золотые прииски, туда стали вывозить оленину с Чукотки (Е.Е. Сыроечковский, 1986). Тогда же американские предприниматели начали вывозить и живых оленей, чтобы привить культуру оленеводства на Аляске.

В досоветский период маршруты кочевков оленеводов имели характер «внутренние области – морское побережье». Зимой они укладывались вглубь Чукотки, где меньше метелей, гололедных образований. В лесной части Чукотки они имели возможность запастись лесом – для изготовления шестов для яранг, из березы заготавливали детали для нартов. Летом стада нагуливались на прохладном побережье морей, где менее интенсивен лёт кровососущих насекомых, оводов. Некоторые стада отгонялись в предгорья ближе к снежникам высоких гор (Нувано, 2004).

В Материалах по землеустройству Крайнего Севера (1938) экспедиции Наркомзема 1932 года указано: «Пастбища использовались бессистемно, при маршрутах кочевания в 500-700 км». Оленеводческие хозяйства того времени по современным правовым нормам являлись нарушителями правил землепользования, совершая стихийные захваты земли. Такая практика позволяла оленеводческим хозяйствам маневрировать в зависимости от непрерывно меняющихся погодных условий. Мелкие стада слабых собственников могли спокойно выпастись между стадами крупных стадовладельцев, тем самым обеспечивая равномерный прессинг на пастбища. Несмотря на внешний примитивизм использования пастбищ, тем не менее, по материалам Приполярной переписи 1926-1927 гг., численность оленей в современных границах ЧАО составляла 557 тыс. голов (только учтенных).

При проведении первоначального землеустройства ставилось задачей сократить пути кочевания, приблизив население к культурным и экономическим центрам, отвести пастбищные угодья на расстояние не более 100-150 км от жилья, создав предпосылки перехода кочевых колхозов на оседлый образ жизни. На первом этапе выделились 5 природно-производственных комплексов. Такое районирование еще не было жесткой системой. На стыках границ, где у оленеводов были общие интересы, имелись переходные зоны (Комоедов, 1983).

Следующий этап, это современное административно-хозяйственное деление, которое юридически и фактически исключает возможность нарушения границ землепользования соседствующих хозяйств, даже в тех случаях, когда это вызвано чрезвычайными обстоятельствами. Так, в сильный гололед 1973-1974 гг. в хозяйствах только одного Чукотского района погибло 36,5 тыс. оленей или 62,5% поголовья. (История Чукотки, 1989).

Проблема, связанная с диким оленем, не нова. С древности до начала XX века диких оленей было очень много. Но уже в 1900 г. В.Г. Богораз пишет, что разросшиеся стада чукчей-олeneводоов вытеснили диких оленей, тем самым разрушив охотничье хозяйство эвенов и юкагигов. С 1990-х гг. мы наблюдаем обратную картину. Оленеводство Чукотки, оставшееся без государственной поддержки, приходит в упадок. А поголовье диких оленей резко возросло с 30 тыс. (весь советский период) до 159 тыс. голов. В период 1997-1998 гг. численность обеих популяций сравнялась. Можно предположить, что была просчитана часть дикого стада, которая значительно пополнилась домашними оленями. Практически все оленеводческие хозяйства Билибинского района, в советское

время имевшие до 140 тыс. голов домашнего стада, с середины 1980-х гг. страдают от «дикарей». В настоящее время во всем районе выпасается немногим более 30 тыс. голов. Кроме увода домашних оленей увеличивается кормовая конкуренция. Домашние и дикие северные олени относятся к одному виду, следовательно, имеют общие заболевания.

К зоогенному фактору, который влияет на домашнее оленеводство, можно отнести наличие хищников, особенно волков. Особенно это актуально в настоящее время, когда вслед за диким стадом приходят так называемые «бродячие» волки и остаются у стада домашних оленей, которых значительно легче добыть. Только за 2013 год в МУП СХП «им. Первого Ревкома Чукотки» было уничтожено более 100 волков, в МП СХП «Чаунский» - более 80. А в хозяйствах лесной зоны Билибинского района охота на волка с помощью снегоходов стала практически невозможной из-за глубокого снега и лесистости.

Главным фактором, который повлиял на оленеводство Чукотки и России в целом за последние 80 лет, стали, по нашему мнению, политические решения как местного руководства, так и на уровне государства. Несовершенство советской системы оленеводческого землепользования и непонимание опыта предшествующих поколений оленеводов подтверждается исследованиями А.Н. Пилясова и В.Н. Нувано, которые, сопоставив цифры оленепоголовья Чукотки с общероссийскими данными, отмечают общую закономерность в колебаниях домашнего поголовья (табл. 2).

Таблица 2

Динамика поголовья северного оленя в России и на Чукотке в 1926-2010 гг. (тыс. голов)

Год	1927	1934	1941	1946	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2006	2012
Россия	2195	1435	1850	1750	2100	2350	2467	2500	2250	1200	1200	1200
Чукотка	557	410	420	395	385	450	587	500	485	92	162	178

В 1930-е годы произошло резкое (на 35%) сокращение поголовья из-за форсированной коллективизации. Некоторое восстановление поголовья достигнуто к 1940 г. - как следствие решения о признании перегибов в политике раскулачивания.

В 1950-е гг. наблюдалась неустойчивая динамика поголовья, вызванная эпизоотиями в Коми республике, Западной Сибири и кризисом таежного оленеводств. Начиная с начала 1960-х гг. наблюдается устойчивый рост численности оленей.

В 1969-1971 гг. поголовье домашних оленей на Чукотке достигло максимума – около 600 тыс. голов. Ежегодно совхозы Чукотки забивали до 100 тыс. голов. До начала 1990-х годов оленеводство оставалось стабильным, но уже находилось в состоянии стагнации. С Указом Президента РСФСР №323 от 27.12.1991 г. «О неотложных мерах по осуществлению земельной реформы в РСФСР», который оленеводство ставит на уровень высокорентабельных предприятий и приводит хозяйства в соответствие с Законом РСФСР «О предприятиях и предпринимательской деятельности». Местным органам исполнительной власти было предписано обеспечить контроль за реализацией права членов колхозов и работников совхозов на беспрепятственный выход из них для создания крестьянских (фермерских) хозяйств. Из анализа статистических данных тех лет можно сделать вывод, что фермерские хозяйства оказались не жизнеспособны. Например, совхоз им. XXII партсъезда, имевший до 25 тыс. выходного поголовья, полностью распался на 8 фермерских хозяйств, которые не сохранили ни одной головы.

Выводы. В последние 30 лет, примерно с 1975 г., чётко прослеживается тенденция регионального потепления и, напротив, уменьшения осадков. В любой из зимних месяцев возможны оттепели, летних – снегопады и даже метели. Прогнозируется, что с дальнейшим потеплением могут усилиться неблагоприятные для оленеводства процессы (гололед в зимний период, летняя жара с гнусом и др.).

Институциональные изменения в сельском хозяйстве 1990-х годов привели к ликвидации оленеводческих предприятий, разрушению местной инфраструктуры. В период перехода к рыночным отношениям стихийные процессы «капитализации» традиционного хозяйства привели к упадку и полному распаду много лет функционирующих колхозов и совхозов. Заметное восстановление оленепоголовья, при государственной поддержке региональных властей, произошло в последнее десятилетие, с начала 2000-х гг.

Литература

1. Клюкин Н.К. Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР. Магадан, 1960. 427 с.
2. Нувано В.Н. Традиционные маршруты кочевания оленеводов восточной и центральной Чукотки // Ориентиры развития Берингии в XXI веке. Магадан: ЧФ СВКНИИ ДВО РАН, 2004. (Труды ЧФ СВКНИИ; Вып. 8). С. 180-190.
3. Рузанов В.Т. Многолетние циклы и тренды в криогидрогеосфере Чукотки// Тезисы докладов межд. конф. Пушино: ПОЛТЕКС, 2000. С. 92-93.
4. Яньшин А.В. Гидрометеорологический очерк Чукотского автономного округа, части II, III, IV. Владивосток, 1992. 870 с.

Петров Н.В., Туунен А.В.

*Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
nvpetrov@krc.karelia.ru, tuyunen@krc.karelia.ru*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЛЕСНОГО ПОКРОВА СЕВЕРО-ЗАПАДА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ)

Существование лесных сообществ сопряжено с процессом их непрерывного изменения. Этот процесс может затрагивать как отдельные компоненты сообществ, так и приводить к полному изменению структуры лесного покрова. Подобные тотальные изменения могут быть вызваны как естественными, так и антропогенными факторами. Ведущими факторами естественной динамики являются пожары природного происхождения (возгорание леса от сухих гроз) и массовые ветровалы. Под антропогенной динамикой понимается изменение структуры лесного покрова под воздействием различных антропогенных факторов, ведущим из которых является рубка леса, которая по масштабу воздействия на облик лесов в настоящее время значительно превосходит естественные факторы.

В целом, современная структура лесов несет на себе достаточно выраженный отпечаток хозяйственной деятельности человека. Свою роль здесь сыграла и подсеčno-огневая обработка лесных земель, более или менее массово применявшаяся вплоть до конца XIX века. В период до второй четверти XX века хозяйственная освоенность лесов Карелии была сравнительно неравномерной. В то время были широко распространены выборочные рубки, направленные на заготовку лучших сосновых стволов (Громцев, 2008). Эти рубки в основном были приурочены к дорожной и гидрографической сети. Однако на подавляющей части таежных территорий глубина трансформации лесов с начала антропогенного воздействия определяется промышленными рубками леса, которые были особенно интенсивными в 1950-1970-е гг. в связи с применением сплошных широколесосечных и концентрированных рубок. Последние привели к изменению структуры лесного покрова на уровне региона. Восстановившиеся лесные сообщества развиваются по абсолютно разным сценариям, в зависимости от ландшафтных особенностей территории.

Изучение спонтанной и антропогенной динамики необходимо для прогнозирования будущих изменений структуры лесного покрова, а выявляемые закономерности – учитываться при разработке научно обоснованной системы лесохозяйственных мероприятий и ландшафтно-экологическом планировании территории.

Основой исследований является классификация и карта ландшафтов Республики Карелия, которые построены на зонально-типологической основе (Громцев, 2008). Основной методический подход – сравнительная оценка массивов коренных и производных лесов в сходных ландшафтных условиях. Это позволяет произвести корректный анализ закономерностей антропогенной трансформации структуры таежных лесов. Для изучения были отобраны два типа ландшафта, контрастные по комплексу естественно-географических и экологических параметров: Северотаежный денудационно-тектонический с комплексами ледниковых образований холмисто-грядовый среднезаболоченный с преобладанием сосновых местообитаний и среднетаежный ледниковый холмисто-грядовый среднезаболоченный с преобладанием еловых местообитаний. Эти ландшафты являются одними из наиболее представленных по площади и встречаемости на северо-западе таежной зоны.

Количественная информация о характеристиках и структуре лесного покрова собиралась на ландшафтных профилях. Они представляют собой линейный трансект определенной длины (обычно 2.5-3.5 км), пересекающий все основные элементы рельефа, который закладывается, как правило,

в ядровых частях ландшафта. На профиле выполнялось поведельное описание лесного покрова в соответствии с известными методиками (Сукачев, 1961).

Северотаежный денудационно-тектонический с комплексами ледниковых образований холмисто-грядовый среднезаболоченный ландшафт с преобладанием сосновых местообитаний. Территориально ландшафтный контур, в котором проводились исследования, расположен в центральной части Западно-Карельской возвышенности. Свыше 60% покрытой лесом площади относятся к зеленомошной группе типов леса. Соотношение между черничными и брусничными типами местообитаний широко варьирует в различных местностях в зависимости от конфигурации холмов и гряд, их величины, присутствия разных по площади понижений (Громцев, 2011). По данным государственного учета лесов по состоянию на 01.01.2004 года, на лесной площади доминируют сосновые и сосново-березовые молодняки. Сохранившиеся коренные леса (практически все – сосновые) большей частью имеют послепожарное происхождение. Максимальный возраст отдельных сосен зафиксирован по периферии болот и составляет около 400 лет. Наиболее старовозрастные ельники отмечены в незначительных депрессиях, их возраст примерно равен 300 годам. Основной объем лесозаготовок приходился на продуктивные для условий северотаежной подзоны сосняки брусничные, черничные свежие и черничные влажные, в сумме занимающие 44% площади данного типа ландшафта.

На исследуемой территории заложено три ландшафтных профиля: в массиве коренных лесов, а также производных, сформировавшихся в среднем около 20 и 50 лет назад после сплошной рубки. Результаты исследований позволяют утверждать, что на данной территории происходит успешное естественное восстановление сосновых лесов в любом типе местообитания. Лесовосстановительный процесс протекает по классической схеме, начиная с появления лиственно-сосновых молодняков с преобладанием березы (до возраста около 15-25 лет), затем постепенным формированием чистых и смешанных сосняков (к 45-60 годам). Присутствие березы в составе древостоя в указанном возрасте (45-60 лет) напрямую зависит от эдафических условий, которые в черничном типе местообитания относительно благоприятны для её роста и конкурентоспособности на начальных стадиях сукцессии. В дальнейшем будет происходить формирование монодоминантных сосновых лесов, сходных по своим параметрам с коренными сосняками, прошедшими послепожарный цикл. В условиях данного типа ландшафта сплошные рубки не оказали существенного влияния на биогеоценотическую структуру лесов (см. табл. 1).

Среднетаежный ледниковый холмисто-грядовый среднезаболоченный ландшафт с преобладанием еловых местообитаний. Исследовались несколько территориально разобщенных ландшафтных контуров. Описание коренных лесов проводилось на территории национального парка «Водлозерский» (Пудожский р-н РК), производных лесов – в 25 км к востоку от центральной части Заонежского залива Онежского озера. Для анализа биогеоценотической структуры лесов также выборочно использовались экспериментальные данные лаборатории предыдущих лет. Коренные леса представлены еловыми и сосновыми древостоями в соотношении 4:1. Доминирующей лесной формацией являются ельники черничные, занимающие около 50% покрытых лесом земель. Предельный возраст еловых лесов редко превышает 300-летний рубеж. Данные растительные сообщества находятся на стадии полного распада первого поколения ели. «Процесс частичного распада и обновления происходит в режиме так называемой гп-мозаики или мозаики прогалин» (Разнообразие биоты Карелии..., 2003, с. 59), возникающей после ветровала отдельных деревьев или их групп. Максимальный зафиксированный возраст отдельных деревьев сосны составил 400 лет. На минеральных землях возникновение сосновых лесов было тесно связано с пожарами. В заболоченных местообитаниях, крайне редко затрагиваемых огнем, процесс смены поколений сосны растянут на много столетий (Громцев, 2008).

В условиях данного типа ландшафта сплошные рубки резко изменили состав коренных лесов (см. таблица). Возобновившиеся производные леса представляют собой мозаику лиственных и хвойно-лиственных древостоев различного возраста и состава. Практически повсеместно лесовосстановительный процесс здесь начинается с формирования лиственных молодняков. Участие ели в этих растительных сообществах напрямую зависит от доли сохранившегося подроста при сплошной рубке. Основная часть лесов, зафиксированных на профилях – это березняки и осинники черничные, разнотравные и чернично-разнотравные в возрасте 50-70 лет. Далее они будут развиваться по уже многократно изученному сценарию (Казимиров, 1971), когда по мере отмирания лиственных пород будут формироваться условно одновозрастные ельники с примесью березы (осины). Формирование разновозрастных ельников, по своей структуре сходных с коренными, в естественных условиях должно занять еще несколько столетий.

Биогеоценотическая структура лесов в различных типах
ландшафта до и после антропогенной трансформации (по данным ландшафтных профилей)

Тип леса	БГЦ структура северотаежного «соснового» ландшафта		БГЦ структура среднетаежного «елового» ландшафта	
	до сплошной рубки, %	после сплошной рубки, %	до сплошной рубки, %	после сплошной рубки, %
С. брусничный	5	49	3	-
С. черничный свежий	60	19	17	11
С. черничный влажный	10	15	-	-
С. чернично-сфагновый	3	4	-	-
С. кустарничково-сфагновый	-*	-	6	5
С. осоково-сфагновый	5	-	2	2
Всего сосняков	83	87	28	18
Е. черничный свежий	10	8	40	25
Е. черничный влажный	5	-	7	5
Е. чернично-сфагновый	-	-	6	6
Е. лог (приручейный)	-	3	2	1
Е. травяно-хвощово-сфагновый	-	-	17	8
Е. кустарничково-сфагновый	2	-	-	-
Е. осоково-сфагновый	-	2	-	-
Всего ельников	17	13	72	45
Итого лиственных	-	-	-	37

Примечание: * - на профиле не зафиксированы.

Иной сценарий формирования производных лесов прослеживается при долговременном ведении выборочного хозяйства. Ярким примером тотальной трансформации коренных лесов является крупный березовый лесной массив (около 30 тыс. га), расположенный примерно в 10 км в западном направлении от озера Сямозеро (Суоярвский район РК). Здесь на протяжении длительного времени велась целенаправленная заготовка сосновой, а затем и еловой древесины. В результате центральная часть массива сформирована исключительно из лиственных древостоев, без какого-либо участия ели в составе. В данном случае естественное восстановление существовавших здесь ельников может растянуться на неопределенный период.

Изучению тенденций антропогенной динамики посвящено весьма значительное количество научных трудов. Данное исследование было нацелено на выявление закономерностей смены лесного покрова на уровне сравнительно крупных природно-территориальных комплексов (в среднем 100 кв.км. для условий Карелии), имеющих сходное геологическое строение, общий преобладающий тип рельефа и степень заболоченности. Такой подход позволяет осуществлять планирование лесопользования и прогнозирование изменений качественных показателей лесов не в системе административно-территориальных единиц, а в пределах объектов, имеющих устойчивые естественные природные границы, сохраняющиеся неопределенно долгое время. Полученные результаты могут быть успешно экстраполированы на другие аналогичные ландшафтные контуры в пределах северо-запада таежной зоны России при условии сходного антропогенного воздействия.

Литература

1. Громцев А.Н. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 250 с.
2. Громцев А.Н. и др. Структура и динамика коренных и производных лесов центральной части Западно-Карельской возвышенности // Труды КарНЦ РАН. No 2. Сер. Биогеография. Вып. 12. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 119-126.
3. Казимиров Н.И. Ельники Карелии. Ленинград: изд-во «Наука», 1971. 140 с.
4. Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 262 с.
5. Сукачёв В.Н. Общие принципы и программа изучения типов леса // Сукачёв В. Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: изд-во АН СССР, 1961. С. 9-75.

Подола Е.С., Василевская Н.В.

Мурманский государственный гуманитарный университет, г. Мурманск
e.s.podola@gmail.com; n.v.vasilevskaya@gmail.com

РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ *SORBUS GORODKOVII* POJARK В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ПОПУЛЯЦИИ Г. СЕВЕРОМОРСКА)

Динамика ростовых процессов и вегетативного развития растений Арктики, их взаимосвязь с климатическими изменениями и техногенным воздействием в условиях высоких широт на сегодняшний день изучены достаточно полно, в то время как репродуктивное развитие сосудистых растений исследовано фрагментарно. Одним из перспективных направлений сохранения биологического разнообразия растений является исследование их репродуктивного потенциала в условиях промышленных эмиссий и городской среды.

Sorbus gorodkovii Pojark (рябина Городкова) является эндемиком Фенноскандии и занесена в Красную книгу Мурманской области (Красная книга., 2003), при этом повсеместно распространена в городских насаждениях Кольского полуострова (Василевская, Макарова, 2006; Гонтарь и др., 2010). В естественных условиях встречается в тундровой и лесной зонах, горно-лесном и горно-тундровом поясах Фенноскандии. На территории России произрастает в заболоченных лесах и долинах тундровых рек Мурманской области (Пояркова, 1959). Репродуктивная биология рябины Городкова в Мурманской области не изучена, исследования *S. gorodkovii* проводилось лишь в плане ее распространения в городах, в частности г. Мурманске (Василевская, Макарова, 2006) и области, а так же правил ее посадки и ухода (Гонтарь и др., 2010).

Цель работы: изучение репродуктивной биологии *Sorbus gorodkovii* на территории ЗАТО Североморск.

Город Североморск расположен на Кольском полуострове, в 25 км к северо-востоку от Мурманска, на скалистом восточном побережье Кольского залива Баренцева моря, на берегах губ Варламова и Ваенга. В ЗАТО Североморск наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят предприятия «Североморские тепловые сети» и 50 небольших котельных Министерства обороны, работающих на мазуте и угле, автомобильный транспорт. Неучтенными остаются выбросы от кораблей Северного флота и военной авиации. Индекс загрязнения атмосферы в ЗАТО г. Североморск ниже, чем в среднем по стране, и равен 3. Низкий потенциал загрязнения атмосферы определяет перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушный бассейн г. Североморска, и создает благоприятные условия для рассеивания загрязняющих веществ (Экологическая безопасность..., 2006).

В полевой сезон 2012 г. в г. Североморске заложены пробные площадки для изучения репродуктивной биологии *S. gorodkovii*: контрольная – загородный парк г. Североморска; «Причал» – напротив памятника «Торпедный катер ТКА 12»; «Котельная» – напротив 46 –й теплоцентрали; «Комсомольская, д. 20»; «Комсомольская, д. 4». Исследования проводились в полевой сезон 2013 г. Для анализа на фертильность и палиноморфологического анализа на каждой площадке были собраны пробы пыльцы рябины. Анализ на фертильность пыльцы выполнен на свежем материале, окраска производилась йодным методом (Паушева, 1988). Пробы исследовались под световым микроскопом при увеличении 20х20, по 300 пыльцевых зерен в каждом образце. Подсчитывалось количество стерильной и фертильной пыльцы. Фертильными пыльцевыми зернами считались полностью окрашенные в темно коричневый цвет, стерильными – не окрашенные или окрашенные не полностью. При палиноморфологическом анализе *S. gorodkovii* окрашивание проводилась ацетокарминовым методом (Паушева, 1988; Ерохина, 2011). В каждом поле зрения микроскопа подсчитывали количество нормальных пыльцевых зерен, без содержимого и тератоморфных. Тератоморфными считались частично окрашенные пыльцевые зерна или со значительными нарушениями морфологии. Также исследованы такие репродуктивные показатели, как число плодов в кистях и число семян в плодах рябины Городкова.

В результате проведенных исследований получены следующие данные. В протестированных пробах выявлена достаточно низкая фертильность пыльцы рябины, диапазон варьирования от 56 до 68% (табл. 1). Содержание стерильной пыльцы высокое, от 32 до 44%. Наибольшая доля стерильных пыльцевых зерен наблюдается в образцах с площадок «Комсомольская, д. 20» (44%) и «Комсомольская, д. 4» (38%).

Таблица 1

Фертильность пыльцы *Sorbus gorodkovii* в г. Североморске в 2013 г. (в %)

	Фертильные пыльцевые зерна	Стерильные пыльцевые зерна
Контроль	66	34
Пирс	68	32
Котельная	67	33
Комсомольская, д. 20	56	44
Комсомольская, д. 4	62	38

Данные по палинологическому анализу приведены в таблице 2. Содержание нормальных пыльцевых зерен в исследованных образцах различается незначительно и составляет от 60 до 64%. Данный показатель несколько выше на площадках «Контроль», «Пирс» и «Котельная». Диапазон варьирования в пробах пыльцевых зерен без содержимого более широкий, от 15 до 23%. Наибольшая доля такой пыльцы выявлена в образцах с площадок «Пирс» и «Котельная». В протестированных пробах значительно различается содержание аномальной пыльцы, от 14 до 24%. Тератоморфных пыльцевых зерен рябины больше всего на площадках «Комсомольская, д. 20» и «Комсомольская, д. 4». Среди тератов встречались такие морфологические нарушения как: изменение формы пыльцевого зерна, разрыв экзины, а так же половинчатая окраска пыльцевых зерен, что свидетельствует о неравномерности распределения крахмала в ядре.

Таблица 2

Нормальная и аномальная пыльца *Sorbus gorodkovii* в г. Североморске в 2013 г. (в %)

	Нормальные пыльцевые зерна	Пыльцевые зерна без содержимого	Тератоморфные пыльцевые зерна
Контроль	64	20	16
Пирс	63	23	14
Котельная	62	21	17
Комсомольская д. 20	61	15	24
Комсомольская д. 4	60	18	22

При анализе данных по репродуктивным показателям (табл. 3) получено, что количество плодов рябины в кистях на всех пробных площадках ниже, чем в контроле. Средние значения числа семян в плодах *S. gorodkovii* варьируют в диапазоне от 1,4 до 2, 75 и максимально на площадке «Комсомольская, д. 20». В ходе исследований выявлено, что часть плодов не имеет семян, что является свидетельством партенокарпии, когда завязывание плодов происходит без оплодотворения. Содержание бессемянных плодов значительно различается по площадкам, от 15 до 33%.

Проведенные исследования по фертильности пыльцы, ее морфологической изменчивости и другим репродуктивным показателям в популяции рябины Городкова ЗАТО Североморск позволяют сделать следующее заключение. Фертильность пыльцы рябины в протестированных пробах достаточно низкая. Показатель фертильности пыльцы свидетельствует о ее жизнеспособности и способности к оплодотворению, является одним из важнейших признаков, характеризующих состояние окружающей среды. Химическое загрязнение приводит к увеличению гетерогенности ценопопуляции и появлению в ней значительной доли растений с низкой фертильностью пыльцы (Северюхина, 2004). Снижение фертильности пыльцевых зерен на 30% выявлено О.В. Ерещенко (2012) у *Betula pendula* Roth в условиях городской среды г. Барнаула. В образцах с территории г. Североморска выявлено высокое содержание стерильной пыльцы рябины. Стерильность пыльцевых зерен может наблюдаться по нескольким причинам: цитоплазматическая мужская стерильность, генетические мутации, химическая кастрация (из-за воздействия различных химических веществ на репродуктивную систему растения) (Паушева, 1988).

Таблица 3

Репродуктивные показатели *Sorbus gorodkovii* Pojark в г. Североморске в 2013 г.

	Количество плодов	Количество семян	Количество плодов без
--	-------------------	------------------	-----------------------

	в кистях, шт.	в плодах, шт.	семена, %
Контроль	95.72±19.44	1.93±1.36	16
Пирс	81.2±23.95	1.37±1.45	33
Котельная	81.07±21.92	1.83±1.81	28
Комсомольская, д.20	79.47±22.48	2.75±1.77	15
Комсомольская, д. 4	79.73±25.14	1.74±1.67	31

Палиноморфологический анализ позволяет судить об экологическом неблагополучии территории. Растения в условиях загрязнения среды различными поллютантами продуцируют большое количество тератоморфной (уродливой) и стерильной пыльцы. В популяции рябины Городкова г. Североморска выявлено, что содержание нормальной пыльцы низкое и варьирует от 60 до 64%. В изученных образцах высока доля тератоморфных пыльцевых зерен и без содержимого. Это может свидетельствовать как о сильном загрязнении среды города поллютантами различной природы, так и отклонениях, вызванных произрастанием *S. gorodkovii* в экстремальных климатических условиях на северной границе ареала. Чем хуже экологическая обстановка, тем выше процент содержания патологически развитых пыльцевых зерен и наоборот (Дзюба, 2007). Известно, что в условиях загрязнения увеличивается процент аномалий развития пыльцы и наблюдается более широкий их спектр (Елькина и др, 2008; Гайдыш, 2012; Ерещенко, 2012).

Одним из главных показателей жизнеспособности растений в различных условиях произрастания является семенная продуктивность, как составляющая репродуктивного процесса, что в значительной степени и определяет их возобновление, распространение и ценотическую роль (Магомедова, 2013). По данным Н.В. Ковалева (2010) количество плодов в гроздях *Sorbus aucuparia* варьирует независимо от размеров дерева, от 27 до 72. В наших исследованиях число плодов у *S. gorodkovii* значительно выше, от 79 до 95 ягод в кисти. Известно, что морфометрические показатели репродуктивной системы некоторых древесных растений могут увеличиваться при сильном загрязнении (Скорбач, 2011). Известен также тот факт, что в высоких широтах значительно возрастает репродуктивный потенциал растений, в несколько раз увеличивается число генеративных побегов на особь, что ведет к повышению репродуктивной способности (Матвеева, 1998).

Количество семян в плодах *S. gorodkovii* варьирует от 1 до 3, в то время как в плодах *Sorbus aucuparia* обычно встречается от 2 до 5 семян (Деревья и ..., 1954). Образование небольшого числа семян у *S. gorodkovii* может быть связано как с биологическими особенностями данного вида, так и с изменением репродуктивного потенциала растений под воздействием поллютантов и экстремальных условий Арктики. На экологической периферии ареала повышение частоты нарушений может быть обусловлено существованием под прессом жестких климатических условий (Василевская, 2007). Доля бессемянных плодов *S. gorodkovii* варьирует от 15 до 33%, что свидетельствует о высоком уровне партенокарпии. Роду *Sorbus* свойственна партенокарпия, она значительно выражена у *Sorbus domestica* (L), встречается у *Sorbus aucuparia* (Гладышева, 2006; Миганова, 1995).

Согласно полученным нами данным, в популяции *Sorbus gorodkovii* в условиях ЗАТО Североморск выявлены нарушения по ряду репродуктивных показателей: низкая фертильность, высокая доля стерильной и тератоморфной пыльцы, низкая семенная продуктивность, высокий уровень партенокарпии. Это свидетельствует об экологическом неблагополучии данной территории. Исследования показали, что пыльца рябины Городкова реагирует на условия экологического стресса и может служить биоиндикатором качества среды.

Литература

1. Василевская Н.В. Поливариантность онтогенетических процессов растений в условиях высоких широт. Монография. Мурманск: МГПУ, 2007. 231 с.
2. Василевская Н.В., Макарова Ю.С. Флора зеленых насаждений исторического центра г. Мурманска // Ученые записки МГПУ. Серия: Биол. науки: Сборник научных статей, под ред. Василевской Н. В., Мурманск: МГПУ, 2006. Вып. 2. 66 с.
3. Гайдыш И.С. Биоиндикация природной среды малого северо-таежного промышленного города: на примере г. Костромукша. Автореф. канд. дисс. Петрозаводский государственный университет. Петрозаводск, 2012.
4. Гладышева М.Б. Хозяйственно-биологические особенности сортов и форм рябины и их пригодность для производства и селекции. Дис. ... канд. с.-х. наук. Мичуринск, 2006. 126с.

5. Гонтарь О.Б., Жиров В.К., Казаков Л.А. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты. Изд. Кольского научного центра РАН, 2010. 224 с.
6. Дзюба О.Ф. Тераформные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии; Нефтегазовая геология. Теория и практика. СПб, 2007. 22 с.
7. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт, СПб.: Недра, 2006. 198 с.
8. Деревья и кустарники СССР. Т. 3. М, под. ред.: Соколов С.Я. Л: Изд. АН СССР, 1954. С. 458-486
9. Елькина Н.А. Состав и динамика пыльцевого спектра воздушной среды г. Петрозаводска. Автореф. канд. дисс. Петрозаводский государственный университет, изд. ПетрГУ. СПб, 2008.
10. Ерещенко О.В. Оценка экологического состояния городской среды с использованием березы повислой (на примере г. Барнаула) // Исследования в области естественных наук. Апрель 2012. № 4. (Дата обращения: 26.12.2013) [Электронный ресурс]. URL: <http://science.snauka.ru/2012/04/289>
11. Ерохина И.С., Елькина Н.А. Палиноиндикация природной среды урбанизированных территорий таежной зоны // Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami - 2011». – Volume 45. Ekologia. –Przemyśl: Nauka i studia, 2011.
12. Ковалёв Н.В., Сканцев А.В., Ходачек А.С. Запасы плодов Рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*) на вырубках. Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия. СПб, 2010.
13. Красная книга Мурманской области // Правительство Мурман. обл., Упр. природ, ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Мурман. обл. Мурманск: Кн. изд-во, 2003. 400 с.
14. Магомедова Б.М. Интродукционный потенциал и экологические особенности древесных растений г. Махачкалы. Автореф. канд. дисс. ФГБУН «Горный ботанический сад» Дагестанского научного центра РАН, изд. ИПЭ РД. 2013.
15. Матвеева Н.В. Зональность в растительном покрове Арктики. С-Пб., 1998. 218 с.
16. Миганова Т.Е. Ваш сад. Все о садовых диковинках и цветах: теория, советы, практические рекомендации. Корп. «Федоров», А/О «ВЕГА-информ». Самара, 1995.
17. Паничева Д.М. Состояние хвойных насаждений зоны широколиственных лесов и репродукция сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения: на примере северо-западной части Брянской области. Автореф. канд. дисс. Брянская государственная инженерно – технологическая академия. Брянск, 2009.
18. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. Москва ВО «Агропромиздат», 1988. 272 с.
19. Пояркова А.И., Аврорин Н.А., Кузенева О.Н. Флора Мурманской области, под ред.: Пояркова А.И., изд. Академии наук СССР, Москва-Ленинград, 1959. Вып.4. 200 с.
20. Северюхина О.А. Репродуктивные особенности *Taraxacum Officinale* S.L. в условиях химического загрязнения среды. Автореф. канд. дисс. Институт экологии растений и животных РАН. Екатеринбург, 2004.
21. Скорбач В.В., Павлюкова О.Ю. Морфометрические показатели плодов рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) в условиях города Белгорода. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Белгород, 2011.
22. Экологическая безопасность ЗАТО г. Североморск // Отд. по охране окружающей среды и земельных ресурсов администрации ЗАТО г. Североморск, МУ Севером. централиз. библ. система; [сост. В.И. Гашинский]. Североморск: [б.и.], 2006. 16 с.

Предтеченская О.О.

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

АГАРИКОИДНЫЕ МАКОМИЦЕТЫ НП «ВОДЛОЗЕРСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

К настоящему времени в Республике Карелия по литературным данным и собственным сборам автора зарегистрировано более 780 видов агарикоидных базидиомицетов. Изучение грибов территории восточной Карелии находится в начальной стадии и представляет большую ценность для микологических исследований в республике с точки зрения распространения редких, индикаторных видов и изучения западной границы ареала сибирских видов.

НП «Водлозерский» находится в Пудожском районе Республики Карелия и Онежском районе Архангельской области. Площадь парка 468340 га, из них в Карелии – 130600 га. Располагается на стыке северной и средней подзон тайги. Озерами и реками занято более 10% территории парка, занято озерами и реками, а заболоченность превышает 50%. Лесами занято около 50% площади. Преобладают еловые сфагновые и долгомошные заболоченные леса в сочетании с ельниками зеленомошными. Особенностью парка является присутствие лиственницы сибирской, которая на данной территории находится на западной границе ареала (Хохлова и др., 2000).

Парк располагается в пределах биогеографической провинции *Karelia transonegensis* (Mela, Sajander, 1906). Работы по изучению агарикоидных макромицетов на территории НП «Водлозерский» впервые были начаты в 2005 г. в районе оз. Пильмасозеро и вдоль оз. Водлозеро (Предтеченская, 2006). Кроме того, в 2006 г. проведено обследование непосредственно примыкающей к парку территории планируемого ландшафтного заказника «Чукозеро» (Предтеченская, Руоколайнен, 2007). В 2013 г. исследования на территории парка были продолжены, были обследованы леса вдоль р. Илекса, по берегам оз. Водлозеро и в районе оз. Пильмасозеро.

Биота агариковых грибов НП «Водлозерский» и его окрестностей остается слабо изученной. В результате экспедиционных работ 2005, 2006 и 2013 гг. здесь обнаружены 115 видов из 42 родов и 23 семейств по системе *Index Fungorum* (таблица).

Таксономический состав биоты агарикоидных макромицетов грибов НП «Водлозерский»

Вид	Экологическая группа	Практическое применение
1	2	3
Порядок Agaricales		
Семейство Agaricaceae		
<i>Cystoderma amianthinum</i> (Scop.) Fayod	Sap	несъед.
<i>Lycoperdon molle</i> Pers.	Sap	несъед.
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	Sap	съед.
<i>Lycoperdon pyriforme</i> Schaeff.	Sap	съед.
Семейство Amanitaceae		
<i>Amanita citrina</i> var. <i>citrina</i> (Pers.) Pers.	Mr	яд.
<i>Amanita fulva</i> Fr.	Mr	съед.

1	2	3
<i>Amanita muscaria</i> var. <i>muscaria</i> (L.) Lam.	Mr	яд., мед.
<i>Amanita pantherina</i> (DC.) Krombh.	Mr	яд., мед.
<i>Amanita porphyria</i> Alb. & Schwein.	Mr	яд.
<i>Amanita rubescens</i> var. <i>rubescens</i> Pers.	Mr	съед., мед.
<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam.	Mr	съед., мед.
<i>Amanita virosa</i> (Fr.) Bertill.	Mr	яд.
Семейство Cortinariaceae		
<i>Cortinarius albobviolaceus</i> (Pers.) Fr.	Mr	(съед.)
<i>Cortinarius armillatus</i> (Fr.) Fr.	Mr	(съед.)
<i>Cortinarius caperatus</i> (Pers.) Fr.	Mr	съед.
<i>Cortinarius cinnamomeus</i> (L.) Fr.	Mr	несъед.
<i>Cortinarius collinitus</i> (Pers.) Fr.	Mr	(съед.)
<i>Cortinarius croceus</i> (Schaeff.) Gray	Mr	несъед.
<i>Cortinarius delibutus</i> Fr.	Mr	несъед.
<i>Cortinarius gentilis</i> (Fr.) Fr.	Mr	яд.
<i>Cortinarius mucosus</i> (Bull.) J. Kickx f.	Mr	несъед.
<i>Cortinarius pholideus</i> (Fr.) Fr.	Mr	несъед.
<i>Cortinarius traganus</i> (Fr.) Fr.	Mr	несъед., мед.
<i>Cortinarius trivialis</i> J.E. Lange	Mr	несъед.
Семейство Entolomataceae		
<i>Entoloma rhodopolium</i> (Fr.) P. Kumm.	Mr	яд.
Семейство Hydnangiaceae		
<i>Laccaria amethystina</i> Cooke	Mr	съед.
<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) P.D. Orton	Mr	съед.
<i>Laccaria laccata</i> (Scop.: Fr.) Berk. et Broome.	Mr	съед., мед.
<i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat.	Mr	съед.
Семейство Hygrophoraceae		
<i>Ampulloclitocybe clavipes</i> (Pers.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo & Vilgalys	Sap	съед.
<i>Hygrocybe turunda</i> (Fr.) P. Karst.	Sap	несъед.
<i>Hygrophorus agathosmus</i> (Fr.) Fr.	Mr	несъед.
Семейство Inocybaceae		
<i>Inocybe lacera</i> var. <i>lacera</i> (Fr.) P. Kumm.	Mr, Sap	яд.
<i>Inocybe lanuginosa</i> var. <i>lanuginosa</i> (Bull.) P. Kumm.	Mr, (Sap)	яд.
<i>Inocybe rimosa</i> (Bull.) P. Kumm.	Mr, (Sap)	яд.
<i>Phaeomarasmium erinaceus</i> (Fr.) Scherff. ex Romagn.	Sap	несъед.
Семейство Lyophyllaceae		
<i>Lyophyllum connatum</i> (Schumach.) Singer,	Sap	(съед.)
Семейство Marasmiaceae		
<i>Gymnopus confluens</i> (Pers.) Antonín, Halling & Noordel.	Sap	съед.
<i>Gymnopus dryophilus</i> (Bull.) Murrill	Sap	съед.
<i>Gymnopus peronatus</i> (Bolton) Antonín, Halling & Noordel.	Sap, (Mr)	несъед.
<i>Marasmius androsaceus</i> (L.) Fr.	Sap	несъед.
<i>Marasmius bulliardii</i> Qué.	Sap	несъед.
<i>Marasmius epiphyllus</i> (Pers.) Fr.	Sap	несъед.
<i>Marasmius rotula</i> (Scop.) Fr.	Sap	несъед.
<i>Mycetinis scorodonius</i> (Fr.) A.W. Wilson	Sap	съед.
<i>Rhodocollybia butyracea</i> f. <i>butyracea</i> (Bull.) Lennox	Mr, Sap	съед.
<i>Rhodocollybia proluxa</i> var. <i>distorta</i> (Fr.) Antonín, Halling & Noordel.	Sap	несъед.

1	2	3
Семейство Mycenaceae		
Mycena acicula (Schaeff.) P. Kumm.	Sap	несъед.
Mycena haematopus (Pers.) P. Kumm.	Sap	несъед.
Xeromphalina campanella (Batsch) Maire	Sap	несъед.
Семейство Physalacriaceae		
Armillaria cepistipes Velen.	Sap	съед.
Семейство Pleurotaceae		
Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kumm.	Sap	съед., мед.
Pleurotus pulmonarius (Fr.) Quél.	Sap	съед.
Семейство Pluteaceae		
Pluteus cervinus (Schaeff.) P. Kumm.	Sap	съед.
Семейство Psathyrellaceae		
Coprinellus micaceus (Bull.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson	Sap	мед.
Psathyrella candolleana (Fr.) Maire	Sap	(съед.)
Psathyrella piluliformis (Bull.) P.D. Orton	Sap	несъед.
Семейство Strophariaceae		
Galerina marginata (Batsch) Kühner	Sap	яд.
Galerina paludosa (Fr.) Kühner	Sap	несъед.
Hypholoma fasciculare var. fasciculare (Huds.) P. Kumm.	Sap	несъед.
Hypholoma lateritium (Schaeff.) P. Kumm.	Sap	несъед.
Kuehneromyces mutabilis (Schaeff.) Singer & A.H. Sm.	Sap	съед.
Pholiota squarrosa (Vahl) P. Kumm.	Sap	несъед.
Stropharia hornemannii (Fr.) S. Lundell & Nannf.	Sap	яд.
Семейство Tricholomataceae		
Clitocybe dealbata (Sowerby) Gillet	Sap, (Mr)	яд.
Clitocybe gibba (Pers.: Fr.) P.Kumm.	Sap	съед.
Tricholomopsis decora (Fr.) Singer	Sap	несъед.
Порядок Boletales		
Семейство Boletaceae		
Boletus edulis Bull.	Mr	съед., мед.
Boletus subtomentosus L.	Mr	съед.
Leccinum holopus (Rostk.) Watling	Mr	съед.
Leccinum scabrum (Bull.) Gray	Mr	съед.
Leccinum variicolor Watling	Mr	съед.
Leccinum versipelle (Fr. & Hök) Snell	Mr	съед.
Tylopilus felleus (Bull.) P. Karst.	Mr, Sap	несъед., мед.
Семейство Gomphidiaceae		
Gomphidius glutinosus (Schaeff.) Fr.	Mr	съед., мед.
Gomphidius roseus (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Семейство Hygrophoropsidaceae		
Hygrophoropsis aurantiaca (Wulfen) Maire	Mr	несъед.
Семейство Paxillaceae		
Paxillus involutus (Batsch) Fr.	Mr	яд.
Chalciporus piperatus (Bull.) Bataille	Mr	несъед.
Boletinus asiaticus Singer	Mr	съед.
Suillus bovinus (Pers.) Roussel	Mr	съед.
Suillus granulatus (L.) Roussel	Mr	съед., мед.
Suillus luteus (L.) Roussel	Mr	съед.
Suillus variegatus (Sw.) Kuntze	Mr	съед.
Tapinella atrotomentosa (Batsch) Šutara	Mr, Sap	яд.

1	2	3
Порядок Russulales		
Семейство Russulaceae		
Lactarius aurantiacus (Pers.) Gray	Mr	съед.
Lactarius camphoratus (Bull.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius deliciosus (L.) Gray	Mr	съед.
Lactarius deterrimus Gröger	Mr	съед.
Lactarius flexuosus var. flexuosus (Pers.) Gray	Mr	съед.
Lactarius glyciosmus (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius helvus (Fr.) Fr.	Mr	яд.
Lactarius lignyotus Fr.	Mr	съед.
Lactarius necator (Bull.) Pers.	Mr	съед.
Lactarius pubescens (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius resimus (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius rufus (Scop.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius scrobiculatus (Scop.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius torminosus (Schaeff.) Gray	Mr	съед.
Lactarius trivialis (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Lactarius vietus (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Russula adusta (Pers.) Fr.	Mr	съед.
Russula aeruginea Fr.	Mr	съед.
Russula claroflava Grove	Mr	съед.
Russula decolorans (Fr.) Fr.	Mr	съед.
Russula delica Fr.	Mr	(съед.)
Russula emetica var. emetica (Schaeff.) Pers.	Mr	яд.
Russula foetens (Pers.) Pers.	Mr	(съед.)
Russula fragilis var. fragilis Fr.	Mr	яд.
Russula integra var. integra (L.) Fr.	Mr	съед.
Russula paludosa Britzelm.	Mr	съед.
Russula puellaris Fr.	Mr	съед.
Russula vesca Fr.	Mr	съед.
Russula vinosa Lindblad	Mr	н.з.
Russula xerampelina (Schaeff.) Fr.	Mr	съед.

Условные обозначения: Mr - микоризный, Sap - сапротроф; съед. - съедобный, (съед.) - условно съедобный, несъед. - несъедобный, яд. - ядовитый, мед. - используемый в медицине, н.з. - свойства не определены.

Большая часть (63% от общего числа обнаруженных видов) относятся к микоризным грибам; остальные являются сапротрофами, из которых около 15% обитают на древесине, чуть менее 12% – на подстилке, около 5% – на опаде.

Около 56% от общего количества видов относятся к съедобным и условно съедобным грибам, 27% видов несъедобны, 16% – ядовиты; 12 видов, включенных к настоящему моменту в список, обладают лечебными свойствами (Денисова, 2000; Гарибова, 2004, Переведенцева, 2011).

Из числа видов, включенную в Красную книгу Карелии (2007), на территории НП «Водлозерский» отмечена лаковица фиолетовая (*Laccaria amethystea* (Bull.) Murrill) и мухомор вонючий (*Amanita virosa* (Fr.) Bertill.).

Присутствие в лесах лиственницы сибирской создает условия для плодоношения видов, образующих микоризу с лиственницей. В период наших сборов наблюдалось плодоношение болетинуса азиатского (*Boletinus asiaticus* Singer). По всей видимости, здесь должен присутствовать масленок лиственничный (*Suillus grevillei* (Klotzsch) Singer), который вполне обычен в Архангельской области, а в Карелии отмечен также на о. Валаам в посадках лиственницы.

Леса НП «Водлозерский» представляют несомненный интерес для дальнейших микологических исследований, здесь могут находиться резерваты редких для Карелии видов, связанных с лиственничными древостоями.

Литература

1. *Гарибова Л.В.* Грибы. Более 100 видов съедобных, условно съедобных и ядовитых грибов. М., 2004. 352 с.
2. *Денисова Н.П.* Лечебные свойства грибов. СПб., 1998. 59 с.
3. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
4. *Переведенцева Л.Г.* Лекарственные грибы Пермского края. Пермь: ООО «Проектное бюро «Рейкьявик»», 2011. 146 с.
5. *Предтеченская О.О., Руоколайнен А.В.* Грибы // Материалы инвентаризации природных комплексов и природоохранная оценка территории «Чукозеро». Петрозаводск, 2007. С. 51–58, 116–128.
6. *Предтеченская О.О.* Агариковые грибы заповедников и национальных парков Республики Карелия // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Матер. всерос. конф. (Петрозаводск, 22-27 сент. 2008 г.). Ч. 2: Альгология. Микология. Лихенология. Бриология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 143-145.
7. *Предтеченская О.О.* Шляпочные грибы Национального парка «Водлозерский» // Водлозерские чтения: Естественнонаучные и гуманитарные основы природоохранной, научной и просветительской деятельности на охраняемых природных территориях Русского Севера. Материалы науч.-практич. конф., посвященной 15-летию Национального парка «Водлозерский». Петрозаводск, 2006. С. 124-128.
8. *Хохлова Т.Ю., Антипин В.К., Токарев П.Н.* Особо охраняемые природные территории Карелии. Петрозаводск, 2000. 312 с.
9. *Index Fungorum.* CABI Database. URL: <http://www.indexfungorum.org>, 2014 (дата обращения: 01 февраля 2014).
10. *Mela A.J., Cajander A.K.* Suomen kasvio. Helsinki, 1906. 763p.

Пугачев А.А.

*Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, г. Магадан
etikhmenev@bk.ru*

ЭЛЕМЕНТЫ КОНЦЕПЦИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Основные положения концепции базируются на оценке биопродукционных параметров, роли биологического круговорота в формировании профиля доминирующих типов почв, выявлении воздействия техногенеза на состояние природной среды, устойчивости почв к антропогенному прессу, обоснованию принципов рекультивации нарушенных земель, разработке нетрадиционных экологически сбалансированных технологий ведения земледелия применительно к условиям длительно-сезонной и многолетней мерзлоты. Ведущими факторами, обуславливающими дифференциацию почвенного покрова рассматриваемой территории, являются: различия в характере атмосферного увлажнения, термических условий и продолжительности теплового периода, поверхностного и внутрпочвенного дренажа, наличие или отсутствие мерзлотного водоупора. Тем не менее, доминирующие группы и типы почв не являются специфичными только для данного региона. Они широко представлены в субарктических областях Евразии и Северной Америки, что дает возможность использования полученных материалов в широком географическом аспекте.

Специфичность почвообразования на территории Магаданской области заключается в наличии вулканического пепла, геохимическом своеобразии территории, особенностях протекания почвенно-биологических процессов и т.д. Многовековое влияние криогенного фактора привело к существенным изменениям в строении и физико-химических свойствах почв, являясь активным фактором их генезиса. Вместе с тем, доминирующие группы и типы почв не являются специфичными только для региона. Они широко представлены в субарктических областях Евразии и Северной Америки, что дает возможность использовать представленные материалы в широком географическом аспекте.

Пойменные почвы имеют супесчаный и легкосуглинистый гранулометрический состав с обильным включением гальки и небольших валунов. Они характеризуются слабокислой реакцией

почвенного раствора, относительно невысокой гидролитической кислотностью, низкой обеспеченностью подвижными соединениями фосфора и калия, высокой гумусированностью минеральных горизонтов. В составе мелкозема пойменных мелкодерновых почв доминирует фракция песка и мелкой пыли. Пойменные дерново-глеевые почвы отличаются более тяжелый гранулометрический состав, преобладание в нижних горизонтах восстановительных процессов и оглеения. Они характеризуются среднекислой реакцией и высокой гидролитической кислотностью, распределение которой в почвенном профиле четко коррелирует с содержанием гумуса.

Подзолы иллювиально-железистые (гумусовые) формируются на хорошо дренируемых элементах рельефа, где приурочены к супесчаным, песчаным и суглинистым породам, обладающим свободным внутренним дренажом. Они характеризуются высокой гумусированностью (до 14% в горизонте A₂h), низкими значениями pH_{сол.} (4.3-5.5), слабой насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса основаниями (17-44%), бедностью подвижными элементами минерального питания. Им свойственна очень высокая обменная и гидролитическая кислотности. В иллювиальной части профиля наблюдается заметное повышение значений pH. По существу закрепление элементов питания осуществляется лишь в нижнем слое лесной подстилки и торфянистых горизонтах.

Основными чертами фракционно-группового состава гумуса подзолов иллювиально-гумусовых является: 1 - доминирование фульвокислот над гуминовыми кислотами в иллювиальной части профиля, 2 - резкое преобладание в составе гуминовых и фульвокислот подвижных и агрессивных фракций, 3 - очень низкое содержание фракций гуминовых и фульвокислот, способных образовывать устойчивые комплексы с Ca.

Болотные мерзлотные торфяные почвы развиваются в условиях избыточного увлажнения на элементах рельефа, отличающихся затрудненным поверхностным и внутрипочвенным дренажом. Для них характерно наличие торфяного слоя, близкое к поверхности залегание мерзлоты, холодность профиля. Почвы очень кислые: pH солевой вытяжки редко поднимается выше 4 и, как правило, находятся в пределах 3.0-3.8. Их минеральная толща насыщена гумусом. Содержание его составляет 3.2-6.6% (в отдельных случаях 15.5%). Гидролитическая кислотность в торфянистых и торфяных горизонтах достигает 26.5 мг более, а в минеральных снижается до 4.0 мг-экв/100г почвы. Количество поглощенных оснований достаточно высокое. Содержание подвижных форм фосфора низкое (до 10 мг/100 г).

Почвенный покров межгорных долин образуют различные подтипы, роды и виды подзолов иллювиально-гумусовых, различающихся между собой по мощности органогенных и подзолистых горизонтов, наличию или отсутствию в почвенном профиле многолетней мерзлоты и, соответственно, присутствию надмерзлотного оглеения.

В континентальных районах области широко представлены *криоземы грубогумусовые типичные*. Они характеризуются супесчаным-легкосуглинистым гранулометрическим составом. Им свойственна высокая кислотность, значительная гумусированность и насыщенность почвенно-поглощающего комплекса обменными основаниями.

На основании вышеизложенного следует: неудовлетворительное гумусное состояние почв Магаданской области является одной из ведущих причин, определяющих низкий уровень плодородия почв региона в целом.

Ведение почвенно-адаптивных экологически сбалансированных систем земледелия в различных сельскохозяйственных зонах Северо-Восточного региона основывается на анализе особенностей функционирования в целостной системе каждого ландшафта. Важным фактором, влияющим на устойчивость поверхности угодий при использовании тундровых и болотных мерзлотных почв, являются степень дренированности, включая уклон местности, характер микрорельефа и водопроницаемость сезонно-протаивающего слоя. В силу данных причин, создание здесь благоприятных условий для сельскохозяйственной деятельности обеспечивается применением специальных инженерных мероприятий по предотвращению криогенной деформации поверхности полей в сочетании с четким целевым обоснованием направленности (пашня, сенокос, пастбище) производства. Повышение эффективности использования длительно-мерзлых почв достигается посредством принципиально новой технологии их освоения, заключающейся в утилизации растительной массы и органогенных горизонтов, оптимизации гидротермических параметров, ограничении вовлечения в пахотный слой иллювиальной части профиля.

Повышение устойчивости и продуктивности агроэкосистем базируется на оптимальном использовании биоклиматических и минеральных ресурсов, потенциального плодородия, учете криогенного фактора, особенностей роста и развития возделываемых культур на холодных почвах,

сбалансировании элементов минерального питания с генетическими особенностями почв, взаимосвязи размеров применения средств химизации с планируемым урожаем и состоянием природной среды.

Повышение плодородия почв в значительной мере может быть достигнуто за счет применения в качестве мелиорантов горных пород, отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Комплексное использование минеральных ресурсов, внедрение безотходных и малоотходных технологий на основе градаций уровня потенциального плодородия позволит более успешно решать задачи формирования собственной (региональной) продовольственной базы, снизит напряженность экологической ситуации.

Итогом проведенных исследований является разработанная концепция рационального использования почвенных ресурсов Магаданской области, на основе оценки особенностей экологических систем региона, их трансформации в процессе сельскохозяйственного производства:

1. Обеспечение охраны и рационального использования почвенных ресурсов региона основывается на учете особенностей функционирования почв в целостной системе каждого ландшафта, применении экологически обоснованных технологий освоения земель. Важным фактором, влияющим на устойчивость поверхности угодий при использовании тундровых и болотных мерзлотных почв, является степень дренированности, включая уклон местности, характер микрорельефа и водопроницаемость сезоннопотаивающего слоя. В силу данных причин создание здесь благоприятных условий для ведения хозяйственной деятельности обеспечивается применением специальных инженерных мероприятий по предотвращению криогенной деформации поверхности угодий.

2. Рациональное использование почвенных ресурсов региона ориентировано на экологически возможное сбалансирование факторов природной среды и антропогенных воздействий с учетом их регламентации с природно-климатическими условиями конкретной местности и мирового опыта освоения северных территорий в целом.

3. Система землепользования имеет экологически обусловленную функционально-динамическую комплексность, опирающуюся на совокупность экологических функций почв и других компонентов ландшафтов, их пространственно-временной изменчивости. При этом объективность привязки систем к специфике местных условий достигается тремя уровнями: зональным, региональным и ландшафтным.

4. Практическая реализация разработанной эколого-ресурсной оценки почв региона в большинстве случаев преследует цель не сохранения их первоначальных параметров, а оптимизацию показателей, определяющих устойчивое и качественное плодородие.

Пугачев А.А.¹, Станченко Г.В.²

¹Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, г. Магадан
etikhmenev@bk.ru

²Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
etikhmenev@bk.ru

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТУНДРОЛЕСЬЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Охарактеризовав границы деревьев и кустарников ценообразователей на Северо-Востоке, А.П. Васьковский (1958) пришел к выводу, что эта территория относится к более суровой и обедненной полосе тайги по сравнению с предтундровыми редколесьями. Он заметил, что таежные виды представлены здесь значительно беднее, но зато многочисленны арктические и арктоальпийские элементы флоры. Поэтому им предложено называть эту полосу тундролесьем (или арктолесьем) и выделять ее в качестве зонального образования в ранге подзоны между предтундровыми редколесьями и лесотундрой. Позднее Ю.П. Пармузиным (1979) показано своеобразие этого ландшафтного пояса по всем компонентам и сочетаниям ландшафтов. В конечном итоге укрепилось предложенное А.П. Васьковского название данного ландшафтного типа: тундролесье, опоясывающего сушу на основании того, что при эдификаторной роли древесной растительности в биогеоценозах господствуют тундровые элементы.

Общей особенностью почвообразования в тундролесьях Крайнего Северо-Востока является несоответствие темпов поступления отмерших частей растений со скоростью их разложения. При этом, относительно быстро разлагаются листья рододендрона (в среднем 21.0% в год) и осоки (15.7%), значительно медленней - хвоя кедрового стланика (11.9%) и листья кустарничков (12.5-13.7%), наименее активно - мхи (6.4%) и, особенно, лишайники (3.4%). Результатом несоответствия массы ежегодного опада и темпов его трансформации является формирование сравнительно мощных органогенных горизонтов.

Разложение образцов, составленных из хвои кедрового стланика и листьев кустарничков происходит сравнительно более быстрыми темпами в отличие от образцов, состоящих только из хвои: 17.0-24.3% в первый год. Наиболее благоприятные условия для разложения опада растений складываются в средней части торфянистых горизонтов.

Активность разложения опавов определяется многими факторами, среди которых первостепенное значение имеют их химический состав и условия, в которых происходит разложение. Как показали исследования, большинство растений характеризуется низким содержанием зольных элементов: 0.59-1.96%. Сопоставление активности разложения опавов с их химическим составом свидетельствует о наличии корреляции с содержанием в них азота и кальция. Существенным фактором, снижающим темпы разложения, является относительно высокое содержание в опадах кремнезема. В частности, отношение кальция к кремнию в торфянистом горизонте составляет 1.0, в отмерших частях мхов – 1.2, в подстилке – 1.4, в опаде хвои кедрового стланика – 2.2, листьев багульника – 3.9, брусники – 6.4.

Большое влияние на активность процессов разложения оказывает биохимический состав опавов. Высокое содержание в них восков, смол и дубильных веществ угнетает почвенную микрофлору и тормозит трансформацию опада в целом. Фактором, ограничивающим темпы разложения лишайников, является наличие в них специфических лишайниковых кислот, многие из которых обладают сильными антибиотическими свойствами по отношению к ряду микроорганизмов (Купревич, Щербакова, 1975).

Причиной угнетения целлюлозоразлагающей микрофлоры и почвенных беспозвоночных является кислый характер опада. В частности, pH хвои кедрового стланика составляет 4.73, листьев березы – 4.29, багульника – 4.73, брусники – 4.86.

Сочетание гидротермических условий в почвах региона также неблагоприятно для разложения отмерших частей растений. Периодическое высушивание подстилок до воздушно-сухого состояния делает их непригодными для обитания большинства организмов. Летнее прогревание верхней части профиля до 7-10°C ограничено 1-1.5 месяцами в году. Это служит препятствием для существования насекомых, проходящих в почве длительный цикл развития.

Свидетельством недостаточной влажности подстилок является низкая численность в них почвенных беспозвоночных (Берман и др., 1979). Населенность ими торфянистых горизонтов значительно выше и вполне сопоставима по численности и видовому составу с постоянно и периодически переувлажненными болотными и дерново-перегнойно-глеевыми почвами.

Все процессы трансформации в конечном итоге преломляются в биохимической деятельности микроорганизмов, которым принадлежит решающая роль в разложении растительного опада. Разовые посевы образцов из подстилки и торфянистого горизонта свидетельствуют о крайней бедности микрофлоры в почвах экосистем кедрового стланика. Период проявления суммарной протеазной активности в органогенных горизонтах ограничивается 1-1.5 месяцами.

В процессе разложения химический состав опавов претерпевает существенные изменения. В подстилке происходит относительное увеличение содержания железа, алюминия и, отчасти, кремния, резко снижается содержание магния, калия и фосфора; в хвое кедрового стланика и листьях березы отмечается разрастание азота и кальция. Отношение кальция к кремнию в опаде листьев березы уменьшается до 2.4, брусники до 3.9, что еще более способствует замедлению их разложения.

Существенным фактором, способствующим затуханию деструктивных процессов, является значительное снижение pH растительного опада: у листьев березы до 3.52, хвои кедрового стланика – 3.75, брусники – 3.85, багульника – 4.16.

Биохимический состав торфянистых горизонтов, по сравнению со свежим спадом и подстилкой, характеризуется уменьшением содержания жиров и клетчатки, на фоне увеличения содержания лигнина и, отчасти, протеина и фракции воско-смол. Групповой и фракционный состав гумуса рассматриваемых почв ландшафтов кедрового стланика характеризуется: 1 – преобладанием фульвокислот над гуминовыми кислотами; 2 – доминированием в составе гуминовых и фульвокислот

подвижных и агрессивных фракций. 3 – очень низким содержанием фракций гуминовых и фульвокислот, способных образовывать комплексы с кальцием и магнием (фракция 2).

Изучение органического вещества, извлекаемого из опада доминантных растений и органогенных горизонтов почвы, показало сходство в составе их гумусовых веществ. Полученные данные показывают, что в процессе разложения опадов в торфянистых горизонтах происходит относительное накопление гуминовых кислот при практически том же, что и свежих опадах содержании фульвокислот. Увеличение содержания гуминовых кислот, видимо, может быть объяснено двумя основными причинами: 1 – длительностью срока разложения опада и, соответственно, времени образования гуминовых кислот; 2 – вымыванием подвижных фракций фульвокислот в нижележащие горизонты почвы. Обращает на себя внимание близкое по значению содержание гумусовых кислот в опадах с годичным сроком разложения и в торфянистых горизонтах.

Следовательно, совокупность свойств опада и условий его разложения обуславливает консервацию отмерших частей растений на неопределенное время и формирование гумусовых кислот преимущественно гуматно-фульватного и фульватного типов в сравнительно короткий период.

Ландшафты лиственничных редколесий широко представлены на территории региона. Зональным типом формирующихся под ними почв, является криозем. Ареал их распространения на Крайнем Северо-Востоке очень широк. Они входят в состав почвенных комбинаций преимущественно равнинных территорий всех природно-климатических зон и подзон рассматриваемой территории.

Типичный профиль криоземов формируется на материнских горных породах переотложенного генезиса. Эти породы представляют собой тяжелые по гранулометрическому составу отложения преобразованные криогенными процессами до крупнопылеватых фракций. Почвообразование несущественно изменяет физическое состояние и минералогический состав этих пород. Поэтому эти почвы легко- и среднесуглинистые с равномерным распределением мелких фракций по профилю. Они в большинстве своем имеют на поверхности торфяные или торфяно-перегнойные горизонты, под которыми изредка могут формироваться перегнойно-гумусовые морфоны. Мощность их профиля не превышает одного метра. Органогенные горизонты имеют кислую и очень кислую реакцию водной и солевой суспензий, предельно большие показатели гидролитической кислотности.

Ландшафты лиственничных лесов региона характеризуются разнообразием природных условий их функционирования. Результатом этого являются различная направленность почвообразовательного процесса, значительное варьирование запасов, структуры и продуктивности растительного покрова.

На каменисто-мелкоземистых отложениях, обеспечивающих свободный поверхностный и внутрипочвенный дренаж, формируются пойменные и подзолистые почвы, на суглинисто-глинистых отложениях – подзолисто-глеевые и криоземы.

Почвы ландшафтов лиственничных лесов характеризуются среднекислой реакцией и высокой гидролитической кислотностью, распределение которой в почвенном профиле четко коррелирует с содержанием гумуса.

Ландшафтам лиственничных лесов, приуроченным к высоким надпойменным и материковым террасам южной части региона свойственно формирование подзолистых почв. В составе их мелкозема преобладают грубодисперсные фракции. Накопление крупной пыли и песчаных частиц объясняется преобладанием процессов физического выветривания почвенных минералов над биохимическим выветриванием. Последнее обуславливает низкое содержание ила, чему способствует и ряд сопутствующих явлений, к числу которых относится наличие процесса агрегирования коллоидных и предколлоидных частиц в более крупные отдельные.

Профиль рассматриваемых почв формирует ряд взаимосвязанных элементарных почвенных процессов (ЭПП). К фоновым ЭПП относятся: физическая дезинтеграция и химическое разрушение почвенных минералов, вынос мобилизованных форм кремнезема, щелочных и щелочно-земельных элементов, имеющих высокую геохимическую подвижность, а также наиболее устойчивых органо-минеральных соединений. К горизонтообразующим ЭПП относятся: накопление органического вещества и зольных элементов, продуцирование гумусовых кислот, биогенное перераспределение химических элементов, иллювиально-гумусовое оподзоливание, остаточное накопление кварца и вынос-аккумуляция суспензий.

Литература

1. Берман Д.И., Игнатенко И.В., Пугачев А.А. О торфонакоплении в интенсивно дренированных почвах Крайнего Северо-Востока СССР // Биологический круговорот в тундролесьях юга Магаданской области. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 143–154.
2. Васьяковский А.П. Новые данные о границах распространения деревьев и кустарников-ценообразователей на Крайнем Северо-Востоке СССР // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1958. Вып. 13. С. 187-204.
3. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника, 1975. 275 с.
4. Пармузин Ю.П. 1979. Тундролесье СССР. М.: Мысль. 295 с.

Редькина В.В.

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

ВОДОРΟΣЛИ ПОЧВ ПО ГРАДИЕНТУ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ ВЫБРОСАМИ КАНДАЛАКШСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

Введение

Алюминий – один из самых востребованных металлов, незаменимый компонент для огромного количества промышленной продукции. Однако его производство сопряжено с экологическими рисками. Эффективная во многих отношениях и широко применяемая в России, в том числе на Кандалакшском алюминиевом заводе, технология Содерберга с самообжигающимися анодами характеризуется значительным уровнем выбросов в окружающую среду загрязняющих веществ, в частности фтористого водорода, плохо растворимых фторидов, смолистых возгонов и различного рода твердых составляющих.

В 1994 году начались комплексные исследования почв и почвенной биоты в зоне воздействия Кандалакшского алюминиевого завода (КАЗ). Оказалось, что загрязнение почв фтором в районе КАЗ прослеживается на значительном расстоянии, превышающем в северном направлении 20 км (Евдокимова и др. 1997; Евдокимова и др., 2005). Однако за прошедшее время на предприятии существенно повысилась технология газоочистки. В связи с этим интересно проследить, как откликается почва и ее микронаселение на снижение объема воздушных выбросов, содержащих токсичные соединения.

Объекты и методы исследований. Объектом наших исследований послужили микроскопические водоросли, которые являются одной из важных составляющих микробоценоза почвы. Водоросли участвуют в процессах накопления органического вещества и азота, разрушения минералов, перераспределения и аккумуляции элементов (Голлербах, Штина, 1969). Они являются также стимуляторами микробиологической активности почвы. Реакция водорослей как фототрофных организмов на изменяющиеся почвенные условия наиболее сходна с реакцией высших растений.

Наблюдения проводили на стационарных площадках, расположенных по градиенту загрязнения воздушными выбросами КАЗ на расстоянии 0,5, 2, 5, 10, 20 и 50 км от завода (последний участок принят за фоновый) в северном направлении (по розе ветров). На всех стационарных площадках почвы представлены Al-Fe-гумусовыми подзолами на моренных сильно завалуненных песчаных отложениях. Мощность органогенного горизонта (подстилки) составляла примерно 3-5 см. На каждой стационарной площадке брали образцы подстилок в 3-5 кратной повторности. Кроме того, на ближайшем расстоянии от завода (0,5 и 2 км) отбирали образцы почвы из верхнего, нарушенного, не покрытого растительностью слоя.

Наиболее показательными параметрами, характеризующими состояние альгоценоза, являются численность и структура сообществ почвенных водорослей. Для определения численности живых клеток водорослей использовали метод прямого счета под люминесцентным микроскопом на сухих мазках почвенной суспензии (Кондакова, Домрачева, 2007). Хлорофилл живых клеток водорослей дает красное свечение, что упрощает их подсчет. Для исследования таксономического состава водорослевых ценозов использовали метод чашечных культур с покровными стеклами, метод посева почвенного мелкозема на агаризованную среду, а также водные культуры водорослей на среде Болда.

Родовую и видовую принадлежность водорослей определяли по морфологическим признакам, пользуясь рядом отечественных и зарубежных определителей (Андреева, 1998, Ettl, Gärtner, 2014).

Результаты и обсуждение. Численность жизнеспособных клеток водорослей в подстилке оказалась очень динамичным показателем. Ее величина колебалась в пределах 40 тысяч – 2.2 млн клеток на 1 грамм абсолютно сухой почвы. Средние данные по обилию водорослей за июнь и сентябрь 2012 г., а также за сентябрь 2012 и 2013 гг. представлены на рисунке. Наибольшими колебаниями численности микроводорослей отличаются участки 0.5- и 50-километровой зон. На ближайшем расстоянии от КАЗ это явление легко объяснимо – почва здесь характеризуется высокой неоднородностью, разреженностью растительного покрова, наличием участков с полным отсутствием растительности. Следовательно, она более подвержена действию климатических факторов среды. Разброс внутригодовых значений оказался меньшим, по сравнению со значениями в одном и том же месяце, но в разные годы, т.к. в сентябре 2013 г была отмечена самая низкая за все сроки отбора влажность почвы.

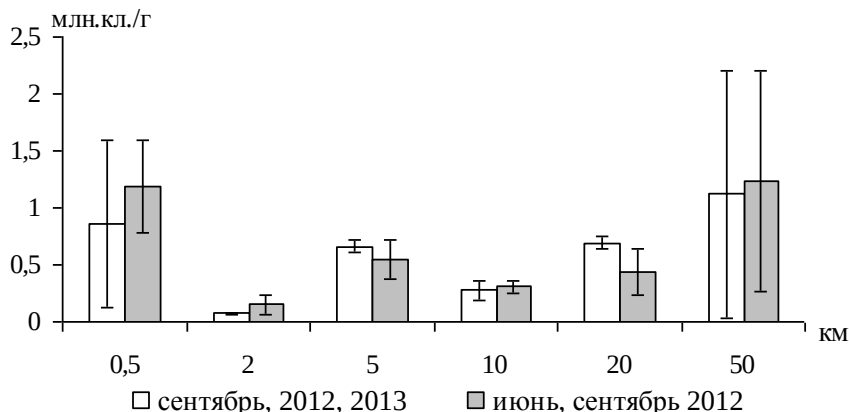


Рис. 1. Численность жизнеспособных клеток водорослей в подстилке почв на различном удалении от КАЗ

На расстоянии 2-20 км от КАЗ количественные показатели отличаются относительной стабильностью, при этом заметное влияние на численность водорослей оказывает фактор времени года (лето – осень). По усредненным данным наименее заселенной водорослями оказалась почвенная подстилка на расстоянии 2 км от завода. В 5-км зоне количество микроводорослей возросло в 4 раза и по мере удаления от источника выбросов достоверно не менялось.

Обилие водорослей также было оценено в верхнем слое почв на участках, лишенных растительности, на ближайшем расстоянии от КАЗ (0.5 и 2 км). Здесь значения численности водорослей были высокими и достигали 2 и 8 млн. кл./г абс. сух. почвы соответственно, несмотря на очень низкую влажность почвы (6-8%) на этих площадках. По всей вероятности это связано со снижением кислотности почвы на расстоянии до 2 км от завода – рН 6.0 против 4.3 на фоновой площадке в связи с тем, что промышленная пыль содержит ряд элементов, оказывающих нейтрализующее действие, в частности катионов Са и Mg (Евдокимова и др., 2013). При этом известно, что большинство водорослей предпочитают нейтральную или слабощелочную реакцию, равную 7.0-7.6 (Гайсина и др., 2008). Кроме того, значительное влияние на развитие микроводорослей на обнаженных участках почвы оказывает фактор освещенности.

При изучении таксономического состава альгоценоза возникли некоторые методические сложности. Такие методы, как постановка чашечных культур с покровными стеклами и посев почвенного мелкозема на агаризованную среду, оказались малопригодны для изучения Al-Fe-гумусовых подзолов – вся поверхность чашек зарастала грибным мицелием, что препятствовало полноценному развитию в них водорослей, а также мешало просмотру препаратов под микроскопом. Столь обильное развитие микромицетов связано с тем, что подстилки в естественном состоянии характеризуются повышенной кислотностью, связанной с большой выщелоченностью почв данного региона, а микромицеты, как известно, предпочитают кислую реакцию среды. Необходимое для постановки чашечных культур регулярное увлажнение почвы создавало еще более благоприятные условия для жизнедеятельности микроскопических грибов. Эту догадку подтверждает и тот факт, что единственным удачным в плане развития водорослей на стеклах обрастания образцом оказалась почвенная подстилка, взятая на ближайшей стационарной площадке в 0.5 км от КАЗ, где, как уже говорилось ранее, кислотность почвы значительно понижена.

Водоросли почв по градиенту загрязнения воздушными выбросами КАЗ

Расстояние от КАЗ, км	0.5	2	5	10	20	50
1	2	3		4	5	6
Phylum Chlorophyta, Class Chlorophyceae						
<i>Borodinellopsis oleifera</i>				+		
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+	+	+	+	+
<i>Chlorococcum</i> sp.	+	+	+	+	+	+
<i>Chlorosarcinopsis</i> sp.					+	
<i>Choricystis chodatii</i>					+	
<i>Coelastrella aeroterrestica</i>			+	+	+	+
<i>Coenochloris</i> sp.		+	+			
<i>Dictyococcus</i> sp.		+				
<i>Radiosphaera</i> cf. <i>negevensis</i>		+	+	+		+
<i>Spongiochloris</i> sp.			+			
<i>Tetracystis</i> sp.			+	+		
Class Trebouxiophyceae						
<i>Dictyochloropsis splendida</i>		+				
<i>Elliptochloris</i> sp.			+		+	
<i>Ettlia cohaerens</i>		+			+	
<i>Hemichloris polyspora</i>					+	
<i>Keratococcus bicaudatus</i>	+					
<i>Lobosphaera undulata</i>					+	
<i>Myrmecia bisecta</i>		+				
<i>Myrmecia</i> sp.	+		+		+	
<i>Pseudococcomyxa</i> sp.	+	+	+	+	+	+
<i>Scotiellopsis oocystiformis</i>			+		+	
<i>Stichococcus</i> sp.			+		+	+
<i>Trebouxia</i> sp.			+	+		
<i>Trochisciopsis</i> sp.					+	
Class Ulvophyceae						
<i>Interfilum terricola</i>			+	+	+	
Phylum Charophyta, Class Klebsormidiophyceae						
<i>Klebsormidium flaccidum</i>	+	+	+	+		
Class Conjugatophyceae						
<i>Cylindrocystis</i> cf. <i>gracilis</i>	+					
Phylum Heterokontophyta, Class Xanthophyceae						
<i>Botrydiopsis</i> sp.1	+	+	+			
<i>Botrydiopsis</i> sp.2		+	+		+	
<i>Heterococcus</i>					+	
<i>Pleurogaster lunaris</i>			+			
<i>Xanthonema bristoliana</i>	+					
Class Eustigmatophyceae						
<i>Eustigmatos magnus</i>	+		+	+	+	+
Class Bacillariophyceae						
<i>Pinnularia borealis</i>	+					
Phylum Cyanobacteria, Class Cyanophyceae						
<i>Cylindrospermum</i> sp.						+
<i>Leptolyngbya foveolarum</i>	+	+				
<i>Nostoc</i> sp.	+	+	+	+	+	
<i>Phormidium autumnale</i>	+					
<i>Pseudoanabaena</i> sp.		+				

Результаты исследования таксономического состава альгоценозов, в основном полученные с помощью водных культур на среде Болда, представлены в таблице.

В почвах стационарных площадок, расположенных по градиенту загрязнения воздушными выбросами КАЗ, всего обнаружено 39 видов микроскопических водорослей. Количество видов по мере удаления от источника загрязнения – 14, 15, 20, 12, 19, 8 соответственно. На всех участках доминировали одноклеточные зеленые водоросли, относящиеся к классам Chlorophyceae (11 видов) и Trebouxiophyceae (13 видов). В меньшей степени представлены желтозеленые и эустигматофитовые водоросли (ранее их объединяли в одну группу водорослей) – 5 и 1 видов соответственно. Из диатомовых был обнаружен только 1 вид. Цианопрокариоты представлены 5 видами.

В более ранних работах по оценке состояния микробного компонента в зоне воздействия КАЗ отмечалось отсутствие в исследуемых почвах цианопрокариот, из чего был сделан вывод об их чувствительности не только к тяжелым металлам, но и к соединениям фтора (Евдокимова и др., 1997). Однако выполненные исследования показали, что цианопрокариоты присутствуют в подстилках почв наиболее загрязненных участков, при этом на расстоянии более 2 км от алюминиевого завода они представлены в основном одним видом – *Nostoc sp.*, за исключением 50-километровой зоны, где нами был обнаружен *Cylindrospermum sp.* Это связано с тем, что синезеленые водоросли предпочитают для своего развития менее кислую реакцию среды (Штина, Голлербах 1976). Кроме того, они способны выносить очень сухие условия, к которым приспосабливаются, в частности, благодаря образованию слизи. Предпочтение нейтральной среды, а также условий с достаточной освещенностью, характерно для диатомовых водорослей, единственный вид которых был обнаружен вблизи КАЗ. Даже желтозеленые водоросли, которые считаются весьма чувствительными к различного рода антропогенным воздействиям, наибольшим количеством видов представлены именно в наиболее загрязненных почвах на расстоянии до 5 км от завода. Эустигматофитовая водоросль *Eustigmatos magnus* встречалась на всех стационарных площадках, за исключением 2-километровой зоны, но, по всей вероятности, она присутствует и там. На участке, находящемся в 50 км от источника загрязнения, были обнаружены водоросли, которые встречались и на более близком расстоянии, за исключением синезеленой водоросли *Cylindrospermum sp.*

Таким образом, результаты данной работы расширяют проведенные ранее исследования. Флористический список водорослей для почв, подверженных загрязнению воздушными выбросами КАЗ, расширен и состоит из 38 видов относительно 24, перечисленных в первых работах. Кроме того, в число этих видов входят цианопрокариотические водоросли, не обнаруженные ранее. Эти различия могут свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки на почвы, в частности, уменьшении содержания фторсоединений, и более благоприятном для развития водорослей кислотно-щелочном режиме.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-04-00547-а.

Литература

1. Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М.: Наука, 1998. 348 с.
2. Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Кабиров Р.Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 152 с.
3. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
4. Евдокимова Г.А., Зенкова И.В., Мозгова Н.П., Переверзев В.Н. Почва и почвенная биота в условиях загрязнения фтором. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2005. 155 с.
5. 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.
6. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Штина Э.А. Загрязнение почв фтором и оценка состояния микробного компонента в зоне воздействия алюминиевого завода // Почвоведение, 1997. № 7. С. 898-905.
7. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Часть 2. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2007. 192 с.
8. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
9. Ettl, H. & Gärtner, G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage. Springer Berlin Heidelberg. 2014. 773 p.

СТРУКТУРА БИОТЫ АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПОСЛЕРУБОЧНОЙ СУКЦЕССИИ

Одно из первых мест по степени воздействия на лесные экосистемы и биоразнообразии в таежной зоне принадлежит сплошным рубкам главного пользования. Лесная среда после проведения сплошных рубок изменяется коренным образом. Сложившийся за многие десятилетия древесный ярус, определявший структуру лесного биогеоценоза, исчезает, происходит резкая смена растительного покрова. Остается большое количество пней и порубочных остатков – субстрата для поселения дереворазрушающих грибов. На вырубках формируются новые фитоценозы (березняки, осинники, смешанные хвойные и хвойно-лиственные) со своеобразными и очень неоднородными условиями для развития афиллофороидных грибов. Период лесовосстановления до формирования молодняков растягивается на длительный срок – 3-7 лет в средней, до 10-15 лет в северной тайге (Крышень, 2011). Как следствие, меняется и соотношение трофических групп грибов.

В 2011-2013 гг. изучение биоты афиллофороидных грибов проводилось на 6-ти вырубках 3-9-летней давности в сосняках черничных и брусничных и 6-ти вырубках 4-11-летней давности в ельниках черничных, а также для сравнения были обследованы примыкающие к ним незатронутые рубкой древостои аналогичных типов леса в Прионежском и Кондопожском районах Республики Карелия. На вырубках древесные остатки представлены в виде пней, веток (на волоках), фрагментов стволов лиственных (березы, ивы, осины), реже хвойных пород от 0.4 до 2.5-3 м длиной. На некоторых участках в небольшом количестве оставлен сухостой и семенные деревья, выполнены посадки культур ели и сосны. На вырубках 6-11-летней давности есть возобновление ели, сосны, березы и осины, высотой 1-3 м. В примыкающих к вырубкам древостоях есть сухостойные и валежные стволы хвойных и лиственных пород в разных стадиях разложения, на границе вырубки и стены леса много ветровальных стволов.

Исследования были кратковременными, поэтому полученные данные предварительны. В результате на вырубках выявлено 65 видов афиллофороидных грибов из 41 рода, 20 семейств и 10 порядков по системе «Index Fungorum» (2014). По числу видов и родов доминируют 3 семейства: *Polyporaceae* – 14 видов из 9 родов, *Fomitopsidaceae* – 9 из 4 и *Hymenochaetaceae* – 7 из 3 родов. Остальные семейства представлены 1-5 видами из 1-4 родов. Наибольшее количество видов отмечено на вырубках 6-11-летней (43 вида) и 1-2-летней (33) давностей, наименьшее (16 видов) – 3-5-летней давности (табл.). Большинство встреченных видов грибов ассоциируются с остатками неубранной древесины и пнями лиственных (осина, береза) и хвойных пород (сосна, ель), некоторые виды развиваются на почве. Значительное различие на настоящий момент выявлено между вырубками в ельниках (24) и сосняках (57 видов).

Микобиота примыкающих к вырубкам сосновых и еловых древостоев более разнообразна. Здесь выявлено 112 видов базидиальных афиллофороидных деревообитающих и напочвенных грибов. В таксономическом плане микобиота древостоев представлена 65 родами из 27 семейств и 11 порядков, заметно отличаясь от таковой на вырубках по числу родов (65 против 41) и семейств (27 и 20). Как и на вырубках, по числу видов и родов в данном случае доминируют те же 3 семейства: *Polyporaceae* – 18 видов из 11 родов, *Fomitopsidaceae* – 18 из 10, *Hymenochaetaceae* – 18 из 4. Кроме того, следует отметить семейство *Meruliaceae* с 10 видами из 7 родов. Остальные 23 семейства представлены единичными видами и родами. Из общего количества выявленных в исследовании базидиомицетов (133 вида) только 44 были встречены и на вырубках, и в древостоях, примыкающих к ним. В основном это виды, развивающиеся на древесном отпаде и пнях.

Значительные различия в сосновых и еловых фитоценозах есть как в видовом, так и в таксономическом разнообразии микобиоты, несмотря на сходство лесорастительных условий. Так из 112 базидиомицетов, зарегистрированных в этих древостоях, 77 видов были ассоциированы с сосняками и 66 видов – с ельниками. В сосняках микобиота представлена 48 родами из 21 семейства и 9 порядков, доминирующими семействами являются *Fomitopsidaceae* и *Polyporaceae* (по 14 видов), *Hymenochaetaceae* (10 видов) и *Meruliaceae* (8 видов). В ельниках – 38 родами из 20 семейств и 8 порядков, с большей видовой насыщенностью доминирует семейство *Hymenochaetaceae* (14 видов), с меньшей – *Fomitopsidaceae* (10), *Polyporaceae* (9 видов) и *Meruliaceae*

(6 видов). Та же тенденция наблюдается на вырубках, так как биоразнообразие афиллофороидных грибов в большей степени зависит от наличия соответствующего субстрата (древесного отпада разной давности, пней и порубочных остатков).

Биота афиллофороидных грибов на вырубках и в прилегающих древостоях

Видовой состав грибов	Выруб- ки	Давность рубки, лет			Тип леса		Прилегающие древостои	
		1-2	3-5	6-11	С. бр., С. черн.	Е. черн.	С. бр., С. черн.	Е. черн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Albatrellus ovinus</i> (Schaeff.: Fr.) Kotl. et Pouzar							+	
<i>Amphinema byssoides</i> (Pers.: Fr.) J. Erikss.								+
<i>Amylocorticium suaveolens</i> Parmasto								+
<i>Amylocystis lapponica</i> (Romell) Bondartsev et Singer ex Singer	+			+		+		+
<i>Antrodia serialis</i> (Fr.) Donk	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. sinuosa</i> (Fr.) P. Karst.	+	+	+	+	+	+	+	
<i>A. xantha</i> (Fr.) Ryvarden							+	
<i>Antrodiella pallescens</i> (Pilát) Niemelä et Miettinen								+
<i>Asterodon ferruginosus</i> Pat.	+			+	+			
<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd.) P. Karst.	+	+		+	+	+	+	+
<i>Botryobasidium candicans</i> J. Erikss.								+
<i>B. subcoronatum</i> (Höhn. et Litsch.) Donk							+	+
<i>Botryohypochnus isabellinus</i> (Fr.) J. Erikss.	+	+		+	+			+
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	+	+						+
<i>Ceraceomyces serpens</i> (Tode : Fr.) Ginns	+			+	+			
<i>Cerrena unicolor</i> (Bull.) Murrill	+	+			+			+
<i>Chondrostereum purpureum</i> (Pers.) Pouzar	+	+			+			
<i>Clavicornia pyxidata</i> (Fr.) Doty								+
<i>Climacocystis borealis</i> (Fr.) Kotl. et Pouzar								+
<i>Coltricia perennis</i> (L.) Murrill	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Conferticium karstenii</i> (Donk) Hallenb.	+	+			+			
<i>C. ochraceum</i> (Fr.) Hallenb.	+			+	+			
<i>Coniophora arida</i> (Fr.) P. Karst.	+	+	+		+	+		
<i>C. olivacea</i> (Fr.) P. Karst.	+		+	+	+	+	+	+
<i>Corticium roseum</i> Pers.	+		+			+	+	
<i>Craterellus cornucopioides</i> (L.) Pers.							+	
<i>C. tubaeformis</i> (Bull. : Fr.) Quéf.								+
<i>Crustoderma dryinum</i> (Berk. et M.A. Curtis) Parmasto							+	
<i>Dacryobolus karstenii</i> (Bres.) Oberw. ex Parmasto							+	
<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton) J. Schröt.	+	+			+			
<i>Datronia mollis</i> (Sommerf.) Donk							+	
<i>Dichostereum boreale</i> Pouzar								+
<i>Diplomitoporus flavescens</i> (Bres.) Domański							+	
<i>D. lindbladii</i> (Berk.) Gilb. et Ryvarden							+	
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>F. rosea</i> (Alb. et Schwein.) P. Karst.	+			+	+	+	+	+
<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.	+			+	+			+
<i>Gloeocystidiellum porosum</i> (Berk. et M.A. Curtis) Donk								+
<i>Gloeophyllum odoratum</i> (Wulfen: Fr.) Imaz.								+
<i>G. sepiarium</i> (Wulfen) P. Karst.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gloeoporus pannocinctus</i> (Romell) J. Erikss.							+	
<i>G. taxicola</i> (Pers.) Gilb. et Ryvarden							+	
<i>Gloeothele citrina</i> (Pers.) Ginns. et G.W. Freemar	+	+			+		+	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Hericium coralloides</i> (Scop.) Pers.	+			+	+			
<i>Hydnellum caeruleum</i> (Hornem.) P. Karst.							+	
<i>H. ferrugineum</i> (Fr.) P. Karst.							+	
<i>Hydnum repandum</i> L.							+	+
<i>H. rufescens</i> Pers.							+	+
<i>Hyphoderma setigerum</i> (Fr. : Fr.) Donk								+
<i>Hyphodontia abieticola</i> (Bourdot et Galzin) J. Erikss.							+	
<i>H. alutacea</i> (Fr.) J. Erikss.	+	+			+			
<i>H. alutaria</i> (Burt) J. Erikss.	+	+			+		+	+
<i>H. aspera</i> (Fr.) J. Erikss.	+			+	+			+
<i>H. barba-jovis</i> (Bull.) J. Erikss.	+			+	+		+	
<i>H. breviseta</i> (P. Karst.) J. Erikss.								+
<i>H. hastata</i> (Litsch.) J. Erikss.							+	
<i>H. subalutacea</i> (P. Karst.) J. Erikss.	+			+	+			
<i>Inonotus obliquus</i> (Ach. ex Pers.) Pilát							+	+
<i>Irpex lacteus</i> Fr.	+	+						
<i>Ischnoderma benzoinum</i> (Wahlenb. : Fr.) P. Karst.								+
<i>Laxitextum bicolor</i> (Pers.) Lentz	+			+	+			
<i>Lenzites betulina</i> (L.) Fr.	+	+		+	+		+	
<i>Leucogyrophana mollusca</i> (Fr.) Pouzar							+	
<i>L. romellii</i> Ginns	+			+	+			
<i>Merulius tremellosus</i> Schrad.: Fr.	+			+	+		+	+
<i>Mucronella flava</i> Corner								+
<i>Multiclavula mucida</i> (Pers.) R.H. Petersen							+	+
<i>Mutatoderma mutatum</i> (Peck) C.E. Gómez							+	
<i>Oxyporus corticola</i> (Fr.) Ryvarden							+	+
<i>Perenniporia subacida</i> (Peck) Donk								+
<i>Phaeolus schweinitzii</i> (Fr.) Pat.							+	
<i>Phanerochaete laevis</i> (Fr.) J. Erikss. et Ryvarden	+			+	+			
<i>Ph. sanguinea</i> (Fr.) Pouzar	+	+					+	
<i>Phellinus chrysoloma</i> (Fr.) Donk							+	+
<i>Ph. conchatus</i> (Pers.) Quél.	+	+			+			+
<i>Ph. ferrugineofuscus</i> (P. Karst.) Bourdot et Galzin								+
<i>Ph. igniarius</i> (L.) Quél.								+
<i>Ph. laevigatus</i> (Fr.) Bourdot et Galzin								+
<i>Ph. lundellii</i> Niemelä								+
<i>Ph. nigricans</i> (Fr.) P. Karst.	+			+	+		+	+
<i>Ph. pini</i> (Brot.) Bondartsev et Singer	+	+			+		+	
<i>Ph. populicola</i> Niemelä								+
<i>Ph. punctatus</i> (P. Karst.) Pilát							+	
<i>Ph. tremulae</i> (Bondartsev) Bondartsev et P.N. Borisov	+			+	+		+	+
<i>Ph. viticola</i> (Schwein.) Donk	+		+			+		+
<i>Phlebia centrifuga</i> P. Karst.							+	+
<i>Ph. radiata</i> Fr.							+	
<i>Ph. segregata</i> (Bourdot et Galzin) Parmasto								+
<i>Phlebiopsis gigantea</i> (Fr.: Fr.) Jülich	+	+			+		+	+
<i>Piloderma fallax</i> (Liberta) Stalpers	+			+	+			+
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.							+	+
<i>Polyporus badius</i> (Pers.) Schwein.	+	+			+			
<i>P. varius</i> Fr.	+			+		+		
<i>Postia alni</i> Niemelä et Vampola	+			+	+		+	
<i>P. fragilis</i> (Fr.) Jülich	+			+	+		+	+
<i>P. guttulata</i> (Peck ex Sacc.) Jülich	+		+	+	+	+	+	
<i>P. lateritia</i> Rennvall							+	
<i>P. stiptica</i> (Pers.) Jülich							+	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>P. tephroleuca</i> (Fr.) Jülich	+			+		+	+	+
<i>Pseudomerulius aureus</i> (Fr.) Jülich							+	
<i>Pycnoporellus fulgens</i> (Fr.) Donk								+
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i> (Jacq.) P. Karst.	+		+	+	+	+	+	
<i>Ramaria aurea</i> (Schaeff.) Quél.							+	
<i>Resinicium furfuraceum</i> (Bres.) Parmasto	+	+			+			
<i>Rhodonía placenta</i> (Fr.) Niemelä, K.H. Larss. et Schigel							+	
<i>Rigidoporus crocatus</i> (Pat.) Ryvarden							+	
<i>Sarcodon fennicus</i> (P. Karst.) P. Karst.							+	
<i>S. imbricatus</i> (L. : Fr.) P. Karst.							+	
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	+	+			+			
<i>Skeletocutis amorpha</i> (Fr.) Kotl. et Pouzar	+	+		+	+		+	
<i>S. chrysella</i> Niemelä								+
<i>S. odora</i> (Sacc.) Ginns								+
<i>Steccherinum ochraceum</i> (Pers.) Gray	+			+	+		+	+
<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	+			+	+		+	
<i>S. rugosum</i> Yasuda	+		+			+		
<i>S. sanguinolentum</i> (Alb. et Schwein.) Fr.	+	+			+			+
<i>S. subtomentosum</i> Pouzar							+	
<i>Thelephora terrestris</i> Ehrh.	+			+	+		+	
<i>Tomentella bryophila</i> (Peck) M.J. Larsen	+			+	+			
<i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd	+	+	+		+	+		
<i>T. ochracea</i> (Pers.) Gilb. et Ryvarden	+	+		+	+	+	+	+
<i>T. pubescens</i> (Schumacher) Pilát	+	+	+	+	+	+	+	
<i>T. trogii</i> Berk.	+			+	+	+		
<i>Trichaptum abietinum</i> (Dicks.) Ryvarden	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>T. fuscoviolaceum</i> (Ehrenb.) Ryvarden	+	+		+	+	+	+	+
<i>T. laricinum</i> (P. Karst.) Ryvarden							+	+
<i>T. pargamenum</i> (Fr.) G. Cunn.							+	
<i>Tubulicrinis borealis</i> J. Erikss.								+
<i>T. calothrix</i> (Pat.) Donk							+	
<i>T. strangulatus</i> K.H. Lars. et Hjortstam							+	
<i>T. subulatus</i> (Bourdot et Galzin) Donk							+	+
<i>Veluticeps abietina</i> (Pers.: Fr.) Hjortstam et Tellería								+
Итого:	65	33	16	43	57	24	77	67

Примечание. Тип леса: С. бр. – сосняк брусничный, С. черн. – сосняк черничный; Е. черн. – ельник черничный. С – сосна, Е – ель, главные породы.

Подтверждаются выводы других исследователей (Junninen et al., 2006; Коткова, 2010; Bässler et al., 2010) о том, что под влиянием рубок снижается видовое разнообразие грибов, связанных с мертвой древесиной. Вырубки сильнее влияют на виды с меньшей частотой встречаемости, чем на широко распространенные. Чувствительнее к воздействию рубок оказываются однолетние кортициидные виды, чем многолетние полипоровые. Виды грибов, приуроченные к соснякам, оказываются более приспособленными к нарушениям (вырубкам), чем виды, связанные с ельниками (Penttilä et al., 2004; Penttilä et al., 2006 Sippola et al., 2001; Stokland, Larsson, 2011).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».

Литература

1. Коткова В.М. Афиллофоровые грибы в различных лесных местообитаниях Псковского модельного леса // Результаты исследований на территории Псковского модельного леса. СПб., 2010. С. 32–38.

2. Крышень А.М. Механизмы развития и устойчивости лесных растительных сообществ // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Санкт-Петербург, 2011. Т. 2. С. 116-119.
3. Bässler C., Müller J., Dzlock F. and Brandl R. Effects of resource availability and climate on the diversity on wood-decaying fungi // Journal of Ecology. 2010. Vol. 98. P. 822–832.
4. Index Fungorum. CABI Database. URL: <http://www.indexfungorum.org>, 2014 (дата обращения: 24.01.2014).
5. Penttilä R., Lindgren M., Miettinen O., Rita H., Hanski I. Consequences of forest fragmentation for polyporous fungi at two spatial scales // Oikos. 2006. Vol. 114. P. 225–240.
6. Penttilä R., Siitonen J., Kuusinen M. Polypore diversity in managed and oldgrowth boreal Picea abies forests in southern Finland // Biological Conservation. 2004. Vol. 117. P. 271–283.
7. Sippola A.-L., Lehesvirta T., Renvall P. Effects of selective logging on coarse woody debris and diversity of wood-decaying polypores in eastern Finland // Ecological Bulletins. 2001. Vol. 49. P. 243–254.
8. Stokland J.N., Larsson K.-H. Legacies from natural forest dynamics: Different effects of forest management on wood-inhabiting fungi in pine and spruce forests // Forest Ecology and Management. 2011. Vol. 261. P. 1707–1721.
9. Junninen K., Similä M., Kouki J., Kotiranta H. Assemblages of woodinhabiting fungi along the gradients of succession and naturalness in boreal pinedominated forests in Fennoscandia // Ecography. 2006. Vol. 29. P. 75–83.

Сазонова Т.А., Софронова И.Н., Новичонок Е.В., Придача В.Б.

Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
alt86@rambler.ru

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

В контексте проблемы глобального изменения климата одной из актуальных является проблема устойчивости гидрологического цикла в лесных экосистемах. Однако до сих пор остается открытым вопрос о возможных ответных реакциях видов, их сообществ и экосистем в разных регионах на прогнозируемые изменения климата. Для оценки устойчивости сообществ и слагающих их видов к колебаниям климата необходимо располагать количественными характеристиками основных показателей состояния растений, которые можно рассматривать как норму для данных условий произрастания. В свою очередь, для оценки участия каждого вида в водном обмене всего фитоценоза важна информация о закономерностях изменчивости переменных этих процессов у отдельных видов. Анализ известных данных (Plant stems..., 1995; Meinzer et al., 2001; Шереметьев, 2005; Молчанов, 2007; Сазонова и др., 2011; Сенькина, 2013) показывает как различия показателей водного обмена у разных видов в одинаковых экологических условиях, так и их сходство у растений одного вида, но из разных мест обитания. Это свидетельствует о видоспецифичном характере процесса водного обмена, и, казалось бы, позволяет привлекать для анализа данные, полученные разными авторами. Однако неадекватность методик и длительности исследований порой дают значительные различия в результатах. Целью нашей работы было сравнительное исследование закономерностей временной (суточный, вегетационный период) и пространственной (крона дерева) изменчивости переменных водного режима лиственного (*Betula pendula* Roth) и хвойного (*Pinus sylvestris* L.) растений в условиях достаточного почвенного обеспечения водой и минеральными элементами.

Исследования проводили в средней тайге на экспериментальном участке Института леса КарНЦ РАН в сосняке черничном свежем (южная Карелия, N 61°45', E 34°20'). Таксационное описание древостоя и характеристика почв представлены в работе (Разнообразие почв..., 2006). Объектами исследования служили 20-летние деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth). Полевые исследования проводили в дневное время суток в июле-августе 2013 года в дни с разными погодными условиями. Для сравнительного анализа также использовали данные непрерывной и дискретной сезонной (май-сентябрь) регистрации показателей водного режима, полученные нами ранее (Ефимова, Кайбияйнен, 2001; Сазонова и др., 2011). Водные потенциалы почвы определяли тензиометрически (Соловьев, 1971], водные потенциалы корней (Ψ_r) и

облиственных (охвоенных) побегов ($\Psi_{ноб.}$) — методом камеры давления (Сазонова, 1979). В исследованиях 2013 года для измерения $\Psi_{ноб.}$ использовали камеру давления Plant Moisture Vessel SKPM 1400 (Skye Instruments Ltd., Великобритания). Для измерения скорости водного потока применяли тепловые методы: для определения относительной скорости ($V_{отн.}$) — метод стационарного нагрева (Тихов, 1979), абсолютной ($V_{абс.}$) — импульсный (Кайбияйнен и др., 1981). Метеорологические параметры определяли стандартными метеоприборами и с помощью системы LI-COR 6400XT (LI-COR Inc., США). Для обработки экспериментальных данных использовали корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализы. Проверку гипотез и оценку существенных различий между средними величинами осуществляли с помощью критерия Стьюдента и критерия Фишера при 5%-ном уровне значимости.

Результаты нашего исследования показали, что водные потенциалы почвы (Ψ_n) в сосняке черничном свежем в зоне наибольшего распространения корней имели высокие значения в течение вегетационных периодов (май-сентябрь). Во все годы наблюдений Ψ_n не опускался ниже -0.05 МПа. Водные потенциалы корней (Ψ_k) деревьев сосны и березы были близки по величине и размаху колебаний в течение суток. Средние за вегетацию предрассветные и дневные Ψ_k составили -0.22 ± 0.02 и -0.32 ± 0.03 МПа (сосна) и -0.21 ± 0.03 и -0.27 ± 0.04 (береза) МПа. Вследствие мозаичности во влажности почвы в пределах объема корневой системы дерева Ψ_k обладали определенной пространственной вариабельностью, которая у сосны была ниже, чем у березы. Так, например, при определении Ψ_k как среднего из 5-10 измерений, относительная ошибка для сосны и березы составила 13-15 и 15-25% соответственно.

Сравнительное исследование водных потенциалов охвоенных (облиственных) побегов ($\Psi_{ноб.}$) сосны и березы показало сходство их суточной динамики. Наряду с этим отмечались всегда более высокие предрассветные величины $\Psi_{ноб. max}$ березы по сравнению с сосной. Так, например, максимальные предрассветные $\Psi_{ноб. max}$ березы и сосны составили -0.1 и -0.3 МПа соответственно. Сравнение минимальных дневных водных потенциалов охвоенных (облиственных) побегов ($\Psi_{ноб. min}$) деревьев сосны и березы выявило три варианта: первый - $\Psi_{ноб. min}$ березы выше, чем у сосны и второй - $\Psi_{ноб. min}$ березы ниже, чем у сосны, третий - $\Psi_{ноб. min}$ обоих видов близки между собой. Первый вариант наблюдали в начале вегетации (июнь) в фазу распускания листьев у растений березы, второй — в середине вегетации (июль) в фазу появления и роста молодой хвои у растений сосны. Эти периоды были довольно короткими и большую часть вегетации наблюдали близость значений $\Psi_{ноб. min}$ обоих видов. Наименьшие дневные $\Psi_{ноб. min}$ составили для сосны и березы соответственно -1.5 и -1.6 МПа. Размах суточных колебаний $\Psi_{ноб.}$ у березы был несколько выше, чем у сосны. Изменения $\Psi_{ноб.}$ в течение суток были связаны, прежде всего, с колебаниями погодных условий, поскольку почвенная влагообеспеченность растений была достаточной. Диапазоны изменчивости $\Psi_{ноб. max}$ и $\Psi_{ноб. min}$ сохранялись в разные вегетационные периоды, что явилось основанием для расчета их средних за вегетацию величин. В разные годы наблюдений они варьировали в незначительных пределах и составляли $-0.44 \pm 0.07 \dots -0.43 \pm 0.05$ МПа и $-1.01 \pm 0.14 \dots -0.97 \pm 0.07$ МПа (сосна) и $0.24 \pm 0.02 \dots -0.22 \pm 0.02$ и $-1.14 \pm 0.08 \dots -1.0 \pm 0.02$ МПа (береза). При сравнении максимальных и минимальных значений $\Psi_{ноб.}$ в разные годы исследования значимых различий не обнаружено ($p < 0.05$), что свидетельствует о постоянстве показателей в межгодовой динамике.

Величины $\Psi_{ноб. min}$ и $\Psi_{ноб. max}$ являются показателями водного дефицита [Hinckley et al., 1978]. При этом дневные водные потенциалы свидетельствуют о величине водного дефицита, сформировавшегося в растении вследствие нарушения баланса между расходом воды на транспирацию и поступлением ее из почвы, предрассветные - о степени восполнения этого дефицита. Поэтому $\Psi_{ноб. min}$ и $\Psi_{ноб. max}$ должны быть определенным образом связаны друг с другом. Зависимость между дневным (предыдущего дня) и предрассветным Ψ мы аппроксимировали линейными уравнениями:

$$\begin{aligned} \Psi_{ноб. max} &= 0.25 \Psi_{ноб. min} - 0.19 & R^2 &= 0.41 (Pinus sylvestris L.) \\ \Psi_{ноб. max} &= 0.20 \Psi_{ноб. min} - 0.06 & R^2 &= 0.23 (Betula pendula Roth) \end{aligned}$$

Невысокие значения R^2 , что особенно характерно для растений березы, объясняются тем, что взаимосвязь Ψ_{min} и Ψ_{max} опосредована как влиянием других внутренних параметров, в первую очередь оводненности, так и факторов внешней среды.

Сравнительный анализ внутрикрупной вариабельности $\Psi_{ноб.}$ выявил существенные различия показателя у исследуемых видов. Так, у деревьев сосны изменчивость $\Psi_{ноб.}$ в кроне сравнительно невелика. Например, наибольшая разница при сравнении $\Psi_{ноб.}$ освещенных и затененных побегов, а также одинаково освещенных, но расположенных на разной высоте, составляла соответственно 0.17

и 0.25 МПа. В пасмурные дни она была ниже и составила 0.10 МПа. У березы, напротив, значения $\Psi_{ноб}$ изменялись в больших пределах в зависимости от высоты и уровня освещенности. Наибольшие различия наблюдали в теплую солнечную погоду. Так, по нашим данным при измерении $\Psi_{ноб}$ на высоте 12, 10, 7 и 5 м от основания дерева, их величины составили соответственно -1.12, -0.67, -0.61 и -0.56 МПа. Меньшая разница в $\Psi_{ноб}$ березы отмечалась в пасмурную погоду. Полученные результаты по внутрикрановой вариабельности $\Psi_{ноб}$, вероятно, могут свидетельствовать об однородности хвои сосны по признаку ксероморфности и значительных различиях в анатомической структуре листьев березы.

Наши исследования скорости водного потока по ксилеме ствола деревьев сосны и березы показали сходство их суточной динамики и существенные различия в величинах. Более высокие величины скоростей были отмечены у растений березы по сравнению с сосной. Так, максимальные значения линейной и объемной скорости, регистрируемые в летние месяцы, составляли у березы и сосны, соответственно, 26.5 см ч⁻¹ и 13.81 г см⁻² ч⁻¹, 15.5 см·час⁻¹ и 9.95 г·см⁻²·час⁻¹ (Ефимова, Кайбияйнен, 2001; Сазонова, Колосова, 2005). Средние за вегетационный период (май-сентябрь) среднесуточные скорости водного потока у сосны были 4.6 см·час⁻¹ и 3.2 г·см⁻²·час⁻¹, средние среднесуточные за июнь-август у березы – 8.68 см ч⁻¹ и 5.65 г см⁻² ч⁻¹. Различия в скоростях связаны, прежде всего, с особенностями строения древесины сосны и березы. Известно, что основными элементами древесины хвойных являются трахеиды, которые представляют собой мертвые клетки длиной от 0.5 до 15 мм. Стенки соседних трахеид содержат многочисленные поры, способствующие движению воды и растворов между трахеидами. Характерной чертой древесины покрытосеменных является наличие сосудов, состоящих из серии вертикальных клеток, у которых нет поперечной стенки (Крамер, Козловский, 1983). Для березы, в частности, отмечают рассеянно-сосудистое строение древесины с сосудами до 10 см длиной и диаметром 20 мкм (Ванин, 1949; и др.). Вследствие этого, меньшие размеры трахеид у хвойных, по сравнению с размерами сосудов лиственных пород, являются причиной большего сопротивления движению воды у сосны по сравнению с березой.

Проведенный анализ взаимосвязи скорости водного потока и движущих водный поток сил – водных потенциалов косвенным образом свидетельствует о более высокой проводимости ксилемы березы по сравнению с сосной. Сопоставление относительной скорости водного потока ($V_{отн.}$) и $\Psi_{ноб}$ показало, что увеличение движущей водный поток силы (уменьшение $\Psi_{ноб}$) до -0.4 МПа (береза) и -0.6 МПа (сосна) приводит к увеличению $V_{отн.}$. Изменение значений $\Psi_{ноб}$ в диапазоне -0.4...-0.6 МПа (береза) и -0.6...-0.85 МПа (сосна) не влияет на $V_{отн.}$. При значениях $\Psi_{ноб}$ ниже -0.6 МПа (береза) и -0.85 (сосна) $V_{отн.}$ уменьшается. Уменьшение водного потенциала характеризует, с одной стороны, увеличение движущей водный поток силы, что приводит к увеличению скорости потока, с другой – уменьшение $\Psi_{ноб}$ свидетельствует о нарастании водного дефицита в проводящей системе дерева. Ранее нами показано, что водный потенциал, соответствующий максимуму $V_{отн.}$, является показателем начала изменения оводненности водопроводящей системы дерева (Сазонова, Колосова, 2005). Из наших данных следует, что начало уменьшения оводненности ствола у березы происходит при более высоком значении $\Psi_{ноб}$. Диапазон $\Psi_{ноб}$, которому соответствует максимальная скорость водного потока у березы (-0.4 ... -0.6 МПа), сдвинут в сторону более высоких значений по сравнению с сосной (-0.6 ... -0.85 МПа).

Особый интерес представляют водные потоки, регистрируемые в ночное время. Известно, что интенсивность транспирации уменьшается в вечерние часы и при нулевой интенсивности ФАР прекращается (Веселков, Тихов, 1984; и др.). Водные потоки, благодаря наличию градиента водного потенциала в звене «почва-растение», не прекращаются и в ночное время. В течение ночи скорость водного потока уменьшается, а водный потенциал увеличивается, достигая предельных за сутки величин к предрассветному часу. Взаимосвязь величин ($V_{отн.min}$ и Ψ_{max}) мы аппроксимировали линейными уравнениями:

$$V_{отн.min} = -4.97 \Psi_{max} - 0.45 \quad R^2 = 0.59 (Betula pendula \text{ Roth})$$

$$V_{отн.min} = -7.11 \Psi_{max} - 2.05 \quad R^2 = 0.60 (Pinus sylvestris \text{ L.})$$

Более низкий (по абсолютному значению) коэффициент, показывающий угол наклона прямой, в уравнении связи березы (-4.97) по сравнению с сосной (-7.11) является еще одним свидетельством более низкого сопротивления движению влаги у березы по сравнению с сосной.

Таким образом, проведенное нами исследование переменных водного режима деревьев сосны и березы показало, что выявленные отличия в их величинах в большей степени обусловлены различиями эколого-биологических характеристик и поведенческих стратегий исследуемых видов.

Однако, одинаковый характер динамики показателей водного обмена сосны и березы может быть обусловлен сходством эволюционно выработанных адаптаций к меняющимся условиям среды.

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

Литература

1. Ванин С.И. Древесиноведение. М.: Гослесбумиздат, 1949. 432 с.
2. Веселков Б.М., Тихов П.В. Связь транспорта воды по ксилеме с интенсивностью транспирации у сосны обыкновенной // Физиол. раст., 1984. Т. 31. № 6. С. 1099-1107.
3. Ефимова И.Н., Кайбияйнен Л.К. Сезонная динамика потоков пасоки и водопотребления у березы повислой // Лесоведение, 2001. № 4. С. 52-57.
4. Кайбияйнен Л.К., Сазонова Т.А., Тихов П.В. Транспирационные потоки в ксилеме сосны и динамика потребления влаги // Лесоведение. 1981. № 2. С. 27-34.
5. Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-ть, 1983. 462 с.
6. Молчанов А.Г. Баланс CO₂ в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Москва, 2007. 284 с.
7. Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги. М.: Наука, 2006. 287 с.
8. Сазонова Т.А. Применение камеры давления в экологических исследованиях // Биофизические методы исследований в экофизиологии древесных растений. Л.: Наука, 1979. С.86-97.
9. Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск, 2011. 207 с.
10. Сазонова Т. А., Колосова С. В. Влияние факторов внешней среды на показатели водного обмена *Pinus sylvestris*, *Picea abies* (Pinaceae) и *Betula pendula* (Betulaceae) // Бот. журн., 2005. Т. 90. № 8. С.1227-1235.
11. Сенькина С.Н. Водный режим сосны и ели в фитоценозах Севера. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 104 с.
12. Соловьев С.А. Применение тензиометров в экологических исследованиях // Экология, 1971. № 6. С. 93-95.
13. Тихов П.В. Тепловой метод непрерывной регистрации относительной скорости движения пасоки в ксилеме древесных растений // Биофизические методы исследования в экофизиологии древесных растений. Л.: Наука, 1979. С. 68-86.
14. Шереметьев С.Н. Травы на градиенте влажности почвы (водный обмен и структурно-функциональная организация). М, 2005. 271 с.
15. Hinckley T.M., Lassoie J.R., Running S.W. Temporal and spatial variations in the water status of forest trees // Forest Science, 1978. Vol. 20. P. 186-194.
16. Meinzer F.C., Clearwater M.J., Goldstein G. Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies // Envir. and Experim. Botany, 2001. Vol. 45. P. 239-262.
17. Plant stems: physiology and functional morphology. San Diego: Academic Press, 1995. 196 p.

Сорокин Н.Д., Гродницкая И.Д., Евграфова С.Ю., Сырцов С.Н., Александров Д.Е.

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, г. Красноярск

microlab@ksc.krasn.ru

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОБНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ КРИОЛИТОЗОНЫ СИБИРИ

Значительная часть наземных экосистем Сибири и их неотъемлемая составляющая лесные биогеоценозы функционируют в экстремальных условиях криолитозоны. При этом их устойчивое развитие обусловлено, наряду с другими факторами, биогеоценозическими функциями микробного сообщества - одного из самых реактивных компонентов лесного биогеоценоза. С другой стороны, на водосборных бассейнах в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов при таянии мерзлоты, вызванного нарушениями древесного яруса в результате лесохозяйственной деятельности и частых лесных пожаров, существенно меняется динамика соединений углерода и азота, в том числе в виде парниковых газов CO₂, CH₄, N₂O. Эмиссия этих газов имеет существенную связь с функциональной активностью микроорганизмов.

Кроме того, с биогеохимическими функциями микробного сообщества связаны многие процессы, обеспечивающие лесорастительную способность криогенных почв. Это такие элементарные почвенно-биологические процессы (ЭБП) как аммонификация, нитрификация, денитрификация, биодеструкция клетчатки и процессы гумусообразования-гумусоразложения, а также ряд элементарных почвенных процессов (ЭПП). Структурно-функциональные сукцессии микробных комплексов тесно сопряжены с динамикой биогенных почвенных элементов (N, P, K), с реакцией почвенного раствора (pH), с динамикой подвижных оснований Ca, Mg и других химических элементов. Все эти факторы определяют гомеостаз почвенной экосистемы и ее лесорастительную способность в условиях криолитозоны.

Цель работы. Исследование структурно-функциональных особенностей развития микробных комплексов в экстремальных условиях криолитозоны, в том числе при антропогенных воздействиях, и выявление механизмов их устойчивости, обеспечение почвенного гомеостаза и лесорастительной способности экосистем.

Решаемые задачи. Изучение структурно-функциональных сукцессий микробных комплексов криогенных почв лиственничников Центральной Эвенкии сопряженно с динамикой их физических, химических, агрохимических свойств и гидротермических условий (Эвенкийский ОЭП ИЛ СО РАН);

- определение микробной эмиссии CO_2 и CH_4 в условиях постоянных пробных площадей, заложенных в лиственничниках Центральной Эвенкии и на объектах полигональной тундры в дельте р. Лены (о. Самойловский);

- выявление структурных особенностей микробных сообществ цикла метана (метанотрофов и метаногенных архебактерий) с использованием PLFA, PLEL и ПЦР-анализов;

- исследование микробиологической эмиссии CO_2 и CH_4 в природном эксперименте по прогреванию криогенного почвенного биогоризонта (имитация глобального потепления)

В соответствие с целью и задачами работы основные исследования были направлены на сопряженное определение количественных параметров эмиссии CH_4 и CO_2 в зоне криогенеза лиственничников Центральной Эвенкии на постоянных пробных площадях (ППП) и двух экспериментальных участках (№ 1 и № 2) с искусственным прогреванием почвенного биогоризонта, сформированного на льдистой мерзлоте, а также в условиях полигональной тундры в дельте р. Лены (о. Самойловский). Непосредственными объектами исследования в Центральной Эвенкии служили постоянные пробные площади, заложенные на склонах южной и северной экспозиции в лиственничниках, сформированных в зоне сплошного распространения вечной мерзлоты. В тундровых экосистемах динамику эмиссии метана наблюдали в центральной части и на кромке морозобойного полигона.

В условиях лиственничников Центральной Эвенкии заложены опытные участки, на которых был удален верхний надмерзлотный слой почвы. На поверхности площадок сделаны траншейки, в которые засыпан сухой песок и проложен нагревательный кабель. Затем почвенный покров восстанавливался. Прогрев мерзлоты осуществлялся генератором переменного тока с превышением температуры 3-4°C.

Анализ концентраций CO_2 и CH_4 проводили в полевых условиях и в лаборатории с использованием хроматографа Agilent 6890 N. Дыхательную активность микробных комплексов почвы (БД), биомассу микроорганизмов (БМ) и метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$) определяли методом субстрат индуцированного дыхания СИД (Anderson, Domsh, 1978; Anderson, Domsh, 1993; Ананьева, 2003). Сопряженно анализировали профили жирных кислот (ЖК) и этирифицированных углеводов (ЭУ) клеточных стенок микроорганизмов (PLFA и PLEL соответственно). На опытных участках в лиственничниках Центральной Эвенкии были заложены почвенные разрезы и проведен агрохимический и микробиологический анализ образцов почвы (Методы стационарного..., 1977).

Установлено, что микробиологическая активность надмерзлотного горизонта криогенных почв Центральной Эвенкии достигает своего апогея в летний период вегетации за счет повышенной деятельности копиотрофов (проторофов) и олиготрофов (рис. 1). Минимальной численностью всех групп микроорганизмов характеризуется слой 20-40 см, но вместе с тем, процессы минерализации поступивший органики в нем выше, чем в других горизонтах ($\text{КМИН} = 3.7$, $\text{КОЛИГ} = 4.5$), что, согласно агрохимическому анализу, связано со снижением кислотности в данной слое.

Найдена довольно высокая прямая корреляция между БМ и аммонификаторами ($r=0.5$), а также аммонификаторов с подвижными формами азота ($r=0.5$); проторофов с pH ($r=0.9$); олиготрофов с фосфором ($r=0.54$), общим и подвижным азотом ($r=0.4-0.44$); и обратная корреляция аммонификаторов с pH ($r=-0.43$) и с Сгум ($r=-0.46$); олиготрофов с гумусом ($r=-0.9$).

Наибольшей дыхательной активностью характеризуется поверхностный слой почвы, что свидетельствует об участии в дыхании не только микроорганизмов, но и корней растений (мхов). В минеральном профиле наибольшая микробная биомасса зарегистрирована в надмерзлотном слое (354 мкг С/г почвы).

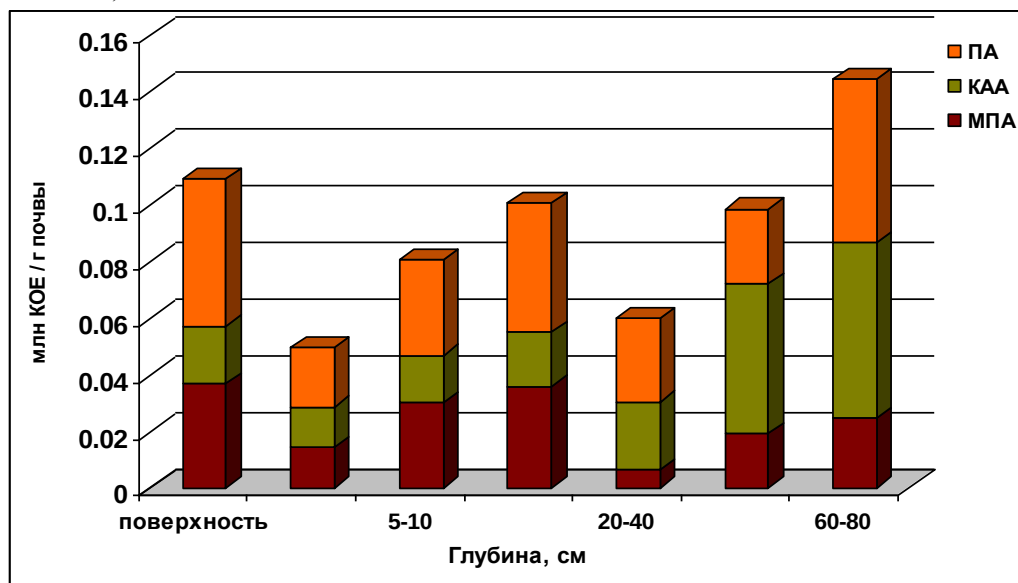


Рис. 1. Распределение основных функциональных групп микроорганизмов по профилю разреза (МПА - аммонификаторы; КАА - прототрофы; ПА – олиготрофы)

Продукция метана микробными сообществами изучаемых почв была обнаружена только в верхних горизонтах. На склоне северной экспозиции микробоценозы выделяли метан в слоях почвы 0-5 и 5-10 см; на склоне южной экспозиции – в слоях 0-5, 5-10 и 10-20 см. Суммарная количественная оценка потенциальной продукции метана составила 0.20 ± 0.06 н Моля CH_4 / м^2 /сут для почв склона северной экспозиции и 0.31 ± 0.13 н Моля CH_4 / м^2 /сут для почв склона южной экспозиции.

Определение эмиссии метана в почвах Центральной Эвенкии в динамике за летний сезон свидетельствует, что максимальное количество его выделяется в слоях 20 см (от 8.7 – в июне до 12.4 – в августе ррт CH_4), и в 50 см (от 8.0 – в июне до 12.0 – в августе). Причем, в среднем в слое 50 см за сезон отмечено наибольшее выделение (10.5 ррт CH_4), что в 1.4 раза превышает выделение метана из слоя 0-5 см (рис. 2).

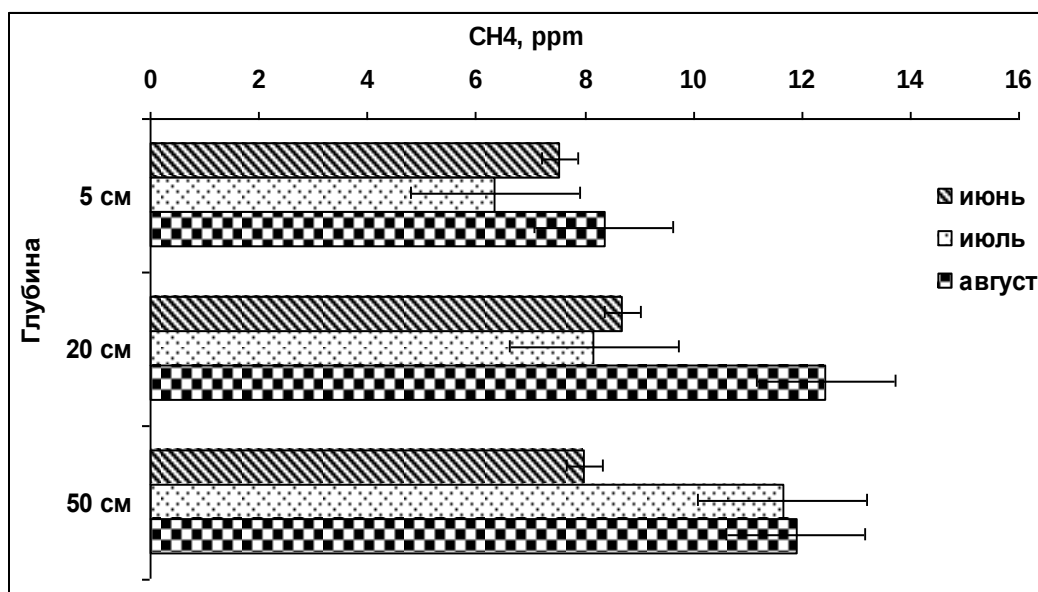


Рис. 2. Количество метана (ррт), выделившееся по профилю криогенной почвы, за три месяца наблюдений

Сопряженно с определением эмиссии CH_4 были исследованы профили жирных кислот микроорганизмов, участвующих в метаногенезе. При анализе жирных кислот и этерифицированных углеводов клеточных стенок микроорганизмов (PLFA и PLEL, соответственно) в сезонно-талом горизонте исследуемых почв обнаружены биомаркерные липиды метанотрофных микроорганизмов I типа, типичные для семейства *Micrococcaceae* и метанотрофов II типа, семейства *Methylocystaceae*. Метанотрофы обоих типов встречаются по всему профилю сезонно-талого слоя почвы лиственничной экосистемы. Биомаркеры метаногенной микрофлоры (*Archaea*) в исследуемых почвах представлены короткоцепочечным изопреноидом (i20:1) и фитаном (i20:0), количественные показатели которых были очень низкими.

Полученные данные могут являться свидетельством того, что в условиях криогенных почв (криоземы гомогенные) лиственничников Центральной Эвенкии эмиссия CH_4 в летний период достигает значительных размеров (от 3.5 до 11.1 мг CH_4 /м²/сут), несмотря на то, что метаногены в количественном соотношении явно уступают метанотрофам. Поэтому следовало ожидать, что при экспериментальном повышении температуры биогенного почвенного горизонта активность метаногенов будет возрастать.

Исследования на природном модельном эксперименте по искусственному прогреванию верхнего биогенного горизонта криозема гомогенного, сформированного на вечной мерзлоте, показали повышение уровня концентраций растворимого органического углерода (РОУ) и основных анионов на участке прогревания. При этом отмечено стабильное увеличение эмиссии метана с поверхности почвы на опытном участке, по сравнению с контрольным, в течение периода прогревания (с превышением температуры на 3-4°C) почвенного мерзлотного слоя.

Однако следует отметить, что при максимальном повышении летней температуры воздуха в течение вегетационного периода, различия в скорости эмиссии CH_4 на опытном и контрольном участках являются не существенными (достоверность различий $t=1.2-1.4$). Очевидно, чтобы получить эффект высокой эмиссии CH_4 при прогревании мерзлоты – необходимо превышение температуры порядка 10°C. Как известно, при повышении температуры на 10°C скорость химических реакций (биохимических процессов) возрастает в два раза.

Микробоценозы сезонно-талого горизонта почв полигональной тундры в дельте р. Лены (о. Самойловский) адаптированы к условиям низких температур и высокой влажности. Важным вопросом является потенциальная способность аборигенных микробных сообществ арктических тундровых экосистем к поэтапному и полному разложению захороненной органики в случае повышения температуры окружающей среды. Одним из показателей активности процессов разложения органического вещества является гетеротрофное дыхание (выделение микроорганизмами в процессе жизнедеятельности углекислоты). Гетеротрофные микроорганизмы, как правило, аэробны или факультативно анаэробны, и локализуются в местообитаниях с высоким содержанием органического вещества. Установлено, что биомасса микроорганизмов (МБ) имеет очень низкие значения (за исключением БМ живого напочвенного покрова и надмерзлотного горизонта почвы бровки). Высокая гетеротрофная активность при столь низкой выявленной биомассе либо является следствием усиления процессов микробной жизнедеятельности при повышении температуры, либо предполагает наличие гетеротрофных микроорганизмов, не переключающихся на потребление глюкозы при ее добавлении к субстрату. Тем не менее, независимо от структуры гетеротрофного сообщества аборигенных микроорганизмов, можно говорить о ярко выраженной способности микробоценозов к потреблению накопленной в экосистеме органики при повышении температуры окружающей среды.

В летний период солнечной активности базальное дыхание на глубинах 0-5, 5-10, 10-15 см выше в центральной части полигона, чем на бровке в десять раз (5000 и 500 ppm на 1 г возд.-сух. почвы в слое 0-5 см). Соответственно микробная биомасса в этом сезонно-талом слое составляет немногим более 50 мкг/г почвы в центре и около 10 мкг – на бровке.

В тундровых экосистемах существенное выделение метана отмечено в центральной части морозобойного полигона. На рисунке 3 приведена динамика выделения CH_4 с поверхности полигона в период с 21 июля по 21 августа.

Из приведенных данных видно, что сильно увлажненный центр морозобойного полигона выделяет в 1.5-3 раза больше метана, чем «сухая» его кромка, и выделение CH_4 здесь варьирует в пространстве (разброс количества выделения метана между экологическими повторностями центральной части полигона может составлять 250-300%).

Анализ почвенных микробных сообществ по составу жирных кислот (ЖК) мембран клеточных стенок микроорганизмов (PLFA-анализ) свидетельствует о наличии существенной разницы в структуре микробоценозов. В почве тундровой экосистемы (о. Самойловский) преобладали биомаркеры метаноокисляющих бактерий I и II типа, в то время как в почве лесной экосистемы (Центральная Эвенкия) доминировали биомаркеры грамположительных и грамотрицательных бактерий и биомаркеры микроэукариот, а вышеуказанные бактерии были содоминантами. Подобные особенности строения микробоценозов демонстрируют различные пути утилизации углерода микробными популяциями исследуемых экосистем.

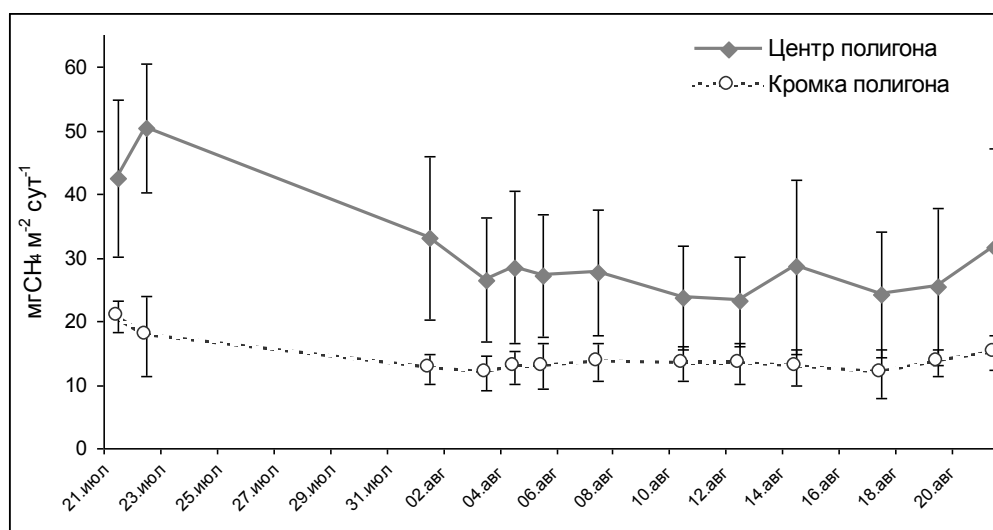


Рис. 3. Динамика выделения CH_4 с поверхности морозобойного полигона (усредненные данные из 5 экологических повторностей, Y-погрешности стандартного отклонения)

Таким образом, очевидно, что микробные комплексы криогенных почв севера Сибири большую часть года функционируют в условиях низких температур воздуха и почвы. Однако в период летней вегетации все жизненные процессы в криолитозоне достигают апогея своей активности. Функциональная активность микробных комплексов верхних почвенных горизонтов лесных биогеоценозов в этот период сравнима с таковой в почвах южнотаежной подзоны. Это выражается в повышении численности и биомассы, прежде всего, гетеротрофных комплексов микроорганизмов, в усилении их дыхательной активности и мобилизации растворимого органического углерода. Динамика микробиологических процессов коррелируют с агрохимическими показателями криогенных почв севера Сибири.

Следовательно, за короткий вегетационный период микробные сообщества северных биогеоценозов реализуют свои основные функции деструкции органических соединений и обеспечивают доступность питательных элементов растениям, что, несомненно, способствует устойчивости лесных экосистем.

В летний период, при естественных повышении температур усиливается микробиологическая эмиссия CO_2 и CH_4 из криогенных почв лиственничников Центральной Эвенкии и полигональной тундры дельты р. Лены. При этом очевидно, что даже незначительное повышение температуры почвы на южных склонах по сравнению с северными существенно увеличивает эмиссию газов с поверхности почв. Экспериментальное прогревание мерзлотного слоя почв подтверждает активизирующее влияние температуры на этот процесс. Поэтому природное моделирование процесса глобального потепления в северных широтах и ответная реакция микробных комплексов наземных экосистем могут служить целям ранней диагностики изменения всех жизненных процессов, в том числе связанных с эмиссией парниковых газов.

Литература

1. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
2. Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977. 248 с.

3. *Anderson T.H., Domsh K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil // *Soil Biology and Biochemistry*, 1978.10. P. 215-221.
4. *Anderson T.H., Domsh K.H.* The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as, pH, on the microbial biomass of forest soil // *Soil Biology and Biochemistry*, 1993. 25. P. 393-395.

Сорокина О.А.

ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск
nikos.1948@mail.ru

СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ СЕРЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

При стихийной или плановой трансформации лесных и сельскохозяйственных территорий возникают сукцессии, характеризующиеся совершенно другим составом и структурой биоты. Происходит кардинальное изменение закономерностей формирования почв, что в свою очередь отражается на их плодородии, производительных и экологических функциях. Проблема изучения постагрогенной трансформации почв залежей является приоритетной. Анализ научной литературы показывает, что на комплекс свойств почв влияет, как сам вывод и ввод в сельскохозяйственный оборот, так и сукцессии фитоценозов в стадии залежи (Анциферова, 2005; Владыченский, 2008; Люри, 2008 и др.). Множество исследователей отмечают длительный, со сменой нескольких растительных сообществ, возврат бывших пахотных земель к исходной сукцессии.

В зоне формирования серых и агросерых почв Средней Сибири, отличающихся меньшей буферностью к антропогенным воздействиям по сравнению с черноземами, познание этих закономерностей актуально. Здесь в южно-таежной и лесостепной зоне смешиваются флористические элементы пограничных территорий, а в почвенном покрове доминирующими являются серые лесные почвы, черноземы оподзоленные и выщелоченные. Многие залежные земли в настоящее время переведены в категорию кормовых угодий, их используют под сенокосы, пастбища, а также повторно распахивают. В лесостепной зоне залежи интенсивно зарастают лесом.

Проблема трансформации плодородия почв залежей в различных стадиях сукцессий, оценка возможности их дальнейшего рационального использования является актуальной и комплексной, что диктует необходимость мониторинга этих земель (Иванов, 2008). Материалы мониторинга могут быть использованы при определении первоочередности использования залежных земель в сельскохозяйственном производстве, лесном хозяйстве, или в качестве возобновленных лесных фитоценозов, как части естественного ландшафта. Например, в ряде европейских государств с ограниченными земельными ресурсами существуют, так называемые, агролесообороты, когда определенные территории поочередно используют под пашню, которую затем переводят в залежь, спонтанно и быстро зарастающую лесом, или делают посадки из быстрорастущих пород деревьев, в дальнейшем использующихся либо как деловая древесина, либо в качестве топлива. Для оценки направления дальнейшего использования залежей в различных стадиях сукцессий необходимо в первую очередь знать плодородие почв

Изучение особенностей и характера сукцессий растительности, чистых и возобновляющихся древесными породами залежей, а также показателей плодородия почв проводили в южно-таежной зоне Среднего Приангарья и в лесостепной зоне Красноярского края (Красноярская и Ачинско-Боготольская лесостепь) в многолетнем ряду наблюдений.

Работы проводились в сопоставляемых парах следующих рядов: чистые разнотравно-злаковые залежи – залежи, зарастающие молодым лиственным и сосновым лесом в лесостепной зоне Красноярского края. В Среднем Приангарье сравнивали пырейно-кострецовые залежи и залежи, зарастающие сосновым лесом разного возраста: мертвопокровный сосняк 20-25 лет, средневозрастный разнотравный сосняк 50-55 лет, приспевающий зеленомошно-разнотравный 80-85 лет. В результате быстрого и равномерного лесовозобновления в районах исследования образовались сукцессионные экологические ряды биоценозов, которые дали нам хорошую методическую основу и явились прекрасными природными моделями для изучения поставленных задач. Все сопоставляемые пары находятся в непосредственной близости в идентичных условиях почвообразования.

Почвы объектов исследования – серые постагрогенные, тяжелосуглинистые, развитые на коричнево-бурых глинах в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи и на лессовидных

суглинках в Среднем Приангарье. Они имеют следующее общее строение почвенного профиля: 0 – АУра – АЕI – BEI – BT – BC – C.

Проводили описание растительного покрова. Учитывали запасы сырой и воздушно-сухой травянистой фитомассы в пятикратной повторности с помощью рамки 0.5x0.5 м. Отбор образцов почвы для определения гумуса, наряду с другими показателями, проводили в десятикратной повторности из слоя 0-20 см (агрохимические) и из генетических горизонтов почвенных разрезов, заложенных в трехкратной повторности на всех объектах. Результаты определения гумуса статистически обработали. Провели ранжирование почв объектов исследования по содержанию гумуса, который является одним из основных внутренних механизмов саморегуляции и поддержания гомеостаза в природных экосистемах и в случае сильного внешнего воздействия, а также их репарации и адаптации. Дали оценку пригодности постагрогенных серых почв для дальнейшего рационального использования.

В Среднем Приангарье на постагрогенных серых почвах залежей, заброшенных в различное время, спонтанно возобновился сосновый лес, образовав сукцессионно-возрастные ряды древостоев. Сосняк мертвопокровный, возраст 25 лет, древостой II класса бонитета, полнота 1.3, состав 10С ед. Б. Подроста и подлеска нет. Поверхность почвы покрыта довольно большим количеством холмиков-следов землероев. Травяной покров отсутствует, единичные экземпляры разнотравных видов. Сосняк разнотравный, возраст 55 лет, древостой I класса бонитета, полнота 0,8, состав 10С ед. Б. Подроста нет. Подлесок сомкнутостью менее 0.11, состоит из березы бородавчатой, шиповника, спиреи. Травяной покров хорошо выражен, богатый, состоит из представителей борového, лесного и лесостепного разнотравья. Проективное покрытие 90%, равномерное. Сосняк зеленомошно-разнотравный, возраст 85 лет, древостой I класса бонитета, полнота 0.9. Состав 10С ед. Л, Б. Подроста нет. Подлесок как ярус не выражен. Кустарничковый ярус пятнистый. Напочвенный покров разнообразный, состоит из хорошо выраженного лесного и борového разнотравья и синузий мхов Шребера, птилиума и дикранума. В целом на объектах отсутствуют следы лесного микрорельефа за счет бывшей распашки.

В Красноярской лесостепи на массивах залежей происходит естественное возобновление сосны обыкновенной. Оно оценивается как удовлетворительное, о чем свидетельствует высокая густота древостоев. Древесный ярус представлен исключительно этим видом. Примесей других древесных и кустарниковых пород не отмечено. Сомкнутость крон сосновых молодняков составляет 0.5-0.6. Здесь проявляется более существенное эдификаторное влияние дендроценоза на напочвенный травяной покров. Поэтому большинство видов трав на залежах, зарастающих сосновым лесом в этом районе, относится к луговым (50-53%). Участие степных трав под пологом леса значительно снижается. На данной фазе сукцессии фитоценоза происходит смена крупнолистных трав группой злаков, осок и бобовых. Они начинают занимать доминирующее положение в травостое и мозаичность почвенного покрова уменьшается. Снижается доля рудеральных видов. При этом сокращается открытая поверхность почвы.

В Ачинско-Боготольской лесостепи залежи зарастают молодым лиственным лесом. Древесный ярус молодняков составляет, главным образом, береза повислая, осина обыкновенная. Восстанавливается кустарничковый ярус, представленный характерными для данной зоны видами: ивой корзиночной, спиреей дубровколистной, черемухой обыкновенной. Этот ярус является примесью к основным лесообразующим породам и присутствует на 20% площади залежи. Существенного изменения видового богатства травянистой растительности при зарастании залежи лесом не наблюдается. Однако под его пологом увеличивается доля бобовых, одновременно снижается доля участия в травостое сорных видов. Сомкнутость молодого лиственного леса, поселившегося на залежи в этом районе, составляет 0.5-0.6. Поэтому эдификаторное влияние древесного полога на видовое разнообразие травяного покрова довольно низкое. Большинство трав относится к луговым видам. Их доля составляет около 50%. Проективное покрытие 80-85%.

На сравниваемых парах залежей лесостепной зоны в сукцессии фитоценозов прослеживаются зональные особенности заселения залежных земель дендроценозами. Для начальных фаз лесовосстановительного процесса, когда появляется самосев, выживает и развивается жизнеспособный подрост, наблюдается существенная мозаичность (куртинистость) напочвенного покрова. Это влечет за собой пространственную неоднородность показателей плодородия верхней толщи почвы. Разнотравье, особенно крупнолистные виды трав, благоприятствует выживанию и сохранению самосева древесных растений. Кустарничковый ярус не играет существенной роли в возобновлении древесных пород и в формировании дендрофильного фитоценоза на залежах в этой зоне. Однако его развитие может также усиливать вариабельность почвенно-агрохимических свойств.

Таким образом, в процессе естественного лесовозобновления на залежах лесостепной зоны после прекращения землепользования флористическое сходство растительных сообществ на чистых разнотравно-злаковых и зарастающих лесом залежах составляет около 70%. Различия обусловлены увеличением доли мятликовых и бобовых трав и резким снижением участия сорных компонентов под пологом молодого соснового леса.

Продуктивность залежей, объектов наших исследований, логично сравнивать с продуктивностью фитоценозов лугово-степной зоны. Залежи, на которых проводились наши укосы, можно охарактеризовать как луговые степи, продуктивность сырой фитомассы, которых составляет от 10 до 22 т/га и от 2.3 до 6.3 т/га воздушно-сухой массы. Таким образом, по продуктивности травянистой фитомассы они не отличаются от естественных биоценозов лесостепной зоны. А.А. Титлянова и Н.П. Косых (2000) считают низкую продуктивность залежей закономерной. Эти авторы указывают, что за последние 150 лет, в связи с деятельностью человека, растительный покров Южной Сибири претерпел значительные изменения. Вместе с трансформацией растительного покрова изменилась его чистая первичная продукция и поступление растительных остатков в почву. Наибольшее понижение произошло в лесостепной и степной зоне, где степи были замещены агроценозами или деградировали под влиянием пастбищной и сенокосной нагрузки.

Поселение соснового леса на залежах Среднего Приангарья, их дальнейшее интенсивное зарастание определяет гумусовые тренды, зависящие от почвенно-климатических условий, возраста древостоев, сукцессионной стадии напочвенного покрова и образования подстилки. Установлено снижение содержания гумуса, при его слабом пространственном варьировании, под загущенными сосновыми молодняками в стадии жердняка (20-25 лет). Зафиксирована последующая проградация по содержанию гумуса при разреживании древостоев и формировании богатого травяного покрова в средневозрастных сосняках (табл. 1). По мере увеличения возраста древостоев и формировании припевающих зеленомошно-разнотравных сосняков содержание гумуса в почвах несколько уменьшается. Постагрогенные серые почвы Среднего Приангарья характеризуются слабыми темпами оподзоливания. В них преобладает дерновый процесс почвообразования с аккумуляцией ряда биогенных элементов. В течение первых 20-30 лет воздействие соснового леса на старопашотные серые почвы особенно сильное в связи с резкой сменой условий почвообразования. В дальнейшем экосистема постепенно входит в состояние динамического равновесия. Сосняки 55 и 85 лет, возобновившиеся на старых залежах, характеризуются высоким бонитетом и не оказывают деградирующего воздействия на серые почвы залежей.

Таблица 1

Результаты ранжирования объектов исследования по содержанию гумуса (%)
в слое 0-20 см постагрогенных серых почв

Среднее Приангарье (1972-2006 гг.)	Разрезы (ср. из 3 повт.)	Агрохи- мические (ср. из 10 повт.)	Лесостепи Красноярского края (2007-2012 гг.)	Разрезы (ср. из 3 повт.)	Агрохи- мические (ср. из 10 повт.)
Залежь	6.6	6.2	Залежь (Красноярская лесостепь)	3.4	3.8
Сосняк 25 лет на залежи	4.1	3.9	Сосновый лес на залежи (Красноярская лесостепь)	4.1	3.6
Сосняк 25 лет на залежи	4.0	3.8	Залежь (Красноярская лесостепь)	3.7	5.0
Сосняк 55 лет на старой залежи	5.5	5.2	Смешанный лес на залежи (Красноярская лесостепь)	3.9	4.9
Сосняк 55 лет на старой залежи	8.9	8.5	Залежь (Ачинско-Боготольская лесостепь)	4.7	4.9
Сосняк 85 лет на старой залежи	7.3	6.5	Лиственный лес на залежи (Ачинско-Боготольская лесостепь)	3.3	3.5

В почвах залежей лесостепной зоны Красноярского края, спонтанно зарастающих молодым лесом различного видового состава, также обнаруживается новый тип гумусонакопления. Постагрогенные серые почвы более старых залежей Ачинско-Боготольской лесостепи богаче гумусом в отличие от почв молодых залежей Красноярской лесостепи. В Ачинско-Боготольской лесостепи наблюдаются существенные статистически достоверные различия между содержанием

гумуса в почвах чистой залежи (4.7-4.9%) и в восстанавливаемом лиственном лесу (3.3-3.5%). Здесь отмечена усиленная минерализация органического вещества, подтверждающаяся спецификой эколого-трофических групп микроорганизмов. В серых почвах залежей Красноярской лесостепи, где сформировался сосновый загущенный молодняк, содержание гумуса меньше, чем в чистых разнотравно-злаковых залежах с богатым травяным покровом и лесным опадом. Здесь активно формируется лесная подстилка. В целом отношение углерода к азоту в серых почвах залежей, зарастающих лесом шире, чем в почвах чистых залежей, что является закономерным. Как правило, в почвах залежей под лесом в самом верхнем слое почвы содержание гумуса несколько выше, чем в почвах чистых залежей, а отношение углерода к азоту шире. Пространственное варьирование содержания гумуса в почвах всех объектов не выходит за пределы 205-ного уровня.

Таким образом, процесс поселения соснового леса на бывших пахотных почвах Среднего Приангарья и достижение следующего класса возраста (25-30 лет) довольно резко изменяют экологические условия почвообразования и приближают заросшие лесом залежи к природным экосистемам. При этом происходит ухудшение гумусового состояния и снижение плодородия. Имеющая место практика вырубки леса в стадии жердняка на хозяйственные нужды и последующая повторная распашка этих земель не является оправданной и рациональной, так как требует существенных затрат на мелиоративные мероприятия и улучшение плодородия почв. При введении в пашню эти земли должны подвергаться очень тщательной обработке, рациональному внесению минеральных и органических удобрений, использоваться в первые годы только под однолетние и многолетние травы. Необходимо дальнейшее восстановление их до стадии средневозрастных разнотравных или приспевающих зеленомошно-разнотравных.

55- и 85-летние высокобонитетные сосновые древостои, формирующиеся на старых залежах, при необходимости могут подлежать рубкам и получению деловой древесины. В то же время установленное повышение плодородия (увеличение гумуса, общего азота) постагрогенных серых почв под этими сосняками позволяет, при необходимости, рекомендовать эти экосистемы для повторного возвращения в пахотные угодья, предварительно используя ресурсы леса.

Оценивая серые почвы залежей лесостепной зоны Красноярского края, заросшие молодым лесом разного видового состава как резерв освоения, можно констатировать, что они могут быть возвращены в сельскохозяйственное использование, что требует дополнительных материальных затрат. По ряду агрохимических показателей или не происходит или происходит слабая трансформация в сторону незначительного снижения плодородия почв. В то же время, поселившийся на залежах лес оказывает выравнивающее влияние на свойства почв, превращая биоценозы в более стабильную и самоконтролируемую систему, приобретающую сходство с природными биоценозами. Это важно с позиций экологической устойчивости сформировавшихся экосистем, оставления их в качестве лесных фитоценозов для оптимизации агроландшафтного земледелия. Экономически выгодно осваивать под пашню почвы чистых залежей, а интенсивно зарастающие лесом использовать как противозрозионные лесные массивы и как компонент ландшафта. Кроме того, фитоценозы залежей в районах наших исследований обладают достаточной продуктивностью для использования их в качестве сенокосов и пастбищ. Запасы фитомассы и содержание влаги в травянистой растительности как чистых, так и зарастающих лесом залежей является благоприятным для заготовки рассыпного сена.

Наиболее отчетливые различия по комплексу показателей почвенного плодородия выявлены в объектах сукцессионно-возрастных и, тесно связанных с ними, фитоценологических рядов, что обусловлено более резкой сменой экологических условий почвообразования, изменением гидротермических факторов, спецификой круговорота органического вещества и особенностями функционирования микробиоты.

Литература

1. *Анциферова О.А.* Динамика растительности и свойств почв на молодых залежах Тамбовской равнины и Замландского полуострова / *О.А. Анциферова* // Калининград, 2005. 315 с.
2. *Владыченский А.С.* Изменение экологических функций постагрогенных почв / *А.С. Владыченский, В.М. Телеснина, Т.А. Чалая* // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сб. матер. 1У Всерос. конф. 1-5 сентября 2010 г. Томск, 2010. С. 32-35.
3. *Иванов Д.А.* Почвенно-агроэкологическое исследование процессов трансформации агроэкосистем при различном использовании / *Д.А. Иванов, Н.Г. Ковалев* // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. Материалы Всерос. научн. конф. Москва, 2008. С. 299-303.

4. Люри Д.И. Закономерности вывода из оборота сельскохозяйственных земель России и мире и процессы постагрогенного развития залежей / Д.И. Люри, С.В. Горячкин, Н.А. Караваева, Т.Г. Нефедова, Е.А. Денисенко // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. М., 2008. С. 45-71.
5. Титлянова А.А. Изменение растительного покрова и первичной продукции в Южной Сибири за последние 150 лет / А.А. Титлянова, Н.П. Косых // Проблемы региональной экологии. Томск, 2000. С. 46-47.

Ставрова Н.И., Горшков В.В., Катютин П.Н.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

nstavrova@gmail.com

СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ НА РАЗНОМ УДАЛЕНИИ ОТ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

В исследованиях, касающихся влияния выбросов предприятий цветной металлургии на еловые леса Кольского полуострова (Лукина, Никонов, 1993; Цветков, Цветков, 2003; Лукина, Черненькова, 2008; Черненькова и др., 2011 и др.), практически не затрагивается проблема трансформации структуры ценопопуляций лесобразующих видов. В связи с этим была предпринята попытка анализа изменения плотности и размерной структуры ценопопуляций двух лесобразующих видов северотаежных темнохвойных лесов – ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в зонах влияния выбросов медно-никелевого комбината (г. Мончегорск).

В сообществах северотаежных темнохвойных лесов, находящихся на промежуточной стадии послепожарной сукцессии (250–300 лет после пожара) ель сибирская выступает как основной эдификатор, тогда как береза пушистая имеет позицию сугубо подчиненного вида. Это обстоятельство позволяет сопоставить реакцию двух видов древесных растений, отличающихся не только хорошо известной разной чувствительностью к аэротехногенному загрязнению, но и разной ценотической ролью.

Исследования проводили на 6 постоянных пробных площадях (ППП), размером 0.1-0.15 га, расположенных в юго-западном направлении на расстоянии 8, 18, 25 и 70 км. Все изученные сообщества имеют одинаковую давность пожара, составляющую 250-300 лет. Сопоставление размерной структуры ценопопуляций проведено на примере распределения особей по 2-сантиметровым грациям диаметра основания ствола. Учет всех особей древесных растений высотой более 0.15 м проводился по квадратам размером 5х5 м, особей меньшего размера – на площадках размером 1х1 м.

***Picea obovata*.** В результате проведенных исследований было установлено, что в пределах буферной зоны (18-25 км от источника выбросов) плотность особей в ценопопуляциях ели сибирской изменяется от ~1300 до 1900 экз. га⁻¹. Вблизи внешней границы (25 км) она примерно на 40% превышает фоновые значения (1250-1400 экз. га⁻¹), регистрируемые на расстоянии 70 км от источника выбросов, а на расстоянии 18 км не отличается от них. Плотность древостоев ели на внешней границе зоны (в среднем 790 экз. га⁻¹) примерно соответствует фоновым величинам, однако сумма площадей сечений на 30% ниже (9.3-9.6 м² га⁻¹ против 13.5-13.6 м² га⁻¹). Плотность (150-350 экз. га⁻¹) и сумма площадей сечений (2.2-6.0 м² га⁻¹) погибших особей соответственно в 1.5-3 раза и 3-8 раз выше, чем на незагрязненной территории. Такое соотношение свидетельствует о различиях в размерной структуре отпада: в условиях загрязнения доля крупных особей в его составе значительно выше, чем при отсутствии загрязнения.

Особенностью ценопопуляций ели в буферной зоне является 2.5-3-кратное по сравнению с ценопопуляциями на незагрязненных территориях повышение плотности и доли участия особей низшей градации диаметра (менее 2 см), составляющих основу мелкого подроста. Выявленные различия обусловлены гибелью зеленых мхов и разрушением характерного для сообществ этой стадии сукцессии сплошного мохового покрова. Это создает условия для активного семенного возобновления, тогда как в фоновых сообществах средних стадий сукцессии оно является очень слабым. Охарактеризованные выше изменения приводят к постепенному снижению в пределах буферной зоны среднего диаметра особей в ценопопуляциях ели до 60% от фоновых значений. При этом средний таксационный диаметр существенно не изменяется.

Распределение диаметров особей ели сибирской в буферной зоне (рис., 3) в отличие от распределений на фоновой территории (рис., 1) характеризуется более высокой положительной асимметрией, островершинностью и неравномерностью, что является следствием более высокой доли особей низшей размерной градации. Распределения относятся к типу 4А (полного диапазона с преобладанием особей низшей размерной градации), но разным подтипам: 4А₁ – в фоновой зоне, 4А₂ – в буферной.

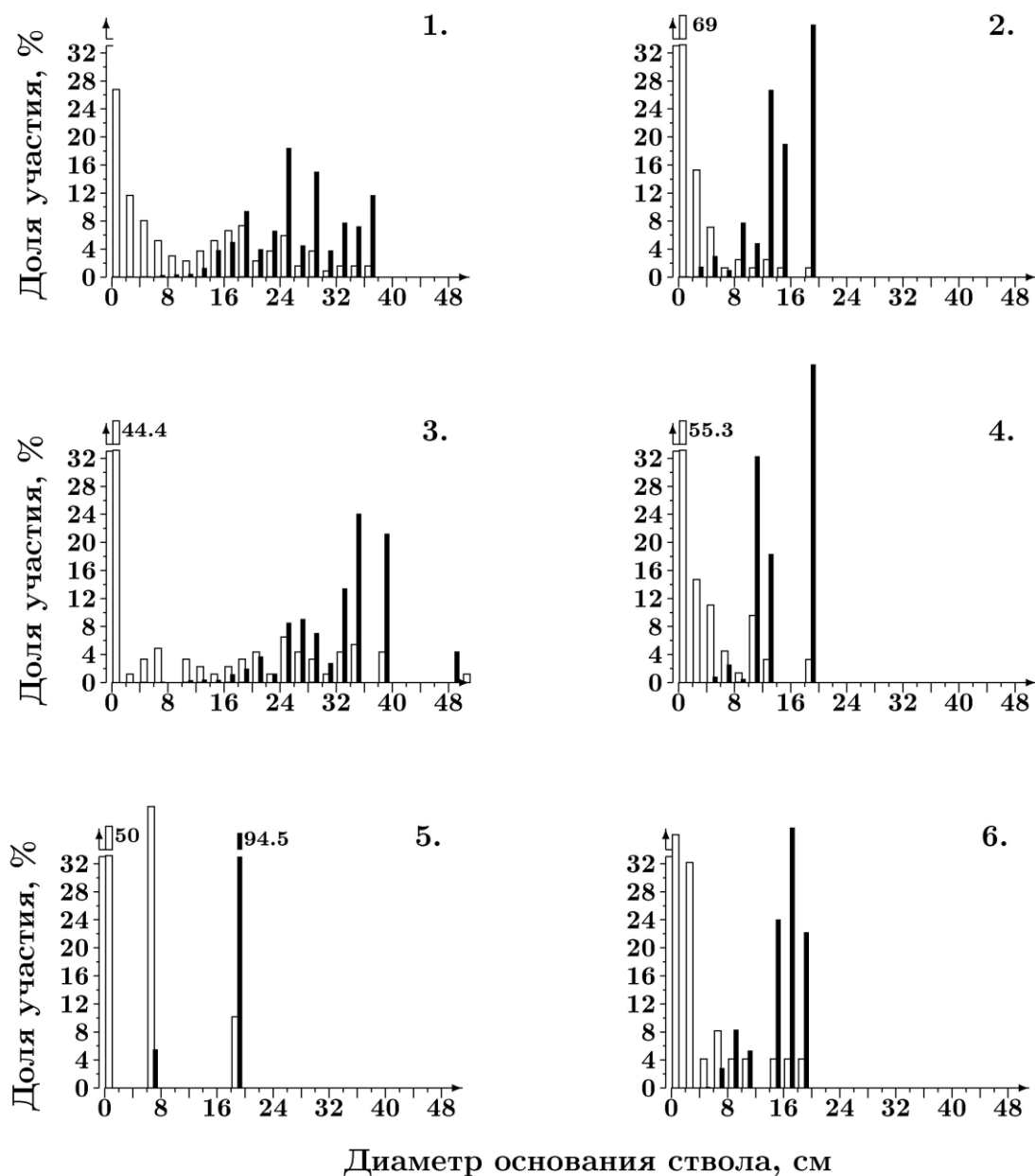


Рис. 1. Распределение особей (светлые столбики) и запаса древесины (черные столбики) *Picea obovata* (1, 3, 5) и *Betula pubescens* (2, 4, 6) по градациям диаметра в темных лесах в фоновом районе (1, 2), буферной (3, 4) и импактной (5, 6) зонах

В пределах импактной зоны (8 км от источника выбросов) в настоящее время структура ценопопуляций ели отражает их полное разрушение (рис., 5). Плотность живых особей – 120-130 экз. га⁻¹, плотность древостоев – 65 экз. га⁻¹, сумма площадей сечений – 0.24 м³ га⁻¹. Эти величины составляют соответственно 10, 10 и 2% от фоновых значений при той же давности пожара. Плотность и сумма площадей сечений погибших особей превышают контрольные значения соответственно

в 4 и 13 раз, т.е. отпад происходил за счет особей более высокого размерного ранга, чем в фоновых сообществах. Для рассматриваемой зоны характерно полное прекращение процессов семенного и вегетативного возобновления ели. Средний арифметический и средний таксационный диаметры снижаются в условиях импактной зоны до 60-65% от фоновых значений.

Характер восстановленной размерной структуры (с учетом живых и сохранившихся сухих особей) примерно воссоздает ее параметры 30-40 летней давности. Размерное распределение соответствовало в тот период типу 4А и по величине диапазона диаметров (46 см), степени положительной асимметрии, островершинности и выравнинности ($As=1.09$, $Ex=-0.01$, $E=0.88$) было близко к регистрируемому в соответствующем фоновом сообществе с давностью пожара 250 лет. Однако учитывая слабую сохранность погибших особей, относящихся к мелкому подросту, можно предполагать, что их доля была в прошлом более высокой, и распределение было близко к наблюдаемому в настоящее время в буферной зоне.

Betula pubescens. Вблизи внешней границы буферной зоны на расстоянии 25 км от источника выбросов плотность ценопопуляций березы пушистой составляет в среднем 860 экз. га⁻¹ и является в 1.5-2 раза более низкой, чем в аналогичных по сукцессионному статусу сообществах на фоновой территории (в среднем 1.5 тыс. экз. га⁻¹). Снижение плотности ценопопуляций березы происходит за счет значительного (2-кратного) сокращения плотности особей низшей градации диаметра (мелкий подрост), которая составляет в этих условиях в среднем около 480 экз. га⁻¹. Напротив плотность (130 экз. га⁻¹) и величина суммы площадей сечений (~1.0 м² га⁻¹) древостоев березы на территории буферной зоны возрастают в 1.5-2 раза по сравнению с фоновыми значениями.

По мере приближения к источнику загрязнения и внутренней границе буферной зоны плотность ценопопуляций березы и мелкого подроста в их составе продолжает снижаться. На расстоянии 18 км соответствующие величины составляют лишь 24 и 13% от контрольных значений. Плотность и сумма площадей сечений древостоев березы снижаются до величин, близких к фоновым при той же давности пожара (соответственно 70 экз. га⁻¹ и ~0.6 м³ га⁻¹). В соответствии с этим наблюдается постепенное увеличение среднего диаметра особей в ценопопуляциях и среднего таксационного диаметра соответственно на 50-80% и 25% по сравнению с контрольными значениями.

Размерные распределения особей в ценопопуляциях березы пушистой в буферной зоне (рис., 4) относятся к тому же типу, что и в фоновом районе (рис., 2) – 3А, но разным подтипам – соответственно 3А₂ и 3А₃. Различие обусловлено более низкой долей особей низшей градации диаметра в условиях буферной зоны (40-55% против 60-80% в фоновых условиях) при одинаковом диапазоне диаметров (20-26 см).

Полученные данные позволяют предполагать, что при слабом загрязнении вблизи внешней границы буферной зоны в еловых лесах, находящихся на промежуточной стадии сукцессии, в результате существенного повреждения древостоев основного эдификатора – ели сибирской и ослабления его конкурентного воздействия, складываются более благоприятные, чем на фоновой территории, условия для формирования древостоев березы пушистой. Это приводит к увеличению плотности и суммы площадей сечений древостоев березы и повышению доли участия деревьев подчиненного вида в составе древесного яруса. Однако уже при умеренном уровне загрязнения происходит резкое снижение плотности подроста и общей плотности ценопопуляций березы. Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что процесс вегетативного возобновления березы проявляет высокую чувствительность к воздействию загрязнения, что, возможно, связано с разрушением покрова из зеленых мхов, существенно стабилизирующего водный и температурный режим лесной подстилки.

В пределах импактной зоны (8 км от источника выбросов) плотность ценопопуляций березы пушистой в еловых лесах составляет в среднем около 300 экз. га⁻¹ и является в 5.5 раз более низкой, чем в аналогичных сообществах на фоновой территории. Снижение плотности происходит за счет крупного и мелкого подроста, поскольку плотность древостоя (80 экз. га⁻¹) по сравнению с фоновой величиной (75 экз. га⁻¹) не снижается, а сумма площадей сечений (0.9 м³ га⁻¹) возрастает примерно на 40%. При этом плотность и доля особей низшей градации диаметра снижаются соответственно до 10 и 50% от фоновых значений. В соответствии с этим происходит существенное (примерно 2-кратное) увеличение среднего диаметра особей в ценопопуляциях.

Распределение диаметров в ценопопуляциях березы пушистой, формирующихся в импактной зоне (рис., 6), относится к типу 3А₂ и отличается от распределений, характерных для сообществ фоновой территории примерно в 2 раза меньшей долей особей низшей градации диаметра. При полном отсутствии конкурентного воздействия ели примерно 30% особей от состава ценопопуляции

достигает размерных параметров древостоя, в то время как на фоновой территории в еловых лесах с давностью пожара 250 лет их доля не превышает 5%.

Таким образом, негативное влияние атмосферного и почвенного загрязнения в окрестностях медно-никелевого комбината, прежде всего, отражается на плотности ценопопуляций березы. Изменения в характере размерной структуры являются не столь значительными, но свидетельствуют о подавлении процессов семенного и вегетативного возобновления этого вида.

Сравнительный анализ размерной структуры ценопопуляций *Picea obovata* и *Betula pubescens* показал, что на территории *буферной* зоны существенное снижение общей плотности характерно только для ценопопуляций березы (табл.). Изменение численности живых особей в древостоях при переходе от фоновой территории к буферной зоне имеет противоположную тенденцию. Плотность деревьев ели сибирской снижается примерно на 50%, а плотность деревьев березы вблизи внешней границы возрастает в 1.5-2 раза. Аналогичным образом изменяется и сумма площадей сечений. Это явление отчасти связано с размерными различиями деревьев двух видов, т.к. согласно полученным данным, гибели и отпаду в условиях загрязнения в большей степени подвержены более крупные особи. Береза реагирует на ослабление конкурентного воздействия ели 3-кратным повышением своего участия в составе древесного яруса по числу особей (с 8-10 до 25-30%) и 2-кратным по сумме площадей сечений (с 4.5 до 10%). При этом средний диаметр деревьев березы возрастает на 25%.

Различным является воздействие умеренного уровня загрязнения и на состояние подчиненных компонентов ценопопуляций ели и березы. В ценопопуляциях ели численность и доля особей низшей градации диаметра (<2 см), составляющих основу мелкого подроста, возрастает в 2-3 раза, тогда как в ценопопуляциях березы снижается в 2-7 раз. Эти различия обусловлены особенностями экологии возобновительного процесса двух видов. Замена сплошного покрова из зеленых мхов на более низкий и рыхлый покров из печеночников создает условия для улучшения семенного возобновления ели, которое является очень слабым в этот период сукцессии в фоновых ельниках. В то же время нарушение водного и температурного режима верхних горизонтов почв (в связи с разрушением покрова из зеленых мхов) неблагоприятно отражается на вегетативном возобновлении обоих видов, что имеет особое значение для березы пушистой, у которой в северных лесах оно всегда играет ведущую роль.

В условиях *импактной* зоны плотность ценопопуляций обоих видов резко снижается: у ели до 10%, у березы до 20% от фоновых значений (табл.). Размерная структура ценопопуляций ели разрушается полностью, распределения становятся дискретными, диапазон диаметров сокращается в 2 раза (рис., 5). Древостои ели составляют ~10% по числу особей и 2% по запасу от фоновых. Мелкий подрост ели полностью отсутствует.

Таблица

Относительное изменение параметров ценопопуляций *Picea obovata* (над чертой) и *Betula pubescens* (под чертой) в условиях разного уровня аэротехногенного загрязнения по отношению к фоновым значениям

Параметры	Зона	
	Буферная (25 км→18 км)	Импактная (8 км)
Плотность ценопопуляции (живые особи)	<u>142%</u> →100% 55%→24%	<u>10%</u> 20%
Плотность древостоя (живые особи)	<u>100%</u> →50% 175%→100%	<u>10%</u> 100%
Сумма площадей сечений (живые особи)	<u>70%</u> 170%→100%	<u>2%</u> 140%
Плотность мелкого подроста	<u>270%</u> 45%→15%	<u>Нет</u> 10%
Доля мелкого подроста, %	<u>190%</u> →275% 80%→55%	<u>Нет</u> 50%
Плотность ценопопуляции (сухие особи)	150%→330%	400%
Сумма площадей сечений (сухие особи)	300%→870%	1260%
Диапазон диаметров, см	<u>100%</u> 100%	<u>50%</u> 100%
Средний арифметический диаметр, см	<u>100%</u> →60% 150%→180%	<u>60%</u> 220%

Средний таксационный диаметр, см	$\frac{100\%}{100\% \rightarrow 125\%}$	$\frac{65\%}{100\%}$
----------------------------------	---	----------------------

В отличие от ели у березы трансформация размерной структуры ценопопуляций выражена в меньшей степени (рис., 6), однако участие мелкого подроста в их составе существенно (в 2 раза) снижается. Древостои березы по числу особей примерно соответствуют древостоям в фоновых сообществах тех же стадий сукцессии, а по запасу примерно в 1.5 раза превышают фоновые. При этом диапазон диаметров особей у березы, в отличие от ели не снижается (табл.).

Выполненное исследование позволяет заключить, что различие структурных реакций ценопопуляций древесных растений на аэротехногенное загрязнение обусловлено как биологическими и экологическими особенностями видов, так и различиями их ценотического статуса. При этом разные компоненты ценопопуляций (древостой, крупный и мелкий подрост) могут иметь разные тенденции изменения.

Литература

1. Лукина Н.В., Никонов В.В. Состояние еловых биогеоценозов Севера в условиях техногенного загрязнения. Апатиты, КНЦ РАН. 1993. 134 с.
2. Лукина Н.В., Черненко Т.В. Техногенные сукцессии в лесах Кольского полуострова // Экология, 2008. № 5. С. 329–337.
3. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск. 2003. 354 с.
4. Черненко Т.В., Кабиров Р.Р., Басова Е.В. Восстановительные сукцессии северотаежных ельников при снижении аэротехногенной нагрузки // Лесоведение, 2011. № 6. С. 49–66.

Стороженко В.Г.

Институт лесоведения РАН, г. Москва

lesoved@mail.ru

ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ ГРИБЫ В ГЕНЕЗИСЕ ДЕВСТВЕННЫХ ЕЛЬНИКОВ ТАЙГИ

Лесные экосистемы таёжных регионов России в исторической ретроспективе нескольких последних столетий претерпели колоссальные изменения в структурных, породных и в целом биогеоценологических характеристиках. Особенно масштабные трансформации состава и структуры лесов, как известно, произошли в прошлом веке, когда лес входил в число основных экспортных ресурсов страны и составлял её важную доходную статью. Если в более южных областях силами лесхозов на концентрированных вырубках ещё худо-бедно проводились лесокультурные мероприятия, то в таёжных лесах, где велись рубки силами в основном заключённых, искусственное возобновление лесов вообще не проводилось. В итоге на огромных площадях лесных земель изменился породный состав и структура древостоев. Процесс их самовосстановления был отброшен в самое начало сукцессионной динамики. Понятно, что за изменением биоты лесов изменялась и структура экосистем в целом – эдафо-, зоо- и микокомплексы целых территорий. Чем более изменялись под воздействием антропогенного пресса (хозяйственного, техногенного и рекреационного) природные комплексы, тем ценнее для науки и вообще для сохранения генофонда лесов таёжных территорий становились ещё сохранившиеся отдельными массивами коренные девственные разновозрастные леса.

Понятно, что на обширных территориях тайги можно встретить коренные девственные леса самых разных динамических характеристик, сукцессионного положения и состояния. По известной, принятой в лесоведении, парадигме динамики развития лесов, все лесные сообщества, обладающие системой консортивных связей, а тем более коренные разновозрастные девственные леса, в ходе сукцессионных смен безальтернативно, постоянно формируют всё более оптимальные для своего экотопа структуры ценозов, стремясь к наиболее совершенному состоянию, которое определено как «климакс» (Clements, 1936) или «полная выработанность» (Сукачёв, 1972). Именно такие леса мы рассматриваем как эталоны эволюционно сформированных устойчивых лесных сообществ, в которых сохранились выработанные в динамике тысячелетий состав и структура консортов и консортивных связей в фитоценозах, микоценозах и зооценозах лесных биогеоценозов. Если принимать это

положение, то становится очевидным и насущным изучение закономерностей развития коренных, разновозрастных лесов, обладающих эволюционно сформированными связями консортов фито- и микокомплексов.

Краткая методика исследований. В базовую экспериментальную основу настоящей статьи из массивов ельников таёжных регионов Европейской России отобраны по три пробные площади, типичных для коренных биогеоценозов южной и северной тайги, наиболее приближенных по структурным параметрам к выработанным, климаксовым сообществам – Центрально-лесной биосферный заповедник, заповедник «Кологривский лес», Ломовской лесхоз Архангельской обл., Кандалакшский лесхоз Мурманской обл., НП «Югыд-Ва» Коми. На постоянных пробных площадях проводился комплекс работ, включающий определение лесоводственных характеристик биогеоценозов, подреверный пере́чёт с определением состояния деревьев (Санитарные правила в лесах РФ, 1998), бурение у шейки корня для определения их возраста и присутствия гнилевых фаутов, картирование деревьев и валежа, определение стадий разложения древесного отпада (Стороженко, 1990, 2007, 2011), учёт возобновления. В итоге были получены сведения о структуре древостоев фитоценозов, динамике их развития, поражённости древостоев дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса, вызывающих гнили деревьев, и состава грибов ксилотрофного комплекса, разлагающего валеж, об объёмах, состоянии и динамике отпада деревьев за длительный период его накопления, связанный с динамикой развития всего биогеоценоза (Стороженко, 2011).

Эксперимент. Изучение закономерностей поведения дереворазрушающих грибов в лесах эволюционного формирования, тем более грибов биотрофного комплекса, поражающих живые деревья и непосредственно влияющих на их отпад и в целом на возрастные структуры древостоев, невозможно без изучения структур фиоценозов, пищевой базой которых он является. В этой связи первостепенной задачей явилось изучение возрастных структур девственных ельников и величин поражённости деревьев в пределах возрастных поколений и общей для древостоев. В таблице 1 приводятся краткие лесоводственные характеристики лесов с распределением объёмов деревьев по возрастным поколениям и поражённости деревьев в этих поколениях грибами биотрофного дереворазрушающего комплекса.

Таблица 1

Распределение объёмов деревьев по возрастным поколениям и поражённость их дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса в еловых древостоях, находящихся в поле флуктуации климакса, подзоны южной и северной тайги

Лесоводственная характеристика	Фаза динамики	Объёмы и поражённость деревьев в возрастных поколениях, %									Среднее, %
		До40	41-80	81-120	121-160	161-200	201-240	241-280	281-320	321-360 >	
8Е1Ос1Б; кис-нем; 0,7; I; Ц-Л	Кл	$\frac{ед}{ед}$	$\frac{10}{3}$	$\frac{32}{27}$	$\frac{26}{22}$	$\frac{20}{30}$	$\frac{22}{38}$	-	-	-	18.5
8Е1Б1Лп+Пх; кис-щит; 0,8; I; Кол.	Кл	$\frac{ед}{ед}$	$\frac{1}{19}$	$\frac{2}{38}$	$\frac{20}{34}$	$\frac{33}{20}$	$\frac{9}{22}$	$\frac{35}{50}$	-	-	24.5
8Е2Б+Пх; чер-кис-зм; 0,8; I; Кол	Кл	$\frac{ед}{ед}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{26}{18}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{25}{31}$	$\frac{23}{26}$	$\frac{5}{60}$	-	-	21.1
8Е1Б1С; чер-мор-баг; 0,7; Y; М	Кл	$\frac{2}{ед}$	$\frac{10}{3}$	$\frac{15}{21}$	$\frac{30}{17}$	$\frac{25}{20}$	$\frac{13}{34}$	$\frac{5}{50}$	-	-	19.0
10Е+С,Б; бр-чер; 0,6; IY; Ар	Кл-Дг	$\frac{9}{ед}$	$\frac{7}{13}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{17}{39}$	$\frac{7}{43}$	$\frac{17}{70}$	$\frac{10}{50}$	$\frac{21}{68}$	-	42.6
8Е2Б+Пх,Кд; чер-зм-бр; 0,6; Y; Ю-В	Кл	$\frac{2}{ед}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{29}{24}$	$\frac{27}{22}$	$\frac{37}{50}$	-	-	-	-	27.1

Примечание: Типы леса: баг-багульниковый, мш-мшистый, чер-черничный, бр-брусничный, лиш-лишайниковый, сф – сфагновый, зм т– зеленомошный, пм-пойменный. Фаза динамики: Кл – климакс или поле флуктуации климакса, Дг – дигрессия. Регионы: Ц-Л – Центрально-лесной биосферный заповедник; Кол – заповедник «Кологривский лес»; М – Мурманская обл., Кандалакшский л-з, Ар – Архангельская обл., Ломовской л-з; Ю-Ва – НП «Югыд-Ва» Коми.

Данные таблицы 1 наглядно показывают отсутствие в любых возрастных поколениях возрастных рядов древостоев объёмов деревьев, выходящих за рамки 40%, что характеризует их как абсолютно-разновозрастные, а значит близкие по фазам динамики к климаксовым сообществам, находящимся в поле флуктуации климакса. Следует так же отметить характерную для биогеоценозов любых фаз динамики и структур закономерность возрастания величин поражения по мере приближения к первому поколению древостоя. Показательны так же для климаксовых сообществ

величины общих уровней поражённости древостоев, составляющих в среднем 22%. Древостой приближающийся к фазе дигрессии имеет значительно больший уровень поражения – 42.6%. Конечно, каждому сообществу присуща своя динамика формирования древостоев. Даже специально отобранные нами ельники имеют различные объёмы деревьев в возрастных поколениях и разные по протяжённости возрастные ряды. Тем не менее, можно вычислить средние величины объёмов деревьев в возрастных поколениях древостоев, близких по фазе развития в климаксу. Такие расчёты проведены нами из состава 20 пробных площадей, имеющих семь возрастных поколений в возрастном ряду и находящихся в поле флуктуации климакса (табл. 2).

Таблица 2

Средние величины объёмов деревьев в возрастных поколениях ельников, близких по фазе динамики к климаксовым сообществам

Запас древостоя, %	Объёмы деревьев по возрастным поколениям, %						
	До 40	41-80	81-120	121-160	161-200	201-240	241-280
100	0.2	3.8	20.1	23.0	20.3	18.5	14.1

Представленные данные, вероятнее всего, характерны для показателей распределения объёмов деревьев в климаксовых лесных сообществах эволюционного формирования. При этом надо иметь в виду, что фаза климакса лесного биогеоценоза в полном объёме показателей в природных условиях очень редко достижима, так как в генезисе развития леса на динамику формирования его структур, как правило, кроме эндогенных периодически воздействуют экзогенные факторы, зачастую в корне меняющие эволюционную динамику развития лесного сообщества. Тем большую ценность приобретают сведения о структурах наиболее сбалансированных по критериям выработанности лесов, как эталонов устойчивых лесных сообществ.

В генезисе лесов консорт древостоя фитоценоза, накапливающий древесную биомассу, и консорт биотрофного и ксилотрофного комплексов микоценоза, разлагающий её, составляют основные два звена в цепи круговорота биомассы лесного сообщества – формирующее звено и деструктивное звено лесного биогеоценоза. Но уже на стадии формирования биомассы грибы биотрофного дереворазрушающего комплекса начинают принимать активное участие в динамических процессах генезиса лесного сообщества. Оно проявляется в поражении живых деревьев, образовании гнилевых фаутов стволов и корней, ослаблении деревьев, переводе их в категорию текущего древесного отпада и далее в валёж (Стороженко, 2014). В текущий древесный отпад входят деревья категорий отмирающих, свежего и старого сухостоя, находящиеся в составе древостоя. Показатели ослабления древостоев входят в число критериев, характеризующих фазу динамики лесного сообщества. В таблице 3 приведены усреднённые из состава 20 пробных площадей показатели распределения деревьев по категориям состояния в ельниках южной и северной тайги. В это число вошли биогеоценозы абсолютно-разновозрастных структур не только климаксовых, но и демулационных и дигрессивных фаз динамики. Средние величины категорий состояния характеризуют общее состояние древостоя фитоценоза, а средние величины текущего древесного отпада показывают текущую динамику отпада деревьев из состава древостоя.

Ближние величины показателей категорий состояния характерны не только для представленных выше регионов, но и для коренных разновозрастных лесов всей лесной зоны Русской равнины, вплоть до зоны лесостепи. Конечно, надо понимать, что в натурных условиях можно встретить биогеоценозы, имеющие показатели ослабления, значительно отличающиеся от представленных выше.

Таблица 3

Показатели состояния еловых древостоев, близких по фазе динамики к климаксовым сообществам

Подзоны тайги	Распределение деревьев по категориям состояния, % от общего числа						Средняя категория состояния, балл	Всего текущего отпада, %
	1	2	3	4	5	6		
Южная тайга	57.8±2.1	29.6±2.0	5.8±0.5	2.0±0.3	0.4±0.1	4.4±0.9	1,7	6,8

Северная тайга	51.2±1.8	25.8±1.6	10.0±1.2	2.0±0.3	1.0±0.1	10.0±1.8	2.1	12.0
----------------	----------	----------	----------	----------------	----------------	-----------------	-----	------

Примечание: 1 - здоровые; 2 - ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой. Выделенным шрифтом отмечены категории текущего древесного отпада.

К числу важных критериев фазового состояния климаксового сообщества следует отнести показатели валежа как структуры дигрессивного звена общего баланса биомассы леса. В таблице 4 приведены объёмы валежа в отобранных для анализа биогеоценозах с разделением их по стадиям разложения с временными датировками, соответствующими каждой стадии (Стороженко, 1990, 2007, 2011).

Таблица 4

Объёмы валежа по стадиям разложения в ельниках, близких по фазе динамики к климаксовым сообществам

Лесоводственная характеристика	V валежа, $\text{м}^3\text{га}^{-1}$ % от V древостоя	Объёмы валежа по стадиям разложения с временными датировками стадий разложения, $\text{м}^3\text{га}^{-1}$					Средняя стадия разложения
		1- до 5 лет	2- 6-20 лет	2- 21-30 лет	3- 32-40 лет	4- 41-50 лет	
8Е1Ос1Б; кис-нем; 0,7; I; Ц-Л	<u>136.0</u> 41.4	4.8	22.7	51.0	29.2	28.3	3.4
8Е1Б1Лп+Пх; кис-щит; 0,8; I; Кол.	<u>134.2</u> 29.1	13.3	53.4	10.1	30.3	27.1	3.0
8Е2Б+Пх; чер-кис-зм; 0,8; I; Кол	<u>123.2</u> 42.5	17.6	39.2	12.2	17.0	37.2	3.1
8Е1Б1С; чер-мор-баг; 0,7; Y; М	<u>55.2</u> 36.0	1.2	18.4	20.5	7.4	7.7	3.0
10Е+С,Б; бр-чер; 0,6; IY; Ар	<u>45.5</u> 32.9	2.7	12.2	10.5	10.4	9.3	3.2
8Е2Б+Пх,Кд; чер-зм-бр; 0,6; Y; Ю-Ва	<u>49.0</u> 25.9	7.6	12.9	13.0	7.0	8.5	2.9

Примечание. Обозначения те же, что и в таблице 1.

Из данных таблицы следует, что динамика накопления и разложения валежа в представленных древостоях далеко не одинакова несмотря на то, что накопление биомассы деревьями в процессе роста древостоев более или менее выровнены (табл.1). Древостой первого биогеоценоза претерпел значительные вывалы деревьев в ретроспективе около 30 лет, древостой второго биогеоценоза – около 20 лет назад. В третьем биогеоценозе повышенные объёмы валежа отмечены в последние 20 и 40-50 лет назад. В регионах северной тайги основные объёмы валежа отмечены в последние 5-30 лет назад. Это может быть связано с какими-то, нам неизвестными, общими для севера процессами.

В целом данные учёта валежа по стадиям разложения значительно расширяют во временном периоде наши возможности анализа динамики формирования лесных сообществ. Интересно отметить тот факт, что средние показатели стадий разложения для всех биогеоценозов не слишком разнятся, что в определённой степени можно связать с близкой для всех регионов динамикой разложения валежа дереворазрушающими грибами, «работающими» в общем процессе накопления и разложения биомассы лесного сообщества.

Как и в первом случае для консорта древесного отпада можно вычислить средние показатели валежа, характерные для климаксовых биогеоценозов и их распределение по стадиям разложения. Понятно, что такие расчёты следует трактовать как гипотетические. При условии длительного нахождения лесного сообщества в фазе климакса процесс отпада деревьев в структуру валежа должен идти с одинаковой скоростью и в одинаковых объёмах, начиная со второй стадии разложения. В первой стадии разложения объёма валежа должны соответствовать примерно 5% от общего объёма валежа, находящегося на площади лесного биогеоценоза, а в остальных стадиях по

23.7%. В последней стадии разложения эта величина может быть несколько меньше, из-за невозможности учёта полностью разложившихся стволов малых диаметров.

Все вышеизложенные сведения о структурах фитоценозов и комплексов дереворазрушающих грибов эволюционно формирующихся лесов рассмотрены в кратковременной динамике или в фиксированный временной период анализа. Значительный интерес представляет поведение дереворазрушающих грибов в процессе сукцессионного развития биогеоценоза от начала его формирования до фазы климакса, то есть от нулевого объёма биомассы древостоя (сплошной вывал, пожар и т.д.) до состояния баланса накапливаемой и разлагаемой грибами биомассы древостоя, то есть до климакса. На рисунке 1 мы попытались отразить этот процесс.

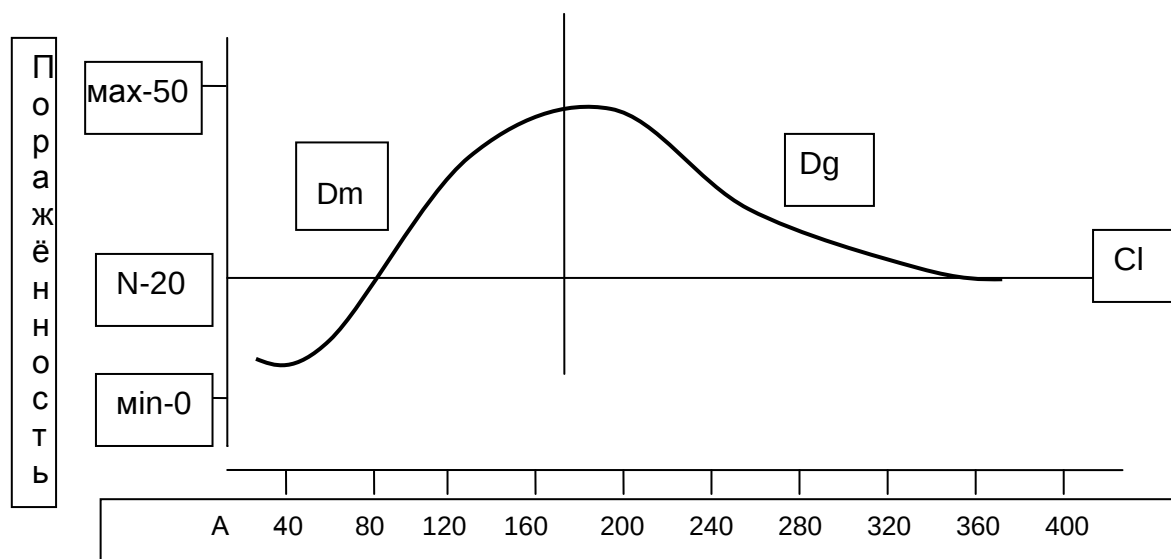


Рис. 2. Динамика поражения дереворазрушающими грибами елового древостоя в ходе естественной сукцессии, где: величина — пораженности древостоя дереворазрушающими грибами, Max – максимальные значения пораженности древостоя, Min – минимальные значения пораженности древостоя, N – оптимальные значения пораженности климаксового сообщества, Dm – область демутации, накопление запаса древостоем, Dg – область дигрессии, максимальный запас и распад первого поколения, Cl – область климакса, А – период сукцессионного развития древостоя

Если рассматривать кривые, описывающие лесообразовательный процесс (Исаев и др, 2008), и поведение дереворазрушающих грибов в ходе этой сукцессии, то можно видеть полную согласованность этих процессов. Это говорит о том, что коренное девственное лесное сообщество, в котором действуют выработанные эволюцией процессы накопления биомассы фитоценозом и разложения её дереворазрушающими грибами, является сбалансированным организмом. В этом балансе составляющие его консорты взаимозависимы на протяжении всего жизненного цикла сообщества. Физические величины, характеризующие поведение дереворазрушающих грибов в таких биогеоценозах как в количественных, так и качественных параметрах нами определены и опубликованы.

Литература

1. Исаев А.С., Суходольский В.Г., Хлебопрос Р.Г., Бузыкин А.И., Овчинникова Т.М. Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход. М. Наука, 2008. 451 с.
2. Санитарные правила в лесах РФ. М.1998. 18 с.
3. Стороженко В.Г. Датировка разложения валежа ели // Экология, 1990. № 6. 60-69.
4. Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. М.-Тула. Из-во «Гриф и К», 2007. 190 с.
5. Стороженко В.Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М. Тов-во научных изданий КМК, 2011. 122 с.

6. *Стороженко В.Г.* Эволюционные принципы поведения дереворазрушающих грибов в лесных биогеоценозах. М.-Тула. «Гриф и К», 2014. 180 с.
7. *Сукачев В.Н.* Избранные труды. Л. Наука, 1972. Т. 1. 343 с.
8. *Clements F.E.* Nature and structure of climax. Ecol. 1936. V. 21. N. 1. 462 p.

Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.

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

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИЧКОВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кустарнички являются доминирующими растениями бореальных лесов и наиболее устойчивыми компонентами растительных сообществ в условиях техногенного загрязнения. Следствием влияния воздушного загрязнения на дикорастущие ягодники является изменение элементного состава их вегетативных и генеративных органов. Накапливающиеся в листьях и плодах тяжёлые металлы делают их непригодными для использования в качестве пищевого и лекарственного сырья. Чувствительность листового аппарата и плодов кустарничков к изменениям внешних факторов позволяет использовать их в качестве индикаторов для оценки состояния лесных биогеоценозов в условиях аэротехногенного загрязнения.

Цель работы – изучить пространственное варьирование и многолетнюю динамику минерального состава ягод и листьев дикорастущих кустарничков лесных экосистем Мурманской области, подверженных влиянию атмосферных выбросов металлургических предприятий.

Исследования проведены в зоне воздействия медно-никелевых предприятий «Североникель» (г. Мончегорск) и «Печенганикель» (п. Никель). Объект исследований – листья и ягоды дикорастущих растений Мурманской области – черники (*Vaccinium myrtillus* L.), брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и вороники (*Empetrum hermaphroditum* Hagerup.).

Отбор растительных образцов осуществлялся в ельниках кустарничково-зеленомошных и сосняках кустарничково-лишайниковых, по градиенту загрязнения на мониторинговых площадках Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН в основных типах состояния лесов: фоновый → дефолирующий (от стадии начальной дефолиации до стадии интенсивной дефолиации) → редколесья → техногенные пустоши (Лукина, Никонов, 1996). Материал для данной работы собран в 1991-1993, 2004-2007, 2012 гг. Обследованы постоянные пробные площади по градиенту промышленного загрязнения (5, 7, 8, 10, 25, 28, 31, 48, 100, 260, 270 км от комбината «Североникель» и 5, 7, 15, 44 км от комбината «Печенганикель») в лесах, соответствующих основным стадиям техногенной дигрессии. Пробы высушивались при комнатной температуре, содержание химических элементов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии после мокрого озоления в концентрированной HNO_3 .

Зона влияния комбината «Североникель». В процессе техногенной дигрессии лесов в ассимилирующих органах кустарничков наблюдается увеличение концентрации никеля, меди, железа, серы и снижение - марганца, магния, кальция (Исаева, Сухарева, 2013). Накопление никеля и меди в листьях кустарничков связано с их активным корневым поглощением из-за увеличения концентраций доступных соединений этих элементов в почвах (Лукина и др., 2005). Другим важным фактором является фоллиарное поглощение этих элементов. По уровню содержания никеля и меди в анализируемых нами растениях под воздействием высокого уровня аэротехногенного загрязнения (техногенные редколесья) можно предложить следующий ряд: *листья черники* > *листья вороники* > *листья брусники*. Как видно из приведенного ряда, максимальные концентрации характерны для листьев черники, минимальные – для листьев брусники. Способность листьев поглощать тяжёлые металлы зависит от их анатомо-морфологических особенностей: сложные листья с большой поверхностью, опушённые или шероховатые накапливают больше металлов, чем простые, мелкие, гладкие, с восковым слоем (Парибок, 1983, Титов и др., 2007).

В условиях сильного атмосферного загрязнения листья черники накапливают в 2-3 раза больше никеля и меди, чем брусника и вороника (рис. 1). В 2007, 2011 гг. по сравнению с предыдущим периодом исследования (1993 г.) в листьях кустарничков достоверно ($p < 0.01$) снизились концентрации никеля и меди. В техногенных редколесьях содержание никеля уменьшилось в 1.3-3.5 раза, меди – в 3.5-11.2 раза, за исключением черники соснового редколесья, где концентрация данных элементов сопоставима по двум периодам наблюдений.

Несмотря на положительную динамику, дисбаланс в отношении никеля и меди за исследуемый период усилился, особенно на стадии техногенного редколесья (Исаева, Сухарева, 2013).

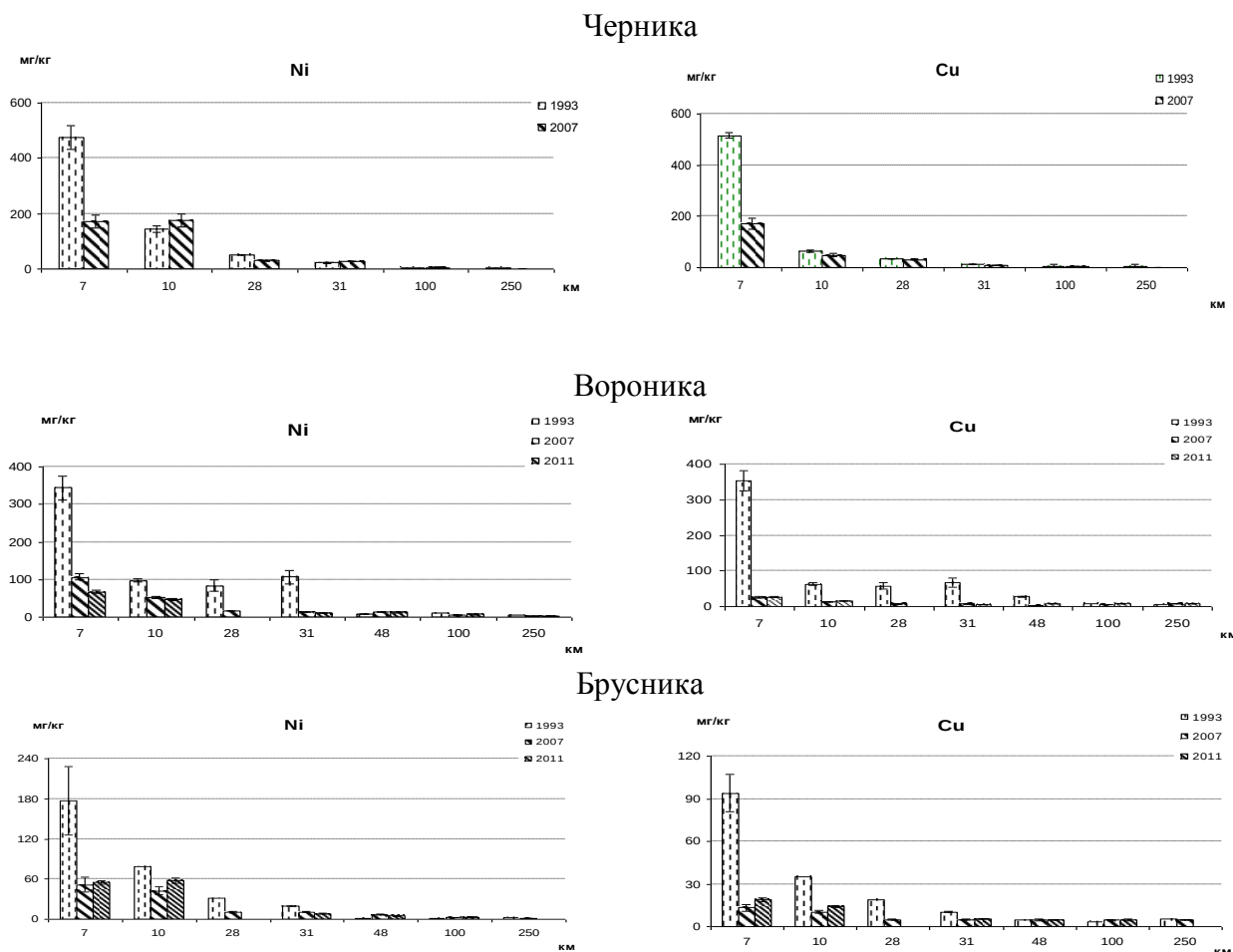


Рис. 1. Содержание никеля и меди в листьях кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель», мг/кг

Сравнивая наши данные о содержании поллютантов в ягодах дикорастущих растений с результатами исследований, проведенных в 1990-х гг. в зоне действия комбината «Североникель» (Barcan et al., 1998), следует отметить, что концентрации тяжелых металлов (Ni, Cu) в них снизились.

Следует отметить, что никель и медь, больше концентрируются в листьях, чем в ягодах (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Содержание никеля и меди в ягодах дикорастущих растений в зоне влияния комбината «Североникель», мг/кг абс. сух. веса

Расстояние от комбината, км	брусника		черника		вороника	
	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu
5	33.22	9.54	-	-	-	-
7	19.84	7.61	9.04	5.70	27.81	16.99

10	15.00	5.92	9.95	4.98	16.50	9.20
25	5.97	5.34	5.50	4.86	12.21	12.15
28	6.59	3.23	5.58	3.05	4.23	5.15
31	5.58	4.53	3.87	2.95	5.54	6.41
48	3,79	4.49	3.46	4.57	2.44	6.01
100	2.34	5.23	1.53	3.17	3.44	5.34
250	0.65	3.76	0.95	3.66	1.59	6.43

Зона влияния комбината «Печенганикель». При атмосферном загрязнении бореальных лесов в ягодах и листьях кустарничков наблюдается увеличение концентрации тяжелых металлов (рис. 2, табл. 2).

По градиенту загрязнения в листьях достоверно снижается содержание марганца, магния, кальция (Исаева, Сухарева, 2012, 2013).

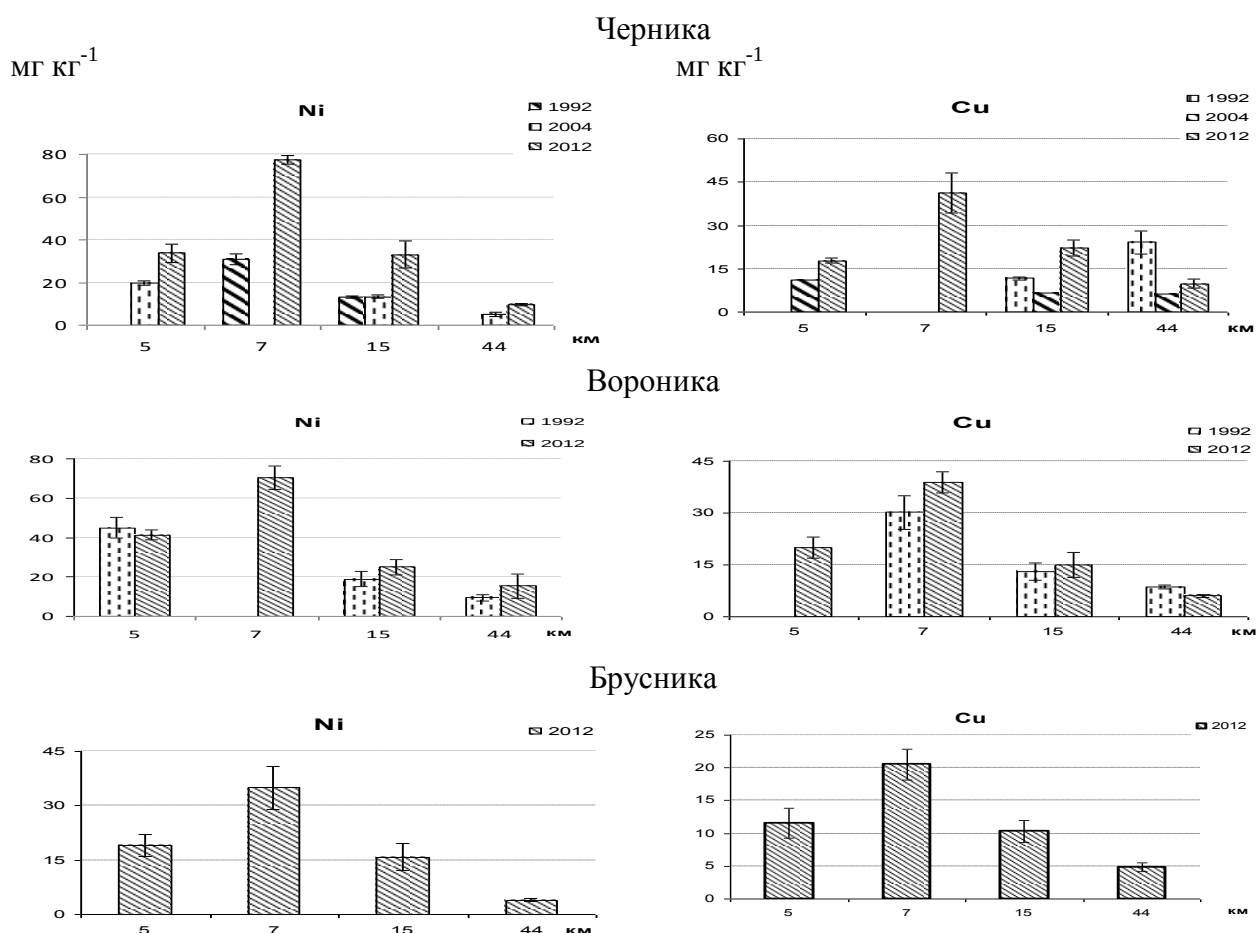


Рис. 2. Содержание никеля и меди в листьях кустарничков в зоне воздействия комбината «Печенганикель», мг/кг

Позитивных изменений в содержании тяжёлых металлов в листьях кустарничков за исследуемый период (1992-2011 гг.) не произошло. Концентрации никеля и меди в ассимилирующих органах многократно превышают фоновые значения. В листьях черники выявлено достоверное ($p < 0.01$) повышение содержание никеля и меди по сравнению с предыдущем периодом исследования. В листьях брусники содержание меди и никеля также возрастают, или остаются сопоставимыми с уровнем 1991 г.

Выявлено, что на ближайшей точке отбора к комбинату «Печенганикель» (5 км) плоды вороники содержат значительно больше никеля меди (9.5 мг/кг), чем другие ягоды. Анализ данных по содержанию Ni и Cu в плодах дикорастущих растений в северном направлении (на север от комбината в сторону Норвегии) показал, что содержание тяжёлых металлов в ягодах черники,

брусники и вороники по направлению к северу увеличивается и превышает таковое по направлению к югу от комбината на расстояние до 12 км.

В зоне влияния комбинатов ОАО «Кольская ГМК» «Североникель» и «Печенганикель» отмечено, что по мере приближения к источнику выбросов содержание тяжелых металлов в ягодах дикорастущих растений увеличивается; на расстоянии 5-10 км от источника загрязнения в зоне влияния «Североникель» концентрации Ni в ягодах выше, чем в зоне влияния «Печенганикель»; в зоне влияния комбината «Североникель» концентрации Ni и Cu в ягодах выше по направлению к югу, а в зоне влияния комбината «Печенганикель» - к северу от источника загрязнения.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в ягодах дикорастущих растений в зоне влияния комбината «Печенганикель», мг/кг абс. сух. веса

Расстояние от комбината, км	Направление от источника загрязнения	Расстояние от комбината, км	Ni	Cu	Cd	Pb	Co
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.							
30	N	29.2	1.9	5.6	0.200	0.400	0.200
12	N	12.3	9.8	5.3	0.008	0.608	0.143
5	W	5.2	5.8	5.3	0.006	0.363	0.016
15	S	14.1	4.9	4.6	0.013	0.585	0.057
44	S	42.3	3.2	6.4	0.004	0.072	0.009
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.							
12	N	12.3	11.3	6.5	0.006	0.235	0.326
5	W	5.2	7.4	5.9	0.008	0.233	0.141
15	S	14.1	3.3	4.0	0.002	0.244	0.099
44	S	42.3	2.7	5.1	0.006	0.207	0.070
<i>Empetrum hermaphroditum</i> Hagerup.							
30	N	29.2	5.6	7.5	0.200	0.400	0.200
12	N	12.3	15.2	11.0	0.015	0.739	0.609
5	W	5.2	11.2	9.5	0.011	0.292	0.434
15	S	14.1	5.7	5.7	0.016	0.235	0.328
44	S	42.3	2.5	1.8	0.006	0.356	0.157

Несмотря на сокращения объема выбросов загрязняющих веществ комбинатами «Североникель» и «Печенганикель» и позитивные изменения ряда параметров минерального питания, этого всё ещё недостаточно для оптимизации минерального питания лесных растений. Накопленные десятилетиями в наземных экосистемах загрязнители и продолжающее токсическое влияние эмиссий, хотя и поступающих в атмосферу в меньшем объеме, препятствуют процессу восстановления сильно повреждённых и разрушенных экосистем, особенно вблизи локальных источников.

Литература

1. Исаева Л.Г., Сухарева Т.А. Состояние наземных экосистем в зоне влияния комбината «Печенганикель» // Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / Общ. ред. О.А. Хлебосоловой. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. С. 25-35.
2. Исаева Л.Г., Сухарева Т.А. Элементный состав дикорастущих кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель»: данные многолетнего мониторинга // Цветные металлы, 2013. № 10. С.86-92.
3. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2-х ч. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с., Ч. 2. 192 с.
4. Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаёжных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
5. Парибок Т.А. Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия // Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л.: Наука, 1983. С. 82-99.

6. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжёлым металлам. Петрозаводск: Карельского НЦ РАН, 2007. 172 с.
7. 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.

Сущук А.А., Матвеева Е.М.

Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

anna_sushchuk@mail.ru

СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Нематоды (круглые черви) – организмы, в настоящее время переживающие биологический прогресс. Свидетельством этого является их космополитическое распространение, в том числе в биотопах с экстремальными условиями среды. Сведения о почвенных нематодах тундровых экосистем Европейского Севера на сегодняшний день малочисленны. В литературных источниках имеются данные о фауне нематод островов Кандалакшского залива Белого моря (Бызова и др., 1986), Швеции (Sohlenius, Boström, 1999), северного Урала (Ryss, 1992), полярных областей (в сравнении с экосистемами других типов) (Yeates, 1979; Boag, Yeates, 1998). Возможности и преимущества использования почвенных нематод в качестве биоиндикаторов для оценки степени нарушенности территорий при различных формах антропогенного воздействия достаточно широко обсуждаются в нематологической литературе (Груздева и др., 2003, 2010; Матвеева и др., 2008; Wasilewska, 1997; Georgieva et al., 2002; Pen-Mouratov et al., 2008). Проводятся исследования по изучению сообществ нематод для оценки характера процессов, происходящих при естественном восстановлении техногенных ландшафтов (Груздева, Сущук, 2010).

В настоящее время актуальна проблема восстановления и хозяйственного использования ландшафтов, нарушенных антропогенным воздействием, особенно на Севере, где восстановление любых трансформированных территорий сопряжено с большими трудностями ввиду специфичности природных условий. Данное исследование является продолжением работ по прогнозированию динамики сообществ почвообитающих и фитопаразитических нематод в условиях климатических изменений на Севере и различных форм антропогенного воздействия. В связи с этим сформулирована цель работы – изучение фауны почвенных нематод естественных биоценозов тундровой зоны и особенностей сообществ нематод на начальных этапах восстановления техногенного ландшафта в условиях Севера.

Материалы и методы. Почвенные пробы были отобраны в лишайниково-кустарничковых ассоциациях тундры на островах Белого моря (архипелаг Кузова, средние луды), в Мурманской области, северной Финляндии и Норвегии. В качестве трансформированных биоценозов рассмотрены биотопы, формирующиеся на полигонах промышленных отходов (шлаковые отвалы и хвостохранилища) горно-металлургических производств Мурманской области (г. Никель, Мончегорск и Оленегорск).

Выделение нематод из почвы (навески 30 г. в 3-кратной повторности) проводили по модифицированному вороночному методу Бермана с экспозицией 48 ч. Фиксатор – ТАФ (триэтанолламин + формалин + вода, в соотношении 2:7:91). Идентификацию нематод проводили на временных глицериновых препаратах. Устанавливали систематическую принадлежность не менее 300 особей из почвенной пробы. Каждый таксон нематод относили к одной из шести эколого-трофических групп: бактериотрофы (Б), микотрофы (М), политрофы (П), хищники (Х), нематоды, ассоциирующие с растениями (Аср) и паразиты растений (Пр) в соответствии с классификацией Итса (Yeates et al., 1993).

Анализ нематологического материала проводился по следующим параметрам: таксономическое разнообразие фауны и индекс доминирования Симпсона, плотность популяций нематод (экз./100 г почвы), эколого-трофическая структура сообществ почвенных нематод, эколого-популяционные индексы. Индекс обогащения трофической сети (enrichment index, EI) и индекс преобладающего пути разложения органики (channel index, CI) были использованы в качестве показателей, характеризующих почвенные условия исследованных мест обитания (Ferris et al., 2001). Проведено сравнение полученных результатов с данными по сообществам почвенных нематод лесных биотопов северотаежной подзоны.

Результаты исследований. Естественные биоценозы. Фауна почвенных нематод в тундровых биотопах представлена 51 родом нематод, 12 из которых являются общими, а 14 родов – специфичными для отдельных биотопов. Общие таксоны включают роды нематод-бактериотрофов (6) и нематод, ассоциированных с растениями (3). Среди них выделяются доминирующие по численности таксоны: бактериотрофы р. *Plectus* (до 50% фауны), р. *Acrobeloides* (до 28%), род нематод, ассоциированных с растениями *Malenchus* (до 47%). Также высокой численности достигали нематоды-политрофы р. *Eudorylaimus* (до 30%), микотроф р. *Tylencholaimus* (до 29%). При этом индекс доминирования Симпсона *S* равен 0.1-0.2; на островах отмечены более высокие показатели (до 0.37). Специфичные роды, присутствующие только в отдельных биотопах, чаще были отмечены в Финляндии и Норвегии (5 и 4 рода, соответственно), малочисленны и представлены различными трофическими группами – бактериотрофами, политрофами, хищными и паразитическими нематодами.

Самое низкое таксономическое разнообразие нематод (8-18 родов) отмечено на островах Белого моря (табл. 1), что обусловлено особенностями островных биоценозов – экстремальностью природных условий. Наиболее разнообразная (25 родов) фауна нематод выявлена в биотопах Норвегии, что связано с географическим расположением исследованных биотопов.

Таблица 1

Структура сообществ почвенных нематод естественных тундровых и северотаежных экосистем Севера Европы

Природная зона	Плотность популяций, экз./100 г почвы	Кол-во родов	Эколого-трофические группы, %					
			Б	М	П	Х	Аср	Пр
Финляндия								
1	1911	24	32.7	18.3	3.9	0	43.5	1.6
	2748	20	54.8	10.9	11.7	0	22.3	0.3
2	1177	25	38.8	26.5	9.9	0.6	23.9	0.3
Норвегия								
1	221	25	35.7	35.3	13.5	5.0	9.1	1.4
	2415	20	44.1	19.9	21.3	1.2	13.4	0.1
2	4846	24	82.2	12.0	3.3	0.2	2.3	0
	1685	24	54.5	3.6	26.7	4.7	7.9	2.6
Мурманская область								
1	507	17	75.3	5.6	13.6	3.9	1.0	0.6
	1505	20	46.4	11.7	11.6	5.6	23.7	1.0
	2594	20	55.7	12.0	13.7	0.3	18.3	0
2	2775	18	65.2	17.5	11.9	0.8	4.6	0
Острова Белого моря								
1	88	13	44.7	2.9	2.9	0.5	49.0	0
	315	13	39.0	14.8	45.3	0	0.9	0
	645	10	96.6	0.3	2.8	0	0.3	0
	1283	18	3.6	19.1	1.4	0.7	75.0	0.2
	1690	8	55.2	2.7	30.0	12.1	0	0
2	1990	17	12.9	72.9	10.2	0	3.9	0.1
	2126	24	67.6	3.5	5.8	0	22.8	0.3

Примечание: 1 – тундра, 2 – тайга (на примере северотаежной подзоны); Б – бактериотрофы, М – микотрофы, П – политрофы, Х – хищные нематоды, Аср – нематоды, ассоциированные с растениями, Пр – паразиты растений.

Плотность популяций нематод также сильно варьирует (от 221 до 2748 экз./100 г почвы) с самыми низкими значениями на островах архипелага Кузова в Белом море (табл. 1).

В эколого-трофической структуре сообществ нематод доминируют бактериотрофы (табл. 1). Также высокую численность имеют нематоды, ассоциированные с растениями (до 43.5% от фауны на материковой территории, до 75% - на островах), достаточно хорошо представлены политрофы. Хищники и паразиты растений – самые малочисленные и редко встречающиеся группы

в сообществах. Доля хищных нематод в структуре сообществ не превышает 5% фауны (исключение – о. Средний архипелага Кузова, 12.1%); группа отсутствует на 5 из 13 обследованных площадках. Паразиты растений формируют в среднем 0.5% фауны нематод, представлены 5 родами, являющимися мигрирующими экто- и эндопаразитическими перфораторами. Такое соотношение эколого-трофических групп характерно для тундровых и северных таежных экосистем в целом.

Индекс обогащения трофической сети *EI* основан на чувствительности таксонов нематод из групп-оппортунистов к возрастанию доступности пищевого ресурса, характеризует обогащение почвы органикой или уровень плодородия. При его определении учитываются бактериотрофы с короткими циклами развития и микотрофы, т. е. группы, связанные в своей трофике с активностью первичных потребителей детрита. Индекс имеет низкие значения и варьирует от 0 (полное отсутствие нематод данных трофических групп, Норвегия) до 37 (Финляндия), что связано с особенностями тундровых почв – замедленной минерализацией растительного опада, бедностью бактериальной флоры, неблагоприятными почвенными температурами. Индекс преобладающего пути разложения органики *CI* в большинстве биотопов имеет высокие значения (в среднем 69), что свидетельствует о значимой роли почвенных грибов в процессах деструкции органики.

Сравнение данных по сообществам почвенных нематод тундровых и лесных биотопов северотаежной подзоны выявило сходство богатства фауны, плотности популяций нематод и эколого-популяционных индексов. Небольшие различия отмечены в эколого-трофической структуре сообществ нематод исследованных биотопов (табл. 1).

Влияние техногенной трансформации (на примере отвалов промышленных отходов)

Фауна почвенных нематод исследованных полигонов промышленных отвалов представлена 34 родами, 11 из которых являются общими с естественными тундровыми биотопами, 5 – специфичными. Однако разнообразие каждого биотопа, рассмотренного в отдельности, остается на низком уровне (8-20 родов), что выявлено и для островов Белого моря. Плотность популяций нематод также имеет низкие значения: 38-476 экз./100 г почвы, что характерно для начальных этапов заселения техногенных субстратов.

Среди численно преобладающих родов нематод встречаются представители трех трофических групп: бактериотрофы сем. *Cephalobidae* (*Acrobeloides*, *Cephalobus*), политроф р. *Mesodorylaimus* и нематоды, ассоциированные с растениями р. *Lelenchus*. Высокий уровень доминирования подтверждает индекс Симпсона $C=0.3-0.6$.

Эколого-трофическая структура сообществ нематод на отвалах без растительности (начальный уровень восстановления) сформирована, главным образом, политрофами, т.е. нематодами с широким спектром питания, и бактериотрофами (рис. 1). Способность политрофов выступать в качестве колонизаторов можно связать с возможностью питания почвенными водорослями. На ранних стадиях регенерации биогенных свойств молодых почв именно водоросли являются единственными фотосинтезирующими организмами, продуцентами органического вещества, которое обеспечивает дальнейшее развитие гетеротрофной микрофлоры и микрофауны, и, таким образом, играют важную роль в процессах восстановления техногенных субстратов (Федорец и др., 1999). Сходная закономерность отмечена нами на полигоне отходов литейного производства в районе г. Петрозаводска (Сушук, Груздева, 2008).

В качестве среднего уровня восстановления рассмотрены участки отвала с пятнами травянистой растительности. В этих условиях показано значительное преобладание бактериотрофов (77.8% фауны). При появлении подроста древесной растительности доминируют нематоды, ассоциированные с растениями. Широкая экологическая пластичность группы определяется факультативной связью с растениями и большими трофическими возможностями: питание как за счет эпидермальных клеток корней, так и содержимым гифов грибов, благодаря чему нематоды данной группы распространены повсеместно.

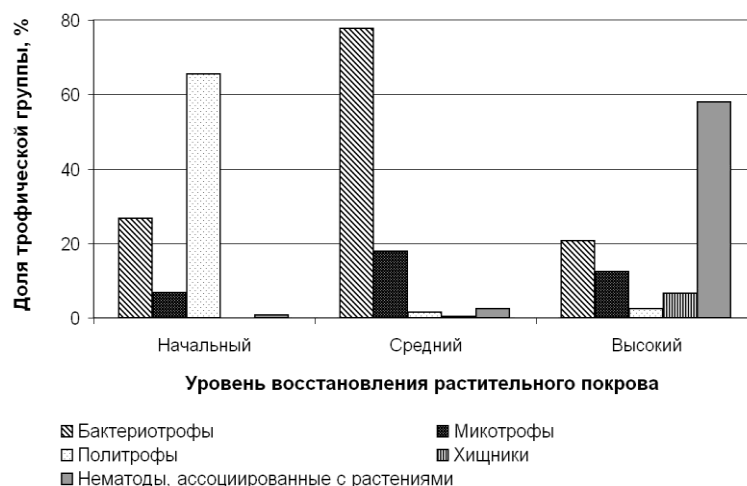


Рис. 1. Структура сообществ почвенных нематод при различном уровне восстановления растительного покрова (на примере хвостохранилища вблизи Оленегорска)

Характерной особенностью пионерных сообществ является их неполнотность: нематоды, относящиеся к 3-5 трофическим группам из 6, представлены в фауне. В целом для сообществ на отвалах прослеживается сходная с естественными тундровыми биоценозами структура: преобладание бактериотрофов, политрофов, микотрофов и нематод, ассоциированных с растениями, малочисленность хищников и паразитов растений.

Значения индексов *EI* и *CI* колеблются в широких пределах, что говорит о нестабильности почвенных условий на начальных этапах формирования биоценоза на новом субстрате.

Заключение

Показано сходство сообществ почвенных нематод тундровых и северотаежных экосистем. Преобладающими эколого-трофическими группами являются бактериотрофы, политрофы и нематоды, ассоциированные с растениями. Отмечено, что климатический фактор является ведущим при формировании почвенной нематодофауны в условиях Севера, тогда как преобладающий тип растительного покрова оказывает меньшее влияние. Особенностью лесных экосистем по сравнению с тундровыми является тенденция к возрастанию доли микотрофов в структуре сообществ нематод.

Экстремальные условия среды, связанные с естественными причинами (островные биоценозы) или антропогенным воздействием (промышленные отвалы), оказывают сходное влияние на сообщества почвенных нематод: наблюдаются низкие значения таксономического разнообразия и плотности популяций нематод, высокая степень доминирования отдельных таксонов.

Литература

1. Бызова Ю.Б., Уваров А.А., Губина В.Г. и др. Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника. М.: Наука, 1986. 312 с.
2. Груздева Л.И., Матвеева Е.М., Коваленко Т.Е. Влияние солей тяжелых металлов на сообщества почвообитающих нематод // Почвоведение, 2003. № 5. С. 596–606.
3. Груздева Л.И., Матвеева Е.М., Коваленко Т.Е., Суцук А.А. Нематоды как индикаторы состояния и степени изменений почвенной экосистемы в условиях северо-запада России // Успехи современной биологии, 2010. Т. 130. № 1. С. 100–112.
4. Груздева Л.И., Суцук А.А. Тенденции восстановления сообществ нематод после деградации почвенного покрова // Известия РАН. Серия Биологическая, 2010. № 6. С. 750–755.
5. Матвеева Е.М., Груздева Л.И., Коваленко Т.Е., Суцук А.А. Почвенные нематоды как биоиндикаторы техногенного загрязнения таежных экосистем // Труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2008. Вып. 14. С. 63–75.
6. Суцук А.А., Груздева Л.И. Почвенные нематоды как индикаторы восстановления техногенного ландшафта // Тезисы докладов I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». М.: МАКС Пресс, 2008. С. 272–273.
7. Федорец Н.Г., Соколов А.И., Шильцова Г.В., Германова Н.И. и др. Начальные стадии формирования биогеоценозов на техногенных землях Европейского Севера. Петрозаводск: КарНЦРАН, 1999. 74 с.

8. Boag B., Yeates G.W. Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems // Biodiversity and Conservation, 1998. V. 7. P. 617-630.
9. Ferris H., Bongers T., de Goede R.G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept // Applied Soil Ecology, 2001. V. 18. P. 13-29.
10. Georgieva S.S., McGrath S.P., Hooper D.J., Chambers B.S. Nematode communities under stress: the long-term effects of heavy metals in soil treated with sewage sludge // Applied Soil Ecology, 2002. V. 20. P. 27-42.
11. Pen-Mouratov S., Shukurov N., Steinberger Y. Influence of industrial heavy metal pollution on soil free-living nematode population // Environmental Pollution, 2008. V. 152. P. 172-183.
12. Ryss A.Y. Plant parasitic nematodes found in permafrost and in plant communities above it // Ecological parasitology, 1992. V. 1. № 1. P. 57-63.
13. Sohlenius B., Boström S. Effects of climate change on soil factors and metazoan microfauna (nematodes, tardigrades and rotifers) in a Swedish tundra soil – a soil transplantation experiment // Applied Soil Ecology, 1999. V. 12. P. 113-128.
14. Wasilewska L. Soil invertebrates as bioindicators, with special reference to soil-inhabiting nematodes // Russian Journal of Nematology, 1997. V. 5. № 2. P. 113-126.
15. Yeates G.W. Soil nematodes in terrestrial ecosystems // J. of Nematology, 1979. V. 11. № 3. P. 213-229.
16. Yeates G.W., Bongers T., de Goede R.G.M., Freckman D.W. & Georgieva S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera: An outline for soil ecologists // J. of Nematology, 1993. V. 25. № 3. P. 315-331.

Тажикенова Н.А., Цветков В.Ф.

Северный (Арктический) Федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск
 nargiza_tazhiken@mail.ru
 vftsvetkov@yamdex.ru

ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСОВ БАССЕЙНА Р. СОЯНЫ

Остается актуальной проблема перехода в лесохозяйственной практике от геометрически прямолинейно-квартальной системы членения лесных массивов к ландшафтной с соблюдением естественных границ лесных экосистем, без образования искусственных границ БГЦ. Весьма убедительной идея опираться при работах на земле, в лесоводстве и в других отраслях землепользования, на естественные рубежи экосистем, видится на Крайнем Севере, в лесах Субарктики.

Задачами исследований, организованных на кафедре лесоводства и почвоведения САФУ (Архангельск), выбраны не только стремление убедить природопользователей в ущербности несоблюдения при освоении природных ресурсов естественных рубежей экосистемам, но и твердое намерение обосновать целесообразность повышения внимания к экосферным (локально защитным и глобально многоаспектно значимым средообразующим и ландшафто-формирующим) функциям лесов.

Известно, что в сложившейся практике таксирования лесов в стране оценка их только с позиций «бревноводства» всегда остается далеко не лучшим способом. Принято считать, что при изъятии из насаждения только бревен, ресурс леса используется только на 35-40%. При промышленной лесозаготовке не учитывается, прежде всего, экологический потенциал лесных экосистем. Но даже в лесах защитного назначения, где комплекс экосферных свойств лесных ПТК является определяющим, в практике он определяется умозрительно, с использованием довольно примитивных подходов, главным образом опирающихся на критерии также упрощенно оцениваемых параметров биологической продуктивности. Как правило, при определении экологического потенциала лесного ПТК не учитываются орографические составляющие его местоположения, не используются многие эмпирического порядка наработки экологов, лесоводов по ранжированию лесных экосистем по физиологическому, биогеоценотическому, биопродукционному потенциалам.

Цель осуществляемых в последние годы исследований лесоведами Северного федерального университета сводится к разработке приемов обогащения утилитарных свойств лесных ПТК (лесотаксационных характеристик) ландшафтными критериями. В основу работ положено добавление к массовым лесотаксационным по выделенным данным лесных планов лесничеств ландшафтных параметров (абсолютная отметка местообитания, базис эрозии выдела (фации), экспозиция склона, направление стока, место фации на топологической катене, тип местоположения

по Л.Г. Раменскому(1971), балл экологической продуктивности (по Г.А. Исаченко,(2001), тип биогеохимического ландшафта (по Б.Б. Полюнову – М.А. Глазовской (1964).

Объектом исследования по рекомендации руководства Архангельской лесоустроительной экспедиции выбран ландшафт на пространствах Беломорско-Кулойское плато, располагающегося в 100-120 км на север – северо-восток от Архангельска (в составе Мезенского районного лесничества). Плато представляет собой территорию в 1974 тыс. га в полосе контакта северотаежных и притундровых лесов. Леса региона (более 1300 тыс. га) принимают на себя основные нагрузки холодных воздушных масс, поступающих на континент из Арктики в рассматриваемом секторе. По Д.М. Кирееву (2002) рассматриваемый регион в геосистемном отношении это – Русская возвышенная дренированная равнина в пределах древней платформы на палеозойских с хвойными и мелколиственными лесами. В современной лесохозяйственной системе район – это зона (подзона, полоса) притундровых редкостойных лесов. По Семенову, Цветкову (1990), Семенову, Торхову, Цветкову (2003) – это Беломорско-Тиманская лесорастительная провинция, в пределах которой выделяется Беломорско-Кулойская подобласть, отличающаяся более усложненной орографией, представляющая специфический ландшафт (Торхов, Цветков, 2014).

Ландшафт среднего течения бассейна р. Сояны, выбранный непосредственным объектом исследований, характеризуется возвышенным местоположением, абсолютными отметками в интервале с отметками 60-150 м, хорошо развитым и усложненным рельефом. Местности, представляющие ландшафт отличаются близким залеганием и выходами карбонатных пород (мергелей, известняков, гипсов), проявлением карста. В рельефе выражены ложбины стока ледниковых вод, обрывистые структурно-денудационные уступы, каньонный тип речных долин. На равнинных участках распространены моренные гряды и слабоувалистые озерно-ледниковые равнины.

Почвообразующими породами выступают преимущественно денудационные отложения рухляков, сложного состава делювия а также карбонатной морены. На землях местностей распространены относительно хорошо сформировавшиеся, легко суглинистые и супесчаные слабо подзолистые и дерново-подзолистые иллювиально-железистые хорошо дренированные почвы, и отличающиеся благоприятными для лесной растительности свойствами.

В отличии от других ландшафтов Беломорско-Кулойского плато район характеризуется, невысокой заболоченностью, широким распространением хвойных сосновых смешанного состава, еловых с сосной и лиственницей, а также лиственничных с примесями насаждений. Среди наиболее распространенных сосняков преобладают насаждения смешанного состава коренного типа. На фоне лесов других типов ландшафтов области лесные ПТК района характеризуется повышенной продуктивностью. На Геоботанической карте Европейской части СССР(1967 г) лесные земли бассейна Сояны обозначены экосистемами среднетаежного облика, хотя район располагается на границе северной тайги с лесотундрой (на широте 65°20"). На базе ландшафта образован и функционирует Соянский биосферный заказник. По всем параметрам и, прежде всего, по разнообразию структуры и ландшафтной организации экосистем рассматриваемый район с повышенным разнообразием условий произрастания лесной растительности показался наиболее интересным для исследований подобного рода.

Ознакомление с предварительными результатами первых шагов исследований, предпринятых кафедрой лесоводства и почвоведения САФУ, можно начать с рассмотрения одного из четырех ключевых участков, рассматриваемых в качестве географической местности в составе рассматриваемого ландшафта.

Местность № 3 – увалистая возвышенная с отметками 70-150 м расчлененная неширокими, но глубокими долинами рек с разной проработанностью рельефа водоразделов слабо заболоченная с широким распространением супесчаных и песчаных подзолов и подзолистых в разной степени оглеенных, а также дерново-подзолистых и дерновых на карбонатной морене почв. Преобладают высоковозрастные смешанные по составу средне- и низкополнотные сосново-еловые с березой, лиственнично-елово-сосновые среднелесия и высоколесия зеленомошных, крупнотравных травяных, прирученных ТЛУ.

Общая площадь местности 1917 га Лесистость 81%. Болотами занято 12%, водами – 3%. Прочие земли: луга, просеки, пустыри, крутосклоны – 2%. По комплексу показателей (формационная структура лесных земель, структура типов и элементов рельефа, представленность групп лесорастительных условий) пространство местности хорошо разделяется на четыре урочища. Набор, структура формаций преобладающих пород и продуктивность насаждений в разрезе урочищ представлена в таблице 1.

Формула состава лесов местности в целом 43 С38 Е 14 Б05Лц. В отличие от равнинных территорий Сийского лесопарка (Цветков, Маслова, 2014), в ландшафте среднего течения Сояны очень четко проявляется дифференциация лесных насаждений по приуроченности к почвообразующим породам и почвам, а также по приуроченности формаций преобладающих пород к разным интервалам изменчивости абсолютных отметок и базиса эрозии выделов (фаций).

Таблица 1

Формационная структура и продуктивность древостоев местности 3 .по урочищам

№ урочища	Представленность формаций преобладающих пород, га/%					Средний класс бонитета				
	С	Е	Б	Л	Итого	С	Е	Б	Л	Среднее
1	163	64	48	-	275	4.1	5	5	-	4.7
2	63	124	24	-	21	4.3	5	4	-	4.4
3	204	178	-	-	382	4.5	5	-	-	4.8
4	391	366	199	93	1049	4.4	5	4.7	4.0	4.5
Всего	821/43	732/38	271/14	93/5	1917/100	4.3	5	4.5	4.0	4.6

Сосновые насаждения местности характеризуются самым высоким интервалом изменчивости абсолютных отметок : от 28 до 150 м над уровнем моря. Несколько ниже амплитуда абсолютных отметок в местообитаниях лиственничников: 30-142 м. Заметим, отдельные деревья лиственницы в составе сосняков по изменчивости абсолютных отметок не уступают сосне. Насаждения с преобладанием ели приурочены к участкам с абсолютными отметками в интервале 28-88 м. Интервал изменчивости высоты над уровнем моря у березняков занимает промежуточное положение между ельниками и лиственничниками – 42-140 м.

Обращает на себя внимание, что на дерновых почвах ,подстилаемых выходами известняков и гипсов, показатели продуктивности древостоев всех формаций преобладающих пород увеличиваются. Однако, лучше всего реализует карбонатность почв все-таки лиственница. При прочих равных в совокупностях насаждений каждой формации прослеживается дифференциация по приуроченности типов леса к комплексам орографических факторов.

Сосняки лишайниковые тяготеют к местообитаниям с отметками 138-150 м и базисом эрозии фаций 2-4 м. Сосняки брусничные и вороничные занимают участки с отметками 122-140 м и с базисом эрозии 3-6 м. Причем, производные средневозрастные насаждения этого типа имеют более расширенный интервал, чем биогеоценозы условно коренные или смешанного генезиса. Сосняки долгомошные и травяно-болотные (хвошево-сфагновые) приурочены к местообитаниям с интервалами отметок от 45 до 66 м. и с базисом эрозии 4-8 м.

Несколько «выбиваются» из классического местоположения в рельефе широко распространенные сосняки черничные. Насаждения этого типа леса смешанного генезиса занимают местообитания с колебаниями абсолютных отметок 52-124 м. Существенно, что в местообитаниях этого типа леса отмечены очень высокие значения базы эрозии: 4-12 м. Самое низкое положение в рельефе занимают сосняки сфагновые (28-34 м) с базисом эрозии от 0 до 2 м.

Связь типов лиственничников с абсолютными отметками участков практически не отличается от таковой в насаждениях сосновой формации. Возможно, здесь проявилась низкая представленность лиственничников в лесном фонде местности. Мало выраженной оказалась связь формаций и типов леса с экспозициями склонов. Можно говорить лишь о несколько большей приуроченности сосняков к склонам западной экспозиции, а ельников к юго-восточной. Не исключено, что искомые различия затушевываются существенной пестротой в типах генезиса насаждений и в их возрастной структуре, обусловленных влиянием неоднократных пожаров. К тому же не учитываются различия между формациями по сериям типов леса (однотипных участков по лесорастительным условиям). Представляется, что при сопоставлении приуроченности к склонам разной экспозиции одноименных серий, результаты будут иными.

Прослеживается достоверная связь типов леса всех формаций с типами местоположений по Л.Г. Раменскому. Дренированные участки водоразделов и верхние части дренированных склонов занимают сосняки и березняки лишайниковые, вороничные. Местоположения верхних и средних частей склонов занимают сосняки и ельники черничные свежие, сосняки брусничные. Слабо

дренированные склоны и участки плоских водоразделов занимают ельники, сосняки и лиственничники серий долгомошных и кустарничково-болотных типов леса.

Леса рассматриваемой местности отличаются довольно пестрой структурой категорий генезиса насаждений в отличие от аналогичных структур в равнинных условиях севера Русской равнины, где приняты в качестве отправных позиций пять категорий происхождения насаждений: **Ук** – условно коренные; **Смг**- смешанного генезиса; **Пр1** -производные без смены пород; **Пр2** – производные со сменой сосны или лиственницы – елью; **Пр3** – производные со сменой хвойных – лиственными породами (Андриянов, Цветков, 2013). Анализ структуры категорий генезиса насаждений анализируемой местности в целом отражают данные таблицы 2.

Таблица 2

Структура насаждений разных категорий генезиса по формациям преобладающих пород на землях местности 3 Соянского заказника

Формации преобладающих пород	Представленность насаждений разных категорий генезиса, га					
	Ук	Смг	Пр1	Пр2	Пр3	Итого
Сосняки	310	115	160	40	196	821
Ельники	495	80	30		127	821
Березняки	80				191	271
Лиственничники	13	80				93
Итого га/%	898/47	275/14	190/10	40/2	514/27	1917/100

Материалы таблицы 2 показывают на существенные различия в структуре категорий генезиса лесных экосистем по формациям преобладающих пород. Однако эта неравномерность свидетельствует как раз о том, что в целом леса местности (возможно и ландшафта в целом) хорошо отражают ситуацию, свойственную сложившуюся в рассматриваемой местности в бассейне Сояны, характерную и другим лесным территориям. Наибольшую представленность экосистем категорий **УК** и **Смг** можно легко объяснить высокой долей участия среди этой формации биогеоценозов заболоченных местообитаний (сфагновых, хвощево-сфагновых, травяно-болотных типов лесорастительных условий), а также высокой устойчивостью сосняков к пожарам. Как и в других регионах Северной тайги, условно коренными ПТК в формации березняков могут быть только сообщества травяно-болотного типа, производные первого типа – могут преобладать лишь в сосновой формации. Вполне согласуются с экологией северотаежных лесов также возникновение производных насаждений типа **Пр2**. Среди сосняков эту категорию представляют участки, где после рубки коренных сосняков образуются производные сообщества с преобладанием ели, вариант возникновения после рубки коренных сосняков биогеоценозов с преобладанием ели за счет сохранения подроста.

Достаточно очевидная обусловленность представленности производных типов лесов в совокупностях ПТК разных типов генезиса, выявленные закономерности в организационной структуре элементов орографии местообитаний разных формаций преобладающих пород свидетельствуют о том, что лесные экосистемы района подчиняются общим объективным закономерностям. Из этого следует, что продолжение исследований в представленном направлении открывает хорошие перспективы в познании сложной природы лесных насаждений, за которой открывается повышение комплексной ресурсно-сырьевой и экологической значимости лесов. Можно считать, что первые результаты подтверждают оправданность цели заявленного авторами замысла.

Литература

1. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных процессов. М.:МГКУ, 1964. 278 с.
2. Киреев Д.М. Лесное ландшафтоведение: текст лекций. СПб: СПбЛТА, 2002. 240 с.
3. Исаченко Г.А. Экологическая география России. СПб: СПбУ, 2001. 327 с.
4. Раменский Л.Г. Основные закономерности растительного покрова и их изучение // Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избранные работы. Л. Наука, 1971. 334 с.
5. Семенов Б.А. Цветков В.Ф. Лесорастительное районирование притундровой зоны Европейской части СССР // Междунар. Симпозиум «Северные леса: состояние, динамика и антропогенное воздействие», 1990. Ч. 2. М. С. 173-187.
6. Семенов Б.А., Торхов С.В., Цветков В.Ф. Притундровая зона лесов Архангельской области. Архангельск: «ПрессПринт2», 2003. 60 с.

7. Цветков В.Ф., Маслова Н.А. К исследованиям ландшафтной организации лесных земель Сийского лесопарка // Лесной журнал, 2014. (в печати)

Таскаева А.А.

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

ФАУНА И НАСЕЛЕНИЕ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA) ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ХИБИН И УРАЛА

Изучение сообществ беспозвоночных в контрастных экологических условиях горных экосистем – уникальных природных «лабораторий» – представляет большой интерес (Ермаков, 2009). Горные экосистемы относятся к так называемым уязвимым экосистемам. В то же время их значение в поддержании биологического разнообразия биосферы Земли недостаточно оценено. Так, достоверной информации о биоразнообразии беспозвоночных животных ни в целом по России, ни по отдельным горным регионам в настоящее время не существует. Горные экосистемы – это своеобразный «эволюционный котел», который время от времени выплескивает то новое, что в нем сварилось, в окружающие биоты, являясь для них источником повышения биоразнообразия (Большаков, 2004). Среди почвенных микроартропод коллемболы отличаются особой чувствительностью к изменениям физических и ценологических условий. Особый интерес представляет изучение их экологии в горных системах, где представлен широкий спектр экологических условий, в первую очередь, в связи с различной высотой над уровнем моря (н. у. м.) и характером рельефа.

Фауна и население коллембол Урала изучено недостаточно. Существует несколько работ, касающихся экологического разнообразия ногохвосток данной территории. Так, например, изучены таксономический состав комплексов микроартропод в почвах западных предгорий Северного Урала (Поспелов и др., 1978), вертикально-поясное распределение коллембол хр. Яны-Пупу-Ньер (Таскаева, 2005; Биологическое разнообразие..., 2009), фауна и население ногохвосток, простейших пойменных экосистем, представляющих разные стадии первичных сукцессий на аллювиальных наносах, в бассейне среднего течения р. Илыч (Дегтева и др., 2012). Биологическое разнообразие экосистем Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) включает к настоящему времени 111 видов (Биологическое разнообразие..., 2012). Наибольшим видовым разнообразием характеризуются сообщества ногохвосток горно-лесного пояса (53 вида), где преобладают *Folsomia quadrioculata* и *Isotomiella minor*. В горно-тундровом поясе обнаружено 50 видов, однако население ногохвосток по составу массовых видов более специфично. В различных сообществах островов Пушгади и Бияизъяди зарегистрировано 52 и 43 вида ногохвосток, соответственно. Следует отметить, что на галечниках обнаружен новый для Республики Коми вид *Folsomides parvulus*, распространение которого на севере ограничено.

На Приполярном Урале коллемболы были изучены в различных лесных сообществах (р. Балбанью, р. Малый Паток, р. Кожым). Фаунистический список коллембол включает 68 видов (Биологическое разнообразие..., 2012). Подавляющее большинство видов ногохвосток исследуемого района является типичными обитателями лесного пояса. Особенностью выявленной фауны является присутствие арктических и аркто-альпийских видов, хотя ядро фауны, как и во всей Голарктике, сложено широко распространенными формами. Группировки ногохвосток обследованных растительных сообществ характеризуются достаточно обычным для однократных учетов уровнем видового разнообразия (29-34 вида). Наиболее разнообразно население лиственничных редколесий (34 вида) и горных тундр (32 вида). Средняя плотность всех исследуемых сообществ коллембол невелика и варьирует от 20 тыс. экз./м² в березовых криволесьях до 40 тыс. экз./м² в горных тундрах. Весьма сходны обследованные местообитания и на уровне доминантов, которыми являются широко распространенные убикисты *Folsomia quadrioculata* и *Isotomiella minor*. Во всех горных тундрах высокого уровня обилия достигает *Tetracanthella wahlgreni*, являющийся массовым в горных тундрах Северного Урала (Таскаева, 2005), равнинных тундрах побережья Баренцева моря (Таскаева, Накул, 2010), в различных сообществах Кольского п-ва (Кузнецова, 1988; Бабенко, 2012).

Фауна коллембол Полярного Урала включает 41 вид (Биологическое разнообразие..., 2012). Наиболее богаты видами такие сообщества, как кустарничково-лишайниковые тундры и болота, где доминантами являются *Folsomia quadrioculata*, *Tetracanthella wahlgreni* и *Pachyotoma sp. nov.* На

скалистых обнажениях обнаружено 10 видов ногохвосток с плотностью населения 27.4 тыс. экз/м². В этих сообществах в роли доминанта выступает *Friezea mirabilis* и *Uralophorura schilovi* (Биологическое разнообразие..., 2010). Однако, количество видов в горных провинциях Урала, по-видимому, выше, чем на окружающих равнинах, что связано с большим разнообразием условий местообитания. Для таежной зоны характерно, скорее, обратное соотношение. Следует также отметить и изменения в высотном градиенте: при продвижении от пойменных сообществ к тундровым биоценозам наблюдается ясный рост численности по мере фаунистического обеднения (Таскаева, 2005). В Республике Коми среди коллембол наиболее богаты видами рода *Folsomia*, *Desoria* и *Protophthora*. Для таежной зоны (равнинной и горной частей) показано наличие одних и тех же массовых видов: *Folsomia quadrioculata*, *Isotomiella minor*, *Protophthora boedvarssoni*, *Parisotoma notabilis*, *Desoria hiemalis* и другие. Ядро другой группы формирует тундровая фауна (*Vertagopus pallidus*, *Psedisotoma sensibilis*, *Scutisotoma subarctica*, *Tetracanthella wahlgreni*), для которой характерна большая численность, обедненный состав фауны, наличие специфических аркто-бореальных видов (Таскаева, 2006). Основу населения составляют виды с палеарктическим, голарктическим и космополитным распространением. В зональном аспекте преобладают виды с бореальным и полизональным распространением.

На территории горного массива Хибин исследования были проведены на горах Ловчорр, Партомчорр, Суолайв, Рисчорр. Выявлено 50 видов коллембол, из которых 36 видов отмечено на г. Рисчорр, 26 видов – г. Ловчорр и по 19 видов – на г. Партомчорр и Суолайв (таблица). Новыми видами для Кольского п-ва оказались *Choreutinula inermis*, *Xenylla brevicauda*, *Willemia denisi*, *Micranurida granulate*, *Anurophorus septentrionalis*, *Desoria blekeni*, *Entomobrya marginata*.

Таблица

Количество видов и численность (тыс. экз/м²) коллембол Хибин

Гора	Партомчорр	Суолайв	Рисчорр			Ловчорр	
Сообществ	Л	Л	Л	БК	ГТ	ГТ	ПП
количество видов	19	19	22	26	18	24	14
численность	37.0±8.5	13.9±5.0	33.0±6.4	54.8±11.6	56.7±13.5	45.5±17.6	12.4±3.1

Примечание: Л- сосново-еловый лес, БК- березовое криволесье, ГТ- горная тундра, ПП- полярная пустыня.

Изменение разнообразия и численности ногохвосток в высотном градиенте изучено на примере г. Рисчорр, где показано, что березовое криволесье характеризуется высоким уровнем разнообразия, в то время как численность для данного биогеоценоза и горной тундры одинакова. Напротив, для Северного Урала выявлена обратная картина, где в березовом криволесье зарегистрировано наименьшее число видов (Таскаева, 2005). Массовыми видами в елово-сосновом лесу оказались *Anurophorus septentrionalis*, *Entomobrya marginata*, *Xenylla brevicauda*, в березовом криволесье – *Folsomia quadrioculata*, *A. septentrionalis* и в горной тундре – *Tetracanthella wahlgreni*, *Isotomiella minor*, *F. quadrioculata*.

Группировки коллембол сосново-елового леса г. Партомчорр и Суолайв, расположенных на склоне юго-восточной экспозиции, довольно схожи. Общими оказались 12 видов, доминантам – *I. minor*. Для г. Партомчорр характерна высокая доля *T. wahlgreni* и *Anurophorus palaearticus*. На г. Суолайв высокого уровня обилия достигают виды *Willemia anophthalma*, *Pseudanurophorus binoculatus*. Численность ногохвосток низка и сравнима с таковой полярной пустыни г. Ловчорр.

Особенностью организации сообществ коллембол Хибин можно считать отсутствие видов с арктическим и арктоальпийским распространением даже в экосистемах высокогорной тундры и полярной пустыни в отличие от Уральской горной страны, где такие элементы присутствуют.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-04-01538 и программы Президиума РАН № 12-П-4-1018.

Литература

1. Бабенко А.Б. Ногохвостки (Hexapoda, Collembola) тундровых ландшафтов Кольского п-ова // Зоол. журн., 2012. Т. 91. № 4. С. 411-427.
2. Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 7. Природные комплексы заказника «Хребтовый». Сыктывкар, 2010. С. 67-77.
3. Биологическое разнообразие Республики Коми. Под ред. В.И. Пономарева и А.Г. Татарина. Сыктывкар, 2012. 264 с.

4. Биологическое разнообразие уральского Припечорья. Под. Ред. *В.И. Пономарева* и *Т.Н. Пыстиной*. Сыктывкар, 2009. С. 109-122.
5. *Большаков В.Н.* Изучение и сохранение биологического разнообразия горных регионов // *Фундаментальные зоологические исследования. Теория и методы*. Москва-С.-Петербург: Тов-во науч. изд. КМК, 2004. С. 51-57.
6. *Дегтева С.В., Виноградова Ю.А., Колесникова А.А., Лаптева Е.М., Мазей Ю.А., Малышева Е.А., Таскаева А.А., Хабибуллина Ф.М.* Биоразнообразие пойменных экосистем р. Илыч (предгорья Северного Урала) // *Горные экосистемы и их компоненты: Матер. IV Международной конференции, посвященной 80-летию основателя ИЭГТ КБНЦ РАН чл.-корр. РАН А.К. Темботова и 80-летию Абхазского государственного университета*. Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых (ООО «Полиграфсервис и Т»), 2012. С. 146-147.
7. *Ермаков А.И.* Структура населения беспозвоночных в высокогорьях Северного Урала (на примере массива Денежкин камень): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2009. 16 с.
8. *Кузнецова Н.А.* 1988. Типы населения коллембол в хвойных лесах европейской части СССР // *Экология микроартропод лесных почв*. М.: Наука, С. 24-52.
9. *Поспелов Л.Е., Солнцева Е.Л., Чугунова М.Н.* Комплексы микроартропод в разных типах леса в подзоне северной тайги европейской части СССР // *Проблемы почвенной зоологии*. Минск, 1978. С. 189-190.
10. *Таскаева А.А.* Вертикально-поясное распределение ногохвосток (Collembola) в Печоро-Илычском заповеднике // *Труды Печоро-Илычского заповедника*. 2005. № 14. С. 118-125.
11. *Таскаева А.А.* Распределение коллембол (Collembola) по экологическим профилям таежной зоны европейского северо-востока России. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2006. 22 с.
12. *Таскаева А.А., Накул Г.Л.* 2010. Население коллембол в местах гнездования чаек Колоколковой губы // *Материалы докладов XVII Всероссийской молодежной конф. «Актуальные проблемы биологии и экологии»*. Сыктывкар, С. 120-121.

Толстоконева Е.Н.

Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток

elniik@gmail.com

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ КАМЧАТКИ

Камчатка – полуостров в северо-восточной Азии, омываемый Охотским морем с запада, Беринговым – с востока. Западное побережье полуострова представляет собой Западно-Камчатскую низменность, на восточном побережье располагается Восточный хребет и вдоль оси полуострова тянется Срединный хребет. Между этими двумя хребтами располагается Центрально-Камчатская депрессия. Полуостров Камчатка является северным регионом Востока России и характеризуется активной вулканической деятельностью, оказывающей большое разрушительное воздействие на природные экосистемы, прилегающие к району извержения. Вулканы имеют огромное влияние на формирование почвенного покрова полуострова. Почвообразование в условиях вулканизма имеют ряд отличительных особенностей, к которым можно отнести низкое содержание вторичных глинистых минералов и легкий гранулометрический состав почв. По химическому составу от зональных почв они отличаются более кислой реакцией среды, более высокой емкостью поглощения, повышенным содержанием гумуса и аморфных гидроксидов алюминия и железа. Низкое содержание окристаллизованных глинистых минералов и хорошая фильтрационная способность способствуют активному выщелачиванию кальция и магния. Исследование кислотно-основной буферности почв, как интегрального показателя, отражающего особенности почвообразовательных процессов, дает возможность оценить экологическую устойчивость почв. Целью данной работы было изучение характера проявления буферности в вулканических почвах, определение ее взаимосвязи с некоторыми физико-химическими свойствами почв и оценка экологической устойчивости почв к кислотно-щелочным воздействиям. В качестве объектов исследования были взяты охристые почвы зоны умеренных пеплопадов Центральной Камчатской депрессии, где выпадение пеплопадов не вызывает гибели растительности. Небольшие порции пеплов рассеиваются в верхних горизонтах и по мере минерализации поступают в верхние минеральные горизонты, не образуя хорошо видимых слоев. Аллювиальные отложения выступают в качестве почвообразующих пород только в пределах речных пойм. Химический состав обычно близок

среднему составу изверженных пород Камчатки (андезито-базальту) и отличается несколько пониженным содержанием щелочных элементов, особенно натрия (Соколов, 1973). Полнопрофильное изучение буферности к основанию было проведено в охристо-подзолистой легкосуглинистой почве на пепловых отложениях и охристой легкосуглинистой на аллювиально-пепловых отложениях.

В основу щелочной обработки почвы был положен метод равновесного потенциометрического титрования в присутствии сильного электролита, необходимого для получения четких перегибов на кривых титрования (Ремезов, 1957). Навески почвы, в трехкратной повторности, по 10 г, помещали в конические колбы на 100 мл, обрабатывали 10 н. раствором CaCl_2 , приливая в каждую колбу по 25 мл, а затем добавляли возрастающие объемы щелочи $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в пересчете на мэкв в 100 г почвы, от 1 до 12. В первую колбу щелочь не приливали, она служила для определения рН солевой суспензии. Первые измерения рН после добавления щелочи фиксировались через 24 часа.

Буферность оценивалась по соотношению активности ионов водорода до и после обработки почвы щелочью: $K_{\text{щел.}} = a_{\text{H}^+} / a_{\text{H}_2}^+$, где $K_{\text{щел.}}$ – величина, показывающая степень изменения реакции среды при щелочном воздействии, a_{H^+} – активность ионов водорода рНсол. с 1н. CaCl_2 , $a_{\text{H}_2}^+$ – активность ионов водорода в почвенной суспензии на фоне 1н. CaCl_2 при добавлении возрастающих доз щелочи. Общая буферная способность почв $K_{\text{щел.}}_{12\text{мэкв}}$ оценивалась по дозе щелочи 12 мэкв.

Оценка экологической устойчивости почв проводилась по четырем градациям буферности: высокая, средняя, низкая и очень низкая (табл.1). Анализировалась связь буферности к основанию с гидролитической кислотностью (ГидК), определяемой по методу Каппена (Агрохимич. методы исслед..., 1975) и рН солевому в 1н CaCl_2 -вытяжке.

Таблица 1

Градация буферности

Оценка буферности к основанию	$K_{\text{щел.буф.}} \cdot 10^3$
Высокая	0.01 – 0.1
Средняя	0.1 – 1.0
Низкая	1.0 – 10.0
Очень низкая	>10.0

Профиль охристо-подзолистой легкосуглинистой почвы включает темно серый, густо переплетенный корнями дерновый горизонт повышенной гидролитической кислотностью и сильнокислой реакцией среды. Для этого горизонта характерна высокая буферность к основанию (табл.2). В позолоистом светло-палевом, неясно слоисто-комковатом горизонте с сильнокислой реакцией среды, гидролитическая кислотность снижается в два раза. Это же происходит и с буферностью, которая вновь возрастает в погребенном иллювиально-гумусовом горизонте. Начиная с погребенного подзолистого горизонта, она снижается, оставаясь в пределах высокой градации до подстилающих пород, которые начинаются с глубины около 80 сантиметров, где буферность падает до низких и средних значений. Ход кривой распределения буферности к основанию имеет сходные черты с изменением гидролитической кислотности по профилю почвы и рН солевым. Исходя из параметров буферности охристо-подзолистой почвы, можно сказать, что исследуемая почва экологически устойчива к щелочным воздействиям

Таблица 2

Буферность к основанию почв зоны умеренных пеплопадов Центральной Камчатской депрессии

Горизонт	рНсол.	рН, 12мэкв $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 100 г почвы	$K_{\text{щел.рег.}} \cdot 10^3$	ГидК, мэкв на 100г почвы	Оценка буферности
Охристо-подзолистые легкосуглинистые на пепловых отложениях					
Адерн	2.84	4.18	0.02	13.12	Высокая
A2	3.35	4.96	0.04	7.0	Высокая
B" h	3.83	5.10	0.02	4.59	Высокая
A2"	4.01	5.96	0.09	4.37	Высокая
B2	4.11	6.03	0.09	5.25	Высокая
B3	4.31	6.04	0.05	5.25	Высокая
BC1	4.66	7.80	1.1	1.97	Низкая

BC2	4.72	7.94	0.2	1.75	Средняя
Охристая легкосуглинистые на аллювиально-пепловых отложениях					
Апах	4.35	6.31	0.09	3.72	Высокая
B1h	4.89	6.04	0.1	5.69	Средняя
B2h	3.89	5.79	0.08	6.56	Высокая
B3h	4.04	6.75	0.4	3.28	Средняя
BC1	4.19	7.23	1.1	1.75	Низкая
BC2	4.43	7.81	1.9	1.31	Низкая

Профиль охристой легкосуглинистой почвы на аллювиально-пепловых отложениях состоит из темно-серого легкосуглинистого комковато-порошистого пахотного горизонта мощностью до 30 сантиметров, проявляющего высокую буферность к основанию (табл. 2). В неоднородном буро-охристом неясно ореховато-комковатом уплотненном иллювиально-гумусовом горизонте B1h буферные свойства падают до средних значений, влияние гидролитической кислотности слабое. В буро-охристом неясно-комковатом уплотненном горизонте B2h на глубине 50-60 сантиметров буферность вновь возрастает до высоких значений и здесь уже проявляется влияние гидролитической кислотности. Далее вниз по профилю буферность к основанию резко снижается и ход кривой ее изменения совпадает с ходом кривой изменения гидролитической кислотности. Реакция среды почвенного профиля охристой легкосуглинистой почвы от сильнокислой в пахотном горизонте возрастает до слабокислой в верхнем гумусово-аллювиальном и вновь становится сильнокислой в горизонте B2h и далее вниз по профилю плавно переходит от сильнокислой к среднекислой. В охристой легкосуглинистой почве на аллювиально-пепловых отложениях обменная кислотность оказывает большее влияние на буферность, чем гидролитическая. Влияние гидролитической кислотности отмечено только в верхнем иллювиально-гумусовом горизонте. Изменение буферности к основанию, гидролитической кислотности и pH солевого в охристо-подзолистой и охристой почве практически совпадают. Наблюдается снижение буферных свойств в горизонте, следующем за органомным и их повышение до прежних значений в следующем. Все эти изменения происходят в пределах «высокой» градации буферности. Нижняя часть профиля исследуемых почв менее буферна. Исследуемые почвы проявляют высокие буферные свойства практически по всему профилю. Наблюдается связь буферности с гидролитической кислотностью и pH солевым. По силе буферного действия исследуемые почвы экологически устойчивы к воздействиям щелочного характера.

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Изд-во «Наука», 1965. С. 171-174.
2. Ремезов Н.П. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. М.: «Гос. изд-во с.-х. литературы», 1957. С. 117–132.
3. Соколов И.А. Вулканизм и почвообразование. М.: Наука, 1973. 224 с.

Урбанавичюс Г.П.

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

БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ, ВКЛЮЧАЕМЫХ В НОВОЕ ИЗДАНИЕ КРАСНОЙ КНИГИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В новое издание Красной книги Мурманской (ККМО) области включено 84 вида лишайников, подлежащих охране, и которые составляют около 7% известного состава лишайнофлоры области. Как отмечалось ранее (Урбанавичюс, 2010), благодаря географическому положению Мурманской области и соответствующим природно-климатическим условиям, основу лишайнофлоры составляют виды преимущественно с циркумполярным и циркумбореальным распространением. Однако большинство видов, как бореальных, свойственных таежной зоне, так и немногочисленных неморальных, характерных для широколиственных лесов, находятся здесь на северном пределе распространения. Помимо суровых биоклиматических условий, выступающих в качестве неблагоприятного фактора (и, как правило, лимитирующего) для существования южных лесных лишайников, существенное

влияние на сохранение популяций многих видов (не только лесных, но и горных или тундровых) оказывают факторы, связанные с хозяйственной деятельностью человека.

Анализ глобального распространения видов ККМО показывает, что почти 42% (35 видов) лишайников имеют обширнейшие ареалы, охватывающие почти все континенты Земли, в том числе Южную Америку, Австралию и Новую Зеландию, острова в Океании или Южной Атлантике, а также субантарктические острова и Антарктиду. Широким голарктическим и евразийско-североамериканским распространением характеризуются почти 45% (38 видов) лишайников. Остальные виды имеют значительно менее широкое распространение: три вида известны кроме Европы также в Северной Америке; два вида известны в Европе, Азии и Северной Африке; два евроазиатских вида; два вида ограничены своим распространением только Европой; два вида являются эндемиками Мурманской области – *Absconditella duplicella* (Nyl.) Rossm. и *Umbilicaria tylorhiza* Nyl. Здесь можно отметить еще то, что один вид – *Caloplaca magni-filii* Poelt – в пределах России известен только из Мурманской области. Также только из Мурманской области во всей Северной Европе известен вид *Lasallia rossica* Domb.

В широтно-зональном отношении 56% (47 видов) лишайников представляют собой элементы, характерные для таежной, неморальной и более южных зон, либо океанических побережий континентов с мягким климатом, т.е. находящиеся в Мурманской области на крайне северном пределе своего распространения. Так, например, виды *Cetrelia olivetorum* (Nyl.) W.L. Culb. & C.F. Culb., *Collema nigrescens* (Huds.) DC., *Graphis scripta* (L.) Ach., *Heterodermia speciosa* (Wulfen) Trevis., *Leptogium cyanescens* (Rabenh.) Körb. и *Scytinium fragrans* (Sm.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin широко встречаются в субтропических и тропических регионах Южной и Юго-восточной Азии, Австралии и/или Южной Америки, Африки. Естественно, что севернее Кольского полуострова эти виды нигде на планете не встречаются. Хотя надо отметить, что и более обычные таежные виды, например, виды родов *Calicium* Pers., *Chaenotheca* Th. Fr., *Chaenothecopsis* Vain., *Ramalina* Ach., *Usnea* Dill. ex Adans. и др., здесь, на Кольском полуострове, доходят до северного предела распространения.

Виды, которые имеют южный предел распространения в Мурманской области, т.е. арктические, в ККМО отсутствуют. И главная причина здесь не в том, что такие виды не являются угрожаемыми и не требуют занесения в КК, а в том, что такие виды, обладающие исключительно арктическим распространением, не известны в Мурманской области. Однако здесь имеются виды с несколько иным характером распространения – это виды, которые помимо Арктики также встречаются в горных регионах вне Арктики, а также могут быть известны в Антарктической области, т.е. так называемые, полярно-высокогорные виды, либо виды, распространение которых связано в основном с горными (высокогорными) регионами. В ККМО к таким видам относятся около 30% из списка лишайников, и среди них преобладают эпилитные лишайники (обитающие на каменистом субстрате) и эпигейные (обитающие на почве). Например, вид *Arctocetraria nigriscens* (Nyl.) Kärnefelt & A. Thell, описанный с востока Мурманской области 150 лет назад известнейшим финским лишайником W. Nylander, имеет здесь самое западное местонахождение в континентальной Европе – он не известен в Фенноскандии, отмечается только на архипелаге Шпицберген, на архипелаге Земля Франца Иосифа и на побережье Баренцева моря в Ненецком АО, далее на восток распространен на Таймыре, в арктической Якутии, в Магаданской области, на Чукотке, Камчатке, даже в Приморье; в Северной Америке известен на Аляске, в Канаде и Гренландии. Доля собственно горных или полярно-высокогорных видов в ККМО невелика, несмотря на то, что в лишайнофлоре Мурманской области такие виды занимают почти половину общего ее состава.

Анализ распределения видов лишайников ККМО по биогеографическим провинциям Восточной Фенноскандии (Heikinheimo, Raatikainen, 1971) показывает, что наибольшее количество зарегистрировано в южных и центральных – Куусамо (41 вид), Имандрская Лапландия (37 видов), Керетская Карелия (31 вид). Всего для этих трех провинций известно в совокупности 68 видов (более 80 % краснокнижных лишайников), и из них 42 вида (50% краснокнижных лишайников области) в других провинциях не отмечены. Заметно меньше видов в Варзугской (20) и Печенгской (18) Лапландии. Минимальные количества охраняемых лишайников встречаются в Понойской (10 видов), Туломской (7 видов) и Мурманской (6 видов) Лапландии. Отчасти такое распределение хорошо согласуется с тем, что большинство краснокнижных лишайников в Мурманской области представлено лесными таксонами, для которых важны хорошо сохранившиеся старовозрастные леса. Так в Куусамо 30 видов так или иначе связаны с местообитаниями на деревьях, в Керетской Карелии 22 таких вида, в Имандрской Лапландии – 20. Но, в тоже время, похожее распределение наблюдается и для эпилитных краснокнижных лишайников, достигающее максимальных значений также в южных и центральных провинциях – Имандрская Лапландия

(15 видов), Куусамо (10 вид), Керетская Карелия (9 видов). Это связано преимущественно с наличием здесь редких местообитаний, богатых кальцием. Эпигейные краснокнижные лишайники имеют несколько иной характер распределения – и в абсолютном и относительном значении они заметно преобладают в Понойской и Печенгской Лапландии, где выявлено 8 и 7 видов, соответственно.

Распределение краснокнижных видов разных категорий по биогеографическим провинциям показывает следующее. Из 12 видов самой высокой категории (1б), в двух южных провинциях – Керетская Карелия и Куусамо – отмечено 9 видов: 6 – в Керетской Карелии и 3 – в Куусамо; по два вида известно в Имандрской и Варзугской Лапландии, один вид – в Понойской. В Лапландии Печенгской, Туломской и Мурманской видов с самой угрожаемой категорией не выявлено. Из 6 видов второй категории больше всего отмечено в Куусамо – 4 вида, по 2 вида известно в Имандрской и Мурманской Лапландии, по 1 виду – в Печенгской и Туломской. Самая многочисленная группа охраняемых редких видов ККМО (3 категория) насчитывает 46 видов, и как во всех ранее рассмотренных ситуациях, большинство из них встречаются в тех же южных и центральных районах: Имандрская Лапландия, Куусамо и Керетская Карелия, минимальное количество отмечено в северных и восточных – Лапландия Туломская, Мурманская и Понойская. Среди 18 охраняемых видов четвертой категории (неопределенный статус угроз), так же большинство выявлено в Куусамо и Имандрской Лапландии. Два охраняемых вида ККМО пятой категории (не испытывающие угроз) – лесной *Bryoria fremontii* (Tuck.) Brodo & D. Hawksw. и горно-тундровый *Lichenomphalia hudsoniana* (H. S. Jenn.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo & Vilgalyis (оба включены в Красную книгу России (Красная книга ..., 2008) и на этом основании занесены в ККМО) – имеют широкое распространение в области: оба выявлены в 7 из 8 биогеографических провинций. Первый зарегистрирован во всех провинциях, где распространены леса (не выявлен пока только в Понойской Лапландии), а второй – в тех провинциях, где имеются тундровые или горно-тундровые сообщества (пока не выявлен только в Керетской Карелии, но нахождение его здесь очень вероятно).

Помимо видов, подлежащих охране, в ККМО сформирован перечень видов лишайников, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской области (так называемые «бионадзорные» виды). Список таких видов заметно возрос по сравнению с предыдущим изданием ККМО – увеличился почти на 70%. В него в основном входят таксоны, для которых практически отсутствует современная информация о состоянии популяции и возможном сохранении места произрастания. Часто это либо указанные по старым литературным источникам, либо известные по единичным гербарным образцам начала прошлого и конца позапрошлого века. Для них требуется поиск новых (или установление старых, ранее известных, но большей частью утерянных) местонахождений и мониторинг состояния популяции. Из 140 таких «бионадзорных» видов наибольшее число сосредоточено в Печенгской Лапландии – более 60 видов, более 30 видов отмечено в Куусамо, более 20 видов – в Туломской и Имандрской Лапландии. Состояние популяций таких видов должно вызывать наибольшее опасение в виду наибольшей антропогенной нагрузки именно в этих районах области, но до полного выяснения состояния популяций и обнаружения местонахождений решено было оставить их в перечне «бионадзорных». Среди «бионадзорных» видов имеются 14, которые нигде в России за пределами Мурманской области больше не известны, а 5 из них – являются эндемиками области.

Таким образом, как и в предыдущем издании ККМО (Красная книга ..., 2003), в новом преобладает доля видов, характерных для южно-таежных, широколиственных и других тепло-умеренных биогеоценозов – таковых более 55%. В тоже время, в абсолютном отношении число видов этих эколого-географических групп возросло ровно в два раза – в том же соотношении, как возросло и общее число видов лишайников в ККМО. Так же заметно увеличилось число эпилитных и эпигейных видов. Впервые в ККМО внесены все виды, считающиеся эндемичными – два вида с категориями охраны и пять видов «бионадзорных».

Литература

1. Красная книга Мурманской области. Мурманск: Кн. из-во, 2003. 400 с.
2. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: КМК, 2008. 855 с.
3. Урбанавичюс Г.П. Биогеографический обзор разнообразия лишайников Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. Апатиты, 2010. № 1. С. 16–18.
4. Heikinheimo O., Raatikainen M. Paikan ilmoittaminen Suomesta talletetuissa biologisissa aineistoissa // Ann. Entomol. Fenn. 1971. № 37(1a). P. 1–27.

Фокина Н.В.¹, Мязин В.А.¹, Губкина Т.Г.²

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

²ОАО «Мурманэнергосбыт», г. Мурманск
ElmairaGTG@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОРБЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ МОДИФИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО ОПЫТА

В последнее время быстрыми темпами идет развитие нефтегазового комплекса Евро-Арктического региона России. Значительный потенциал в развитии сырьевой базы и добычи углеводородов связан с шельфом Баренцева и Печорского морей, где уже открыт ряд крупнейших газовых и нефтяных месторождений. В результате этого обостряются проблемы по обеспечению экологической безопасности региона в целом, в том числе и Мурманской области.

Для очистки водных сред от нефтепродуктов (НП) одним из основных является биосорбционный метод. Он позволяет собрать нефтепродукты с поверхности воды с помощью сорбента, который тоже полностью удаляется. Для этих целей важны такие свойства сорбента как высокая нефтеемкость, гидрофобность и нетоксичность. Могут использоваться сорбенты с иммобилизованными бактериальными клетками, которые способствуют их дальнейшей регенерации.

В настоящее время уже разработано значительное количество биосорбентов, отличительной особенностью которых является разнообразие носителей и иммобилизованных на них культур микроорганизмов. В качестве носителя микроорганизмов используют как органические, так и минеральные сорбенты (Шарапова и др., 2009; Луценко, 2012).

Для очистки почв от нефтепродуктов с помощью сорбентов на первый план выходят такие свойства сорбентов, как их природное происхождение и нетоксичность. В случае разлива большого количества нефтепродуктов возможно использование гидрофобных сорбентов для сбора нефтепродуктов с поверхности почвы, но для дальнейшей рекультивации важно чтобы сорбент улучшал структуру почвы, обладал свойствами биоразложения и мог служить в качестве источника минерального питания для углеводородразлагающих бактерий.

Цель данной работы – исследовать скорость и качество очистки нефтезагрязненной почвы с помощью сорбентов различной модификации.

Объекты и методы. Для постановки опытов использовали просеянную через сито с размером ячейки 1 мм окультуренную почву: Al-Fe-гумусовый подзол. В первом опыте почва была помещена в пластиковые контейнеры по 250 г. В качестве загрязнителя использовали товарную нефть Приразломного месторождения. В каждый сосуд добавляли по 12.5 г (5% от веса почвы). Сосуды с загрязненной почвой оставляли на сутки для впитывания и распределения нефти в толще почвы, после чего вносили сорбенты и удобрения и тщательно перемешивали. Опыт проводили при температуре +15...+20°C.

В качестве сорбентов использовали вспученный гидрофильный вермикулит и опилки хвойных пород деревьев (смесь сосновых и еловых), обработанные различными способами.

Вспученный вермикулит обрабатывали раствором, содержащим биогумус (10%), аммофоску (0.5%), карбамид (0.5%) и сушили при $t = 80-100^{\circ}\text{C}$ в течение 2-х суток. Термоактивацию вермикулита проводили в муфельной печи в течение 3 мин при $t = 550^{\circ}\text{C}$.

Опилки хвойных пород деревьев обрабатывали 10% раствором сахарозы, 0.5% тиомочевины и 0.5% биогумуса, сушили при $t = 30-40^{\circ}\text{C}$ в сушильном шкафу в течение 2-х суток, затем термоактивировали в муфельной печи при $t = 100-120^{\circ}\text{C}$ в течение 10-15 мин.

Расчет количества сорбентов проводили, основываясь на их нефтеемкости, которая для вспученного вермикулита составила 5.4 г/г, для смеси сосновых и еловых опилок – 2.4 г/г. На 250 г почвы вносили 2.3 г сорбента на основе вермикулита и 5.2 г опилок. В вариант с удобрением вносили «Азофоску» в количестве 0.135 г на 250 г почвы, через 1, 20 и 40 сут после загрязнения нефтью. Почву в сосудах поливали по мере подсыхания во всех вариантах, не реже 1 раза в 3 дня.

Фитотоксичность определяли через три месяца после постановки опыта. Тест-объектом служили семена пшеницы.

Во втором опыте использовали два варианта сорбента и разные способы его внесения. Гидрофобный сорбент (30 г) был заложен в нейлоновых сетках, полностью покрывающих площадь разлива. Гидрофильный сорбент вносили россыпью и перемешивали с почвой. Также был заложен

вариант опыта с гидрофильным сорбентом с иммобилизованными углеводородокисляющими бактериями *Pseudomonas* sp. и *Microbacterium paraoxydans*. В качестве загрязнителя использовали товарную нефть в количестве 100 г на 2 кг предварительно просеянной и увлажненной почвы. Исходное содержание нефти в почве составило 48 г/кг.

Результаты. В первом опыте исходное содержание нефти в почве составило 35.3 г/кг. Через 7 сут после внесения нефти в почву ее содержание уменьшилось во всех вариантах в среднем на 20% в основном в результате испарения и других физико-химических процессов (табл. 1).

Таблица 1

Содержание нефти (г/кг) в почве

Варианты	Время определения, сут	
	1	7
Без сорбентов	35.3 ± 0.7	23.5 ± 1.9
Вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом	35.3 ± 0.7	31.9 ± 1.7
Вермикулит, термоактивированный	35.3 ± 0.7	30.0 ± 0.5
Карбонизированный вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом	35.3 ± 0.7	30.4 ± 2.3
Опилки	35.3 ± 0.7	32.5 ± 1.7
Термоактивированные карбонизированные опилки с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом	35.3 ± 0.7	31.3 ± 0.3

Через 30 сут содержание нефти оставалось практически на том же уровне, ее убыль из почвы варьировала от 12 до 25% (рис. 1). Наибольшая убыль нефти отмечена в варианте с карбонизированным вермикулитом, обогащенным минеральными и органическими удобрениями. На протяжении 3 месяцев изменений в содержании нефти в почве практически не наблюдалось. Разница между вариантами опыта не достоверна (рис. 2).

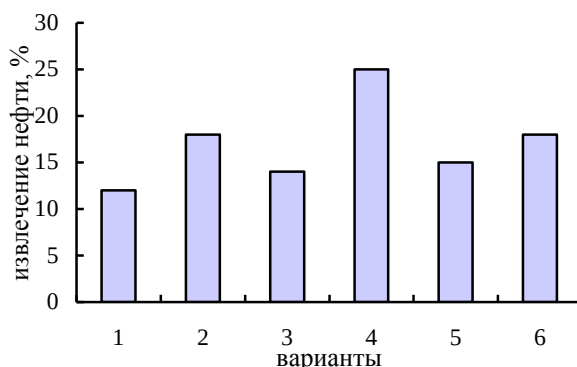


Рис. 1. Убыль содержания нефти в почве через 30 сут, % от исходного содержания: 1 – без сорбентов; 2 – вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 3 – вермикулит, термоактивированный; 4 – карбонизированный вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 5 – опилки; 6 – термоактивированные карбонизированные опилки с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом

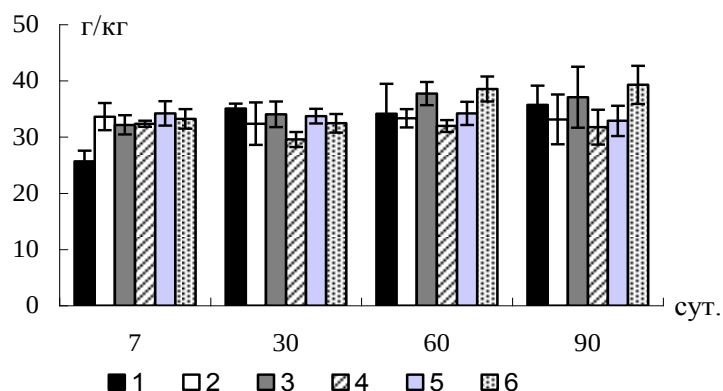


Рис. 2. Динамика содержания нефти в почве: 1 – без сорбентов; 2 – вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 3 – вермикулит, термоактивированный; 4 – карбонизированный вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 5 – опилки; 6 – термоактивированные карбонизированные опилки с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом

Нефтепродукты оказывают как прямое воздействие на почвообитающие организмы, так и косвенное, существенно изменяя физико-химические свойства почвы. Большинство авторов отмечают, что в умеренных дозах нефтепродукты стимулируют развитие почвенных бактерий (Гузев и др., 2005; Евдокимова и др., 2007; Evdokimova et al., 2012).

В нашем опыте внесение в почву нефти в концентрации 5% от массы почвы стимулировало размножение бактерий, и их численность была достоверно выше, чем в почве без нефти (рис. 3).

Опыт по определению фитотоксичности предварительно очищенной сорбентами почвы показал, что гидрофильные сорбенты не оказывают значительного улучшающего воздействия на свойства почвы. Разница в длине побегов и корней пшеницы в различных вариантах опыта не достоверна (рис. 4).

Второй опыт был поставлен с целью изучения возможности очистки почвы от нефтепродуктов с помощью гидрофобного сорбента, с последующим его извлечением из почвы (рис. 5).

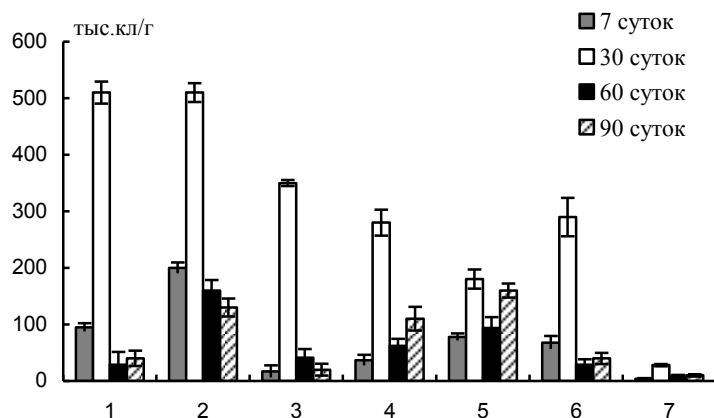


Рис. 3. Динамика численности сапротрофных бактерий (тыс. кл/г) в почве. 1 – без сорбентов; 2 – вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 3 – вермикулит, термоактивированный; 4 – карбонизированный вермикулит с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 5 – опилки; 6 – термоактивированные карбонизированные опилки с биогу́мусом, аммофоской и карбамидом; 7 – чистая почва

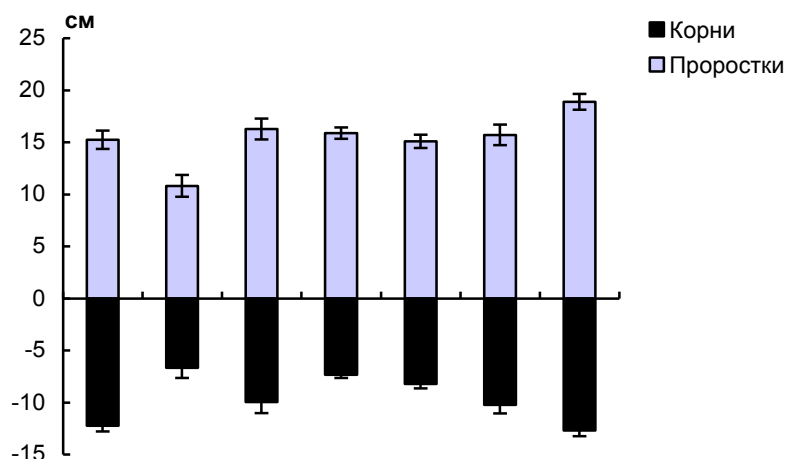


Рис. 4. Фитотоксичность почвы после очистки от нефти. 1 – без сорбентов; 2 – вермикулит с биогумусом, аммофоской и карбамидом; 3 – вермикулит, термоактивированный; 4 – карбонизированный вермикулит с биогумусом, аммофоской и карбамидом; 5 – опилки; 6 – термоактивированные карбонизированные опилки с биогумусом, аммофоской и карбамидом; 7 – чистая почва

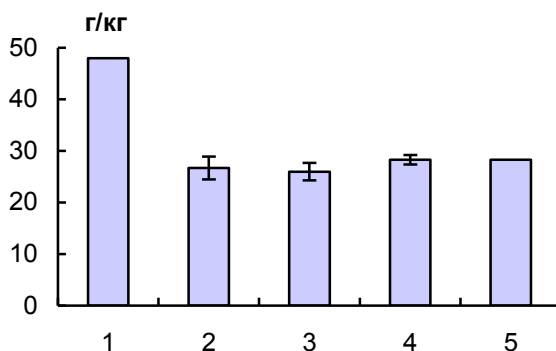


Рис. 5. Содержание нефти (г/кг) в почве через 30 сут в опыте с гидрофобным сорбентом. 1 – исходное содержание; 2 – гидрофобный сорбент в сетках; 3 – гидрофильный сорбент россыпью; 4 – иммобилизованный гидрофильный сорбент россыпью; 5 – почва без сорбентов

Исходя из полученных данных, можно сказать, что изменения в содержании нефтепродуктов недостоверны во всех вариантах опыта.

Таким образом, для очистки почв гидрофильные сорбенты могут выполнять лишь функцию рыхления почвы, улучшения ее механических свойств. Необходимо учитывать, что сорбент препятствует испарению нефтепродуктов с поверхности почвы. Гидрофобный сорбент может быть использован для очищения почвы при наличии на ней значительных нефтяных разливов (в виде матов или наполненных сорбентом рукавов) с последующим его удалением и регенерацией (отжим НП, сжигание).

Исследования проводятся при финансовой поддержке Международной программы KolArctic.

Литература

1. Шарапова И.Э., Маркарова М.Ю., Щемелинина Т.Н., Гарабаджису А.В. Оценка эффективности применения биосорбентов на различных нефтезагрязненных почвенных субстратах. Проблемы региональной экологии, 2009. № 5. С. 213-217.
2. Луценко А.Н. О применении инновационных сорбентов и устройств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности», 2012. № 3(43).
3. Гузев В.С., Левин С.В., Селецкий Г.И., Бабьева Е.Н., и др. Роль почвенной микробиоты в рекультивации нефтезагрязненных почв / Микроорганизмы и охрана почв / ред. Д.Г. Звягинцев. М.: Изд-во МГУ, 1989. Гл. 4. С. 47-85.

4. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Корнейкова М.В., Ахтулова Е.М., Михайлова И.В. Воздействие загрязнения почв дизельным топливом на растения и ризосферную микробиоту на Кольском Севере // *Агрохимия*, 2007. № 12. С. 49-55.
5. Evdokimova G.A., Masloboev V.A., Mозгова N.P., Myazin V.A., Fokina N.V. Bioremediation of Oil-Polluted Cultivated Soils in the Euro-Arctic Region // *J. of Environmental Science and Engineering A*. 2012. V. 1, № 9. P. 1130-1136.

Фомин Д.С., Зубкова Т.А.

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

Хорст121@mail.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОРФЯНО-ПОДЗОЛОВ В ЕЛОВЫХ И СОСНОВЫХ ЛЕСАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Введение

Архангельская область является одним из самых больших субъектов Российской Федерации, и около 53% её площади занимают таежные леса. В экономике России выделяется развитым лесным комплексом (около 33% российского производства целлюлозы, 26% картона, 9.7% пиломатериалов, по 9% деловой древесины и бумаги). В области развиты лесная, деревообрабатывающая (Соломбальский лесопильно-деревообрабатывающий комбинат) и целлюлозно-бумажной промышленностью (Котласский целлюлозно-бумажный комбинат, Котласский химический завод, Архангельский ЦБК, Соломбальский целлюлозно-бумажный комбинат), занимающие 39% от всего отраслевого промышленного производства Области (Штюмер, 1967).

Для получения таких промышленных результатов производится активная вырубка леса. При этом места лесоповала оставляют без лесовозобновительных мероприятий. Поэтому считаю очень актуальной для Архангельской области идею рекультивации лесов на местах вырубок. Для реализации необходимы знания о почвах, на которых произрастают леса, о взаимосвязях в системе «дерево-растение». Что будет с почвой после вырубок, насколько быстро возобновляется лес. Это актуально еще и потому, что почвы супесчаные. В них высока вероятность эрозии и низкая восстановительная способность. При проведении вырубок вглубь лесной чащи загоняется много техники, которая активно разрушает или уплотняет почвенный покров. Опять же для восстановления его целостности необходимо знать связи между горизонтами: если они генетически прочно связаны, то разрушение одного из них, вероятно, повлечет за собой деградацию профиля в поврежденном месте в целом; а если генетическая связь не очень прочна, то изменение одного горизонта не вызовет катастрофических последствий.

Цель: Выявить особенности торфяно-подзолов в еловых и сосновых лесах Архангельской области

Задачи:

- 1) Определить запасы подстилки.
- 2) Определить pH почвы.
- 3) Использовать статистическую обработку данных для выявления ведущих факторов почвообразования и влияния эдификатора на свойства почвы.

- 4) Найти сходство и различие почвенных свойств в тессере.

Описание районов исследования. Сбор данных для исследования проводили в 2 районах.

Первый располагается в Архангельской области, Приморском районе, в 3 км на С-В от Города Архангельска, улицы Силикатчиков на берегу реки Юрас, 100м на С от железной дороги.

Изучаемая ассоциация - Ельник-черничник.

Видовой состав растительности:

1. Деревья: ель сибирская, изредка на открытых участка сосна обыкновенная.
2. Подрост: рябина, осина, ель.
3. Кустарники: можжевельник, шиповник.
4. Кустарнички: черника, брусника.

На территории обследования развита тропиночная сеть.

Второй район исследований находится в Архангельской области, в 11 км к Ю-Ю-В от города Северодвинск, недалеко от СНТ Высота, рядом с дорогой и дачами, 600 м на Ю-В до оз. Кородское.

Изучаемая ассоциация – Сосняк – черничник - багульниковый.

Видовой состав растительности:

1. Деревья: сосны 20-60 лет изредка старше, молодые березы.
2. Подрост: сосна, ива, береза.
3. Кустарники: малина, ива.
4. Кустарнички: брусника, черника, голубика, багульник.
5. Травы: крапива двудомная, ежа сборная, сныть обыкновенная.

Антропогенное воздействие проявляется в развитой тропинойной сети, ямах, свалках и ком постных ямах.

В сторону озера наблюдается постепенное заболачивание. Ближе к озеру находится подсушенное верховое болото.

Описание методов сбора данных. Полевой этап. На полевом этапе исследований в каждом лесу выбирались 5 эдификаторов, не имеющих под своей кроной подроста. (каждое дерево определяло парцеллу). Далее под деревом-эдификатором выбиралось 3 участка: у ствола, под центром кроны и у края кроны. Со всех участков с площади $31 \times 31 \text{ см}^2$ собиралась вся подстилка, после её сбора выкапывался небольшой разрез, выделялись горизонты, определялись их мощности и с каждого собирались образцы (Карпачевский, 1981).

Лабораторный этап. Далее в рамках лабораторного этапа горизонты измельчались и у каждого проводили измерения содержания С (%) на анализаторе АН 75 29. Для органогенных горизонтов бралась навеска 0.05 г, для минеральных горизонтов 0.500 г. Масса навески определялась по возможностям прибора. При показаниях прибора больше 7% содержания С, ошибка становилась недопустимо большой. Поэтому для органогенных горизонтов масса навески бралась в 10 раз меньше, чем для минеральных.

Также проводилось измерение pH при помощи прибора pH-метр стационарный pH 213 (Hanna) методом суспензий. При подготовке суспензии средний образец почвы также измельчили и просеяли через сито 1 мм, далее для получения корректных результатов для органогенных горизонтов О и Т проводилось разведение 1/25, а для минеральных горизонтов Е и В – 1/5. После отбора навесок и добавление воды в соответствующей пропорции, производилось перемешивание в ротаторе 15 мин и после отстаивания измеряли pH.

Поскольку для исследования подстилки её мощность является не достаточно удобным и точным параметром, поэтому подстилку представляют в виде запасов, т.е. массу подстилки, изъятую с площади $31 \times 31 \text{ см}^2$, пересчитывают на эту площадь.

Камеральный этап. В ходе камерального этапа мы проводили обработку и анализ полученных данных.

Первым этапом было проведение кластерного анализа методом иерархической классификации и методом К-средних для выявления выпадающих значений и общей характеристики образцов по данным мощности, содержания С% и pH.

После этого была проведена проверка типа распределения для определения дальнейших методов исследования.

Далее был проведен множественный регрессионный анализ, согласно результатам которого в еловом лесу влияние таких признаков как содержание углерода в горизонте и его pH на мощность описывается коэффициентом детерминации, равным 0.51, а в сосновом лесу равен 0.46.

После многомерного регрессионного анализа, данные подвергались корреляционному анализу с расчетом коэффициента Пирсона и для сравнения по коэффициенту Спирмена, т.к. не все параметры соответствуют закону нормального распределения. По его итогам в еловом лесу лишь о 23% зависимостей по коэффициенту Пирсона и 14% по коэффициенту Спирмена можно достоверно сказать, что в значения одного признака более чем в половину определяются значениями другого признака, а в сосновом лесу при рассмотрении коэффициента Пирсона лишь в 8.5% значения одного параметра более чем на 50% зависят от значений другого параметра, а при рассмотрении коэффициента Спирмена в 17%.

Далее проводилось сравнение первого и второго леса в каждом горизонте по каждому параметру. Были построены графики зависимости определенного параметра от его расположения в парцелле, т.е. графики в координатах параметр/микрizona. Основная зависимость изменения параметра в тессере представлена графиком средних значений для каждой микрзоны. Первоначально в роли среднего значений параметра использовалось среднее арифметическое, но при распределении, не соответствующем нормальному закону, более корректным будет использование в роли среднего медианы, т.к. она менее зависит от крайних выпадающих значений (Карпачевский, 1981).

Основная цель этого этапа обработки данных – поиск общих черт между первым и вторым лесом для вероятной экстраполяции на всю исследуемую площадь.

Анализ данных проводился в программе Statistica 10.

Выводы. Несмотря на довольно большую выборку, статистическая обработка данных по мощности, содержанию углерода, pH и запасов подстилки не привела к однозначным результатам из-за довольно большого числа выбросов.

Также сложность представляли параметры не соответствующие нормальному распределению, поэтому для решения этой проблемы были проведены анализы как соответствующие, так и не соответствующие нормальному закону;

Множественные коэффициенты регрессии зависимости мощности от содержания С и pH в обоих лесах попадают в рамки допустимых значений, но все равно достаточно малы (ельник $r=0.51$; сосняк $r=0.46$), соответственно не велики и коэффициенты детерминации.

Были проанализированы параметры каждого горизонта для каждой микрозоны, и по итогам можно выделить:

- В горизонтах О еловых и сосновых биогеоценозах обнаружены закономерности по распределению содержания С, pH и запасов подстилки в тессере (что соответствует данным Л.О. Карпачевского);

- В горизонте Т было замечено постепенное снижение варьирования pH по микрозонам, а также зависимость содержания С в Т от мощности О;

- Изменение в паре целое от ствола к краю кроны, содержание углерода в горизонтах Е торфяно-подзолов имеет одинаковый характер в еловых и сосновых биогеоценозах;

- Мощность иллювиальных горизонтов и содержание в них углерода изменяются в зависимости от эдификатора следующим образом: мощность с минимумом у ствола и максимумом у края кроны, содержание С - наоборот. Причем, эта закономерность одинакова как для соснового, так и для елового леса.

Еловый и сосновый леса также были проанализированные на наличие зависимостей распределения параметров по профилю:

- Не было выявлено достоверных связей между мощностями горизонтов О, Т, Е, В в профиле торфяно-подзолов. Однако в ельнике отмечено закономерное снижение мощности О и Т по мере удаления от эдификатора, а сосняке графики мощностей этих горизонтов противоположны друг другу.

- Содержание углерода подвержено четкой корреляции по всему профилю со схожим распределением в горизонтах О,Т и Е с максимумом под центром кроны и обратным распределением в В с минимумом под центром кроны;

- По содержанию pH в обоих лесах не обнаружено каких-либо закономерностей, однако с увеличением глубины кислотность все менее зависит от микрозоны.

- Согласно исследованиям Л.О. Карпачевского часто отмечается прямая корреляция мощности подстилки с кислотностью почв, однако по полученным результатам в ельнике аналогичная корреляция практически отсутствует, а в сосняке она имеет вид обратной связи. Оба эти вывода противоречат данным Льва Оскаровича.

Выбор экспериментальных участков в представленной работе носил случайный характер. Это позволяет экстраполировать полученные результаты на аналогичные биогеоценозы Архангельской области.

Заключение

Исследование почв двух лесных биогеоценозов ельник-черничник и сосняк-черничник багульниковый Архангельской области в подзоне северной тайги выявило ряд закономерностей. Мощность горизонта очень важный, но недостаточно достоверный признак для характеристики распределения свойств почвы. Он зачастую имеет большой коэффициент вариации. Поэтому для описания горизонта **О** вместо мощности стали применять запасы подстилки. Этот параметр более достоверный, и его распределение в двух лесных биогеоценозах закономерно уменьшается с удалением от дерева-эдификатора.

Установлена зависимость между запасами подстилки и мощностью торфяного горизонта. Графики этих распределений симметричны и имеют одно направление.

Содержание органического углерода – важнейший показатель почвенного плодородия. По содержанию общего углерода почвы ельника и соснового леса не отличаются достоверно. Однако во всех разрезах отмечается закономерное снижение углерода вниз по профилю. Минимальные значения – в горизонтах **Е** (медиана 0.74% в ельнике и 0.45% в сосняке), в горизонте **В** гумуса больше (медиана 0.90% в ельнике и 0.95% в сосняке).

Также необходимо отметить, что содержание углерода подстилки, торфяного горизонта и элювиального закономерно изменяется в тессере: максимум приходится на кроновое пространство.

Плотная крона перераспределяет атмосферные осадки и препятствует вымыванию органических соединений из почвенного профиля.

Почвенная кислотность верхних горизонтов имеет значения медианы в подстилке ельника равной 4.59 и в подстилке сосняка – 5.03 и практически не зависит от положения в тессере, имеет низкий коэффициент вариации и существенно изменяется только при переходе в другой горизонт.

Л.О. Карпачевский также указывал, что часто отмечается прямая корреляция мощности подстилки с кислотностью почв. Согласно полученным результатам в ельнике аналогичная корреляция практически отсутствует, а в сосняке она имеет вид обратной связи. Оба эти вывода противоречат данным Льва Оскаровича (Карпачевский, 1981).

Выбор экспериментальных участков в представленной работе носил случайный характер. Это позволяет экстраполировать полученные результаты на аналогичные биогеоценозы Архангельской области.

Литература

1. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы, 1981.
2. Штюмер Ю. По Архангельской области, 1967.

Химич Ю.Р.

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
ukhim@inbox.ru

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОТЫ АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ ГОРОДА АПАТИТЫ

Город является специфической средой обитания для растений и животных, которая привлекает внимание многих исследователей и в последние десятилетия увеличилось количество работ, посвященных изучению дереворазрушающих грибов урбанизированных территорий (Змитрович, 1997; Руоколайнен, 2003; Ежов, 2009 и др.).

Апатиты расположены в центральной части Мурманской области в пределах лесного пояса и занимает площадь 30.4 км². Лесные ценозы занимают значительную площадь (парки, лесопарки) и представлены еловыми и сосновыми лесами с примесью березы. Помимо аборигенных видов в зеленых насаждениях присутствуют древесные интродуценты (деревья, кустарники), которые насчитывают 37 видов (Святковская и др., 2009). Посадки интродуцентов стареют и проявляются различные степени ослабления, что способствует поражению деревьев и кустарников патогенами и развитию ксилотрофов на отмерших ветвях и стволах.

В 2010 году маршрутным методом было начато обследование зеленых насаждений с целью изучения биоты афиллофороидных грибов древесных интродуцентов в г. Апатиты. В первую очередь осматривались ослабленные деревья и кустарники, имеющие спилы и сломы ветвей, пни, усохшие стволы. В результате ксилотрофы были отмечены на семи интродуцентах: ива Шверина, сирень венгерская, карагана древовидная, жимолость татарская, черемуха Маака, яблоня ягодная, тополь гибридный. Всего выявлено 18 видов дереворазрушающих грибов: *Basidioradulum radula* (Fr.: Fr.) Nobles, *Ceriporia reticulata* (Hoffm.: Fr.) Domański, *Cerrena unicolor* (Bull.: Fr.) Murrill, *Chondrostereum purpureum* (Pers.: Fr.) Pouzar, *Corticium roseum* Pers., *Cylindrobasidium laeve* (Pers.: Fr.) Chamuris, *Cytidia salicina* (Fr.) Burt, *Fomitoporia punctata* (P. Karst.) Pilát, *Hymenochaete tabacina* (Fr.) Lév., *Hypochnicium bombycinum* (Sommerf.: Fr.) J. Erikss., *Hyphoderma setigerum* (Fr.) Donk, *Peniophora cinerea* (Pers.: Fr.) Cooke, *P. incarnate* (Pers.: Fr.) P. Karst, *P. limitata* (Chaillat ex Fr.) Cooke., *Phellinus igniarius* (L.: Fr.) Quél., *Porodaedalea conchata* (Pers.: Fr.) Fiasson et Niemelä, *Stereum hirsutum* (Willd.: Fr.) Gray, *Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. et Ryvarden (Химич, 2013). Указанные виды заселяют в основном раны, сухие ветви и стволы, основания спилов, пни. Практически повсеместно на интродуцентах распространены *Hypochnicium bombycinum* и *Peniophora incarnata*, считается, что они способны развиваться так же на живых тканях дерева, примыкающих к поврежденным участкам (Yurchenko, 2006).

Наибольшее число видов ксилотрофов отмечено на иве Шверина (13) и на сирени венгерской (10). Выявлено три новых для микобиоты Мурманской области таксона: *Ceriporia reticulata*, *Corticium roseum* – на иве Шверина, *Peniophora limitata* – на сирени венгерской. Следует отметить, что *Peniophora limitata* имеет более южное распространение и находку в городе Апатиты можно

считать самой северной в Европе (Eriksson et al., 1978). В Мурманской области этот гриб является «заносным», нехарактерным для естественных лесных экосистем.

Для более полного изучения биоты дереворазрушающих грибов было решено обследовать помимо посадок древесных интродуцентов насаждения в парках, на улицах, придомовых территориях, окраинах города

К настоящему моменту в городе выявлено 50 видов ксилотрофов. Наиболее широко распространены *Cylindrobasidium laeve*, *Hypochnicium bombycinum*, *Peniophora incarnata*, которые часто характеризуют антропогенное нарушение (Ежов, 2009). Несмотря на то, что исследования еще не закончены, можно отметить следующие основные тенденции в изменении видового состава и распределении грибов на территории г. Апатиты: на улицах и придомовых территориях видовой состав беднее, чем в парках и на окраинах. Это обуславливается тем, что в большинстве случаев субстратом для ксилотрофов в городских условиях является сухостой и пни (практически отсутствует валеж) лиственных пород деревьев, в частности березы и рябины, которые преобладают в зеленых насаждениях Мурманской области (Гонтарь и др., 2010). Такой субстрат заселяет узкий круг видов, приспособленных к условиям низкой влажности и достаточно большой инсоляции. В парках и на окраинах города, где сохранились естественные насаждения, формируется субстрат разного состояния (сухостой, пни, валеж разной степени разложения) и в древостое помимо лиственных пород присутствуют ель и сосна, что способствует повышению видового разнообразия за счет увеличения экологических ниш.

Не смотря на то, что в городах снижается видовое разнообразие, на урбанизированных территориях могут создаваться благоприятные условия для развития отдельных редких видов грибов (Шубин, Предтеченская, 2009). Так в 2013 году в Апатитах на валеже березы был отмечен *Hericium coralloides* (Scop.: Fr.) Pers., включенный в Красную книгу Мурманской области (2003) с категорией 3 – редкий. Появление *Hericium coralloides* в пределах города можно объяснить тем, что данный вид часто развивается на березовом субстрате, прежде пораженном грибом *Inonotus obliquus* (Pers.: Fr.) Pilát. В городских условиях вследствие механического воздействия, загрязнения воздуха выхлопными газами, происходит ослабление деревьев, в том числе березы, в результате чего увеличивается пораженность таким патогеном как *Inonotus obliquus*. Возрастание частоты встречаемости *Inonotus obliquus* способствует увеличению вероятности обнаружения *Hericium coralloides* в городской среде.

Таким образом, в городских насаждениях за счет «естественной» и «искусственной» мозаичности формируется специфическая микобиота с присутствием редких видов. На современных этапах урбанизации и индустриализации, сопровождающихся трансформацией лесных экосистем, изучение микобиоты городов и мегаполисов приобретает не меньшую актуальность, чем исследования микобиоты ненарушенных территорий.

Литература

1. Гонтарь О.Б., Жиров В.К., Казаков Л.А., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты, изд. КНЦ РАН, 2010. 224 с.
2. Ежов О.Н. Дереворазрушающие грибы городских зеленых насаждений Архангельской области // Город. Лес. Отдых. Рекреационное использование лесов на урбанизированных территориях. Тезисы докладов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 103-104.
3. Змитрович И.В. Распространение афиллофоровых грибов по территории Санкт-Петербурга // Микология и фитопатология, 1997. Т. 31, вып. 1. С. 19-27.
4. Красная книга Мурманской области. Мурманск: Кн. из-во, 2003. 400 с.
5. Руоколайнен А.В. Афиллофоровые грибы г. Петрозаводска // Микология и фитопатология, 2003. Т. 37, вып. 1. С. 62-69.
6. Святковская Е.А., Гонтарь О.Б., Тростенюк Н.Н., Костина В.А. Видовое разнообразие и состояние древесных интродуцентов в разных типах озелененных территорий города Апатиты // Вестник МГТУ, 2009. Т. 12, № 3. С. 539-544.
7. Химич Ю.Р. Афиллофороидные грибы на древесных интродуцентах зеленых насаждений города Апатиты // Вестник МГТУ, 2013. Т. 16, № 3. С. 526-529.
8. Шубин В.И., Предтеченская О.О. Сумчатые и базидиальные напочвенные грибы, включенные в последнее издание Красной книги Республики Карелия // Труды Карельского научного центра РАН. Серия Биогеография, 2009. Вып. 8. № 1. С. 38-42.
9. Eriksson J., Hjortstam K., Ryvarden L. The Corticiaceae of North Europe. Vol. 5: Mycoaciella - Phanerochaete. Oslo: Fungiflora, 1978. P. 889–1047.
10. Yurchenko E.O. Natural substrata for corticioid fungi // Acta Mycol., 2006. V. 42 (1). P. 113-124.

К ПРОБЛЕМАМ ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО И УРАЛЬСКОГО СЕКТОРОВ

Среди многих проблем лесоведения и лесопользования в стране одной из самых неотложных остается сохранение так называемых притундровых лесов, по мнению руководства страны представляющих «малозначащие окраины» и потому испытывающих сегодня пресс экспансии тяжелыми отраслями промышленности, массивные нарушения основ природосберегающего хозяйствования. Россияне рискуют утратить последние малонарушенные, экологически чистые пространства. В век непрекращающихся природных катаклизмов, нарастающего пресса техногенеза, когда как шагреновая кожа постоянно ссужается экологическая ниша пригодных для жизни пространств, полоса субарктических лесов остаются бесценным капиталом страны.

Лесные сообщества биомы притундровых лесов ответственны за поддержание биологического разнообразия всех уровней экосистем. Опыт хозяйствования на Крайнем Севере России убеждает в том, что разрушение лесной растительности влечет за собой быструю деградацию всей биоты геосистем, необратимую трансформации ландшафтов, разрушительную эрозию почв. Обладая наибольшей массой живого вещества, наибольшими объемами и скоростями потока вещества и энергии, древесная растительность служит своеобразным каркасом (основой) экосистем всех уровней организации. Повреждение древесных ценозов сопровождается «истончением» и разрушением сложных цепочек биологических круговоротов. Отсюда можно сделать вывод о том, что главным императивом сохранения участия пространств Субарктики в биосферных процессах остается всемерное сохранение крайне северных лесов в функционирующем состоянии.

Преобладание на пространствах региона лесных формаций, казалось бы, однозначно должно определять главенствование при организации природопользования лесоэкологических стратегий. К сожалению, соображения экологов, лесоводов, геоботаников по обеспечению рационального хозяйствованием в этом регионе в расчет не принимаются. Сохранение лесной растительности на Крайнем Севере всеми средствами остается таким же императивом, как исключительная важность сохранения пространств лесотундры для жизнеобеспечения обитающего здесь этносов.

К сожалению, положение малочисленных народов, прописанных в Субарктике, не менее трагично, чем положение их среды обитания. Не вызывает сомнения, обозначенные проблемы можно решить только в связке. Вал загрязнения окружающей среды, разрушения природных комплексов на пространствах Субарктики похоже сегодня уже невозможно остановить, поскольку заложником неуклонного наступления на природу горнодобывающих горно-химических и нефтегазовых отраслей сделана вся страна. Наибольший вклад в последние десятилетия вносят предприятия нефтегазового комплекса.

По официальным данным потери углеводородного сырья при разведке, добыче и транспортировке достигает 5%. В масштабах европейского Севера это миллионы тонн. Эти потери влекут за собой масштабное загрязнение всех сфер окружающей среды. К явлению загрязнения, необходимо добавить нарушение почвенного покрова при организации бурения скважин, а также повышенная горимость лесотундровых сообществ в результате сжигания попутного газа. По данным Н.П. Солнцевой (цитируется по А. Евсееву, 2003) в Западной Сибири за последние 30 лет добыто около 6 млрд т. Потери только при 3% уровне составили более 200 млн т. По факту эту величину надо, по меньшей мере, утроить. Большая часть этой нефти ушла в водоемы и в почвы, разумеется, вызвала повреждения хрупких лесных экосистем, повреждения лесов.

К сказанному надо добавить потери земель, занимаемые под буровые, вахтовые поселки, трассы газо-, нефтепроводов и под другие многочисленные объекты инфраструктуры промышленных отраслей. Учеными МГУ приводятся следующие примеры безобразий в использовании экосистем региона. В Надымском и Пуровском районах Ямало-Ненецкого АО на пробуривание 8.5 тыс. нефте- и газовых скважин по нормативам должно быть задействовано 31.5 тыс. га. В действительности выведено из фонда лесных земель более 75 тыс. га. Другой пример: при строительстве городов Ноябрьска, Нового Уренгоя и Надыма размеры отчуждения под города были завышены в 20-30 раз.

На состоявшемся в 2012 г. Симпозиуме по проблемам притундровых лесов не приехали не только приглашенные руководители и «домашние» экологи нефтяных предприятий Я-Мала, Ненецкого Округа, Республики Коми, но также лесоводы и представители штатных экологических

служб северных субъектов Федерации. Люди боятся потерять работу, а то и жизнь, как случилось с мэром Нижневартовска, пытавшегося остановить беспредел в природопользовании. Сегодня командирами «нефтянки» служат представители кадрового резерва самого президента, люди, приехавшие способные принимать крутые решения. Главная их цель обеспечить наполняемость трубы. А цель, как известно, оправдывает средства. Это люди - бесцеремонные временщики, живущие по известному принципу: «после меня хоть потоп». Завершив разорение природы, они быстро исчезнут. Их не волнует, что после их деятельности останутся безжизненные загрязненные пустыни.

Свой вклад в разрушение лесов притундровой полосы вносит также и промышленность Мурманска. К сожалению и сегодня, не прекращаются промышленные рубки в полосе притундровых лесов. Объявленного в 1993 г. запрета на промышленные рубки хватило ненадолго – до 2009 г. Сегодня в полосе климатозащитных лесов выделены собственно защитные и леса эксплуатационные. Удивляет лукавство, с каким подано это решение общественности. С лесоводов не снимается ответственность за сохранение всех лесов притундровой полосы, в т.ч. тех, где разрешены промышленные рубки. Очевидно, что задача эта невыполнима.

Начало энергичному освоению притундровых лесов на территории Кольской провинции было положено строительством мурманской железной дороги, морского порта и Мурманска в начале прошлого века и развитие горнодобывающих производств в 20-30 годах, на востоке – строительством дороги на Воркуту и развитием угольной промышленности в Воркуте, и в Инте (1930-1950 гг.). Повсеместно большей освоенностью земель характеризуются территории прижелезнодорожных районов и районов в бассейнах крупных рек (Кола, Тулома, Воронья, Поной, Кулой, Пеза, Пеша, Печора, Мезень, Шапкина, Лозьва и др.). Весьма существенно, что промышленные рубки лесов сопровождаются пожарами. Наиболее тревожная обстановка сохраняется в лесах Кольского полуострова, где по природе широко представлены насаждения высокой пожарной опасности, где вследствие аэротехногенного загрязнения в насаждениях повышено присутствие горючих материалов. Сочетание рубок, пожаров и техногенного загрязнения – самое разрушительное для хрупких лесов региона воздействие.

Наибольший пресс лесозаготовок в доступных районах региона пришелся на военные годы и первые годы послевоенной разрухи (Семенов, Цветков, 1983). Несмотря на принятые Правительством меры по ограничению рубок, связанные с учреждением полосы лесов климатозащитного назначения, интенсивные рубки под разными предлогами продолжались и в 1960-1970 гг. (Чертовской, Семенов, 1983; Семенов, 1993; Цветков, 1990; Цветков и др., 1990; Цветков, Чибисов, 1991). В лесах Лотто-Туломского, Кольского, Мончегорского, Интинского районов они носили типичный концентрированный характер. Высокую нагрузку лесозаготовки сдерживали лишь отсутствие транспортных путей, гористый рельеф и мелкоконтурность лесных земель. Следует подчеркнуть, что в ряде районов Кольского полуострова и в Интинском округе Уральской провинции к 60-ым годам наиболее доступные производительные леса были уже вырублены. И далеко не на всех площадях произошло лесовозобновление.

Одним из важных вопросов притундровых лесов остается определение биосферных (экологических в конкретных условиях) потенциалов лесных экосистем притундровой полосы. Авторами неоднократно поднимался этот вопрос, но отсутствие поддержки заставляло прекращать исследования в этом направлении. Одним из удачных результатов таких попыток было определение экологического потенциала в полосе притундровых лесов на пространствах Беломорско-Кулойского плато в 2013 г.

Осуществлен расчет защитно-экологического потенциала на полигоне притундровых среднелесий в 5 км полосе Беломорско-Кулойского плато (Архангельская на широте 65°20' и 42° в.д.) площадь 1350 га. Использованы критерии ПДН сернистого газа и тяжелых металлов, рассчитанные в районе Мончегорска (Цветков, 2012), а также результаты оценки транспирации лесами. Расчеты показали, что экосистемы массива способны безущербно поглощать ежегодно 42 т SO₂ и 80 т пыли соединений никеля, меди, кобальта. Рассматриваемые экосистемы сравнительно низкопродуктивных сосново-березовых насаждений, ельников и лиственничников транспирируют («перекачивают» в атмосферу) в год почти по 2.5 тыс. т влаги с гектара и накопленное за лето тепло. Это существенное трансформирующее воздействие на холодные воздушные потоки, поступающие на материк из Арктики.

Проблему природопользования на лесных землях Крайнего Севера нельзя рассматривать в отрыве от проблем малочисленных коренных народов Севера. В последние годы явно недостаточно уделяется внимания роли территориям, где функционирует традиционное природопользование (оленоводство, охота, рыбная ловля, сбор дикоросов). Профессор А.В. Евсеев (2003) отмечает, что «...эти территории являются своеобразным звеном биосферного экологического каркаса, современной адаптации традиционных знаний, навыков неистощительного пользования, которыми обладают коренные этносы и старожильческое население».

В данном случае под неистощительным природопользованием понимается не только совокупность экологически обоснованных приемов эксплуатации природных ресурсов, но и отражение определенных мировоззренческих представлений, определявших взаимоотношения

этносов северян и природы. Традиционное природопользование, в т.ч. сохранение, крайне северных лесов можно считать экологической основой устойчивого развития районов Севера. На ускорение темпов сокращения возможностей традиционного природопользования уделялось внимание на Всероссийском Симпозиуме «Современные проблемы притундровых лесов (Архангельск, 2012).

Давно известно, что этносы коренных малочисленных народов от контактов с цивилизацией теряют больше, чем приобретают. В докладе вице-президента АКМНС (Ассоциации Коренных Малочисленных Народов Севера и Дальнего Востока) Родиона Суляндзига (май 2012) отмечено, что в последнее время этносы Севера сталкиваются с серьезными экономическими и социальными проблемами. Среди таковых: высокий уровень безработицы в местах их проживания, низкое качество жизни, повышенная заболеваемость, ограниченный доступ к ведению традиционной хозяйственной деятельности и традиционному питанию, снижение площадей оленьих пастбищ, охотничьих и рыболовных угодий, неудовлетворительные жилищные условия, низкая продолжительность жизни, рост суицидов среди молодежи, рост алкоголизма, наркомании, сахарного диабета, туберкулеза. Известно, в последние годы исчезли с лица земли, что два этноса из 42.

В докладах на упомянутом Симпозиуме в Архангельске отмечалось, что в ряде районов (Мурманская, Магаданская области) сохранившиеся и сильно омоложенные сплошными рубками леса не в состоянии выполнять возлагаемые на них биосферные функции. С учетом сложившейся ситуации, при нарастающей техногенной экспансии земель «тяжелыми» отраслями промышленности нужны неотложные меры по обеспечению и реализации правовых экологически обоснованных правил рационального природопользования. Прежде всего, нужны действенные меры по кардинальной экологизации недропользования на лесных землях. Требуется задействовать предложенную международными организациями концепцию устойчивого развития КМНС на основе реализации эффективного неистощительного природопользования. Учитывая истощенность лесов рубками, пожарами, принимая во внимание нарастающие масштабы деградации земель под прессом техногенеза, отундрования и заболачивания лесных угодий, необходимо расширение полосы притундровых лесов защитного многоцелевого назначения на пространствах Европейско-Уральского сектора. Увы, действительность свидетельствует об обратном.

В Решении упомянутого Симпозиума отмечалось, в частности, что основополагающими принципами, требующих разработки Систем лесохозяйственного производства на пространствах Субарктики, в отличие от многих других отраслей, лесоводство не только не противостоит политике природосбережения. То есть, оздоровление природопользования на Крайнем Севере следует рассматривать, кроме прочего, как задачу, обеспечивающую восстановление и развития традиционных форм жизненного уклада, традиционной хозяйственной деятельности и сохранение культурного наследия КМНС. Знакомство с экологической обстановкой на пространствах Ненецкого Национального Округа и Ямало-Ненецкого Округа вызывает серьезные сомнения общественности относительно как технической, так и нравственной готовности человека к освоению таких сложных полезных ископаемых, как нефть и газ.

Притундровые леса Европейско-Уральского сектора Субарктики представляют большой интерес для исследователей. Исключительно жесткие, буквально экстремальные условия произрастания растительности «обнажают» сущность жизненных процессов, наглядно демонстрируют биосферные функции лесной растительности Крайнего Севера.

Литература

1. *Евсеев А.В.* Региональные проблемы природопользования / Под ред. *А.П. Капицы*. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2003. С. 37-67.
2. *Семенов Б.А., Чертовской В.Г.* Рубки главного пользования в притундровых лесах в связи с особенностями лесорастительных условий // Рубки ухода и главного пользования на Европейском Севере. Архангельск: АИЛиЛХ. 1983. С. 93-80.
3. *Семенов Б.А.* Проблемы притундровых лесов // Лесное хозяйство, 1993. № 1 С. 28-30.
4. *Семенов Б.А., Цветков В.Ф.* Лесорастительное районирование притундровой зоны Европейской части СССР // Междунар. симпоз. «Северные леса: состояние, динамика и антропогенное воздействие». Ч. 2. М., 1990. С. 173-187.
5. *Цветков В.Ф., Семенов Б.А.* Рубки и лесовозобновление на Крайнем Севере // Вопросы притундрового лесоводства европейской части СССР. Архангельск: АИЛиЛХ, 1983. С. 23-32.
6. *Цветков В.Ф., Чибисов Г.А.* Экологические аспекты таежного лесоводства // Экологические проблемы региона и основные направления рационального природопользования, расширенного воспроизводства природных ресурсов. Тез. докл. научн.-практ. конференции. Архангельск. Северное Отд. РГО, 1991. С. 20-22.

7. Цветков В.Ф. Крайне северные леса и проблемы их сохранения // Лесной журнал 1992. № 4. С. 7-11.
8. Цветков В.Ф. К концепции «Притундровые леса» // Материалы отчетной Сессии по итогам НИР за 1988 год. Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. С. 11-12.
9. Цветков В.Ф. Семенов Б.А. // Проблемы притундровых лесов. Архангельск: АИЛиЛХ, 1995. С. 128-130.
10. Цветков В.Ф., Торхов С.В., Семенов Б.А. К уточнению границ зоны притундровых лесов Архангельской области // Проблемы притундрового лесоводства. Архангельск. АИЛиЛХ, 1995. С. 13-29.
11. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Современные проблемы притундровых лесов / Современные проблемы притундровых лесов: Материалы Всероссийского Симпозиума с международным участием // Архангельск: САФУ, 2012. С. 4-10.
12. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Леса Субарктики требуют «доброго хозяйствования» // «История изучения и освоения Арктики - от прошлого к будущему» / Сборник материалов научной конференции с международным участием.(12-13 сентября 2012 г.). Архангельск: САФУ, 2012. С. 233-235.
13. Чертовской В.Г., Семенов Б.А. Притундровые леса СССР и ведение в них хозяйства / Матер. отчетн. сессии по итогам НИР за 1983 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1984. С. 88-90.

Яковлева Е.В., Габов Д.Н.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kaleeva@ib.komisc.ru; gabov@ib.komisc.ru

БИОАККУМУЛЯЦИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РАСТЕНИЯХ НИЖНЕГО ЯРУСА ЮЖНОЙ КУСТАРНИКОВОЙ ТУНДРЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой высокомолекулярные органические вещества, основным элементом структуры которых является бензольное кольцо (Клар, 1971). Актуальность исследований ПАУ обусловлена их повышенной токсичностью, канцерогенной и мутагенной активностью по отношению к живым организмам. ПАУ внесены в списки Европейского экономического сообщества (ЕС) и Агентства по охране окружающей среды США (ЕРА) как приоритетные загрязнители (Jian et al., 2004). Индикатором присутствия ПАУ в окружающей среде, признан бенз[а]пирен, его ПДК в почве составляет 20 нг/г. Установлено, что 60% глобальной эмиссии бенз(а)пирена, приходится на процессы, связанные со сжиганием угля (Ровинский и др., 1988), добыча которого широко распространена в тундровой зоне. Развитие угольной промышленности оказывает негативное влияние на здоровье населения (Li et. al., 2012). Растения выполняют основную роль в поглощении разнообразных поллютантов из почвы и являются первичными звеньями трофических цепей. Поэтому изучение накопления ПАУ в зонах действия угольных шахт представляет наибольший интерес.

Цель данного исследования – изучение особенностей биоаккумуляции ПАУ разными видами растений нижнего яруса южной кустарниковой тундры при техногенезе.

Нами были проведены исследования содержания ПАУ в органогенных горизонтах тундровых поверхностно-глеевых почв и растениях нижнего яруса кустарниковой тундры. Растения отбирали на фоновом участке и в районе действия угольной шахты “Воркутинская”. Для отбора растений на каждом участке были заложены 3 пробных площадки. На каждой площадке проводили пробоотбор почв органогенного горизонта и всех растений. Размер площадок 100×50 см.

На фоновых участках было отобрано 12 видов растений следующих групп – травянистые растения: *Festuca ovina* L.(овсяница овечья), *Deschampsia caespitosa* L. (щучка дернистая), *Pyrola rotundifolia* L. (грушанка круглолистная); кустарнички: *Vaccinium myrtillus* L. (черника), *Vaccinium vitis-idaea* L. (брусника), *Vaccinium uliginosum* L. (голубика), *Empetrum nigrum* L. (водяника черная); мхи: *Pleurozium schreberi* Brid., *Polytrichum commune* L., *Dicranum undulatum* Ehrh; лишайники: *Lobaria linita* (Ach.) Rabenh., *Cladonia gracilis* (L.) Willd. На загрязненном участке выявлено 8 видов растений – травянистые растения: овсяница овечья, щучка дернистая, грушанка круглолистная, *Chamerion angustifolium* L. (иван-чай); кустарнички: брусника, голубика; мхи: *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*. Лишайники на загрязненных участках отсутствовали.

Химический анализ каменного угля шахты Воркутинская позволил выявить в его составе 14 структур ПАУ. Анализ показал, что в составе выбросов значительно преобладают такие легкие полиарены, как нафталин, флуорен и фенантрен. В меньшей степени представлены пирен, хризен бенз(б)флуорантен, бенз(а)пирен, бенз(ghi)перилен и инденопирен. Содержание бенз(а)пирена в угле составляет 37 нг/г.

В ходе химического анализа в почвах и растениях были идентифицированы 15 ПАУ: нафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз(а)антрацен, бензо(к)флуорантен, бенз(а)пирен, бенз(ghi)перилен, бензо(б)флуорантен, дибенз(а,h)антрацен и инденопирен (табл.1, 2). Содержание аценафтена, не обнаруженного в выбросах шахты, в почвах и растениях было минимальным и практически не изменялось от фонового к загрязненному участку. Такой факт позволяет предположить природное происхождение данного соединения, он, вероятно, образуется в процессе жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и растений.

Таблица 1

Содержание ПАУ в почвах фоновых и загрязненных участков, нг/г

Полициклические ароматические углеводороды	Фоновый участок		Загрязненный участок	
	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	$\bar{X}$	$S\bar{x}$
Нафталин	27.6	1.0	120.7	7.6
Аценафтен	0.8	0.5	4.0	1.8
Флуорен	43.0	3.3	178.0	24.8
Фенантрен	40.7	2.7	172.5	25.4
Антрацен	3.0	0.6	8.4	2.3
Флуорантен	21.6	6.8	42.2	22.0
Пирен	31.6	1.6	76.3	16.6
Бенз(а)антрацен	6.8	0.6	19.5	6.1
Хризен	14.7	1.4	42.0	14.0
Бенз(б)флуорантен	14.4	1.0	52.8	17.4
Бенз(к)флуорантен	5.3	0.4	13.7	5.1
Бенз(а)пирен	7.8	0.9	26.4	9.2
Дибенз(а,h)антрацен	0.5	0.3	3.6	1.2
Бенз(ghi)перилен	8.0	0.9	11.6	4.3
Инденопирен	4.0	1.8	14.6	6.0
Σ ПАУ	229.6	6.7	786.3	159.5

Примечание: $\bar{X}$ – среднее значение, $S\bar{x}$ – стандартное отклонение.

Таблица 2

Суммарное содержание легких и тяжелых полиаренов в разных видах растений, нг/г

Виды растений	Фоновый участок				Загрязненный участок			
	Σ легких полиаренов		Σ тяжелых полиаренов		Σ легких полиаренов		Σ тяжелых полиаренов	
	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	$\bar{X}$	$S\bar{x}$
<i>Cladonia gracilis</i>	1088.5	116.4	33.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Lobaria linita</i>	335.9	59.2	4.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Pleurozium schreberi</i>	520.9	82.8	45.2	6.7	2608.1	292.5	513.1	52.4
<i>Polytrichum commune</i>	508.1	78.0	52.3	7.5	1308.9	101.5	173.7	11.7
<i>Dicranum undilatum</i>	463.6	60.5	34.5	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Pyrola rotundifolia</i>	319.5	43.6	24.9	3.1	1156.7	135.1	156.2	16.7
<i>Festuca ovina</i>	760.9	43.5	25.3	1.2	1879.6	108.7	161.5	23.9
<i>Deschampsia caespitosa</i>	1167.0	93.1	23.7	1.7	2122.2	247.2	392.8	41.8
<i>Chamerion angustifolium</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	506.2	103.9	34.6	6.8
<i>Vaccinium uliginosum</i>	204.7	30.8	7.8	1.1	369.2	19.4	16.7	0.7

<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	671.7	67.9	20.8	1.9	819.1	80.2	49.3	4.3
<i>Vaccinium myrtillus</i>	383.8	105.5	8.9	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Empetrum nigrum</i>	350.0	24.6	9.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0

Примечание: $\bar{X}$ – среднее значение, $S\bar{x}$ – стандартное отклонение.

В составе ПАУ почв фоновых и загрязненных участков преобладали легкие полиарены их доля составляла 82-84% от общей суммы ПАУ в почвах. Общее содержание полиаренов на загрязненных участках превышало фоновые значения в 3 раза. Наибольшие кратности превышения были отмечены как для легких полиаренов: нафталина, флуорена, фенантрена в 4-5 раз, так и для тяжелых ПАУ: бенз(а)пирена, бензо(б)флуорантена, дибенз(а, h)антрацена и инденопирена в 4-7 раз. Эти полиарены (за исключением дибенз(а, h)антрацена), преобладали в выбросах шахты Воркутинской. Кратности превышения для остальных ПАУ составляли 2-3 раза. При значительно большем содержании нафталина, флуорена и фенантрена в угле – в более чем в 20 раз по сравнению с тяжелыми ПАУ, в почве кратности превышения легких и тяжелых полиаренов примерно одинаковы. Такое явление может быть обусловлено высокой скоростью разложения легких полиаренов в почве. Рядом авторов показано, что культуры различных микроорганизмов быстро и эффективно трансформируют исключительно низкомолекулярные ПАУ, тогда как высокомолекулярные ПАУ окисляются слабо, или же не окислялись совсем (McKenna, 1976). Легкие ПАУ, поступившие с угольной пылью в почву, вероятно, трансформируются в ней полностью, что снижает их содержание в почве.

Анализ полученных данных показал, что ПАУ в исследуемых растениях фонового и техногенного участков представлены, преимущественно, легкими структурами, такими как нафталин, флуорен и фенантрен – их доля от общей суммы ПАУ в растениях составляет 70-99 %. Вследствие повышенной растворимости, низкомолекулярные ПАУ имеют более легкий доступ в клетку (Шурубор, 2000). В растениях фоновых участков содержатся значительные количества легких полиаренов. Высокое содержание ПАУ в растениях, вероятно, связано с тем, что легкие ПАУ являются необходимыми компонентами растений, участвующими в процессах обмена веществ (Ровинский и др., 1988). Физиологически-активные соединения (витамины, гормоны и др.) имеют в структуре молекулы 2-3-ядерные структуры нафталинового и фенантренового типа. Природное сродство с такими веществами также может оказывать определенное стимулирующее воздействие на проницаемость клеточных мембран.

В условиях загрязнения для всех растений отмечалось повышение доли тяжелых ПАУ в общей сумме полиаренов на 1-13% по сравнению с фоновыми участками. Следует отметить, что на фоновом участке наибольшее содержание ПАУ было отмечено в лишайнике *Cladonia gracilis* и травянистых растениях: щучке дернистой и овсянице овечьей. Лишайники характеризуются способностью к биоаккумуляции и высокой чувствительностью к загрязнителям (Domeno et al., 2006). Отсутствие лишайников на загрязненном участке, по-видимому, обусловлено повышенными концентрациями полиаренов в атмосфере. Травянистые растения характеризуются мощной корневой системой, что способствует поглощению полиаренов из почвы. Среди кустарничков наибольшие количества полиаренов обнаружены в бруснике, наименьшие в голубике. Это, вероятно, обусловлено тем, что брусника, как вечнозеленое растение могла накапливать полиарены из окружающей среды длительное время. Суммарное накопление полиаренов другими растениями примерно одинаково и составляет 400-500 нг/г растения, при содержании ПАУ в почве 230 нг/г.

Для загрязненного участка характерно повышение содержания полиаренов в растениях, по сравнению с фоновыми значениями. Наибольшим накоплением полиаренов отличаются мхи: *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune* и травянистые растения: грушанка круглолистная, щучка дернистая, овсяница овечья. Максимальные кратности превышения фоновых значений 4-5 раз характерны для *Pleurozium schreberi* и грушанки круглолистной. Повышение содержания ПАУ на загрязненных участках происходит в основном из-за роста содержания тяжелых полиаренов в растениях. Превышение фоновых значений наиболее выражено для бенз(а)пирена, бенз(ghi)перилена, дибенз(а, h)антрацена и инденопирена до 90 раз, в меньшей степени для бензо(б)флуорантена, бензо(к)флуорантена до 7 раз. Для легких полиаренов наибольшие кратности превышения во всех видах растений отмечали для пирена, в меньшей степени нафталина и бенз(а)антрацена до 10 раз.

Наибольшая массовая доля ПАУ в растениях нижнего яруса кустарничковой тундровой зоны была идентифицирована в *Pleurozium schreberi*, который составлял основную фитомассу исследуемых площадок. Его вклад в потребление ПАУ составлял 70-80% от суммарного накопления. Высоким накоплением полиаренов на обоих участках отличались щучка дернистая и овсяница овечья. Для загрязненного участка отмечен повышенный вклад в накопление ПАУ грушанки

круглолистной. На фоновом участке значительные количества ПАУ концентрируются в *Polytrichum commune*. Роль остальных растений в выносе ПАУ минимальна.

Следует отметить, что для фоновой участка суммарное содержание ПАУ в растениях в расчете на м² в 3 раза ниже, чем запасы ПАУ в почве, для загрязненного – в 8 раз ниже. Загрязнение почв полиаренами приводит к угнетению растительности, снижению ее биомассы, обеднению видового состава. Все эти факторы приводят к снижению общего выноса полиаренов растениями на единицу площади по сравнению с фоновым участком, на фоне повышения уровня аккумуляции ПАУ растениями на единицу массы. При этом общий вынос бенз(а)пирена растениями из почвы на загрязненном участке в 1.6 раз выше, чем на фоновом.

Исследование содержания ПАУ в органах растений показало, что накопление ПАУ в органах голубики, черники и водяники можно представить в виде неравенства листья>>стебли, корни. На фоновом и загрязненном участке накопление ПАУ в листьях голубики превышает их содержание в стеблях и корнях в 3-4 раза для голубики. Черника и водяника были обнаружены только на фоновом участке: для черники это значение составляет в 2-3 раза, для водяники 1.5-1.8 раз. Для черники сходные закономерности в накоплении полиаренов выявлены и для таежной зоны (Яковлева и др., 2012). Такая концентрация ПАУ в листьях голубики и черники во многом обусловлена их листопадностью. Загрязнители концентрируются, главным образом, в вакуолях растительных клеток и сбрасываются вместе с листьями. ПАУ могут попадать в растение не только из почвы, но и из атмосферы и проникать в листовую пластину через устьица. Для черники выявлено повышенное содержание легких ПАУ в ягодах растения, из тяжелых ПАУ в ягодах был обнаружен только бенз(к)флуорантен в небольших количествах. Водяника вечнозеленое растение, поэтому у него выработались барьеры к аккумуляции ПАУ, накопление ПАУ в побегах наблюдалось, но не так выражено.

Анализ распределения ПАУ по органам брусники показал, что кустарничек накапливает полиарены в большей степени в стеблях, в меньшей в листьях, минимальное содержание большинства ПАУ обнаружено в корнях растений. Исключением является флуорен, который накапливается в корнях в большом количестве. Повышенные концентрации флуорена в корнях были характерны и для других кустарничков. Такое распределение ПАУ по органам также может быть связано с особенностями растения. Восковой налет на листьях мог препятствовать проникновению полиаренов в листовую поверхность через атмосферу.

Для травянистых растений овсяницы овечьей и щучки дернистой на фоновом и загрязненном участках выявлено преимущественное накопление всех ПАУ в корнях растений. Кратности превышения для фоновых участков составляют 2-2.5 раза, для загрязненных до 5 раз. Базипетальная направленность в накоплении ПАУ свидетельствует об активном поглощении полиаренов из почвы.

Выводы

1. В почвах и растениях южной кустарниковой тундры было обнаружено 15 структур ПАУ: нафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз(а)антрацен, бензо(к)флуорантен, бенз(а)пирен, бенз(ghi)перилен, бензо(b)флуорантен и дибенз(a,h)антрацен.

2. Полиарены в выбросах, органогенных горизонтах почв и растениях были представлены в основном (на 70-99%) низкомолекулярными ПАУ: нафталином, флуореном и пиреном.

3. Суммарное содержание ПАУ в почвах загрязненного участка превышало фоновые значения в 3 раза. Для растений максимальные кратности превышения фоновых значений составляли 4-5 раз и были выявлены для *Pleurozium schreberi* и грушанки круглолистной.

4. Наибольшие кратности превышения содержания ПАУ в почвах и растениях выявлены для тяжелых ПАУ, что связано с их минимальным содержанием на фоновых участках.

5. Наибольшая массовая доля ПАУ в растениях нижнего яруса кустарниковой тундры была идентифицирована в *Pleurozium schreberi*. Его вклад в потребление ПАУ составлял 70-80% от суммарного накопления.

6. Распределение полиаренов по органам исследуемых растений неравномерно и определяется как физиологическими особенностями растений, так и уровнем загрязнения.

7. Загрязнение почв полиаренами приводит к угнетению растительности, снижению ее биомассы, обеднению видового состава. Все эти факторы приводят к снижению общего выноса полиаренов растениями на единицу площади по сравнению с фоновым участком. При этом уровень аккумуляции ПАУ растениями на единицу массы повышается.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта научных проектов молодых ученых и аспирантов УрО РАН № 14-4-НП-51, РФФИ № 14-04-31303 мол_а, № 13-04-00070-а и проекта УрО РАН № 12-У-4-1003.

Литература

1. Клар Э. Полициклические ароматические углеводороды. М.: Химия, 1971. Т. 1, 2. 455 с.
2. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.
3. Яковлева Е.В., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Габов Д.Н. Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растения биоценозов северной тайги // Почвоведение, 2012. № 3. С. 356-367.
4. Шурубор Е.И. Полициклические ароматические углеводороды в системе почва-растение района нефтепереработки (Пермское Прикамье) // Почвоведение, 2000. № 12. С. 1509-1514.
5. Domeno C., Blasco M., Sanchez C., Nerin C.A fast extraction technique for extracting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from lichens samples used as biomonitors of air pollution: Dynamic sonication versus other methods // Analytica Chimica Acta, 2006. Vol. 569. P.103-112.
6. Jian Y., Wang L., Peter P.F., Yu H.T. Photomutagenicity of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons from the US EPA priority pollutant list // Mutat. Res. 2004. Vol. 557. P. 99-108.
7. Li W., Chen B., Ding X. Environment and Reproductive Health in China: Challenges and Opportunities // Environmental Health Perspectives. 2012. Vol. 120, No. 5. PP. A184-A185.
8. Mc Kenna, Heath R.D. Biodegradation of Polynuclear Aromatic Hydrocarbon Pollutants by Soil and Water Microorganisms // Research Report. 1976. № 113.

Derome, K.¹, Merilä, P.¹, Lindroos, A.-J.², Nieminen, T, M.², Salemaa, M.², Rautio, P.³, Ukonmaanaho, L.²

¹Finnish Forest Research Institute (Metla), Oulu, Finland

²Finnish Forest Research Institute (Metla), Vantaa, Finland

³Finnish Forest Research Institute (Metla), Rovaniemi, Finland

firstname.lastname@metla.fi

COPPER AND NICKEL POLLUTION IN A SUBARCTIC FOREST IN NORTHERNMOST FINLAND

Introduction

The mining and metallurgical industry on the Kola Peninsula in Russia is one of the largest sources of sulfur and heavy metal emissions in the northern hemisphere. The emission impact area of the smelters in Nikel stretches for over 100 km from the smelters, extending to Finland and Norway (Poikolainen et al. 2004, Myking et al. 2009, Harmens et al. 2013) Here we present detailed results of copper (Cu) and nickel (Ni) concentrations in a Scots pine dominated ICP Forests intensive forest monitoring (Level II) plot located at Sevettijärvi in northernmost Finland, at a distance of 54 km from the emission sources in Nikel. Other Level II Scots pine plots in Kivalo, Lieksa and Luumäki were used as reference sites (Fig. 1). Our aim was to evaluate the distribution of Cu and Ni pollution in a subarctic forest and to identify those ecosystem compartments showing the highest accumulation of heavy metals.

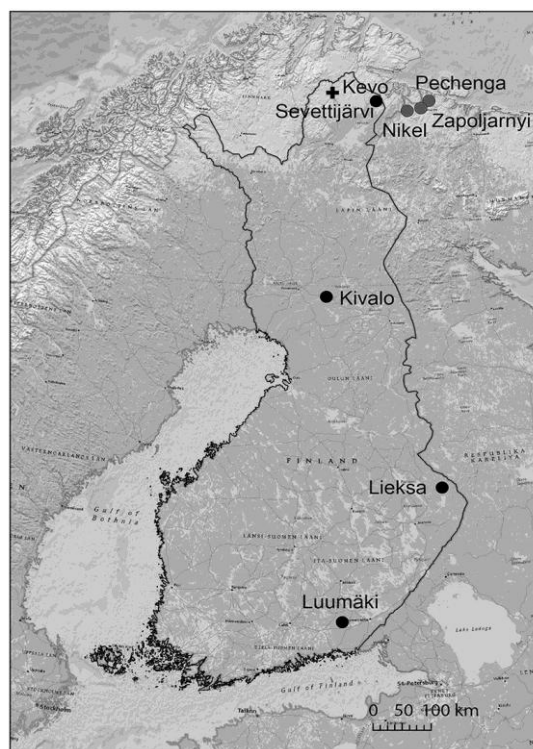


Fig. 1. Location of the Cu-Ni smelters on the northern Kola Peninsula (red circles), and the study plots (black circles) belonging in the ICP Forest Level II monitoring program in Finland

Material and methods. Plant and soil solution samples were taken on the ICP Forests Level II plots during the years 2009–2011, and soil samples in the year 2006. The sampling, pretreatments and analyses of the samples have been conducted according to the procedures of ICP Forests (ref. ICP Forests Manual 2010), and the pretreatments and analyses performed in the laboratories of Metla. Soil samples were digested by the closed wet HNO_3 -HCl digestion method in a microwave (SFS-ISO 11466:en). All the other compartments were digested by the closed wet HNO_3 - H_2O_2 digestion method in a microwave (Kalra 1998). The extracts were analyzed by an Inductively Coupled Plasma (ICP) spectrometer. Soil solution samples were filtered through a $0.45\ \mu\text{m}$ membrane, acidified and analyzed by an ICP spectrometer.

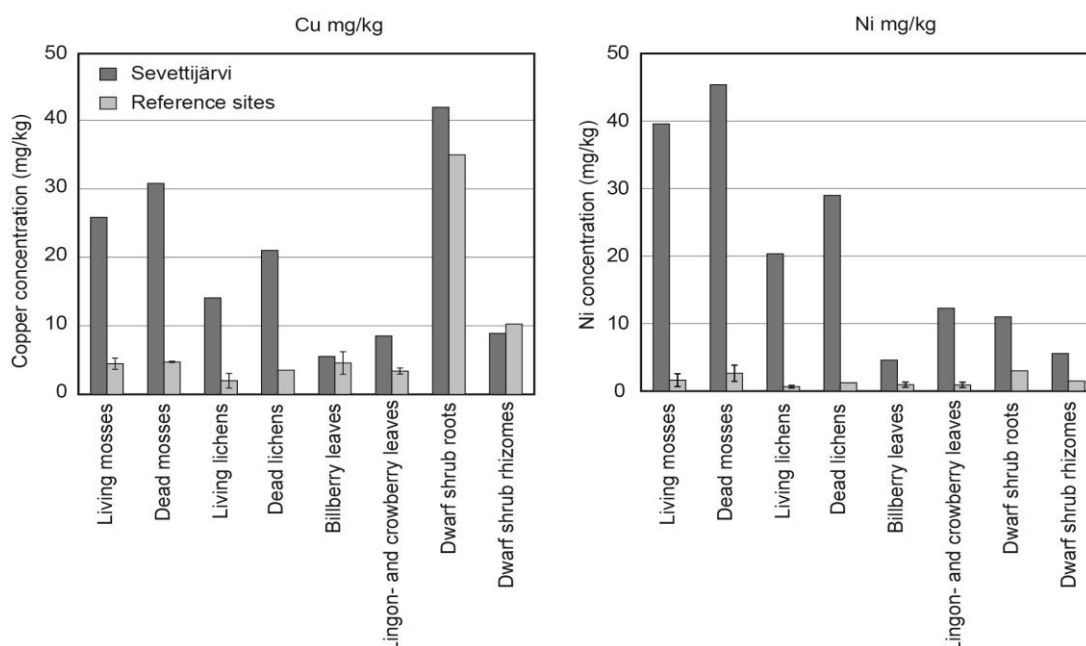


Fig. 2a-b. The average copper (a) and nickel (b) concentrations in understory vegetation compartments at Sevettijärvi and the reference sites (Kivalo, Lieksa and Luumäki)

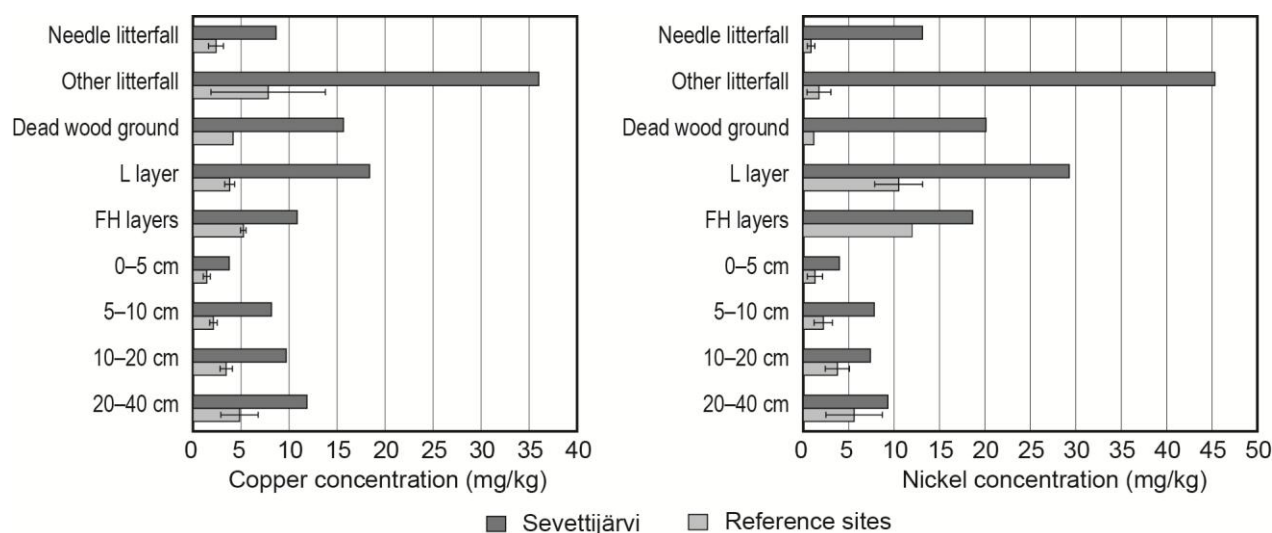


Fig. 3a-b. The average copper (a) and nickel (b) concentrations in the soil profile at Sevettijärvi and the reference sites (Kivalo, Lieksa and Luumäki)

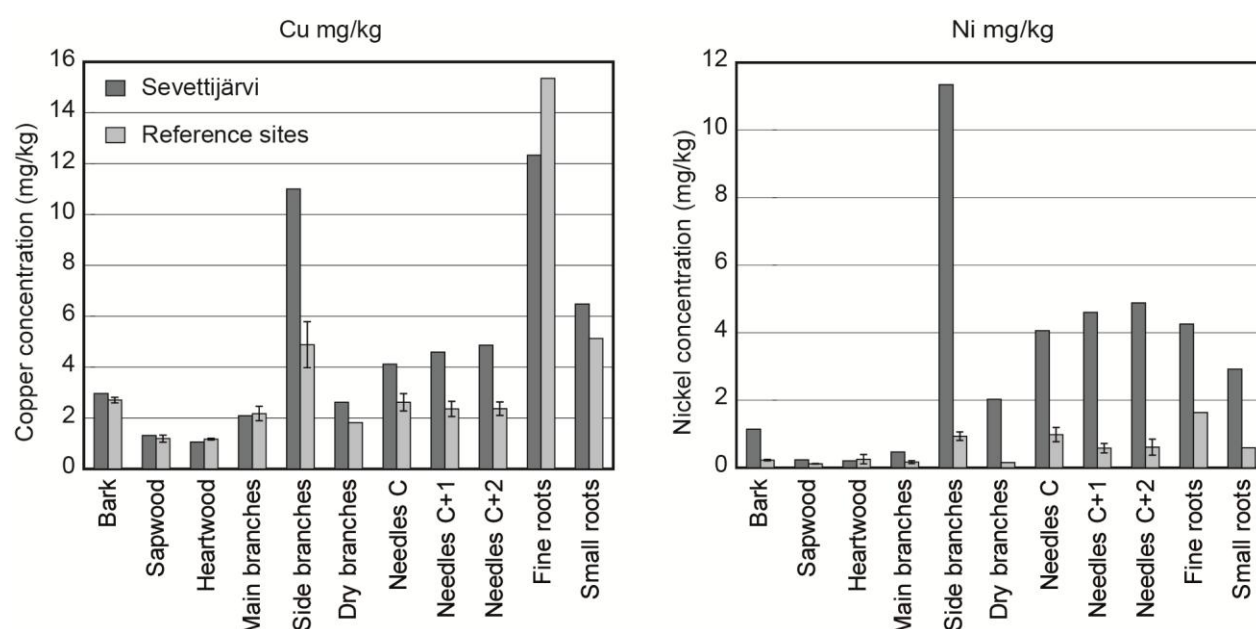


Fig. 4a-b. The average copper (a) and nickel (b) concentrations in tree compartments at Sevettijärvi and the reference sites (Kivalo, Lieksa and Luumäki)

Results and discussion. The highest Cu and Ni concentrations were found in plant necromass (non-foliar litterfall, bryophyte and lichen necromass, soil/ ground litter layer) and in the living understory vegetation (in bryophytes > in lichens) (Figs. 2a-b, 3a-b). In these compartments the Cu concentrations (14–36 mg/kg) were 5–7 times higher and the Ni concentrations (20–45 mg/kg) were 17–31 times higher than the respective concentrations averaged for three other Scots pine dominated Level II plots located elsewhere in Finland. The Cu and Ni concentrations of both living needles and branchlets were 2–3 times and 2–12 times higher, respectively, than those on the reference sites (Figs. 4a-b). The upper mineral soil layers showed slightly higher Cu concentrations in Sevettijärvi than on the reference plots Figs. 3a-b), while soil solution and stem wood showed no signs of Cu or Ni pollution.

Conclusions

Our results indicate elevated Cu and Ni concentrations in most forest compartments at Sevettijärvi plot, which is most probably caused by the emissions from mining and metallurgical industry on the Kola Peninsula and do not originate from the geology of the site.

References

1. Harmens, H., Norris, D., Mills, G. and participants of the moss survey. 2013. Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe. Centre for Ecology & Hydrology, United Kingdom. 63 p. <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/>.
2. ICP Forests 2010. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Programme Co-ordinating Centre, Hamburg. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
3. Kalra, Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, Microwave Digestion of plant tissue in a closed vessel, pp. 69-73.
4. Myking, T., Aarrestad, P.A., Derome, J. et al. 2009. 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* 14:279–296.
5. Poikolainen, J., Kubin, E., Piispanen, J. & Karhu, J. 2004. Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985–2000 using mosses as bioindicators. *The Science of the Total Environment* 318:171–185.
6. SFS-ISO 11466:en Soil quality. Extraction of trace elements soluble in aqua regia.

Kauhanen H.O.

Finnish Forest Research Institute, Kolari Unit
heikki.kauhanen@metla.fi

DELAYED REGENERATION OF WIND DAMAGED PINE FORESTS IN EASTERN FINNISH LAPLAND

In October 1985, “Sirkka” – an unusually severe storm – struck eastern Finnish Lapland felling around 200 000 m³ of mainly Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees in old-growth forests of Urho Kekkonen National Park (UKNP). Within the disturbed area up to 85% of the canopy trees were wind-thrown. Owing the fear of insect attacks Metsähallitus (Finnish Forest and Park Service) planned to harvest the fallen trees during the next winter. However, the disturbed area was left untouched. Due to that decision the wind-throw area of Jauru Valley remained in the natural state providing a unique living laboratory to investigate how boreal forest ecosystem recovers from major disturbance.

Wind storm generated an altered availability of resources for forest regeneration in Jauru Valley and on nearby hills. Removal of biomass from the canopy and understory improved light conditions and enhanced nutrient availability. Uprooted trees exposed mineral soil and created new micro-sites on the forest floor. Due to the absence of saplings and seedlings recruited before the disturbance large living trees and tree clusters, that provided seeds, acted as a main source of ecosystem recovery. Although ground disturbance caused by the uprooting of wind-thrown trees usually provides good seedbed, emergence of pine seedlings was negligible during the first 15 years following the disturbance. As summer temperatures of the last decade exceeded the long-term average almost every year, viability of pine seeds increased sharply. As a result large quantities of new seedlings emerged in all sample plots studied, most in the valley bottom. In some years, germinability of seeds was high up to the treeline. At present, a few hundred conifer seedlings are found on the top of Talkkunapää Mountain, some 150-160 m above the seed source. The results of this study show that natural return of the disturbed forests of UKNP will take decades, but ecosystem’s comeback is proceeding.

СЕКЦИЯ 2

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА

Андреанов В.А.

*Коми республиканская ассоциация независимых экспертов, г. Сыктывкар
krane@mail.ru*

СТРАТЕГИЯ ОСВОЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА СЕВЕРНЫХ РЕК РОССИИ

Несоизмеримо велика роль многих тысяч российских рек в истории развития человеческой цивилизации на огромной евроазиатской территории. Реки поставляют большую часть воды, потребляемой для функционирования производства – материальной базы общества. Реки являются крупнейшим источником предоставления воды – важнейшего продукта для жизнедеятельности человека и организации его быта, а также биологической средой для производства ценнейших продуктов питания. Реки создают среду обитания человека – социально-экологический фон, на котором протекает вся наша жизнь. Наконец, реки – это древнейшие и по сей день исключительно распространенные и эффективные транспортные пути – одна из важнейших частей транспортного комплекса России.

На реки России приходится более 11% мирового стока, из которых 7% стока приходится на северные реки, впадающие в Северный ледовитый океан (рассчитано по 5, с. 8).

Использование потенциала северных рек России. Максимально ответственно оценивая нынешнее состояние использования потенциала северных рек России, сравнивая по всем указанным направлениям «участия рек» в эволюции человеческой цивилизации и их нынешнее использование человеком, налицо видим серьезнейшие нарушения ноологического характера, обусловленные слабо, крайне неэффективно контролируемой хозяйственной деятельностью человека на Севере, а по сути дела – безответственностью российского общества, его низкой экологической грамотностью. Данное положение в полной мере относится не только непосредственно к населению, но в не меньшей степени к бизнесу и к государственным структурам, отвечающим за состояние экологии.

1. Качество воды, потребляемой человеком, катастрофически ухудшается, и уже сегодня является глобально сформировавшейся проблемой, поскольку три четверти населения Земли не имеют возможности употреблять экологически-, биологически- чистую воду.

2. Поныне существующий экономический «вал» – не управляемый человеком рост промышленного производства по устаревшим, экологически грязным технологиям – ведет ко все большему потреблению речной воды и ко все большей глобализации экологической угрозы самого существования человечества вследствие повсеместного сброса загрязненных вод и отходов не только в моря, но также и в реки.

3. Реки как источник производства ценнейших продуктов питания (на примере России – экспертная оценка) используются на уровне всего 10-15% их биологического потенциала. Причем по многим параметрам продуктопроизводящая база российских рек уже сегодня подорвана или находится на грани нарушения ее естественной восполнимости, самовосстановления.

4. Природно-экологический баланс большинства городов России, находящихся на реках (а таких абсолютное большинство среди городских поселений), не соответствует требованиям санитарных и эпидемиологических норм и правил. Налицо серьезнейшие нарушения условий жизни десятков миллионов человек только в Российской Федерации. Это в свою очередь влияет на состояние геронтологии в стране и невозможность устранения существующего демографического падения и ускорения процесса деградации народа.

5. Использование транспортного потенциала рек. Что касается использования российских и, прежде всего, наших северных рек в качестве транспортных магистралей, то здесь мы также видим серьезнейшие нарушения, когда развитие экономики России с позиций науки и логики, т.е. общегосударственного мышления, оценки потенциально возможного использования значимого транспортного ресурса северных рек уступает место пресловутому «валу» хищнического бизнеса,

псевдо коммерческой активности, незаслуженного забвения водных транспортных путей. Это происходит вследствие того, что государственная машина управления плетется вслед за упорными, настойчивыми (если не сказать – наглыми), социально и экологически пренебрегающими действиями крупнейшего, олигархического бизнеса.

Там, где можно эффективно использовать сложившееся природой течение рек (например, для организованного, экологически допустимого сплава и вывоза по рекам древесины), лесопромышленники упорно навязывают, во-первых, не всегда экономически обоснованное массированное строительство лесовозных дорог, на что расходуются, точнее – выбрасываются многие миллиарды народных рублей. Во-вторых, все шире используется самый экологически грязный и самый неэффективный в плане производительности труда автомобильный транспорт. Данный эколого-экономический парадокс четко прослеживается на практике развития лесопромышленного комплекса Республики Коми последние 20 лет. Увы, подобная практика наблюдается по всей России, во всех лесных регионах.

На реках России построено и эксплуатируется около 30 тыс. напорных гидротехнических сооружений (ГТС), комплексно решающих задачи гидроэнергетики, водного транспорта, рыбного и сельского хозяйства, и более 10 тыс. км различных защитных сооружений. Большинство (подавляющее число) этих сооружений находится сегодня в запущенном, ветхом состоянии (ревизия их технического состояния, тем более анализ не проводятся все годы рыночных перестроек). Максимум, что удастся здесь сделать обслуживающим их коллективам – выживать за счет, прежде всего, интенсивной эксплуатации трудового человеческого потенциала России и запредельно изношенных технических, гидротехнических и транспортных средств.

Как свидетельствуют практики, проводимые в стране последние 20 лет крайне неэффективные, как свидетельствует практика, псевдореформы во многом разрушили действовавший и считавшийся прежде эффективным водный, речной транспорт, что подтверждается многими отечественными, включая мои личные, исследованиями. Последовательно реализуемая в эти годы политика упорного пренебрежения, игнорирования речного транспорта как одного из важнейших элементов в транспортном комплексе страны и российского Севера, наглядно видна на примере организации судоходства в бассейнах рек Вычегда и Печора в пределах Республики Коми. Здесь и во многих других регионах России (особенно зоны российского Севера) речной транспорт медленно, но верно стареет, деградирует и исчезает.

Гидроэнергетика. Рассматривая ипостаси ролевого участия рек в развитии человеческой цивилизации, и в частности – России нельзя не отметить еще одну их функцию – участие в создании рационального, экономически и экологически обоснованного топливно-энергетического баланса России. Именно благодаря дешевизне получаемой на ГЭС электроэнергии эта отрасль хозяйства Российской Федерации не понесла существенных потерь от «либерального» нашествия вандалов-рыночников. *Созданный в советские времена гидроэнергетический потенциал страны уверенно работает и в рыночных условиях, внося существенный вклад в производство электроэнергии и ускоренное развитие экономики России.* Ежегодная выработка электроэнергии на 111 ГЭС суммарной установленной мощностью 44.9 тыс. МВт (23% от общего объема производства в РФ).

Гидроэнергетика является одной из важнейших составных частей энергобаланса России, годовое производство данного вида электроэнергии составляет ежегодно 156-170 млрд. кВт·ч, или примерно 20-23% общего производства электроэнергии в стране. Много это или мало? Отечественной наукой подсчитано, что общий гидроэнергетический потенциал российских рек составляет 2900 млрд. кВт·ч годовой выработки электроэнергии, или 170 тыс. кВт·ч на 1 км² территории. По обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами (а это 9% мировых запасов) Россия занимает второе место в мире после КНР, значительно опережая США, Канаду и Бразилию.

Нынешний уровень развития отечественной гидроэнергетики позволяет использовать всего 8.4% технически (рационально, экономически выгодного) реализуемого энергетического потенциала российских рек. Использование технически возможного и экономически целесообразного гидроэнергетического потенциала России позволяет получать стране электроэнергии в объеме двух нынешних годовых энергобалансов. Налицо глобальный уровень гидроэнергетических возможностей России и еще один плюс в ее мировую значимость как крупнейшей энергетической державы мира.

Как следует из краткого, обобщающего анализа – *практически по всем составляющим природно-экономического и экологического потенциала рек России имеются нарушения, нередко граничащие с экологическими катастрофами.* Результаты собственных многолетних исследований в этой области позволяют сделать вывод, что только комплексное, экологически, научно и

экономически обоснованное использование совокупного потенциала рек России и прежде всего ее северных рек позволяет развивать конкурентоспособную экономику, обеспечивая при этом нормальные условия жизни миллионам россиян и положительно влияя в целом на состояние биосферы Земного шара. Но это уже направления стратегии будущего рационального использования речного потенциала России в XXI веке (прежде всего ее северной зоны) и его вклада в гармоничное, социально благоустроенное и экономически эффективное развитие экономики и жизни народов северных регионов России.

Принципиальные вопросы стратегии развития рек России (Севера). *Сегодня, когда дальнейшее планомерное продвижение России на Север становится стратегической линией развития отечественной экономики, мы вынуждены пересмотреть всю государственную политику в отношении использования потенциала северных рек.* Данный вопрос следует рассматривать в контексте глобальных изменений в климате, экономике, экологии, политике в мире. Важнейшей задачей государственной власти в России должно стать максимально эффективное использование стратегических возможностей северных рек России. Без объединения усилий ученых и прежде всего РАН, а также специалистов-практиков различного профиля невозможно экономически, социально, экологически грамотно решать данную задачу. Только в единении всех здравомыслящих ученых и специалистов, привлечении их к выработке стратегии комплексного, рационального использования потрясающего потенциала российских рек (на основе передовых, прогрессивных технологий), всех политических партий и движений, всех ветвей науки и широкой общественности возможно эффективное использование огромного потенциала речных ресурсов России. Будущее процветание России и превращение ее в лидера мировой экономики и мировой политики во многом зависит от эффективности решения проблемных задач, использования потенциала речных ресурсов России и, прежде всего, северного, арктического направления.

Только комплексное, научно обоснованное использование потенциала российских рек позволяет решить эту задачу. Но без наличия стратегического плана, а до того – без концепции перспективного, стратегического развития и использования потенциала российских северных рек, это абсолютно невозможно.

К вопросу о переброске части стока северных рек России. Меняются времена и вносятся существенные изменения в технологии. Меняется ситуация в мировой экономике и политике, и общество вынужденно нередко возвращаться к ранее отвергнутым по тем или иным причинам заманчивым предложениям. Сегодня, когда решительно меняется вектор мировой политики и экономики, мы вынуждены критически, с позиции нынешнего времени пересматривать прежние парадоксальные проекты. К таковым следует отнести нашумевшие в 1960-1970-е гг. и заблокированные как несвоевременные Проекты переброски части стока северных и сибирских рек на юг. Сегодня эта тема вновь выносится на первые полосы ведущих информационных агентств страны как одно из наиболее перспективных стратегических направлений развития экономики, рационального использования потенциала рек Сибири, а также рек европейского севера России.

Сегодня вновь поднимается вопрос о проведении целенаправленно организуемой, экономически, социально и экологически, а также политической целесообразности выгодной для России и ее граждан переброски части вод северных рек в южные районы страны и за ее пределы. За прошедшие десятилетия значимость данного вопроса возросла многократно и сегодня является не только экономическим, социальным и экологическим, но также стратегически важным политическим, интеграционным шагом России в будущее. Естественно, что, предпринимая любые практические действия в данном направлении, необходимо руководствоваться народной мудростью – «семь раз отмерь и, лишь, потом отрежь». Принцип «не навреди» является главенствующим в логистике сегодняшних и, тем более, будущих геополитических государственных действий. Поскольку негативные последствия непродуманных решений, тем более использующих преобладающих в хозяйственной деятельности России «грязных» технологий, могут оказаться роковыми не только для жителей России, но также для всего человечества. Примеры чернойбыльской и мексиканской катастроф более чем убедительное тому доказательство.

Условно «операцию» по переброске части стока северных российских рек можно разделить на два направления: *первое (локальное) - переброска части стока* в пределах ограниченного региона (или регионов) России. Эти каналы в подавляющем большинстве случаев используются для решения крупных водохозяйственных задач регионального и межрегионального значения – орошения и обводнения, хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, развития теплоэнергетики, сельского и в частности рыбного хозяйства, а также судоходства. Как один из конкретных, социально

значимых для всего человечества проектов, внесенных на Санкт-Петербургском экономическом форуме (июнь 2009 г.) тогдашним президентом России Д.А. Медведевым явился проект «О создании зернового пула на базе России и государств Средней Азии», могущий решить проблему обеспечения продовольствием многих миллионов людей на земле. Согласно этой идее, Россия вновь должна стать (и это абсолютно необходимо и реально) крупнейшим в мире поставщиком зерна и других натуральных, экологически чистых продуктов питания.

Второе (глобальное) - потенциально возможная переброска части стока северных рек в соседние государства, ранее негативно принимавшаяся как одиозная, фантастическая, утопическая и т.д., в новых исторических условиях обязывает вновь вернуться к рассмотрению проектов этого плана, поскольку решение этих проектов стало логически, геополитически необходимыми шагами, элементами новой стратегической, глобальной, интеграционной политики России в XXI веке.

Сегодня перед Россией поставлен вопрос не просто выживания, но стремительного, качественного усиления ее позиций в мировой экономике и мировой политике. От того, насколько полно, эффективно будет решаться задача переброски части стока северных рек, зависит не только судьба самой России, но также ее ближайших соседей – Казахстана, Узбекистана, Туркменистана, Монголии и Китая. Это уже вопросы качественно новой государственной стратегии XXI века и формирования надежного международного интеграционного блока, беспримерного стратегического партнерства дружественных стран.

Планов столько грандиозного переустройства крупнейшей речной системы мира, которые были разработаны и начали стремительно осуществляться в СССР в 1960-1970 гг. не знало человечество, и по большому счету тогда мы просто не были готовы к пониманию рациональной, разумной, чрезвычайно эффективной не только для одной страны, но также для значительной части человечества в масштабах Земного шара, стратегии подобного переустройства. Сегодня человечество стоит перед усиливающимся фактом необходимости и возможности выживания вследствие ограниченности, прежде всего, чистой питьевой воды, а также воды для обеспечения решения продовольственной проблемы (когда каждый четвертый житель Земли голодает) и развития в целом экономики многих стран, включая уже отмеченные выше.

В новых, глобально складывающихся условиях Россия вынуждена (рано или поздно, но это произойдет, с Россией или без нее) вернуться к решению задачи переброски части стока северных рек в южном направлении. Но геополитически необходимо осознать, что это огромный, стратегической значимости шаг, *сегодня многими не понимаемый до конца*, в будущее. Дающий России шанс успешного решения не только своих внутренних государственных задач и приоритетных национальных проектов, но также значительного роста влияния России на происходящие в мире экономические и политические перемены. А также формирования тесных, долговременных межгосударственных, включая экономические, отношения со многими странами мира (прежде всего Средней Азии).

Переброска части стока северных рек – это глобально сложившаяся и «вынужденная» для России стратегически, геополитически выгодная перспектива, не заметить, которую мы просто не имеем права. Вода наших северных рек является важнейшим стратегическим, исключительно плохо, не по-хозяйски используемым сегодня ресурсом развития экономики самой России и ее ближайших геополитических соседей. Сегодня это потенциально ожидаемые огромные финансовые ресурсы, которые Россия может гарантированно получать и должна, обязана эффективно использовать для построения инновационной экономики и значительного улучшения жизни россиян. Это потенциально необходимые возможности создания десятков миллионов рабочих мест не только в южных регионах России, но также в дружественных нам странах Средней Азии.

Выводы

Северные реки (их вода, их многоплановый потенциал) становятся стратегическим шансом России в преобразовании не только внутренней, «личной» жизни российского государства и общества, но во многом определяющим фактором в проведении внешней, мировой политики, установления тесных межгосударственных и интеграционных связей, шансом роста влияния России на происходящие на Земле процессы.

Все это предполагает внесение существенных корректив в государственную политику использования имеющегося потенциала российских (и, прежде всего, северных) рек в эффективном развитии производительных сил страны, улучшении жизни её населения, повышении роли России в многократном увеличении производства продовольствия и активного содействия в ликвидации голода на планете, усилении роли России в мирохозяйственных процессах.

Литература

1. Андрианов В.А. Эффективное использование потенциала северных рек России (докладная аналитическая записка руководству страны № 27 от 15 июня 2009 г.) // Стратегические направления хозяйственного освоения севера России – практические аспекты. Сыктывкар, 2012. С. 68-75. (электронное издание)
2. Андрианов В.А. Золотые воды северных рек // Стратегия России, 2009. № 9. С. 63-70.
3. Галактионов В.Д. Жизнь рек. М.-Л.: 1 Гидроэнергоиздат, 1951. 365 с.
4. Кривошей В.А. Реки и каналы России. М.: ООО «ОМ-Пабблишинг», 2007. 240 с.
5. Львович М.И. Реки России. М.: Мысль, 1971. 274 с.
6. Россия – ресурсы устойчивого развития: Материалы Всероссийской конференции «Ресурсы устойчивого развития России: предприятия, технологии, наука». Москва, 18-22 ноября 1996 г. Т. 1. / Под ред. д.э.н., проф. Ю.В. Пискулова. М.: ЗАО «Товарная этикетка и упаковка», 1997. 248 с.

Базова М.М.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва
mm.bazova@yandex.ru

ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД И АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В условиях антропогенных воздействий на водные объекты Кольского Севера возникла необходимость в изучении водной миграции элементов. Выщелачивание горных пород – основной источник поступления элементов в природные воды. Антропогенная нагрузка в последние годы становится значимой наряду с геохимическими и ландшафтными особенностями формирования химического состава вод. Воздушное загрязнение, обусловленное локальной эмиссией и трансграничным переносом многих видов загрязняющих веществ, в современный период оказывает все большее влияние на состояние водных ресурсов.

На территории Кольского Севера выделяют три центра техногенного (включая аэротехногенное) загрязнения. Северо-западный центр, в котором расположены предприятия цветной металлургии. Наиболее мощный загрязнитель – горно-металлургическое производство медно-никелевых руд комбинат «Печенганикель» (г. Заполярный и г. Никель). Меридиональный центр охватывает долины р. Колы, оз. Имандра и р. Нивы, где функционируют предприятия горнодобывающей и химической промышленности, цветной и черной металлургии. Эта территория в большей степени подвержена техногенному загрязнению, так как внутри нее расположены промышленные предприятия Оленегорска, Мончегорска, Кировска, Апатитов и Кандалакши (ГМК «Североникель», ОАО «Апатит», «Олкон», Кольская АЭС, Ловозерский ГОК, Кандалакшский алюминиевый завод, а также образованные ими города и поселки). Горно-обогащительные комбинаты, расположенные в этих городах, выбрасывают в атмосферу большое количество пыли, что отрицательно сказывается на окружающей среде и, особенно на качестве воздуха. (Макарова и др., 1996). Формирование отвалов и карьеров, из которых выщелачиваются химические элементы, приводит к изменениям в водных экосистемах (Красовская, 1990). Юго-западный центр включает в себя железорудные и другие предприятия Ено-Ковдорского промышленного узла, которые также вносят свой вклад в аэротехногенное загрязнение территории Кольского полуострова. Особенность состава выбросов предприятий на территории Кольского полуострова заключается в том, что эмиссия кислотообразующих веществ сопровождается выбросами пылевых частиц, которые в пределах локальных зон нейтрализуют кислотность выпадающих осадков (Моисеенко и др., 2000, Моисеенко, 2003).

Цель работы заключалась в выявлении особенностей элементного состава вод в зоне влияния источника загрязнения и в зависимости от ландшафтно-геохимических особенностей региона.

Информационная основа настоящего исследования включает в себя данные по элементному составу 71 малого озера Кольского Севера за 2005 год. Исследуемые малые озера приурочены к районам распространения магматических горных пород Балтийского щита, которые охватывают тундровый и таежный регионы Кольского Севера (Мурманская область). Озера были сгруппированы по 4 субрегионам по мере удаленности от источника загрязнения и в зависимости от типа горных

пород, слагающих их водосборы (основные и кислые): I – импактная зона (основные породы), II – субимпактная зона (основные породы), III – антропогенно-закисленные озера северо-восточной тундры (кислые породы), IV – природно-подкисленные озера заболоченных массивов (кислые и осадочные).

Концентрация микроэлементов определялась параллельно двумя методами: 1) 13 элементов (Sr, Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Ci, Pb, As) определялись атомно-адсорбционным (DAS, Сорг. Norwalk, США) методом с непламенной атомизацией (HGA-400) в лаборатории ИППЭС КНЦ РАН; 2) более 60 элементов - методом индуктивно связанной плазмы на масс-спектрометре Plasma Quad-3 фирмы Fisions Instruments Elemental Analysis (Великобритания). Концентрации этих элементов были выше аналитического порога обнаружения (Моисеенко и др., 2010).

Всего в водах малых озер был рассмотрен 51 элемент.

В таблице представлены значения элементного состава горных пород и воды озер в выделенных субрегионах.

Элементный состав пород (по А.П. Виноградову 1962 г.) и вод озер (в %) в выделенных субрегионах (жирным шрифтом выделены значения, превышающие таковые в соответствующих типах пород)

Элемент		Основные (базальты, габбро)			Кислые (граниты, гранодиориты)		Кислые + основные	
		порода	I (n=4)	II (n=44)	порода	III (n=17)	порода	IV (n=6)
			вода	вода		вода		вода
1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH			6.50	6.61		5.71		5.44
Cond20	мкСм/см		22	12		9		19
Сорг.	10 ⁰	4.5	23	39	0.03	46	2.3	15.2
Cl	10 ⁰	1.94	16.3	10.2	0.01	29.3	0.02	10.3
Na	10 ⁰	0.83	14.2	10.4	2.7	2.7	2.5	19.9
Ca	10 ⁰	24	14	13	1.58	7.5	2.96	19.7
Si	10 ⁰	8.76	12.6	10.9	32.3	5.7	29.5	14.7
Mg	10 ⁰	6.72	5.0	4.5	0.56	4.5	1.87	7.0
K	10 ⁰	1.5	2.6	2.3	2.3	2.0	2.5	3.6
N	10 ⁰	4.4	0.7	1.2	0.002	1.346	0.002	3.0
Fe	10 ⁰	0.45	0.20	0.53	2.7	0.6	4.65	2.5
Al	10 ⁰	1.8	0.18	0.24	7.7	0.5	8.05	3.5
S	10 ⁰	24	0.45	7.13	0.04	6.27	0.05	2.7
Br	10 ⁻⁴	1	525	396	1.7	754	2.1	527
Ba	10 ⁻²	3	4.16	4.53	8.3	4.60	6.5	10.4
Ni	10 ⁻³	0.005	36.1	5.9	0.08	6.67	5.8	19.4
P	10 ⁰	0.0018	0.035	0.037	0.07	0.04	0.09	0.1
Cu	10 ⁻³	0.14	32.1	5.0	2	4.7	4.7	12.8
Mn	10 ⁰	0.01	0.03	0.02	0.06	0.021	1	0.1
Zn	10 ⁻³	0.03	12.6	0.03	6	12.7	8.3	29.8
Ti	10 ⁰	0.5	0.011	0.007	0.23	0.01	0.45	0.03
B	10 ⁻³	8.6	9.4	8.7	1.5	12.0	1.2	11.4
Se	10 ⁻⁶	0.2	9274	5078	5	7449	5	8649
Cs	10 ⁻⁴	20.0	92	175	5	123	3.7	145
I	10 ⁻⁵	1.6	789	1124	4	1249	4	2806
Li	10 ⁻³	4.5	5.5	7.1	4	3.95	3.2	10.2
Sc	10 ⁻³	0.9	3.9	2.7	0.3	3.28	1	5.4
V	10 ⁻⁴	2.0	36.9	32.1	0.4	27.3	0.9	62.9
Bi	10 ⁻⁶	2.4	3452	5838	1	4172	9	9362
As	10 ⁻⁴	2.0	32	17	1.5	24	1.7	34
La	10 ⁻³	1.0	2.6	3.4	6	4.7	2.9	10.2
Ce	10 ⁻³	2.0	2.3	3.7	10	5.6	7	21

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cr	10^{-3}	0.5	1.9	1.7	2.5	2.7	8.3	5.9
Mo	10^{-4}	0.3	17.4	10.8	1	11.0	1.1	5.8
Pb	10^{-4}	10.0	12.9	14.1	2	20.0	1.6	23
Nd	10^{-3}	13.0	0.9	1.1	4.6	1.0	3.7	11
Sn	10^{-4}	1.5	6.9	6.1	3	7.8	2.5	9.8
Sr	10^{-2}	1.8	0.07	0.09	2	6.20	3.4	0.1
Zr	10^{-2}	19.0	0.04	0.03	2	0.05	1.7	0.1
Cd	10^{-6}	0.5	420	326	10	498	1.3	713
Sb	10^{-5}	0.8	35	38	2.6	41	5	79
Co	10^{-3}	2.0	0,3	1,7	4	2.0	1.8	3.6
Y	10^{-3}	10.0	0.3	0.4	3.4	0.7	2.9	2.8
U	10^{-4}	0.7	2.9	2.2	3.5	1.7	2.5	3.9
Ag	10^{-6}	5.0	290	254	5	285	7	488
Pr	10^{-4}	5.0	2.7	4.5	12	4.0	9	33
Ga	10^{-3}	3.0	0.20	0.10	2	0.12	1.9	0.3
W	10^{-4}	1.0	1.98	1.70	1.5	2.05	1.3	3.2
Gd	10^{-4}	5.0	1.83	1.96	9	3.09	8	11.4
Be	10^{-4}	0.4	0.9	1.4	0.6	1.8	3.8	2.7
Nb	10^{-3}	2.0	0.047	0.56	2	0.094	2	18
Th	10^{-3}	0.3	0.039	0.118	1.8	0.099	1.3	0.7
Re	10^{-8}	7.1	3584	6149	6.7	6327	7	12855

Как известно, слагающие водосборы озер основные породы более подвержены выщелачиванию, чем кислые. Они характеризуются повышенными содержаниями щелочных металлов Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Li, Be, Rb, Sr, Cs, Ba, которые активно выщелачиваются из горных пород и поступают в водные объекты (Перельман, 1982).

Озера импактной зоны (I) расположены в пределах лесотундры в зоне функционирования горно-металлургического комбината «Печенганикель». Очевидно, что при выпадении кислых осадков (поступающих, в частности, и в результате трансграничного переноса) на водосборе, сложенном основными породами, выщелачивающиеся катионы могут способствовать частичной нейтрализации кислых вод. В условиях слабокислой среды ($\text{pH} \sim 6.50$) активно выщелачиваются катионогенные Na, Cs и анионогенные – Br, I. Повышенное содержание Zn, Ni, Cu, Cd обусловлено не только аэротехногенным рассеиванием от комбинатов, но и выщелачиванием в кислой среде. Обогащение вод Se, V, Bi, Mo, Re также вызвано локальной эмиссией кислотообразующих веществ, но в значительно меньших концентрациях, так как содержание этих элементов в породах в десятки-сотни раз меньше вышеупомянутых элементов.

В озерах субимпактной зоны (II), охватывающей лесотундру и северную тайгу, в идентичных условиях окислительной обстановки ($\text{pH} \sim 6.61$) за исключением Ni, Cu, Zn происходит обогащение вод теми же элементами, что и в озерах импактной зоны. Однако более активно происходит выщелачивание элементов I, Cs, Bi, Re.

Водосборы озер северо-восточной тундры (III) сложены микроклиновыми гранитами, которые к югу сменяются олигоклазовыми гранитами. На северо-востоке Кольского Севера отмечены самые низкие концентрации основных катионов и пониженные величины минерализации воды (9 мкСм/см), pH меньше 6. В озерах рассматриваемой зоны происходит обогащение вод Cl, I, Br за счет поступления с морскими аэрозолями и усиления биогенного круговорота этих элементов.

Природно-подкисленные озера заболоченных ландшафтов, расположенные в юго-восточной части Кольского Севера, характеризуются следующими особенностями. Преобладающее направление ветров на территории Кольского Севера таково, что выпадение антропогенной серы, обусловленное трансграничным переносом и поступлением со стороны комбинатов «Печенганикель» и «Североникель» на территории данного субрегиона минимально (от 0, 3 до 1.0 г/См²год). Для этого субрегиона характерно большое разнообразие пород и наличие значительных болотных массивов. Водосборы озер сложены преимущественно кислыми и основными породами. Кроме того, здесь

прослеживаются сланцевые амфиболиты и слюдистые гнейсы. Наличие торфянистых и болотных почв обуславливает обогащение вод гумусовыми веществами. Они в свою очередь сорбируют и аккумулируют Cl, Na, Ca, Br, I, Zn, B, которые принимают активное участие в биогенной миграции. Повышенные концентрации As, Mo, Se, Re, V, Bi, Ag, Cd в воде озер обусловлено аэротехногенным рассеиванием элементов от промышленных предприятий. Также происходит обогащение вод Pr, Nd, Nb, Ce, но в меньших концентрациях. Повышенные концентрации Re в воде озер, возможно, обусловлены воздействием антропогенных нагрузок на водные экосистемы.

Литература

1. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. 1962. № 7. С. 565-571.
2. *Красовская Т.М., Евсеев А.В.* Рациональное природопользование на Кольском полуострове. М., МГУ, 1990. 88 с.
3. *Макарова Т.Д., Попов Я.П., Артоболевский В.И.* Атмосферный воздух в условиях промышленного освоения Кольского Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. 261 с.
4. *Моисеенко Т.И.* Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М: Наука, 2003. 276 с.
5. *Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А.* Формирование химического состава вод озёр в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
6. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.

Барышев А.А.

*Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
baryshev@bio.krc.karelia.ru*

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАКРОЗООБЕНТОСА ПОРОГОВЫХ УЧАСТКОВ РЕК КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

Введение

Реки, впадающие в Белое море в пределах Кандалакшского берега, протекают по юго-западной части Кольского полуострова. Для данной территории характерен суровый климат с коротким летом. Вместе с тем, близость Белого и Баренцева морей обуславливает относительно теплые зимы, а полярный день обеспечивает прогрев водотоков и высокую первичную продукцию летом. Гидрографическая сеть региона представлена довольно развитыми озерно-речными системами. Речные участки отличаются каменистыми грунтами, большим количеством порогов и перекатов, на которых развивается литореофильный биоценоз.

Фауна макрозообентоса данного региона достаточно хорошо изучена (Жадин, 1940; Малевич, 1951; Усова, 1961; Хренников и др., 1977; Шустов, 1978; Попченко, 1988; Данькова, Иванов, 2004; Яковлев, 2005; Денисов и др. 2009; Чертопруд, Палатов, 2013). Вместе с тем, сведения о количественных характеристиках макрозообентоса порогов и перекатов рек Кандалакшского берега Белого моря до сих пор отрывочны. В свете этого представляется актуальной цель данной работы – выявить количественные характеристики макрозообентоса порогов и перекатов водотоков Кандалакшского берега Белого моря.

Материал и методы. Количественные пробы зообентоса отбирали на порогах и перекатах рек Кандалакшского берега Белого моря гидробиологической рамкой площадью 0,04 м² (Комулайнен и др., 1989). Выбирали участки с каменистым грунтом и скоростями течения 0.3-0.7 м/с соответствующие понятию литореофильный биоценоз (Жадин, 1940). Нами собрано и обработано 42 пробы зообентоса (2006-2012 годы), кроме того задействовано 111 архивных проб, собранных и обработанных В.В. Хренниковым в 1976-1987 годах. Всего обследовано 29 станций из бассейнов рек Канда, Нива (с реками оз. Имандра - Белая, Малая Белая, Вудъяврюк), Лувеньга, Порья, Умба, Кузрека.

Результаты. В составе донных сообществ нами выявлено 84 вида донных беспозвоночных, большая часть из которых – амфибиотические насекомые. Состав зообентоса в целом соответствует ранее опубликованным сводкам (Яковлев, 2005; Чертопруд, Палатов, 2013).

Численность и биомасса донных сообществ в среднем по региону составили 8.9 ± 1.10 тыс. экз./м² и 6.7 ± 0.74 г/м². Обилие зообентоса по рекам существенно варьировало от 1575 ± 205 до 23190 ± 4323 экз./м² и от 2.1 ± 0.61 до 13.1 ± 2.62 г/м² (табл. 1).

Наибольшие численность и биомасса зообентоса выявлены в Кузреке и Умбе. Наименьшие в водотоках горного массива Хибины - Вудъяврюк и Малая Белая.

С целью проследить динамику количественных характеристик макрозообентоса по мере протекания рек от высокогорных истоков до устья нами сопоставлены средние значения численности биомассы на высокогорных (горный массив Хибины), предгорных (выше 100 м над уровнем моря) и равнинных (ниже 100 м над уровнем моря) участках рек (табл. 2).

Таблица 1

Численность и биомасса зообентоса порогов рек Кандалакшского побережья Белого моря

Таксономическая группа	Канда	Нива	Малая Белая	Вудъяврюк	Белая	Лувеньга	Порья	Умба	Кузрера
Oligochaeta	546	0	8	0	0	479	520	517	180
	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.98	1.52	0.14
Ephemeroptera	280	1683	533	717	1292	616	636	744	712
	0.36	1.71	1.22	0.85	5.39	0.47	0.68	1.03	0.94
Plecoptera	161	67	83	0	0	381	363	315	289
	0.20	0.55	0.15	0.00	0.00	0.30	0.30	0.19	0.37
Trichoptera	125	475	208	0	83	259	344	197	1011
	1.66	4.41	0.50	0.00	0.74	0.83	1.03	1.66	2.91
Simuliidae	116	133	42	42	0	196	118	9803	128
	0.11	0.17	0.06	0.38	0.00	0.25	0.09	6.94	0.09
Chironomidae	1573	2208	592	742	150	3642	3522	2812	19941
	0.24	0.96	0.13	1.25	0.13	0.59	0.42	0.78	6.03
Прочие	277	92	142	75	75	1471	581	844	929
	0.28	1.02	0.05	0.18	1.42	1.16	1.51	0.95	0.50
Всего	3079 ± 946	4658 ± 954	1608 ± 169	1575 ± 205	1600 ± 502	7044 ± 914	6085 ± 1039	15232 ± 3810	23190 ± 4323
	3.0 ± 0.60	8.8 ± 2.59	2.1 ± 0.61	2.7 ± 0.25	7.7 ± 2.63	3.9 ± 0.32	5.0 ± 0.61	13.1 ± 2.62	11.0 ± 3.12

Таблица 2

Количественные характеристики макрозообентоса литореофильного биоценоза высокогорных, предгорных и равнинных участков рек

Параметр	Хибины, n=6	Предгорье, n=18	Равнинная часть, n=124
Численность	1591 ± 119	2855 ± 747	10327 ± 1302
Биомасса	2.4 ± 0.32	3.8 ± 1.07	7.4 ± 0.88
Индекс Шеннона	0.70	1.57	1.21
Сапробность	0.87	1.36	1.60

Зообентос водотоков горного массива Хибины отличается низкой биомассой и численностью. Минимальны значения биологического разнообразия и сапробности. По биомассе доминируют *Baetis lapponicus*, *Diamesa* sp., *Rhyacophila nubila*, *Prosimulium macropyga*, *Dicranota* sp., *Diura nanseni*.

Донные сообщества предгорных зон отличаются от Хибинских большими значениями численности и биомассы. Возрастает сапробность и биологическое разнообразие. Преобладают по биомассе *Baetis lapponicus*, *Rhyacophila nubila*, *Arctopsyche ladogensis*, *Lymnaea* sp., *Chironomidae* sp., *Diamesa* sp., *Rhyacophila fasciata*, *Oligochaeta* sp.

В реках равнинной части территории наблюдаются максимальные значения численности и биомассы макробеспозвоночных литореофильного биоценоза, сапробности. Доминируют по биомассе *Rhyacophila nubila*, *Oligochaeta* sp., *Bivalvia* sp., *Arctopsyche ladogensis*, *Heptagenia dalecarlica*, *Chironomidae* sp., *Lymnaea* sp., *Baetis rhodani*, *Serratella ignita*, *Elmis aenea*, *Arcynopteryx compacta*. Биологическое разнообразие снижено по сравнению с предгорными участками рек, что соответствует положениям концепции речного континуума (Vannote et. al., 1980). По направлению от высокогорья до низовьев рек возрастает сапробность.

Таким образом, состав и количественные характеристики зообентоса горных и равнинных зон данной территории существенно различаются. Высокогорные и предгорные реки по структуре зообентоса могут быть сопоставлены с водотоками рек юго-восточной части Кольского п-ова, для которых были получены значения 3.3 ± 0.32 тыс. экз/м² и 2.2 ± 0.36 г/м² (Барышев и др., 2013). Численность и биомасса зообентоса в реках равнинной зоны близки значениям, ранее указанным для Кольского п-ова – 16.4 ± 1.76 тыс. экз/м² и 7.9 ± 0.61 г/м² и соседних регионов (Khrennikov et al., 2007).

Заключение

Для рек Кандалакшского берега Белого моря можно выделить горную и равнинную зоны, существенно (в пять раз) различающиеся по численности и биомассе зообентоса пороговых участков. Высокогорные и предгорные реки по структуре зообентоса могут быть сопоставлены с водотоками рек юго-восточной части Кольского п-ва, отличающейся суровым климатом. Численность и биомасса зообентоса в реках равнинной зоны близки значениям, ранее приводимы для Кольского п-ова и соседних, в том числе и более южных регионов.

Литература

1. Барышев И.А., Белякова Е.Н., Веселов А.Е. Зообентос пороговых участков лососевых рек юго-востока Кольского полуострова // Биология внутренних вод, 2013. № 4. С. 43–51.
2. Данькова Н.В., Иванов В.Д. Фауна ручейников (Trichoptera) рек Кольского полуострова // Фауна, вопросы экологии, морфологии и эволюции амфибиотических иводных насекомых России: материалы II Всерос. симпоз. по амфибиот. и водным насекомым. Воронеж: Воронежский государственный ун-т, 2004. С. 28–34.
3. Денисов Д.Б., Каиулин Н.А., Терентьев П.М., Валькова С.А. Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 3. С. 525-538.
4. Жадин В.И. Фауна рек и водохранилищ. М., Л. 1940. 991 с.
5. Малевиц И.И. Материалы к познанию фауны малощетинковых червей (Oligochaeta) побережья Белого моря // Сб. тр. Зоологического музея МГУ. 1951. Т. 7. С. 171-186.
6. Попченко В.И. Водные малощетинковые черви (Oligochaeta limicola) Севера Европы. Л.: Наука, 1988. 287 с.
7. Чертопруд М.В., Палатов Д.М. Реофильные сообщества макробентоса юго-западной части Кольского полуострова // Биология внутренних вод, 2013. № 4. С. 34-42.
8. Шустов Ю.А. Дрифт донных беспозвоночных в лососевых реках Карелии и Кольского полуострова // Биол.основы рыбного хоз. водоемов Средней Азии и Казахстана. Матер. конф. Фрунзе, «Илим», 1978. С. 195-196.
9. Яковлев В.А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Ч. 1, 2. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН. 2005. 206 с.
10. Khrennikov V., Baryshev I., Shustov Y., Pavlov V., Ilmast N. Zoobenthos of salmon rivers in the Kola Peninsula and Karelia (north east Fennoscandia) // Ecohydrology&Hydrobiology. 2007. Vol. 7, No 1. P. 71-77.
11. Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell I.R., Cushing C.E. The river continuum concept // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. V. 37. № 1. P. 130-137.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВЕРНЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. КРИВОГО, СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

Оз. Кривое впервые было исследовано в 1968 и 1969 годах в рамках Международной биологической программы под руководством проф. Г.Г. Винберга. Исследования были возобновлены в нулевые годы с целью – оценить современное состояние озера, применив накопленные за прошедшие десятилетия знания о закономерностях функционирования водных экосистем.

Одним из важнейших факторов, влияющих на первичную продукцию планктона, является биогенная нагрузка с водосборного бассейна, которая имеет две составляющие – природную и антропогенную. Природная составляющая зависит от первичной продукции наземных экосистем, которая, в свою очередь, контролируется факторами внешней среды – температурой, количеством осадков и испарением (Исаченко, 1953; Лит, 1974; Straškraba, 1980; Schuur, 2003).

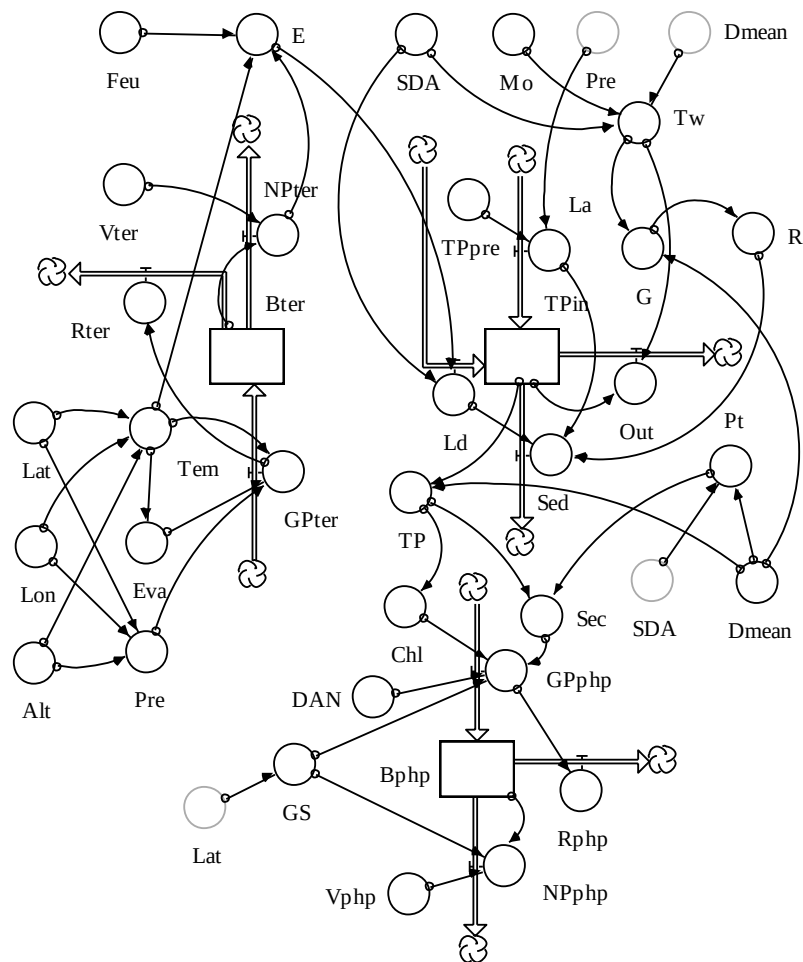
Факторы внешней среды, воздействующие на продукционные процессы в озерах и на суши, тесно связаны с географической зональностью, включающей в себя широтную, меридиональную и высотную поясность. В литературе широко обсуждается зависимость биомассы и продукции фитопланктона от географической широты и запаса фосфора в озерах (Brylinsky et al., 1973; Dillon, Rigler, 1974; Schindler, 1978; Håkanson, Boulion, 2002 и т.д.). Продуктивность озер находится в тесной зависимости от продуктивности растительности на водосборной площади. Однако до настоящего времени связь между водными и наземными экосистемами практически не исследована, а ее количественное описание отсутствует.

Цель данной работы – найти «точку соприкосновения» водных экосистем с наземными. При сборе и анализе данных основное усилие было направлено на поиск закономерных связей между продукционными процессами (в воде и на суше) и параметрами внешней среды, обусловленными географической зональностью. Была также поставлена задача – обобщить собранную информацию в форме модели, которая позволила бы с той или иной степенью вероятности оценить реакцию экосистемы оз. Кривого на изменение внешних условий.

Оз. Кривое расположено у полярного круга, на 66.5° с.ш. Площадь зеркала составляет 0.5 км² при площади водосборного бассейна 2.1 км². Средняя глубина – 12 м, максимальная – 30 м. Модуль стока – 10 л/км² сек. Удельный водосбор невелик, ~ 4.2. Обмен воды замедлен, время пребывания воды ~ 9 лет. (Озерцовская, 1975).

Климат в Северной Карелии характеризуется как умеренно прохладный с избыточной увлажненностью, типичный для гумидной зоны. Среднегодовая температура воздуха в пределах водосборов 0-0.5°C (Назарова, 2008; Кучеров и др., 2009). Осадков выпадает в среднем 520-550 мм/год (Литвиненко и др., 1998; Лозовик, Потапова, 2006, Назарова, 2008). Индекс увлажнения Иванова (Исаченко, 1953) $Pre/Eva > 1$, где Pre – годовая сумма осадков, Eva – потенциальное испарение (испаряемость).

Среднесезонная концентрация хлорофилла варьирует в оз. Кривом от 0.5 до 1.1 мкг/л. Поскольку концентрация хлорофилла зависит от концентрации биогенных элементов, следовательно, от биогенной нагрузки на озеро, для оценки последней была разработана динамическая масс-балансовая модель, имитирующая реакцию биомассы фитопланктона и содержания в ней хлорофилла на поступление фосфора с водосборного бассейна и с атмосферными осадками (рис. 1). Модель описывает связь продуктивности фитопланктона озера с продуктивностью растительного покрова на водосборе и состоит из трех блоков: продукция наземной растительности, фосфорный бюджет озера и продукция фитопланктона. Входные параметры модели: географические координаты (широта, долгота и высота над уровнем моря), содержание фосфора в атмосферных осадках, удельный водосбор, модуль стока и средняя глубина озера.



Входные параметры:

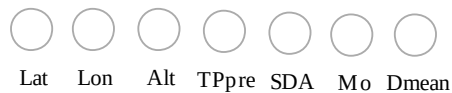


Рис. 1. Модель, имитирующая связь продукции фитопланктона с продукцией наземной растительности. Объяснение в тексте

Ниже дается модельный алгоритм.

Наземная растительность

$Bter(t) = Bter(t-\Delta t) + (GPter - NPter - Rter) \cdot \Delta t$ – наземная фитомасса, ккал/м².

$GPter = (IF(Eva > Pre) THEN (3000 \cdot (1 - EXP(-0.000664 \cdot Pre))) ELSE (3000 / (1 + EXP(1.315 - 0.119 \cdot Tem)))) \cdot 4 / 0.6$ – валовая продукция наземной растительности, ккал/(м²·год), как функция годовой суммы осадков Pre или среднегодовой температуры воздуха Tem в зависимости от того, какой фактор является лимитирующим – влага или тепло (Лит, 1974). Показателем соотношения тепла и влаги служит индекс увлажнения Н.Н. Иванова – отношение Pre к испаряемости Eva (Исаченко, 1953). Принято, что если $Pre < Eva$, то GPter зависит от Pre, в противном случае GPter зависит от Tem. Коэффициенты: 4 – отношение калорийности к сухой массе растений, ккал/г; 0.6 – отношение чистой продукции к валовой величине (Моисеев, Алябина, 2004).

$NPter = Bter \cdot Vter$ – чистая продукция наземной растительности, ккал/(м²·год).

$Rter = 0.4 \cdot GPter$ – траты энергии на дыхание и транспирацию, ккал/(м²·год).

$Eva = 30 \cdot (Tem + 10)$ – потенциальное испарение, или испарение с водной поверхности, мм/год, как функция среднегодовой температуры воздуха (рассчитано автором по данным – Информационные ресурсы по биоразнообразию).

$Pre = 1827 - 20.7 * Lat + 2.64 * Lon - 1.5 * Alt$ – годовая сумма осадков, мм/год, как функция географической широты, долготы и высоты над уровнем моря (рассчитано автором по данным – World Lake Database).

$Tem = 37.2 - 0.53 * Lat - 0.043 * Lon - 0.0033 * Alt$ – среднегодовая температура воздуха, °C (рассчитано по - World Lake Database).

$V_{ter} = 0.05$ – скорость оборота наземной растительности, год⁻¹ (Придня, Ромашин, 2003; Whittaker, Likens, 1975).

$Lat = 66.5$ – географическая широта оз. Кривого, °с.ш.

$Lon = 33$ – долгота, °в.д.

$Alt = 10$ – высота над уровнем моря, м

Бюджет фосфора

$TPin(t) = TPin(t-\Delta t) + (La + Ld - Sed - Out) * \Delta t$ – содержание фосфора под единицей площади озера, г/м².

$La = Pre * TPpre / 1000$ – поступление фосфора в озеро с атмосферными осадками, г/(м² год).

$Ld = E * SDA$ – поступление фосфора в озеро с водосборной площади, г/(м² год).

$Sed = (La + Ld) * R$ – седиментация фосфора в донные отложения, г/(м² год).

$Out = TPin / Tw$ – потеря фосфора со стоком воды, г/(м² год).

$E = NP_{ter} * 0.1 * 0.002 * 0.02 * 2^{((Tem-12)/10 * Fe_u)}$ – коэффициент экспорта фосфора с водосборной площади, г/(м² год), как функция чистой продукции растительного покрова на водосборной площади и среднегодовой температуры воздуха. Коэффициенты: 0.1 – отношение массы органического углерода к ее калорийности; 0.002 – средняя для планеты доля выноса фосфора в водоемы из наземных экосистем с природным ландшафтом (Коплан-Дикс и др., 1985). Интенсивность выноса фосфора зависит от скорости разложения продукции наземной растительности, следовательно, от температуры среды. Принято, температурный коэффициент Вант-Гоффа $Q_{10}=2$, а средняя для Северного полушария температура близка к 12°C (рассчитано по данным - World Lake Database). Fe_u – фактор эвтрофирования озера, который при отсутствии антропогенной нагрузки равен 1.

$R = 5 / (5 + G)$ – коэффициент седиментации фосфора (Håkanson, Boulion, 2002).

$Tw = Dmean / (0.0315 * Mo * SDA)$ – время пребывания воды, годы, как функция средней глубины озера, его удельного водосбора и модуля стока.

$G = Dmean / Tw$ – гидравлическая нагрузка, м/год.

$TPpre = 0.006$ – содержание фосфора в атмосферных осадках, мкг/л (Лозовик, Потапова, 2006).

$SDA = 4.2$ – удельный водосбор оз. Кривого.

$Dmean = 12$ – средняя глубина озера, м.

$Mo = 10$ – модуль стока, л/(км² сек).

Фитопланктон

$B_{php}(t) = B_{php}(t-\Delta t) + (GP_{php} - NP_{php} - R_{php}) * \Delta t$ – биомасса фитопланктона, ккал/м².

$GP_{php} = Chl * DAN * Sec * GS / 100$ – валовая продукция фитопланктона, ккал/(м² год). увеличится

$NP_{php} = B_{php} * V_{php} * GS$ – чистая продукция фитопланктона, ккал/(м² год).

$R_{php} = 0.2 * GP_{php}$ – трата на дыхание, ккал/(м² год).

$Chl = 0.075 * TP^{1.45}$ – концентрация хлорофилла, в среднем за вегетационный сезон, мкг/л (Dillon, Rigler, 1974).

$Sec = 10^{(1.26 - 0.31 * LOG_{10}(Pt) - 0.36 * LOG_{10}(TP))}$ – прозрачность воды по диску Секки, в среднем за вегетационный сезон, м (Nürnberg, Shaw, 1998).

$GS = -0.058 * Lat^2 + 0.549 * Lat + 365$ – длительность вегетационного сезона (Håkanson, Boulion, 2001).

$Pt = 23.2 * (SDA / Dmean)^{0.62}$ – цветность воды, град. (Бульон, 2007).

$TP = TPin / Dmean$ – концентрация общего фосфора, мкг/л.

$DAN = 40$ – ассимиляционное число хлорофилла, мг C / (мг сут).

$V_{php} = 0.3$ – скорость оборота биомассы фитопланктона, сут⁻¹.

Анализ модели показывает, что отклик продуктивности наземной экосистемы на изменение климатических факторов, в частности, температуры не является мгновенным. Для достижения равновесного состояния при новых внешних условиях требуются десятки лет. Также продуктивность озера реагирует на изменение фосфорной нагрузки с водосборной площади с длительной задержкой. Скорость реакции зависит от времени оборота воды в озере, которое составляет для оз. Кривого ~ 9 лет.

Питание оз. Кривого на 30% обеспечивается атмосферными осадками. Следовательно, нагрузка содержащимся в осадках фосфором оказывает значительное влияние на продукцию фитопланктона и в отличие от нагрузки с водосборной площади является быстро действующим фактором внешней

среды. Анализ модели показал, что эмпирически установленные концентрации хлорофилла (0.5-1.1 мкг/л, в среднем за вегетационный сезон) и величины продукции фитопланктона (150-260 ккал/(м² год)) возможны при суммарной фосфорной нагрузке 0.024-0.040 г/м² год, нагрузке атмосферным фосфором 0.003-0.020 г/м² год, содержании фосфора в осадках 0.06-0.039 мкг/л.

С помощью модели выполнен прогноз продуктивности озера при двух значениях температурной аномалии – 0.5 и 1°C. По первому сценарию годовая сумма осадков возрастет на 20 мм, по второму сценарию – на 40 мм. Продолжительность вегетационного сезона увеличится соответственно на неделю и две недели. Из-за удлинения вегетационного сезона возрастет годовая величина продукции фитопланктона – на 15 и 30%. Таким образом, из анализа модели следует, что экосистемы северных озер, отличающиеся укороченным вегетационным сезоном, очень чувствительны даже к незначительным изменениям погодных условий.

Литература

1. Бульон В.В. Влияние географических факторов на первичную продукцию озерных и наземных экосистем // Водные ресурсы, 2007. Т. 34. № 5. С. 565-572.
2. Информационные ресурсы по биоразнообразию. <http://www.sci.aha.ru/biodiv>
3. Исаченко А.Г. Основные вопросы физической географии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. 391 с.
4. Коплан-Дикс И.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К. Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л.: Наука, 1985. 182 с.
5. Кучеров И.Б., Головина Е.О., Чепинога В.В., Гимельбрант Д.Е., Максимов А.И., Максимова Т.А. Сосновые леса и редколесье Карельского берега Белого моря (Республика Карелия) // Труды КарНЦ РАН, 2009. № 4. С. 30-52.
6. Лит Х. Моделирование первичной продуктивности Земного шара // Экология, 1974. № 2. С. 13-23.
7. Литвиненко А.В., Филатов Н.Н., Лозовик П.А., Карпечко В.А. Региональная экология: эколого-экономические основы рационального использования водных ресурсов Карелии // Инженерная экология, 1998. № 6. С. 3-13.
8. Лозовик П.А., Потапова И.Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы, 2006. Т. 33. № 1. С. 111-118.
9. Моисеев Б.Н., Алябина И.О. Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомасс России // Использование и охрана природных ресурсов в России. Бюл. Министерства природных ресурсов РФ, 2004. № 1. С. 61-69.
10. Назарова Л.Е. Изменчивость гидрологических характеристик водосбора Онежского озера под влиянием климатических воздействий. Автореф. ... канд. геогр. наук. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 24 с.
11. Озерецковская Н.Г. Физико-географические и гидрохимические особенности озер Кривого и Круглого // Биологическая продуктивность северных озер. Т. 1. Л.: Наука, 1975. С. 10-31.
12. Придня М.В., Ромашин А.В. Исследования развития лесных экосистем водосборов на основе моделей // Электронный журнал «Исследования в России», 2003. № 113. С. 1422-1431.
13. Brylinsky M., Mann K.H. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs // Limnol. Oceanogr. 1973. V. 18. № 1. P. 411-453.
14. Dillon P.J., Rigler F.H. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes // Limnol. Oceanogr. 1974. V. 19. № 5. P. 767-773.
15. Håkanson L., Boulion V.V. A practical approach to predict the duration of the growing season for European lakes // Ecol. Model. 2001. V. 140. P. 235-245.
16. Håkanson L., Boulion, V.V. The Lake Foodweb – modelling predation and abiotic/biotic interactions. Leiden: Backhuys Publishers, 2002. 344 p.
17. Nürnberg G.K., Shaw H. Productivity of clear and humic lakes: nutrients, phytoplankton, bacteria // Hydrobiologia. 1998. V. 382. № 1-3. P. 97-112.
18. Schindler D.W. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwater // Limnol. Oceanogr. 1978. V. 23. № 3. P. 478-486.
19. Schuur E.A.G. Productivity and global climate revisited: the sensitivity of tropical forest growth to precipitation // Ecology. 2003. V. 84. № 5. P. 1165-1170.
20. Straškraba M. The effects of physical variables on freshwater production: analyses based on models // The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge: Univ. Press, 1980. P. 13-84.
21. Whittaker R.H., Likens G.E. The biosphere and man // Primary production of the biosphere. Berlin: Springer-Verlag, 1975. P. 305-328.
22. World Lake Database. <http://www.ilec.or.jp/database> Валькова С.А.

СОСТАВ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФИРОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ВЗВЕСЬЮ

Введение

Губа Белая – узкий залив в юго-восточной части плёса Большая Имандра, который на протяжении более чем 60 лет загрязняется отходами апатито-нефелинового производства обогатительных фабрик ОАО “Апатит – комплексными, преимущественно нефелиновыми шламами, токсичными флотореагентами, а также фенолами, нефтепродуктами, плохо очищенными хозяйственно-бытовыми стоками предприятий и городов Апатиты и Кировск. Хвостовая пульпа АНОФ-2 транспортируется по трубопроводам в хвостохранилище, созданное в губе Белой (объём 57 млн. м³) путём отчленения от озера большей части этой губы дамбой. Здесь пульпа отстаивается. Хвосты АНОФ-1 направляются по трубопроводам в хвостохранилище, построенное в верховьях реки Жемчужной, где они тоже отстаиваются, после чего транспортируются по руслу этой реки, а затем по Апатитскому обводному каналу – в открытую часть Белой губы (Чижиков, 1980).

В результате более чем полувекового периода, в течение которого в залив поступают загрязняющие вещества, экосистема губы Белой характеризуется высокими концентрациями фосфора, сульфатов, хлоридов в воде и донных отложениях. Прозрачность воды здесь в среднем за вегетационный период в течение 1960-90-х гг. колебалась от 1.1 до 1.9 м (Яковлев, 1998), что значительно ниже, чем на других участках озера. В большей степени низкая прозрачность воды в губе Белой обусловлена поступлением в водоем большого количества тонко размолотых частиц горных пород, взвесь которых и определяет высокую мутность воды.

Материалы и методы. Исследования донных биоценозов проводили в период с мая по август 2012 г., всего отобрана 10 проб зообентоса из глубоководной части губы белая и 6 проб на литорали.

Отбор и анализ проб бентоса проводили согласно ГОСТ 17.1.3.07-82, с использованием рекомендованных стандартных методик (Методическое..., 1991; Руководство..., 1992). Пробы из глубоководных участков губы Белая отбирали с помощью дночерпателя Экмана-Берджа с площадью захвата грунта 290 см², в зоне литорали с помощью гидробиологического сачка (площадь рамки 25×25 см). Численность животных определяли путем прямого подсчета особей в пробе под биноклем МС-2ZOOM при 8^x увеличении. Для получения данных по сырой биомассе животных взвешивали на аналитических весах. Таксономическую идентификацию беспозвоночных проводили с использованием следующих источников: Определитель пресноводных беспозвоночных... (1977), определители В.Я. Панкратовой (1970, 1977, 1983), Краткий определитель... (Чертопруд, 2010), определитель беспозвоночных под редакцией С.Я. Цалолихина (Цалолихин, 2000, 2001, 2004). После идентификации, подсчета численности и биомассы беспозвоночных фиксировали в 70⁰ спирте с примесью глицерина.

Результаты и обсуждение. Литоральный комплекс представлен 9 систематическими группами. Наиболее многочисленны в пробах ручейники сем. Limnephilidae и Hydropsychidae, мошки (Simuliidae), полужесткокрылые (Corixidae, *Sigara* sp.) и хирономиды, единично встречались жесткокрылые (имаго и личинки сем. Dytiscidae), поденки (сем. Neptagenidae), пиявки *Glossiphonia complanata* L. и брюхоногие моллюски *Lymnaea ovata* L.

Основу профундальных донных биоценозов формировали 4 систематические группы – хирономиды, олигохеты, двустворчатые моллюски и амфиподы. Численность бентоса варьировала от 1700 до 9600 экз/м², биомасса от 8 до 47 г/м², средние значения составляли 7500 экз/м² и 36 г/м², что достоверно выше показателей, наблюдаемых как для плеса Большая Имандра так и плесов Йокостровская Имандра и Бабинская Имандра. Трофический статус вод в губе Белая и плесе Большая Имандра в настоящее время согласно “шкале трофности” С.П. Китаева (1984) оценивается как β-эвтрофный (рис. 1).

В непосредственной близости от места поступления загрязняющих веществ (≈ 500 м от дамбы отстойника отходов) количественные показатели и структура сообществ определяются олигохетами-грунтофагами *Tubifex tubifex* (Muller) и *Limnodrilus hoffmeisteri* (Muller) и двустворчатыми моллюсками *Eugles* sp. С удалением от места поступления в водоем загрязняющих веществ возрастает доля хирономид, в основном устойчивых к дефициту кислорода предпочитающих

эвтрофные условия личинок рода *Chironomus* (*Chironomus dorsalis*, *Chironomus nigrifrons*, *Chironomus gr. plumosus*), появляются реликтовые амфиподы *Monoporeia affinis*. На расстоянии 2 км от дамбы отстойника структура бентоса аналогична таковой на незагрязненных участках плеса Большая Имандра (рис. 2).

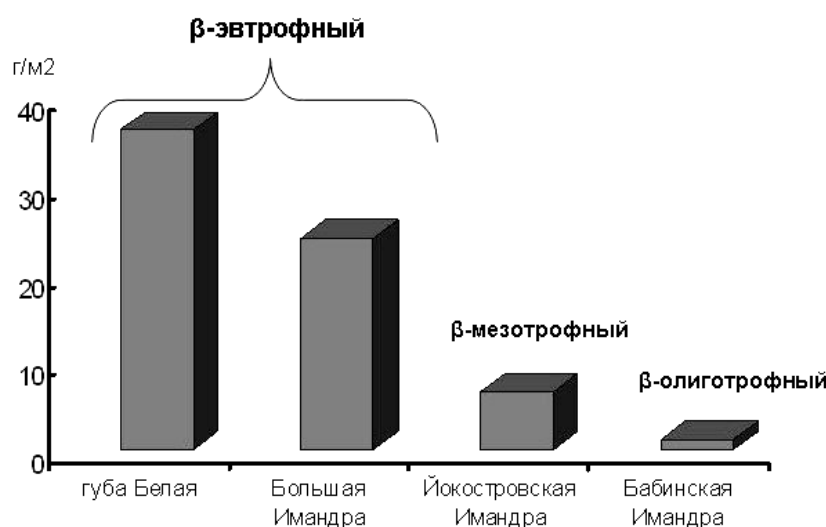


Рис. 1. Биомасса бентоса и трофический статус разных плесов оз. Имандра

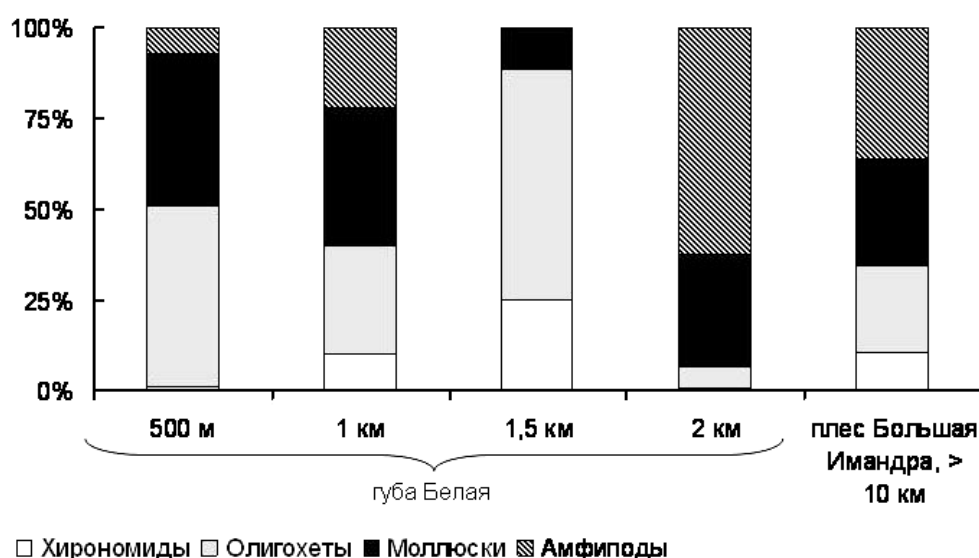


Рис.2. Структура донных биоценозов на разных участках губы Белая (%)

Ретроспективный анализ данных показывает что, в непосредственной близости от дамбы отстойника экологическая ситуация за последнее десятилетие претерпела ряд изменений, свидетельствующих о процессах восстановления бентосных сообществ. В донных биоценозах по-прежнему доминируют наиболее устойчивые к загрязнению минеральной взвесью олигохеты-грунтофаги, однако их доля в сообществах снизилась в среднем с 75% до 50%, увеличилась относительная плотность двустворчатых моллюсков *Eugles sp.*, появились не регистрировавшиеся здесь ранее хирономиды подсемейства Orthoclaadiinae – индикатор мезосапробных условий *Prodiamesa olivacea* Meigen и олигосапроб *Momodiamesa sp.*, а также бокоплавы *Monoporeia affinis*. Сохраняется тенденция снижения численности бентоса, обусловленное сокращением обилия олигохет, в тоже время значения биомассы донных биоценозов остались на прежнем уровне, составляя в среднем за 2011-2012 гг. 10 г/м², при сезонных флуктуациях от 7 до 14 г/м², что обусловлено описанными выше изменениями в структуре бентоса (рис. 3).

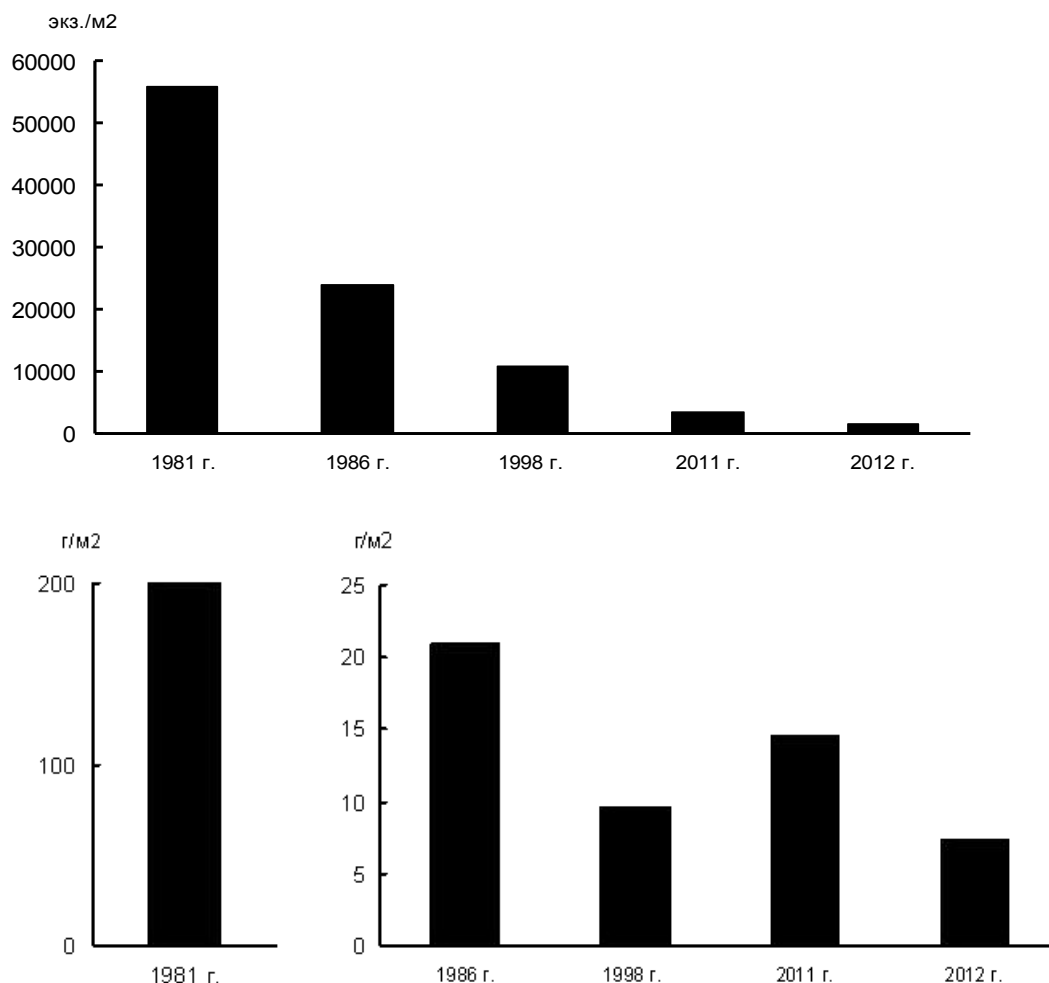


Рис. 3. Многолетняя динамика численности и биомассы бентоса губы Белая (данные за 1981-1998 гг. – Антропогенные..., 2002)

Заключение

Таким образом, сообщества зообентоса губы Белой характеризуются обедненным таксономическим составом и олигодоминантной структурой на фоне высоких значений численности и биомассы. Постоянное поступление загрязнённых вод приводит к снижению количественных показателей и изменениям в таксономической структуре зообентосных сообществ в заливе, воды которого характеризуется высоким содержанием фосфора, азота и алюминия. В центральной части акватории водоема происходит постоянное перераспределение загрязнителей, которое обусловлено разбавлением поступающими в губу Белую водами, перемешиванием течениями и зависит от сезона. Это позволяет предполагать, что состав и структура зообентосных сообществ относительно чистой части водоема в первую очередь определяется характером грунтов и глубиной и в меньшей степени – загрязнением. Дополнительной причиной замедленного восстановления экосистемы губы Белой, вероятно, служит и измененный гидрологический режим водных масс в этом районе в связи со строительством дамбы отстойника твердых отходов и изменением русла реки Большой Белой, что обусловило развитие анаэробных процессов в грунтах и придонном слое воды.

Литература

1. Кутаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 204 с.
2. Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос) / Отв. ред. Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.
3. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / Под общ. ред. С.Я. Цалолыхина. Том 4. Двукрылые насекомые. Санкт-Петербург Наука, 2000. 997 с.

4. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / Под общ. ред. С.Я. Цалолыхина. Т. 5. Высшие насекомые.. СПб.: Наука, 2001. 825 с.
5. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / Под общ. ред. С.Я. Цалолыхина. Т.6. Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб.: Наука, 2004. 528 с.
6. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейств Podonominae и Tanypodinae фауны СССР. Л.: Наука, 1977. 154 с.
7. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Chironomidae фауны СССР. Л.: Наука, 1983. 295 с.
8. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Orthoclaadiinae фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 344 с.
9. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.
10. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В.А. Абакумов и др. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
11. Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 179 с.
12. Чижиков В.В. Гидрохимия и донные отложения озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения // Экосистема озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1980. С. 24-64.
13. Яковлев В.А. Реакция зоопланктона и зообентоса на изменение качества воды субарктического водоема (на примере озера Имандра) // Вод. ресурсы, 1998. Т. 25, № 6. С. 715-723.

Вандыш О.И., Черепанов А.А.

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

ЗООПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ОЗЕРА КУЭТСЪЯРВИ В МНОГОЛЕТНЕМ РЯДУ ИССЛЕДОВАНИЙ

Усиление антропогенного воздействия приводит к изменению условий существования организмов, что отражается на видовом составе, количественных показателях, соотношении отдельных таксономических групп, структуре популяций зоопланктеров (Израэль, Гасилина, Абакумов, 1981).

Зоопланктонное сообщество, являясь большой и сложной частью экосистемы озера, тесно связано со всеми остальными звеньями биоты (фито- и бактериопланктоном, рыбами, бентосом), отражает общее состояние водоема и служит надежным индикатором качества вод (Андроникова, 1993). Зоопланктон играет важную роль в процессах самоочищения и формирования качества воды, а изменения в сообществе отражают особенности эколого-санитарного состояния водоема в целом (Яковлев, 1998).

Цель работы - оценка состояния зоопланктонного сообщества оз. Куэтсъярви в многолетнем ряду наблюдений при воздействии сточных вод горно-промышленного производства (к-т «Печенганикель»).

Отбор проб зоопланктона оз. Куэтсъярви проводился в период гидробиологического лета 1993-2012 гг. Количественные пробы отбирались батометром (объем 6 литров) от поверхности до дна через 1 м с выделением слоев: поверхность – 2 м; 2-5 м, 5-10 м, 10 м–дно. Качественные – тотально качественной сетью Апштейна. Фиксатор – раствор Люголя. Схема станций отбора проб представлена на рис. 1.

Обработку проб и необходимые расчеты проводили согласно общепринятым методикам гидробиологического мониторинга (Руководство..., 1992). В диагностических целях чаще используются структурные характеристики, а не функциональные, что связано с методическими трудностями получения их количественных оценок (Андроникова, 1993). Очень важен выбор наиболее информативных показателей, которые определяются целями мониторинга.

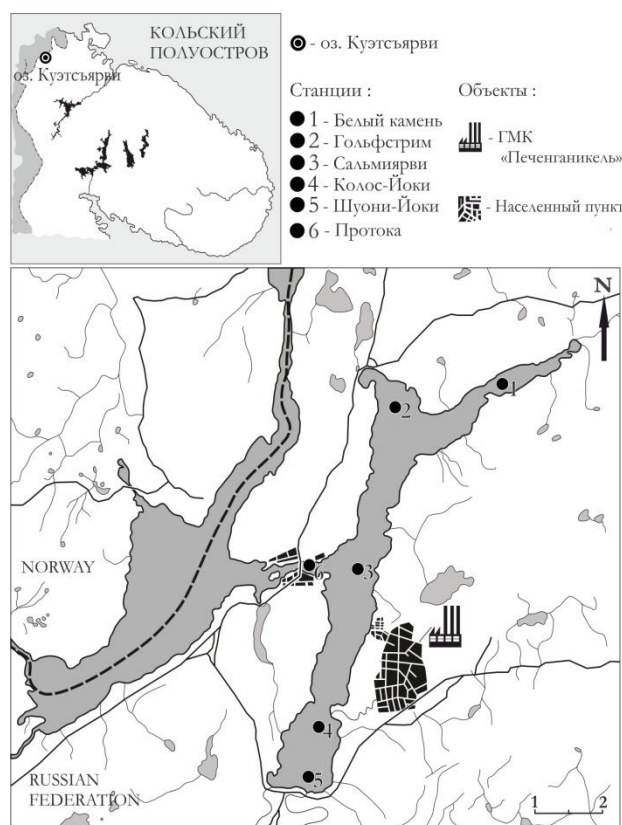


Рис. 1. Карта-схема отбора проб

Наибольшее влияние на состояние окружающей среды в исследуемом районе оказывает ГМК «Печенганикель», который является частью Кольской горно-металлургической компании – дочернего предприятия ОАО ГМК «Норильский Никель». Оз. Куэтсьярви является приемником загрязненных шахтных вод, содержащих в своем составе минеральные соли, взвеси, тяжелые и другие металлы, сбрасываемых в р. Колос-Йоки с месторождения Каула-Котсельваара, а также хозяйственно-бытовых (от пгт. Никель) и сельскохозяйственных стоков, вследствие чего происходит загрязнение его органическими веществами и биогенными элементами. В результате переработки медно-никелевого сырья образуется большое количество газообразного диоксида серы (SO_2) (Доклад..., 2012). Следует отметить, что на протяжении всего периода исследований содержание основных загрязняющих веществ в воде озера (Ni , Cu , $\text{N}_{\text{общ}}$) превышало региональные фоновые значения: Ni – 83.5-132.5 мкг/л (фоновое – 1.0 мкг/л), Cu – 5.6-13.0 мкг/л (фоновое – 1.0 мкг/л), $\text{N}_{\text{общ}}$ – 216.0-309.5 мкг/л (фоновое – 94.0-142.0 мкг/л). Концентрация $\text{P}_{\text{общ}}$ (4.0-5.5 мкг/л) не превышала фоновых показателей (1.0–8.0 мкг/л), что, вероятно, связано с потреблением данного элемента организмами фитопланктона.

В период исследований 1993-2012 гг. в составе зоопланктонного сообщества оз. Куэтсьярви было выявлено 29 таксонов видового ранга: Rotifera – 13, Cladocera – 7, Cyclopoida – 7, Calanoida – 2 (табл. 1). В разные периоды исследований преобладали коловратки *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Notholca* sp., *Polyarthra* sp. и ветвистусые рачки-фильтраторы *Bosmina obtusirostris* и *Daphnia cristata*.

Для установления видового состава в период исследований 1993–1994 гг. были отобраны только качественные пробы зоопланктона. Общее количество видов 13–16. В составе руководящего комплекса организмов преобладали коловратки *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и ветвистусые ракообразные *Bosmina obtusirostris* и *Daphnia cristata*.

В 1996 г. на станции 2 было выявлено 12 видов организмов: Rotifera – 8, Cladocera – 1, Cyclopjida – 2, Calanoida – 1. Доминировали коловратки *Keratella quadrata*, *Notholca* sp. и *Polyarthra* sp.

Анализ наиболее информативных структурных и функциональных показателей выявил, что величины общей численности и биомассы были низкими и составляли 62.0 тыс. экз/м³ и 0.2 г/м³ соответственно. Соотношение основных таксономических групп Rotatoria:Cladocera:Copepoda отражает преобладание коловраток по численности и кладоцер по биомассе. Индекс видового разнообразия Шеннона по численности $H(N)$ 2.4 бит/экз. По «шкале трофности» данная акватория относилась к α -олиготрофному типу (табл. 2).

Таблица 1

Таксономический состав зоопланктона оз. Куэтсьярви
(гидробиологическое лето 1993, 1994, 1996, 1998, 2010, 2012 гг.)

Таксоны	1993	1994	1996	1998	2007	2010	2012
Rotifera							
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	–	+	+	+	+	+	+
<i>Bipalpu shudsoni</i> (Imhof)	–	–	–	+	+	+	+
<i>Brachionus calyciflorus</i> Wierzejski	–	–	–	–	–	+	+
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet	–	+	–	–	–	–	–
<i>Epiphanes senta</i> (Muller)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	+	+D	+	+	+D	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	+D	+	+	+	+D	+D	+D
<i>Keratella quadrata</i> (Muller)	–	–	+D	+D	+	+	?
<i>Notholca</i> sp.	–	+	+D	+	+	+	+D
<i>Polyarthra</i> sp.	+	+	+D	+D	+D	+D	+D
<i>Synchaeta</i> sp.	+	+	+	+	–	–	+
<i>Rotatoria</i> sp.	–	–	+	–	+	+	–
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	–	–	–	+	–	+	+
Число видов в группе	5	7	8	9	8	11	9
Cladocera							
<i>Alonopsis elongata</i> Sars	+	–	–	–	–	–	–
<i>Bosmina obtusirostris</i> Sars	+D	+D	+	+	+D	+	+
<i>Chydorus ovalis</i> Kurz	–	–	–	–	–	–	+
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller)	–	+	–	+	–	–	–
<i>Daphnia cristata</i> Sars	+	+D	–	+	–	+	+
<i>Daphnia longispina</i> O.F. Muller	–	–	–	–	+	–	–
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	+	+	–	+	–	–	+
Число видов в группе	4	4	1	4	2	2	4
Cyclopoida							
<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fisher)	–	–	–	–	–	+	+
<i>Acanthocyclops</i> sp.	–	+	+	–	–	–	–
<i>Cyclopos</i> sp.	–	–	–	+	+	+	+
<i>Cyclops scutifer</i> Sars	+	+	–	+	–	–	–
<i>Cyclops vicinus</i> Uljan	–	–	–	–	+	–	+
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars	+	+	–	–	–	–	–
<i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus	+	+	+	+	–	+	–
Число видов в группе	3	4	2	3	2	3	3
Calanoida							
<i>Eudiaptomu sgracilis</i> Sars	+	+	+	+	–	–	+
<i>Eudiaptomus graciloides</i> Lilljeborg	–	–	–	–	+	–	–
Число видов в группе	1	1	1	1	1	–	1
Общее число видов	13	16	12	17	13	16	17

Примечание: «+» – присутствие вида, «–» – отсутствие. D – доминирующий вид.

В 2010 г. на станциях 1, 2, 3, 4 было обнаружено 16 таксонов видового ранга: Rotifera – 11, Cladocera – 2, Cyclopoida – 3. Представители группы Calanoida в пробах отсутствовали. Доминировали коловратки *Keratella cochlearis* и *Polyarthra* sp.

Таблица 2

Структурные показатели зоопланктонного сообщества оз. Куэтсъярви в многолетнем ряду наблюдений

Показатели	1996 г.	1998 г.			2007 г.	2010 г.				2012 г.			
	Станции отбора проб												
	2	2	5	6	2	1	2	3	4	1	3	4	5
Rot: Clad: Cop, %N _{общ}	83.3: 8.3: 8.4	88.8: 9.6: 1.6	74.7: 21.4: 3.9	80.0: 17.3: 2.7	87.6: 9.0: 3.4	96.1: 2.8: 1.1	96.1: 2.5: 1.4	96.6: 2.9: 0.5	87.8: 7.9: 4.3	99.4: 0.3: 0.3	99.3: 0.4: 0.2	98.8: 0.7: 0.5	99.2: 0.6: 0.2
Rot: Clad: Cop, %B _{общ}	17.2: 58.4: 21.1	24.1: 68.8: 7.1	13.5: 79.9: 6.6	21.5: 62.7: 15.8	9.5: 47.2: 43.2	51.0: 46.8: 2.2	66.6: 32.0: 1.4	37.8: 60.9: 1.3	34.7: 61.9: 3.4	89.8: 3.3: 6.9	80.9: 7.6: 11.4	86.6: 5.8: 7.5	75.2: 12.8: 12.1
N общая (тыс. экз/м3)	62.0	68.0	36.5	44.7	131.6	147.0	80.8	120.9	28.7	790.3	1229.9	1062.4	722.8
B общая (г/м ³)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.2	0.1	0.1	0.09	2.3	1.7	3.5	1.3
H(N) бит/экз.	2,4	2.0	2.4	2.6	1.9	2.0	1.9	1.7	1.9	1.8	1.5	1.5	1.2
B _{Crust} /B _{Rot}	4.8	3.1	6.3	3.6	9.4	0.9	0.5	1.6	1.9	0.2	0.2	0.2	3.2
N _{Clad} /N _{Cop}	0.9	6.1	5.5	6.4	2.6	2.4	1.7	6.5	1.8	1.2	1.6	1.3	2.5
B ₃ /B ₂	0.3	0.2	0,1	0.5	0.5	0.1	0.01	0.06	0.1	0.9	0.7	0.9	0.8
w=B/N (мг)	0.004	0.003	0.006	0.006	0.005	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002
Трофический статус	α-олиго-трофный	α-олиго-трофный	α-олиго-трофный	α-олиго-трофный	β-олиго-трофный	α-олиго-трофный	α-олиго-трофный	α-олиго-трофный	α-олиго-трофный	β-мезо-трофный	α-мезо-трофный	β-мезо-трофный	α-мезо-трофный

Примечание: N_{Rot} , N_{Clad} , N_{Cop} – численность коловраток, кладоцер и копепод; B_{Rot} , B_{Clad} , B_{Cop} – биомасса коловраток, кладоцер, копепод, B_3 – биомасса хищного зоопланктона, B_2 – «мирного».

В 1998 г. на **станциях 2, 5, 6** было обнаружено 17 таксонов видового ранга: Rotifera – 9, Cladocera – 4, Cyclopoida – 3, Calanoida – 1. По-прежнему преобладали коловратки *Keratella quadrata* и *Polyarthra* sp.

Величины общей численности были низкими и колебались в пределах 36.5–68.0 тыс. экз/м³, биомасса – 0.2 г/м³. Соотношение основных таксономических групп Rotatoria:Cladocera:Copepoda свидетельствует о превалировании коловраток в величине общей численности и кладоцер в величине общей биомассы. Индекс Шеннона варьировал от 2.0 до 2.6 бит/экз., тип трофности – α -олиготрофный.

В 2007 г. на **станции 2** было зарегистрировано 13 видов зоопланктона: Rotifera – 8, Cladocera – 2, Cyclopoida – 2, Calanoida – 1. По-прежнему доминировали коловратки *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и *Polyarthra* sp.

Величины общей численности и биомассы организмов были выше, чем в предыдущие годы на исследованных станциях и составляли 131.6 тыс. экз/м³ и 0.7 г/м³ соответственно. По численности также преобладали коловратки, по биомассе – кладоцеры. Индекс Шеннона 1.9 бит/экз., тип трофности – β -олиготрофный.

Самые высокие показатели численности для данного периода исследований были зарегистрированы на **станциях 1 и 3** (147.0 и 120.9 тыс. экз/м³ соответственно), самые низкие – на **станции 4** (28.7 тыс. экз/м³). Биомасса варьировала в пределах 0.09–0.2 г/м³, индекс Шеннона – 1.7–2.0 бит/экз.

Соотношение основных таксономических групп Rotatoria:Cladocera:Copepoda в величине общей численности отражает преобладание коловраток (87.8–96.6% общей численности). В величине общей биомассы на **станциях 1, 2** преобладали коловратки (51.0, 66.6%), на **станциях 3, 4** – ветвистоусые ракообразные (60.9, 61.9% общей биомассы соответственно) (табл. 2). Тип трофности – α -олиготрофный.

В результате обобщения данных многолетних (1993–2010 гг.) исследований было выявлено, что количественные показатели зоопланктонного сообщества варьировали в пределах 36.5–147.0 тыс. экз/м³ по численности и 0.09–0.7 г/м³ по биомассе. Индекс видового разнообразия Шеннона колебался от 1.7 до 2.6 бит/экз.

Анализ соотношения основных таксономических групп Rotatoria:Cladocera:Copepoda в величине общей численности и биомассы и показателей B_{Crust}/B_{Rot} отражает преимущественное преобладание по численности коловраток на протяжении данного периода исследований, по биомассе – ценных в кормовом отношении ветвистоусых ракообразных ($B_{Crust}/B_{Rot} > 1$, за исключением станций **1 и 2** в 2010 г.). Кладоцеры по численности преобладали над веслоногими ($N_{Clad}/N_{Cope} > 1$), мирные формы над хищными ($B_3/B_2 < 1$). Средняя индивидуальная масса зоопланктона сообщества ($w=B/N$) невысока (0.001–0.006 мг), что также характеризует преобладание организмов, имеющих мелкие размеры, – коловраток. Тип трофности – переходный от α - к β -олиготрофному (табл. 2).

В 2012 г. на **станциях 1, 3, 4, 5** было выявлено 17 видов организмов: Rotifera – 9, Cladocera – 4, Cyclopoida – 3, Calanoida – 1. По-прежнему доминировали коловратки *Keratella cochlearis*, *Notholca* sp. и *Polyarthra* sp.

Следует отметить аномально высокие величины общей численности и биомассы по сравнению с предыдущими периодами исследований (численность 722.8–1229.9 тыс. экз/м³, биомасса 1.3–3.5 г/м³). В величине общей численности и биомассы преобладали коловратки ($B_{Crust}/B_{Rot} < 1$), которые составляли > 90% общей численности и 75% общей биомассы. Однако индекс Шеннона был невысок (1.2–1.8 бит/экз.), что отражает усиление доминантности отдельных видов коловраток и создание монокультур из устойчивых к загрязнению форм. Ветвистоусые ракообразные по численности преобладали над веслоногими ($N_{Clad}/N_{Cope} > 1$), мирные формы над хищными ($B_3/B_2 < 1$). Средняя индивидуальная масса зоопланктона сообщества ($w=B/N$) невысока (0.001–0.002 мг), что также отражает превалирование мелкоразмерных форм с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения (коловраток). Тип трофности – переходный от α - к β -мезотрофному (табл. 2).

Высокие количественные показатели зоопланктона в 2012 г., вероятно, связаны с периодом отбора проб (июль – период максимального функционирования сообщества), доступностью и обилием пищи (численность водорослей достигала 343.1 млн экз/м³, биомасса – 1.37 г/м³), а также с повышенным содержанием в воде азотсодержащих веществ ($N_{общ}$ 272.0–305.0 мкг/л), что в итоге

привело к увеличению трофического статуса водоема. Это результат комплексного воздействия природных и антропогенных факторов.

Полученные данные дополняют сведения об ответной реакции гидробионтов на воздействие сточных вод горнопромышленных предприятий, а также о возможности использования зоопланктонного сообщества как надежного индикатора при оценке состояния водных экосистем. Раскрытие закономерностей и понимание механизмов функционирования зоопланктонного сообщества в оз. Куэтсьярви требует продолжения систематических гидробиологических и гидрохимических исследований.

Литература

1. Андроникова И.Н. Классификация озер по уровню биологической продуктивности // Теоретические вопросы классификации озер. СПб., 1993. С. 51-72.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2011 году. Мурманск: ООО «Ростсервис», 2012, 152 с.
3. Израэль Ю.А., Гасилина Н.К., Абакумов В.А. Гидробиологическая служба наблюдений и контроля поверхностных вод в СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Тр. II Советско-Английского семинара. Л., 1981. С. 7-15.
4. Яковлев В.А. Реакция зоопланктона и зообентоса на изменение качества воды субарктического водоема (на примере озера Имандра) // Водные ресурсы, 1998. Т. 25, № 6. С. 715.

Галахина Н.Е., Лозовик П.А.

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

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КОСТОМУКШСКОГО ГОК'А

Формирование химического состава поверхностных вод происходит за счет выпадения осадков, выщелачивания химических веществ на водосборной территории, а также в результате протекания внутриводоемных процессов. Процессы формирования химического состава поверхностных вод зоны техногенеза рассмотрены на примере водных объектов района г. Костомукша, водоемы и водотоки которого находятся под влиянием Костомукшского горно-обогатительного комбината (ГОК) (ОАО «Карельский окатыш»). Деятельность комбината связана с добычей и переработкой железистых кварцитов Костомукшского, а в последние годы и Корпалгского месторождения, в высококачественное сырье – железорудные окатыши. Костомукшский ГОК оказывает существенное техногенное влияние на окружающую среду.

Источником мощного антропогенного воздействия комбината на водную среду являются техногенные воды и отвалы вскрышных пород (Поверхностные воды..., 2001; Лозовик, Кулакова, 2009; Лозовик и др., 2010). К техногенным водам относятся рудничные воды, вода хвостохранилища, воды, фильтрующиеся через тело плотины и с отвалов вскрышных пород. В определенной степени к техногенным водам можно отнести и воды отводных каналов (южного и северо-западного), которые были созданы для отведения вод с водосборной территории хвостохранилища. В каналы частично поступают фильтрационные воды с отвалов и из хвостохранилища. В результате разбавления и протекания геохимических процессов вода в них существенно отличается от техногенных вод и по составу занимает промежуточное положение между последними и природными водами. Отвалы вскрышных пород могут являться источником сильнее техногенного влияния (Dudka, Adriano, 1997), поскольку они становятся причиной образования дренажных вод с низкими величинами pH и высокими концентрациями металлов (Wong et al., 1997), поступающих в поверхностные водные объекты.

Техногенные воды выделяются очень высокой минерализацией и соотношением главных ионов. Наибольшую $\Sigma_{\text{и}}$ имеют воды, фильтрующиеся из отвалов вскрышных пород (до 6394 мг/л при фоновом значении 20 мг/л) (рис. 1).

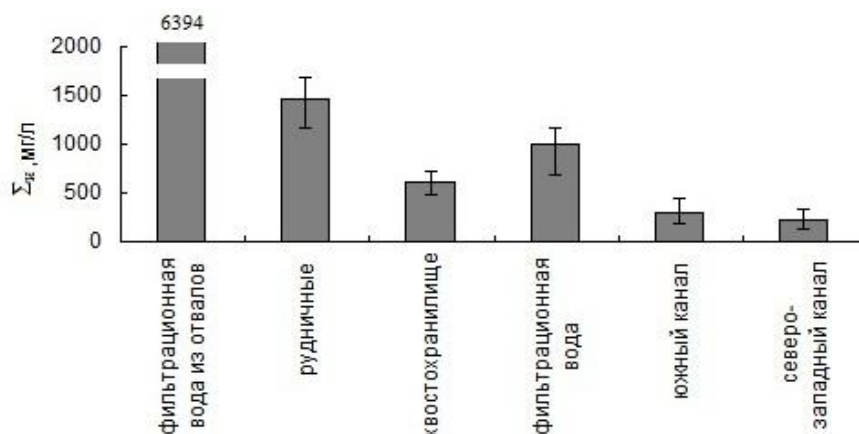


Рис. 1. Минерализация ($\Sigma_{и}$) техногенных вод и отводных каналов

Рудничные воды имеют $\Sigma_{и}$ в среднем 1500 мг/л. В воде хвостохранилища $\Sigma_{и}$ достигает 650 мг/л и она почти в 3 раза меньше, чем в рудничной. Несмотря на то, что вода хвостохранилища используется для оборотного водоснабжения, незначительное время контакта воды с породой в технологическом цикле (около 1 суток) не приводит к существенному обогащению воды солями. Кроме того, поступление вод с водосборной территории хвостохранилища и атмосферных осадков на его поверхность приводит к разбавлению его вод. Фильтрационная вода имеет почти в 2 раза большую $\Sigma_{и}$, чем вода хвостохранилища. Фильтрация воды через дамбу приводит к дополнительному поступлению солей по сравнению с водой хвостохранилища.

Техногенные воды отличаются между собой по ионному составу. Для рудничных вод характерно преобладание ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} , а в некоторых случаях и NO_3^- . Большей частью эти воды соответствуют гипсовым, что является типичной картиной для рудничных вод. Фильтрационная вода, как и рудничные, относится к сульфатно-кальциевому типу. Вода хвостохранилища по ионному составу относится к сульфатно-калиевому типу. Ионный состав южного канала очень близок к составу воды хвостохранилища, что свидетельствует о их поступлении в южный канал. Очень необычным ионным составом выделяются воды, фильтрующиеся из отвалов вскрышных пород. Они относятся к сульфатно-магниевому типу. На ионном составе воды северо-западного канала отражается поступление в него вод, фильтрующихся из отвалов. Воды южного канала генетически близки к водам хвостохранилища, рудничной и фильтрационной.

Высокое содержание ионов K^+ в воде хвостохранилища обуславливает аномальные соотношения ионов щелочных металлов Na^+ и K^+ (среднепогодное 0.11) и щелочно-земельных к щелочным (среднепогодное 0.54), которые в природных водах не встречаются, что существенно сказывается на выживаемости некоторых гидробионтов (Дубровина и др., 1995).

Основным источником поступления калия в техногенные воды являются, прежде всего, биотиты, источник магния – биотиты и амфиболы, натрия и кальция – щелочные амфиболы, щелочные роговые обманки, а также постоянно присутствующий в железистых кварцитах минерал кальцит (Горьковец и др., 2002). Источником неорганических соединений серы служит минерал пирит (FeS_2) (Горьковец и др., 2002), который окисляется с образованием гидроксида железа (нерастворимый минерал – лимонит) и серной кислоты (Оллиер, 1987; Kleinmann et al., 1981; Lowson, 1982).

Для техногенных вод Костомукшского ГОКа, за исключением фильтрационных вод, характерно высокое содержание азотсодержащих веществ, среди которых преобладают нитраты, достигающие в последние годы 9.3 мгN/л в воде хвостохранилища и 39.0 мгN/л в рудничной воде центрального карьера (рис. 2). В фильтрационных водах концентрация NO_3^- составляет 0.06 мгN/л и находится на уровне регионального фона. По-видимому, при фильтрации воды через дамбу активно идет химическая денитрификация.

Высокие концентрации азотсодержащих веществ в рудничных водах обусловлены их поступлением при буровзрывных работах при добыче руды. В воду хвостохранилища они поступают с рудничными водами, а также в результате растворения азотсодержащих веществ, находящихся в виде остатков взрывчатых веществ на руде, при ее технологической переработке. В фильтрационной воде из отвала содержание нитратов достигает 52.8 мгN/л, а в водоеме рядом с отвалом оно снижается до 34.2. В водах южного и северо-западного отводных каналов содержание

азотсодержащих веществ повышено ($N_{\text{общ}}$ – 1.6 и 3.7 мг/л соответственно) и связано это с влиянием техногенных источников, но их содержание намного меньше, чем в воде хвостохранилища и рудничных водах.

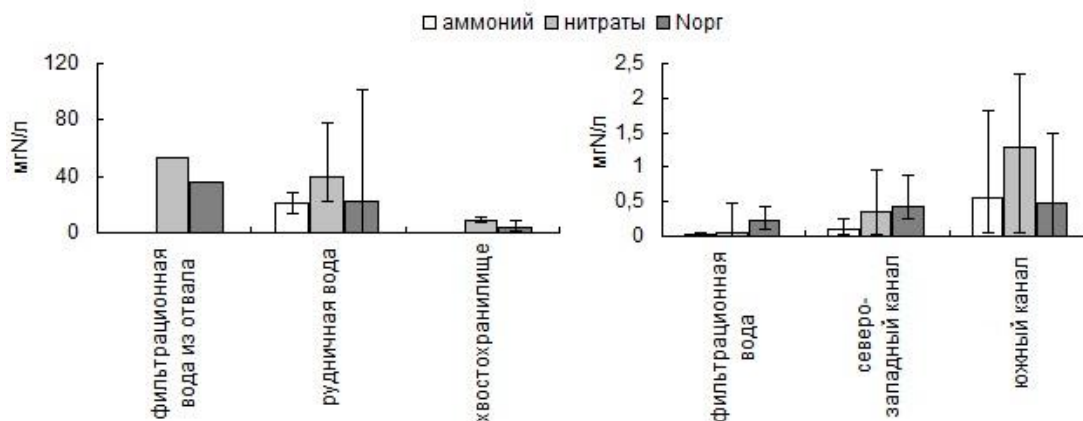


Рис. 2. Содержание азотсодержащих веществ в техногенных водах и отводных каналах

В ряде случаев техногенные воды характеризуются очень высоким содержанием микроэлементов, прежде всего Ni, Li и Mn (табл. 1). Самое большое содержание Ni, Li, Mn и Al отмечено в кислой фильтрационной воде из отвалов (pH 4.5) (Ni – 3910 мкг/л, Li – 137 мкг/л, Mn – 24.4 мг/л, Al – 29210 мкг/л), тогда как уже в поверхностном источнике вблизи отвалов (pH 6.9) концентрации Ni и Al резко падают. Никель является спутником железа, а Al – широко представленным в алюмосиликатах, и при взаимодействии кислых растворов с породами происходит их активное выщелачивание. Как только среда становится близкой к нейтральной, происходит гидролиз их солей и снижение концентрации в воде. На фоне других микроэлементов концентрации Fe не столь контрастны в техногенных водах и находятся на уровне концентраций, наблюдающихся в водах гумидной зоны. Степень гидролизруемости солей никеля, марганца, меньше чем солей железа, и это обуславливает их повышенные концентрации в техногенных водах по сравнению с Fe.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в техногенных водах Костомукшского ГОКа и отводных каналах

Объект	Fe	Mn	Li	Ni	Cu	Al
	мг/л		мкг/л			
Рудничная	1.38	0.51	37	124.0	1.5	19
Фильтрационная	1.01	0.30	6	7.5	1.1	34
Хвостохранилище	0.57	0.21	98	21	1.0	62
Фильтрационная вода из отвала	0.58	24.43	137	3910	27.9	29210
Водоем рядом с отвалом	0.1	1.99	53	465	5.9	18
Южный канал	1.96	0.64	7	5.1	0.6	34
Северо-западный канал	1.10	0.68	7	3.0	0.4	130

В фильтрационной воде и в водоотводных каналах содержание микроэлементов повышено по сравнению с природным фоном, но оно ниже ПДК этих элементов для рыбохозяйственных водоемов. Концентрация лития в фильтрационной воде в 2.5 раза ниже, чем в воде хвостохранилища. Повышенные концентрации лития наблюдаются в тех водах, где больше калия, что связано с их совместным выщелачиванием при переработке руды и при взаимодействии воды с породой в естественных условиях. В тоже время карбонаты лития труднорастворимы в воде, а калия очень хорошо растворимы. По этой причине, по-видимому, наблюдается снижение концентраций лития в воде при ее фильтрации через дамбу плотины.

На основании представленной характеристики техногенных вод Костомукшского ГОКа можно сделать вывод о том, что к компонентам, определяющим их специфику, относятся, прежде всего, сульфаты, калий, нитраты, Li, Ni, Mn, а также минерализация воды и соотношение главных ионов.

Особенности состава техногенных вод подтверждаются и лабораторными опытами по выщелачиванию руды (Кулакова, Лозовик, 2011, 2013). Среди минеральных компонентов наиболее быстро происходило выщелачивание HCO_3^- , K^+ , Ca^{2+} и SO_4^{2-} , тогда как поступление в воду Na^+ и Mg^{2+} шло значительно медленнее. При этом из руды центрального карьера больше выщелачивалось ионов K^+ , Ca^{2+} и SO_4^{2-} , но несколько меньше HCO_3^- , чем из руды остальных карьеров. Следует отметить, что в многолетнем плане в воде хвостохранилища наблюдается тенденция роста концентрации SO_4^{2-} и уменьшения гидрокарбонатов (Лозовик и др., 2010). Лабораторные опыты показали, что из руды в воду поступает очень много минеральных веществ ($\Sigma_{\text{и}} - 618$ г/т), в том числе калия (89 г/т) и сульфатов (74 г/т), и азотсодержащих соединений (199 г/т).

Техногенные воды, поступающие в систему р. Кенти, в результате действия природных и техногенных факторов претерпевают существенные изменения. Так, в результате разбавления техногенных вод за счет боковой приточности в системе р. Кенти происходит снижение минерализации воды от верхних озер к нижним. Кратность разбавления техногенных вод в верхних озерах составляет 1-2, в нижних – 3-5. В тоже время аномальное соотношение ионов щелочных металлов и щелочно-земельных к щелочным сохраняется одинаковым по всей системе. Причиной этого является низкое содержание главных ионов в природных водах, поступающих в систему р. Кенти с водосбора. По системе наблюдается снижения содержания азотсодержащих соединений, причем оно не пропорционально кратности разбавления техногенных вод, что связано с утилизацией части нитратов. Из микроэлементов наблюдается снижение концентрации Li, Ni за счет разбавления, но в тоже время увеличивается концентрация алюминия, что связано с его поступлением с водосборной территории с приточными водами, имеющими слабокислую реакцию среды. В свою очередь техногенные воды способствуют снижению содержания органического вещества и уменьшению цветности воды в озерах системы р. Кенти.

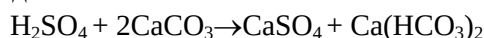
На основании изменчивости ионного и микрокомпонентного состава техногенных вод и отводных каналов, особенностей состава каждого в отдельности типа вод, а также опытов по выщелачиванию компонентов из руды можно выделить следующие физико-химические и геохимические процессы, обуславливающие состав техногенных вод и его изменение в результате влияния природных факторов (Кулакова, Лозовик, 2012):

1. Окисление сульфидов железа, входящих в состав руды, с образованием кислой среды:

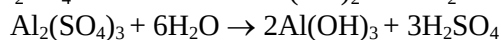


2. Взаимодействие кислых вод с породами, сопровождающееся интенсивным выщелачиванием Al^{3+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} .

3. Нейтрализация кислых вод при их взаимодействии с силикатными и карбонатными породами на водосборной территории, сопровождающаяся увеличением содержания гидрокарбонатов и величины pH воды:

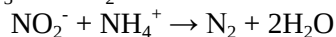
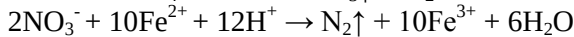
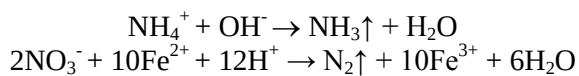


4. Гидролиз солей алюминия, никеля, марганца, железа при нейтрализации среды и выпадения в осадок их гидроксидов. Окисление Mn (II) до Mn (IV), Fe (II) до Fe (III):



5. Растворение части азотсодержащих веществ (NH_4^+ , NO_3^- , тринитротолуола и других соединений) в воде при буровзрывных работах и поступление их из руды при ее технологической переработке и из отвалов вскрышных пород.

6. Потеря части азотсодержащих веществ из воды в результате протекания физико-химических и биохимических процессов:



Многолетние исследования техногенных вод Костомукшского ГОКа и системы р. Кенти, а также результаты лабораторного моделирования показали, что влияние комбината на окружающую

среду уменьшается за счет геохимических, физико-химических и микробиологических процессов, протекающих на водосборной территории и в самих водоемах. В зоне техногенеза происходит активное выщелачивание компонентов из руды и вскрышных пород, но дальнейшее взаимодействие кислых фильтрационных вод с почвами и подстилающими породами приводит к усилению гидролиза солей и выпадению в осадок гидроксидов тяжелых металлов и алюминия. Увеличение концентрации Al по системе р. Кенти от верхних к нижним озерам происходит в результате его поступления со слабокислыми приточными водами с водосборной территории и не связано с антропогенным влиянием. Концентрации азотсодержащих веществ снижаются в результате протекания химических и биохимических процессов их трансформации. В целом следует констатировать, что антропогенное влияние на систему р. Кенти уменьшается от верхних к нижним озерам не только в результате разбавления, но и в результате протекания внутриводоемных процессов. В воде остаются только те компоненты, соединения которых хорошо растворимы и обладают наибольшей миграционной способностью (K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni). В результате влияния техногенных и природных факторов по системе р. Кенти сформировался генетически близкий сульфатно-калиевый тип вод с повышенным содержанием нитратов, лития и никеля по сравнению с природными водами региона.

Литература

1. Горьковец В.Я., Раевская М.Б., Калинкина Н.М., Кухарев В.И., Морозов А.К. Источники поступления минеральных компонентов в техногенные воды Костомукшского ГОКа и их влияние на гидробионтов // Карелия и РФФИ. Петрозаводск, 2002. С. 22-23.
2. Дубровина Л.В., Калинкина Н.М., Лозовик П.А. Факторы токсичности для гидробионтов техногенных вод Костомукшского ГОКа // Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти. Петрозаводск, 1995. С. 15-25.
3. Кулакова Н.Е., Лозовик П.А. Экспериментальное выщелачивание руды Костомукшского и Корпангского железорудных месторождений // Труды КарНЦ РАН, 2011. № 4. С. 98-102.
4. Кулакова Н.Е., Лозовик П.А. Анализ влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду с учетом природно-техногенных факторов формирования и трансформации вод // Вода: химия и экология, 2012. № 2. С. 18-25.
5. Кулакова Н.Е., Лозовик П.А. Использование физико-химического моделирования для оценки влияния предприятий горнодобывающей промышленности на водную среду // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки», 2013. № 3. С. 47-51.
6. Лозовик П.А., Калмыков М.В. Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Химический состав воды озерно-речной системы р. Кенти // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 106-112.
7. Лозовик П.А., Калмыков М.В., Дубровина Л.В. Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Химический состав техногенных вод // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 100-106.
8. 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.
9. Лозовик П.А., Калмыков М.В., Кулакова Н.Е. Многолетняя динамика изменения режима системы р. Кенти под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОКа // Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения: материалы докл. Всерос. конф. (Апатиты, 4-8 октяб. 2010 г.). Апатиты, 2010. С. 203-208.
10. Оллиер К. Выветривание. М.: Недра, 1987. 348 с.
11. Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск, 2001. 168 с.
12. Dudka S., Adriano D.C. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. // J. Environ. Qual. 1997, vol. 26. P. 590-602.
13. Kleinmann R.L.P., Crerar D.A., Pacelli R.R. Biogeochemistry of acid mine drainage and a method to control acid formation // Mining Engineering. 1981, vol. 33. P. 300-305.
14. Lowson R. Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen // Chem. Rev. 1982. V. 82, № 6. P. 461-497.
15. Wong J.W.C., Ip C.M., Wong M.H. Acing-forming capacity of lead-zinc mine tailings and its implication for mine rehabilitation // Environ. Geochem. Health. 1998, vol. 20. P. 149-155.

Георгиев А.П.

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск

a-georgiev@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЫБ СЕМЕЙСТВА ОКУНЕВЫХ (PERCIDAE) В СЕВЕРНОЙ (КАРЕЛЬСКОЙ) ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ АСПЕКТЕ

Акватория карельской части (7.802 тыс. км² или 44% от общей) расположена больше к северу и северо-востоку. В северной части берега озера изрезанные, высокие и скалистые, сложены кристаллическими породами. Сочетание полуостровов, узких проливов, заливов и островов образуют специфический шхерный район. Рельеф дна северной (карел.) части сложный, глубоководные впадины чередуются с мелководными участками. Северная часть – самая глубоководная (макс. глубина 225 м), с узкой полосой литоральной зоны (мелководья). Из-за сложных условий рельефа дна северная часть трудна для рыбодобычи, в отличие от южной, более мелководной части. Основными промысловыми районами являются: участки от Габановского маяка до м. Погранкондуши по восточному побережью, у островов Валаамского и Западного архипелага, Мانتинсаари, Парго, Воссинансаари, в предустьевых участках рек Видлица, Олонка и Тулокса. Карельская (северная) часть Ладожского озера занимает около 44% от общей акватории и в ней добывают от 15 до 24% суммарного улова рыбы.

В течение последних 60 лет добыча рыбы в Ладожском озере значительно сократилась и в настоящее время она не превышает 600 т/год. Использование рыбных ресурсов в карельской части (как и в ленинградской) в определенной мере носит односторонний характер, обусловленный рыночным спросом на определенную рыбу. В последнее десятилетие усилилась тенденция многих пользователей рыбными ресурсами на вылов в основном, а иногда и исключительно, ценных видов рыб. Запасы же некоторых крупночастиковых (налима), всех мелкочастиковых (окунь, плотва, ерш и др.) и массовых видов (ряпушки, корюшки) далеко не в полную силу используются промыслом, в соответствии с их продукционным потенциалом (Кудерский, 2000, 2009). Селективный промысел обуславливается факторами экономического порядка – при практически равных с добычей ценных видов трудозатратах, товарная стоимость мелкочастикового улова значительно меньше, а также существуют проблемы с его сбытом на рынке. Говоря о цифрах официальной статистики уловов в северной части Ладожского озера, следует учитывать факт, что они не в полной мере учитывают действительные объемы вылова, поскольку статистика не учитывает браконьерский лов, а также уловы, реализуемые рыбаками-профессионалами без какой-либо регистрации (Георгиев, Черепанова, 2011).

Не ставя перед собой задачу, проанализировать причины такой ситуации, неоднократно обсуждавшейся в литературе, автор предпринял попытку оценить динамику добычи, запасы и возможный вылов рыб семейства окуневых (судак, окунь, ерш) в условиях Ладожского озера.

Судак – *Sander lucioperca* L., единственный представитель семейства окуневых который, наряду с сигом в Ладожском озере, является важным объектом для промышленного и любительского рыболовства. В данной связи этот объект рассмотрим более подробно. Распространен он повсеместно, но придерживается прибрежной зоны (до изобаты 12 м). Основные участки промысла судака сосредоточены на местах его наибольших концентраций: Видлицкий рыбопромысловый район (от устья Тулоксы до Дедовых островов), районы островов Мانتинсаари, Парго, Воссинансаари, в акваториях Валаамского и Западного архипелагов. Основная масса судака (не менее 90%) отлавливается крупноячейными ставными сетями (ячейка не менее 65 мм), до 4-5% приходится на долю ставных неводов и 1-2% – на заклы. Сезонность лова судака проявляется в значительно меньшей степени, чем при ловле сига, судак ловится на протяжении всего календарного года, хотя наибольшие его уловы имеют место в раннелетний (июнь) и осенний (сентябрь) периоды. По объемам добываемой продукции судака Ладожское озеро стабильно удерживает первенство среди карельских водоемов.

Как можно судить (табл. 1) популяция судака карельской части ладожского озера используется достаточно интенсивно. Последние годы характеризуются высокими показателями вылова судака, хотя процентное соотношение его выловам по сезонам промысла практически не изменилось (Георгиев, 2013).

Таблица 1

**Вылов представителей семейства окуневых карельской части Ладожского озера
в уловах в % (усредненный)**

Годы	Судак		Окунь		Ерш	
	т	% от общ. вылова	т	% от общ. вылова	т	% от общ. вылова
1950-1955	21.0	3.7	25.7	4.5	0.1	0.0
1956-1960	14.3	2.8	18.8	3.6	1.3	0.2
1961-1965	44.1	9.8	9.6	2.1	0.0	0.0
1966-1970	41.1	8.0	9.5	1.9	0.0	0.0
1971-1975	82.8	12.2	15.1	2.2	0.0	0.0
1976-1980	135.1	19.5	16.0	2.3	0.0	0.0
1981-1985	155.3	22.3	19.8	2.9	23.8	3.4
1986-1990	144.1	21.7	16.6	2.5	9.3	1.4
1991-1995	65.0	13.1	5.3	1.1	0.4	0.1
1996-2000	67.6	20.7	8.3	2.5	2.1	0.6
2001-2005	107.2	20.4	34.7	6.6	6.7	1.3
2006-2010	125.9	17.7	70.5	9.9	5.9	0.8
2011	131.0	20.3	99.5	15.4	5.0	0.8
2012	56.5	15.2	48.9	13.1	1.5	0.4

В 2012 г. вылов судака составил 56.5 т или 15.2% общего улова по акватории, находящейся в пределах РК. За 2007-2012 гг. вылов судака в северной части Ладожского озера по официальным данным был очень стабилен (117.5-133.8 т), уровень освоения ОДУ доходил до 96% (табл. 2). В 2012 г. уловы судака, как и сига по данным официальной статистики упали более, чем в два раза.

Таблица 2

**Вылов и уровень освоения ОДУ судака в карельской части Ладожского озера
(данные СевНИИРХ ПетрГУ; Гос. доклад, 2013)**

Годы промысла	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общий официальный вылов, т	117.5	126.7	123.24	133.8	131.0	56.48
Прогноз ОДУ, т	140	145	142	140	144	135
Уровень освоения ОДУ, %	83.9	87.3	83.6	95.6	90.1	41.8
Экспертная оценка улова, т	136	143	140	139	143	110

Если проанализировать динамику промысловых уловов судака северной Ладоги (табл. 1) в многолетнем аспекте, а именно за последние 60 лет, то для него, как и для многих других промысловых рыб можно отметить ряд подъемов и спадов в их вылове. В зависимости от продолжительности проявления этих флуктуаций их можно охарактеризовать как короткопериодные и долгопериодные колебания уловов. Короткопериодные колебания уловов можно связать с урожайностью поколений одного или нескольких смежных лет, обусловленной в свою очередь рядом естественных факторов (гидрологическим режимом, степенью развития кормовой базы для рыб, паразитологической ситуацией и т.п.). Долгопериодные колебания уловов обычно связываются с изменением продукционного потенциала водоёма в целом, также предопределяемым многолетней динамикой воздействия естественных факторов. Возрастной состав судака в промысловых уловах 2009-2012 гг., как и в предшествующие годы, характеризовался присутствием большого числа возрастов (от 2+ до 20+ лет и более), но старшие возрастные группы (от 13 лет и выше) были представлены незначительно. Модальными возрастными группами были семилетки (6+) и восьмилетки (7+) - 19.1 и 23.2% соответственно. В целом в уловах доминировали шести - десяти лет – на их долю пришлось 62.1% всего выловленного судака. Промысловая мера – 40 см. Несмотря на существующий довольно интенсивный вылов судака, признаки перелова популяции в настоящий период не наблюдаются. Об этом свидетельствует значительная доля "остатка" – рыб старших возрастных групп (20+ и старше) и пополнения.

Таким образом, анализ структуры уловов судака позволяет сказать, что в целом его популяция и промысловые запасы находятся в удовлетворительном состоянии. Несмотря на то, что антропогенный пресс на этот объект рыбодобычи остается очень интенсивным – фактический вылов (по экспертным оценкам) был близок к рекомендованным нормативам ОДУ, расчетные коэффициенты вылова в некоторых возрастных группах приблизились или даже превышали коэффициенты естественной смертности. Учитывая достаточно интенсивный вылов судака как со стороны промышленного, так и любительского (по лицензиям) рыболовства, а также значительный объем его изъятия при неучтенном (браконьерском) вылове, лимитирование промысловой базы и мониторинг за состоянием популяции должны оставаться приоритетными требованиями для сохранения запасов этого вида на достаточно высоком промысловом уровне.

Окунь – *Perca fluviatilis* L. В составе мелкого частика окуню принадлежит ведущее место. В озере этот вид распространен повсеместно и представлен двумя экологическими формами – мелкой прибрежной и крупной пелагической, придерживающейся более глубоководных участков водоема. Запасы окуня в озере значительны, но лишь в слабой степени используются промыслом. В промышленных уловах доминирует прибрежная форма окуня. Вылов окуня колеблется от 15.2 т (2004 г.) до 89.8 т (2008 г.). С 2004 г. наметилась тенденция к увеличению уловов окуня и в 2009 г. вылов его составил 107.2 т. Основная часть вылова окуня при промышленном лове падает на ставные невода и заводы. Орудиями лова рыболовов-любителей (чей улов не меньше промышленного) служат мелкочастиковые сети, мережи, катиски, а также различные крючковые снасти – удочки, жерлицы, дорожки, спиннинг. Основные среднелетние биологические показатели окуня из сетных уловов (2005-2012 гг.) отражены в таблице 3.

Таблица 3

Средние биологические показатели окуня в промысловых уловах (сети)
карельской части Ладожского озера.

Количество в уловах, %%	4+	5+	6+	7+	8+	9+	
	3.8	28.5	33.7	27.0	6.0	1.1	
Масса, г	92.7	159.0	188.3	293.7	345.3	461.7	216.3
Длина АД, см	17.2	19.6	20.8	23.0	25.0	26.6	21.3

Исходя из благоприятных условий воспроизводства, с учетом ретроспективных данных уловов, величин запаса, объем возможного вылова окуня в среднелетнем аспекте рекомендуется в размере 100-120 т при средней величине освоения ОДУ – 60-80%.

Ерш – *Gymnocephalus cernuus* L. В составе мелкого частика ерш является обычной, довольно многочисленной рыбой, но статистикой промысла он учитывается не ежегодно и далеко не в полном объеме его фактического вылова. Как и окунь, встречается в озере повсеместно, но придерживается литоральной зоны и мелководных каменистых участков (луд) в акватории водоема. Интенсивность промысла ерша низкая, обусловленная его низким рыночным спросом. В промысловых уловах ерш ловится ставными неводами и заводами, у любителей основными орудиями лова ерша можно назвать мелкочастиковые сети, мережи, катиски и удочки. В уловах встречается значительный возрастной ряд – от 2 до 10+ лет, доминируют 3+-5+-летние рыбы с массой 15-25 г. Продукционные возможности ерша, как и других мелкочастиковых рыб, промыслом используются незначительно, резервы вылова его значительны. По условиям размножения и нагула, ретроспективным оценкам запаса, допустимый улов его может быть в объеме 40 т. Возможный вылов ерша, за последние 5 лет снизился (2007 г. 40 т), при средней величине освоения ОДУ – 18-20%, прогнозировался в размере 10 т.

В целом, подытожив приведенную информацию, можно заключить, что суммарный вылов всех рыб, о которых шла речь, весьма значительна порядка 100–120 тонн в год, что составляет не менее 20% (в т.ч. 15% – судак) от добычи промысловых рыб Ладожского озера. По-видимому, запасы окуня и ерша остались практически неизменными в течение, по крайней мере, 60 последних лет на фоне падения добычи основных промысловых рыб Ладожского озера. Очевидно, что для более обоснованного суждения о промысловом потенциале этих видов необходим дополнительный масштабный сбор биологической информации. Однако, и на имеющемся уровне, можно сделать заключение о том, что промысловых усилий по эксплуатации, в первую очередь окуня и ерша, недостаточно. Необходимо развивать прибрежный лов, имеющий особо важное значение для местного населения.

Кроме того, в условиях Ладожского озера традиционный метод регулирования объемов вылова только по ОДУ, может быть заменен управлением рыболовства по его интенсивности. Количество орудий каждого типа, интенсивность их применения, а также численность рыбаков должны ежегодно нормироваться в зависимости от фактического состояния популяций рыб в конкретном году и утверждаться на научно-промысловом совете. Величина ОДУ при этом, будет служить граничным ориентиром управления запасами. При этом характер и интенсивность рыболовства во многих случаях являлись основной причиной кардинального изменения структуры и состояния запаса.

Литература

1. Георгиев А.П., Черепанова Н.С. Рыбный промысел в северной части Ладожского озера на современном этапе // Материалы VI Международной научной конференции «ZOOECENOSIS–2011. Биоразнообразие и роль животных в экосистемах» Днепропетровск, 2011. С. 59-62.
2. Георгиев А.П. Характеристика биологических показателей судака (*Sander lucioperca* L.) северной (карельской) части Ладожского озера // Материалы III Международная практической конференции «Перспективы развития научных исследований в 21 веке». Махачкала, 2013. С. 19-23
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2012 году. Петрозаводск: ООО «Два товарища», 2013. 328 с.
4. Кудерский Л.А. Состав и промысловое значение рыбного населения Ладожского озера / Рыбохозяйственное исследование больших озер Северо–Запада европейской части России: Сборник научных трудов. Вып. 334. СПб, 2009. С. 138-214.
5. Кудерский Л.А. Изменение рыбного населения Ладожского озера за последние 50 лет // Ладожское озеро: Мониторинг, исслед.соврем.состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 298-312.
6. Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. СПб.: Наука, 2002. 326 с.

Георгиев А.П.^{1,2}, Черепанова Н.С.¹

¹Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск

²Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
a-georgiev@mail.ru

РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБ СЕМЕЙСТВА (CYPRINIDAE) КАРПОВЫЕ В СЕВЕРНОЙ (КАРЕЛЬСКОЙ) ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Ладожское озеро, являясь крупнейшим рыбохозяйственным водоемом на Северо-Западе, играет ведущую роль в регионе и занимает второе место (после Онежского озера) по объему добываемой пресноводной рыбопродукции в Республике Карелия (РК). Площадь карельской части 7802 км² или 44% общей акватории Ладожского озера. При оценке его рыбохозяйственного статуса важна и качественная сторона уловов. На долю ценных объектов рыболовства в среднем приходилось около 40% (лососевые и сиговые -26%, судак 15%) всего промышленного улова. Использование рыбных ресурсов в карельской части Ладожского озера (как и в ленинградской) в определенной мере носит односторонний характер, обусловленный рыночным спросом на определенную рыбу. В последнее десятилетие усилилась тенденция многих пользователей рыбными ресурсами на вылов в основном, а иногда и исключительно, ценных видов рыб. Запасы же некоторых мелкочастиковых (окунь, плотва, ерш и др.) далеко не в полную силу используются промыслом, в соответствие с их продукционным потенциалом. Селективный промысел обуславливается факторами экономического порядка – при практически равных с добычей ценных видов трудозатратах, товарная стоимость мелкочастикового улова значительно меньше, а также существуют проблемы с его сбытом на рынке.

Семейство карповых по числу видов относительно других является лидером, хотя из 20 видов учитывается официальной статистикой, только пять. Основными промысловыми являются – лещ, плотва, язь (Георгиев, Черепанова, 2011) (рис. 1).

Уклея и густера до 1995 г в официальной статистике не учитывались, а на данный момент времени их среднесезонный суммарный вылов составляет около 3.5 т (максимальный 9.6 т – 2009 г.).

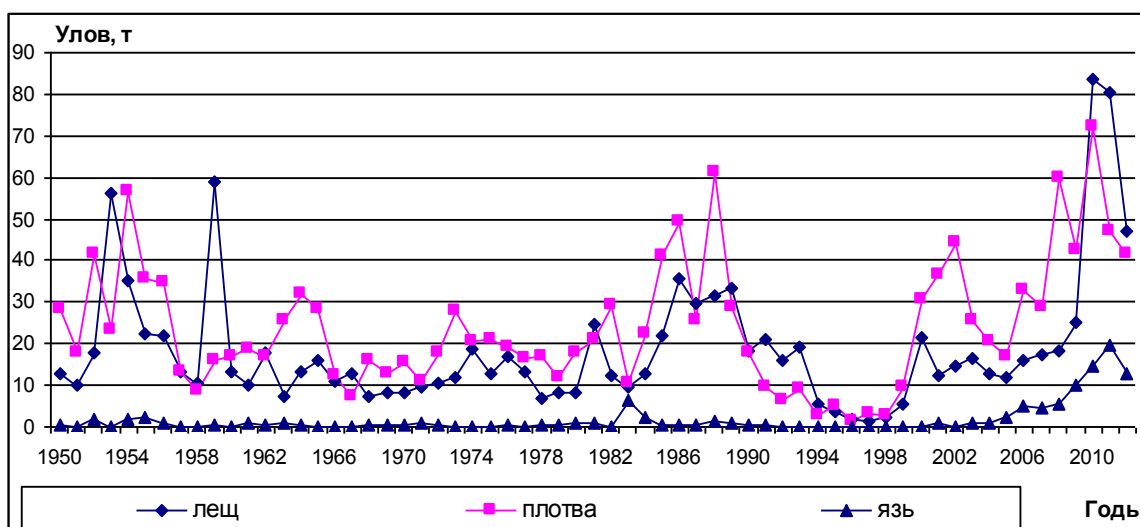


Рис. 1. Вылов леща, плотвы, язя в северной части Ладожского озера (1950-2012) (данные СевНИИРХ ПетрГУ; Гос. доклад., 2007-2013)

Лещ – *Abramis brama* L. В северной части озера лещ распространен повсеместно, но наибольшие его концентрации наблюдаются в шхерном районе, по Питкярантскому берегу, в заливах Салминском и Ууксинском, в акваториях островов Мансинсаари и Лункулансаари. В северо-западной части озера лещ обычен в уловах в предустьевых участках рек Хиитола и Куркиеки, у о-ва Хейнясенсаари, в Лахденпохском заливе. Основная масса леща при промышленном вылове залавливается крупночастиковыми ставными сетями (ячея не менее 60мм) и заколами. Хотя в общем объеме рыбодобычи на долю леща падает сравнительно небольшая часть, в целом на его долю приходится 1.5-3.0% общей добытой рыбопродукции, его можно отнести к числу важных промысловых рыб северной части Ладоги. Основная часть выловленного леща (до 90-95%) приходится на крупноячейные сети (ячея не менее 60мм), меньшая часть улова (5-10%) падает на ставные невода и заколы. Специального промышленного лова леща нет, он попадает в качестве прилова при ловле судака и сига в выставленные для этих рыб сети. Промысловая мера – 30 см. Среднемноголетние биологические параметры леща из уловов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Среднемноголетний размерно-возрастной состав леща в промысловых уловах в карельской части Ладожского озера

Возраст	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+	16+	17+	18+	19+
% в уловах	2.8	7.5	11.3	14.0	24.0	16.7	8.8	5.8	3.1	2.6	1.6	1.1	0.4	0.2
Масса, г	233	382	567	703	888	1111	1465	1677	1915	2083	2255	2315	2612	2954
Длина, АД, см	21.9	26.2	29.9	32.2	34.2	36.3	38.5	42.2	43.6	46.2	48.4	48.9	49.3	51.3

В сетных уловах лещ представлен довольно значительным количеством возрастных групп – 13: от 6+ до 19+ лет), доминирующее положение занимают 8+ – 13+ летние рыбы (до 75% улова) с массой 567-1700 г. Половозрелым становится в 6+ – 8+ лет.

За последние годы (2000-2013 г.г.) происходит увеличение вылова леща и средний годовой общий вылов его составляет 30 т (колебания 11.9-83.7 т). Доля леща в сетных уловах за последние годы возросла с 2.0 до 12.6%. При этом реализация прогнозируемого возможного вылова с каждым годом растет. В этой связи необходимо пересмотреть нормы вылова, так как в сложившихся условиях популяция леща в неуклонно растет (табл. 2).

Таблица 2

Вылов и уровень освоения ВВ леща в карельской части Ладоги (Гос. доклад., 2007-2013 гг.)

Годы промысла	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общий официальный вылов, т	17.4	18.5	25	83.775	80.58	47
Прогноз ВВ, т	24	25	25	27	27	86.4
Уровень освоения ВВ, %	72.5	74	100	310.3	298.4	54.4

Плотва – *Rutilus rutilus* L. как и большинство рыб мелкого частика – рыба прибрежного комплекса, притом многочисленна в литоральной зоне озера. Основные биологические показатели плотвы из сетных промысловых уловов при значительном возрастном ряде (от 4+ до 9+ лет), преобладают рыбы возраста 5+-7+ лет и массой 57-135 г (табл. 3).

Таблица 3

Среднемноголетний размерно-возрастной состав плотвы в промысловых уловах в карельской части Ладожского озера

Возраст	4+	5+	6+	7+	8+	9+
% в уловах	4.4	21.5	38.0	27.0	7.3	1.8
Масса, г	31.0	56.5	88.1	135.5	197.8	262.6
Длина, АД, см	12.7	14.9	17.7	19.7	22.6	24.3

В составе уловов мелкого частика плотва попеременно делит с окунем первое место по объему вылова. Рыболовы-любители плотву вылавливают в основном мелкочастиковыми сетями, а также на удочку. Интенсивность промысла плотвы невысокая, она имеет хорошие условия для воспроизводства, запас устойчив. Среднегодовой промышленный вылов плотвы за последние четыре года составил 32.4 т, или около 5.2% от общего промышленного улова. Несомненно, что заметная величина вылова приходится и на долю рыболовов-любителей. Уровень освоения ВВ – 30-80%. Средняя продукция плотвы по карельской части оценивается в 85-90 т при среднем уровне освоения ОДУ в 62%. Заявленные промысловые уловы плотвы, как в прочем и других рыб мелкого частика, не отражает производственных возможностей вида (табл. 4).

Таблица 4

Вылов и уровень освоения ВВ плотвы в карельской части Ладоги (Гос. доклад., 2007-2013 гг.)

Годы промысла	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общий официальный вылов, т	28.6	60	42.3	72.079	47.11	41.6
Прогноз ВВ, т	90	90	90	90	80	76.4
Уровень освоения ВВ, %	31.7	66.7	47.0	80.1	58.9	54.5

Язь – *Leuciscus idus* L. в озере встречается повсеместно, но не образует больших скоплений. Места его обитания часто совпадают с таковыми у леща, но численность популяции значительно меньше. Обычный размер язя из сетных и мережных уловов 20-25 см при массе 150-300 г. В уловах встречаются экземпляры массой до 2 и более килограмм и возрастом до 16 лет. Половозрелым язь становится в возрасте 5-6 полных лет. Промысловая мера – 22 см. Доля язя в общем вылове в последние пять лет варьировала в пределах 0.02-3.4% (0.7-5.5 т) от общего промышленного вылова. В 2010 г. выловлено 19.7 т язя (ВВ – 7 т), т.е. промысел не был своевременно остановлен (табл.5).

Таблица 5

Вылов и уровень освоения ВВ язя в карельской части Ладоги (Гос. доклад., 2007-2013 гг.)

Годы промысла	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общий официальный вылов, т	4.5	5.5	10.2	14.662	19.69	12.8
Прогноз ВВ, т	7	7	7	5	7	20.7
Уровень освоения ВВ, %	64.2	78.6	145.7	293.2	281.3	61.8

Густера – *Blicca bjoerkna* L. В Северной Ладоге густера встречается повсеместно, но наиболее многочисленна она в шхерном районе (особенно много ее в заливах в окрестностях г. Сортавала), а также в заливах и шхерах северо-западного побережья. Основная часть вылова густеры приходится на долю рыболовов-любителей. Как самостоятельный объект промысла густера далеко не всегда фигурирует в статистике уловов, обычно она учитывается вместе с другими видами (чаще всего в уловах с лещом). Значительная часть густеры вылавливается (без регистрации улова) рыболовами-любителями (сетями, катисками и удочкой).

Растет густера медленнее, чем лещ, уступает она лещу и по средней навеске в уловах – преобладают особи массой 140-230 г в возрастных группах 7-10 лет. Вылов её за последние годы

колеблется от 2.0 т (2012 г.) до 8.0 т (2010 г.). Превышение возможного вылова при этом составляло до 4.1 т (табл. 6).

Уклея – *Alburnus alburnus* L. постоянно присутствует в группе «мелочь». Как и у других рыб мелкого частика, основная часть уловов уклей приходится на рыболовов-любителей. В промысловых уловах (ставными неводами и заколами) основная масса уклей представлена возрастными группами на 3-4+ лет при массе 15-27 г. Как объект промысла уклей за последние годы отмечен статистикой вылова в небольших объёмах, уловы колеблются от 0.1 т (2012 г.) до 3.5 т (2008г) (табл. 7). Допустимый улов уклей на перспективу в северной части Ладожского озера можно рекомендовать в объеме 7-10 т.

Таблица 6

Вылов и уровень освоения ВВ густеры в карельской части Ладоги (Гос. доклад., 2007-2013 гг.)

Годы промысла	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общий официальный вылов, т	4.40	4.6	7.7	8.087	4.45	2
Прогноз ВВ, т	6	6	6	4	6	4.2
Уровень освоения ВВ, %	73.3	76.7	128.3	202.2	74.2	47.6

Таблица 7

Вылов и уровень освоения ВВ уклей в карельской части Ладоги (Гос. доклад., 2007-2013 гг.)

Годы промысла	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общий официальный вылов, т	1.0	3.5	1.9	0	0.002	0.1
Прогноз ВВ, т	5	5	6	5	5	0
Уровень освоения ВВ, %	20.0	70.0	31.7	0.0	0.0	0

Рост значимости карповых рыб в уловах на фоне снижения сиговых за последние 60 лет характерен и для других водоемов Карелии, что возможно связано некоторым потеплением климата на территории Республики Карелия (Георгиев, Назарова, 2014; Черепанова и др., 2014а, б, в;). Первыми на изменения климата (повышение температуры) реагируют экосистемы мелководных водоемов (Георгиев, 2013). Для более крупных озер процессы трансформации ихтиофауны происходят медленнее. В первую очередь это, возможно, связано с увеличением сроков нереста для весенненерестовых видов рыб (в первую очередь сем. карповых, окуневых). (Филатов и др., 2012; Филатов и др., 2013).

Значительная часть уловов рыб семейства карповых и, прежде всего, уловов рыболовов-любителей в шхерном районе и в заливах и шхерах Северо-Западного побережья не учитывается официальной статистикой. Любительский лов леща, плотвы, язя широко развит в северном (шхерном) районе, в акватории островов Мансинсаари и Лункулансаари, а также по всему Северо-Западному побережью водоема. В условиях Ладожского озера уловы карповых рыб за последние 10 лет колебались в пределах с 372 т до 772 т или 59 до 27.8% от общего вылова. В этой связи организациям занимающихся прогнозированием уловов необходимо обратить пристальное внимание на подобное увеличение численности карповых рыб в пресноводных водоемах Карелии. Продукционные возможности исследованных промысловых видов рыб позволяют в ближайшие годы обеспечить получение уловов на достаточно стабильном и высоком уровне.

Литература

1. Георгиев А.П., Черепанова Н.С. Рыбный промысел в северной части Ладожского озера на современном этапе // ZOOCENOSIS–2011. Биоразнообразие и роль животных в экосистемах: Матер. VI Международ. науч. конф. Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2011. С. 59-62.
2. Георгиев А.П. Трансформация ихтиофауны оз. Водлозеро (Карелия) в условия изменения климата // Рыбное хозяйство. 2013. № 6.
3. Георгиев А.П., Назарова Л.Е. Трансформация ихтиофауны в пресноводных экосистемах Республики Карелия в условиях изменчивости климата // Экология, 2014.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2006 году. Петрозаводск: Карелия, 2007. 308 с.
5. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2007 году. Петрозаводск: Карелия, 2008. 304 с.

6. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2008 году. Петрозаводск: Карелия, 2009. 288 с.
7. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2009 году. Петрозаводск: Карелия, 2010. 296 с.
8. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2010 году. Петрозаводск: ИП Андреев П.Н., 2011. 292 с.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2011 году. Петрозаводск: ИП Андреев П.Н., 2012. 294 с.
10. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2012 году. Петрозаводск: ООО «Два товарища», 2013. 328 с.
11. Филатов Н.Н., Георгиев А.П., Ефремова Т.В., Назарова Л.Е., Пальшин Н.И., Руховец Л.А., Толстиков А.В., Шаров А.Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на изменения климата // Доклады Академии наук, 2012. Т. 444, № 5. С. 554-557.
12. Филатов Н.Н., Руховец Л.А., Назарова Л.Е., Баклагин В.А., Георгиев А.П., Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Толстиков А.В., Шаров А.Н. Влияние изменений климата на экосистемы озер // Вестник РФФИ, 2013. № 2 (78). С. 43-50.
13. Черепанова Н.С., Георгиев А.П. Характеристика ихтиофауны и условий среды обитания водоемов Куйто (Карелия) в условиях зарегулирования стока // Вопросы рыболовства. 2014а (в печати)
14. Черепанова Н.С., Георгиев А.П. Состояние среды обитания и рыбных ресурсов Сегозерского водохранилища (Карелия) // Вопросы рыболовства. 2014б. (в печати)
15. Черепанова Н.С., Георгиев А.П., Ивантер Д.Э. Особенности видового состава и промысла Ондозерского водохранилища // Вопросы рыболовства. 2014. (в печати)

Горбачева Е.А.

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии
им. Н.М. Книповича, г. Мурманск
gorbach@pinro.ru*

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОКЛЕТОЧНОЙ ВОДОРОСЛИ *PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM*

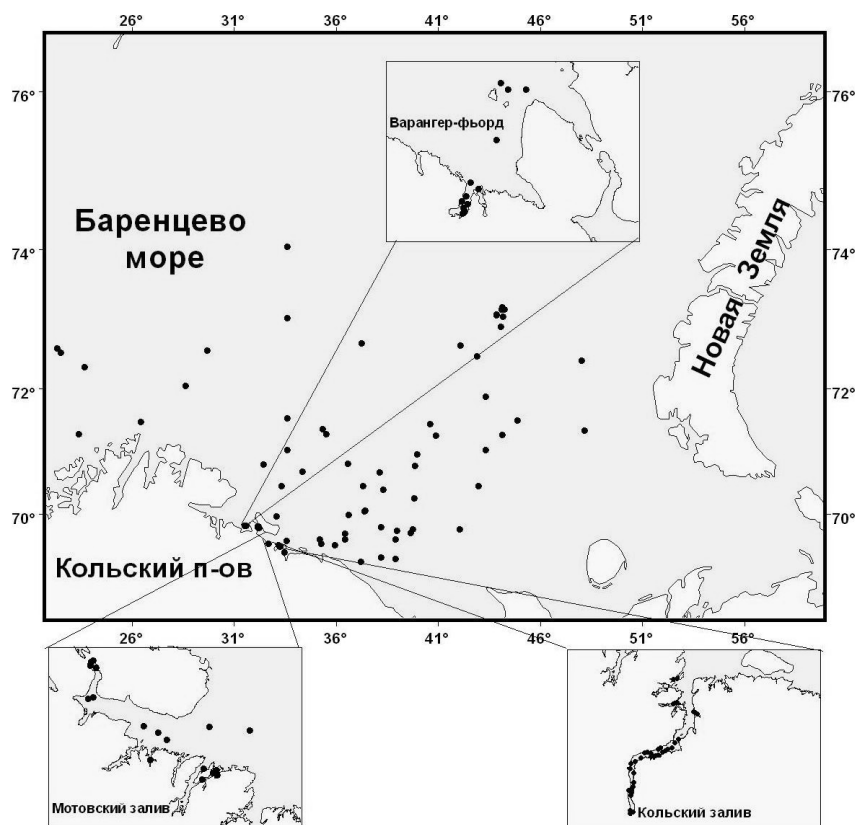
Биотестирование это методический прием для оценки качества окружающей среды по ответным реакциям живых организмов, являющихся тест-объектами. Оно характеризует качество среды по интегральному показателю «токсичность». Биотестирование позволяет учесть токсичность всех присутствующих в среде загрязняющих веществ и их метаболитов с учетом антагонистического и синергического влияния.

В нашей стране при оценке токсичности морских донных отложений, как правило, биотестированию подвергается вытяжка донных отложений. В качестве тест-объектов используются бактерии, инфузории, одноклеточные водоросли и морские ракообразные.

Применение в качестве тест-объекта микроводорослей обусловлено их экологической значимостью, высокой чувствительностью к различным загрязняющим веществам, часто превосходящей чувствительность других групп гидробионтов, и способностью к интенсивному биоконцентрированию химических примесей из водной среды.

Мы исследовали токсичность донных отложений, отобранных в прибрежных (Кольский и Мотовский заливы, Варангер-фьорд) и открытых районах Баренцева моря. В работе использованы данные о токсичности донных отложений, полученные в 2002-2013 гг. Расположение станций отбора проб представлено на рисунке.

Тест-объектом в наших исследованиях являлась морская золотистая водоросль *Phaeodactylum tricornutum*, которая рекомендована для определения токсичности морских вод и донных отложений, сточных вод разной степени солености и отработанных буровых растворов, сбрасываемых в морские воды.



Карта-схема района отбора проб донных отложений

Культивирование водоросли *Ph. tricornutum* осуществлялось на среде Гольдберга в модификации Кабановой, при освещенности 4000 лк и температуре 20-22°C. При постановке экспериментов использовали общепринятую методику (Руководство по определению..., 2002; ГОСТ Р 53910-2010). В качестве регистрируемого показателя выбрали изменение численности клеток водоросли.

При получении вытяжек каждую пробу донных отложений смешивали с морской водой из условно чистого района в объемном соотношении 1:4 и встряхивали в течение 2 ч. После смешивания суспензии давали отстояться 1 ч. Полученную надосадочную жидкость сливали и центрифугировали в течение 10 мин при скорости 4000 об/мин.

Наиболее часто токсичные для водоросли *Ph. tricornutum* донные отложения регистрировались в Кольском заливе. Этот район моря подвергается особенно высокому антропогенному воздействию. Наиболее урбанизировано южное колено залива, на побережье которого располагается г. Мурманск и ряд промышленных предприятий. Токсичными здесь оказались донные отложения 13 из 20 исследованных станций (65%). Сильно загрязнены донные отложения в районах размещения ПО «Судоверфь», рейдовых нефтеперегрузочных комплексов, свалок старых судов (у мыса Мишуков и Зеленого мыса), рыбного и торгового портов. Вытяжки, полученные из этих донных отложений, подавляли рост водоросли *Ph. tricornutum*. EC_{50} (концентрации, вызывающие 50%-ное по сравнению с контролем снижение численности клеток *Ph. tricornutum*) вытяжек составляли 3.7-37.2%.

Основным источником антропогенного воздействия в среднем колене Кольского залива является г. Североморск. Токсичные донные отложения зарегистрировали на 10 из 16 исследованных станций (62%). Уровень токсичности проб в этом районе ниже. Лишь для вытяжек донных отложений, отобранных в районе дампинга грунта и у пос. Белокаменка, удалось вычислить EC_{50} для *Ph. tricornutum*, которые составили 23.4 и 65.6% соответственно. В вытяжках из остальных проб, характеризующихся альгицидным действием, численность клеток водоросли снижалась менее чем на 50%.

В меньшей степени загрязнены донные отложения северного колена Кольского залива. В этом районе токсичные донные отложения обнаружили на 2 из 7 станций (29 %). Альгицидным действием характеризовались вытяжки донных отложений, отобранных в губе Тюва и на выходе из нее. Источником загрязнения в этом районе могла быть находящаяся в губе свалка старых судов.

Варангер-фьорд и Мотовский залив подвергаются меньшей антропогенной нагрузке, чем Кольский залив. Поллютанты поступают в эти районы вместе с водами Северо-Атлантического течения, в результате атмосферного переноса и из источников техногенного загрязнения, расположенных на побережье. В Варангер-фьорде токсичность донных отложений оценивали на 12, Мотовском заливе – на 17 станциях.

Токсичные для водоросли *Ph. tricornutum* донные отложения зарегистрировали лишь в бухте Озерко (Мотовский залив). Исследования в бухте проводили до начала геологоразведочных работ на побережье (2004 г.) и после их окончания (2009 г.). В более ранних исследованиях токсичные донные отложения (снижение численности клеток *Ph. tricornutum* в вытяжке до 56% от контроля) регистрировали только в районе действующего причала. После окончания геологоразведочных работ токсичные донные отложения (снижение численности клеток *Ph. tricornutum* в вытяжке до 61% от контроля) обнаружили и на станции в районе мыса Вестник, на расстоянии 700 м от буровой. На другой станции, расположенной в этом же районе, отмечали подавление размножения клеток *Ph. tricornutum* в начале эксперимента, которое в дальнейшем сменилось восстановлением и стимуляцией роста культуры водоросли. Это свидетельствует о присутствии поллютантов в среде в концентрациях, которые уже чувствительны для водоросли, но она способна приспособиться к такому уровню загрязнения и нормально развиваться в течение времени, ограниченного длительностью опыта. Такие донные отложения токсичными для *Ph. tricornutum* не считаются (ГОСТ Р 53910-2010). Вместе с тем наличие фазы кратковременного подавления роста культуры водоросли свидетельствует о более высоком загрязнении вытяжки токсичными для тест-объекта химическими соединениями по сравнению с вытяжками, в которых в течение всего опыта снижения численности клеток *Ph. tricornutum* не наблюдалось. Кратковременное угнетение размножения клеток водоросли отмечали также в вытяжках донных отложений, отобранных на двух станциях, расположенных в губе Печенга (Варангер-фьорд).

Основными источниками загрязнения открытых районов Баренцева моря являются транспорт загрязняющих веществ водами Северо-Атлантического течения, несущего загрязнение от побережья северной Европы, и атмосферный перенос. Согласно литературным данным содержание техногенных компонентов (тяжелых металлов, алифатических углеводородов, хлорорганических пестицидов, полихлорированных бифенилов) в донных отложениях открытых районов Баренцева моря, как правило, не превышает фоновых уровней (Современное состояние..., 2006).

В открытых районах Баренцева моря биотестированию подвергались донные отложения 62 станций. Токсичными для водоросли *Ph. tricornutum* оказались донные отложения только двух станций, одна из которых располагалась на Нордкинской банке, другая – в Западном Прибрежном промысловом районе. В вытяжках из донных отложений 12 станций отмечали подавление размножения клеток *Ph. tricornutum* в начале эксперимента, которое в дальнейшем сменялось восстановлением и стимуляцией роста культуры водоросли. Такое кратковременное подавление роста культуры *Ph. tricornutum* наблюдали в вытяжках донных отложений, отобранных на отдельных станциях Западного Прибрежного и Вайгачского промысловых районов, Центрального желоба, Мурманского мелководья, Финмаркенской, Новоземельской и Рыбачьей банок. Причем 50% станций, в вытяжках из донных отложений которых отмечали негативное (токсическое или кратковременное подавление роста культуры) воздействие на водоросли, располагались на участках распространения норвежских и мурманских прибрежных вод.

Необходимо отметить, что в вытяжках из донных отложений, отобранных в малозагрязненных районах моря, наблюдается стимуляция роста культуры *Ph. tricornutum* в течение всего эксперимента. Численность клеток водоросли в вытяжке может достигать 150-350% по сравнению с контролем. Стимуляция размножения клеток *Ph. tricornutum*, вероятно, обусловлена высокими концентрациями в вытяжках азота и фосфора. Так как в донных отложениях осуществляется регенерация и накопление биогенов, то повышенное их содержание может наблюдаться в вытяжках и в отсутствии какого-либо загрязнения. О способности соединений азота и фосфора переходить из донных отложений в их водные вытяжки свидетельствуют литературные данные (Методика получения водных..., 1994). Вместе с тем нельзя исключить возможность стимуляции роста культуры водоросли в отдельных вытяжках вследствие присутствия в них незначительных количеств загрязняющих веществ. Известно о стимулирующем влиянии на деление клеток водорослей невысоких концентраций токсикантов (Патин, 1979).

Пробы донных отложений, отобранные для изучения токсичности, подвергались и химическому анализу в лаборатории ФГУП «ПИНРО». Сопоставление результатов биотестирования с данными химико-аналитических исследований позволило выявить связь между токсичностью

донных отложений Кольского залива и содержанием в них отдельных загрязняющих веществ. Установлены статистически достоверные значения коэффициента корреляции между уровнем токсичности донных отложений Кольского залива для *Ph. tricornutum* и содержанием в них меди ($r = 0.52^*$; * - достоверно при $P < 0.05$), цинка ($r = 0.49^*$), свинца ($r = 0.51^*$). Результаты биотестирования донных отложений Кольского залива мы сравнили с опубликованные данными о состоянии бентосных биоценозов этого района моря. Многолетние исследования показали, что за период интенсивной хозяйственной деятельности человека здесь произошло значительное угнетение донных сообществ с исчезновением многих наиболее чувствительных таксонов, таких как брахиоподы, многие виды мшанок, губок, голотурий, брюхоногих моллюсков, сипункулид (Зообентос литорали..., 2009). Так как в наших экспериментах в качестве тест-объекта использовалась одноклеточная водоросль *Ph. tricornutum*, то более интересным является сравнение результатов биотестирования с опубликованными данными о состоянии фитобентоса залива. В литературе представлены лишь сведения, касающиеся макрофитобентоса. Установлено уменьшение видового разнообразия макрофитов и снижение биомассы литоральных фитоценозов в южном и среднем коленах залива (С.С. Малавенда, С.В. Малавенда, 2012). Отмечают, что популяция бурой водоросли *Fucus distichus* на литорали Кольского залива испытывает воздействие неблагоприятного фактора (вероятнее всего, поллютантов), уменьшающегося в ряду мыс Мишуков > Абрам-мыс > бухта Белокаменка. В частности, в возрастной структуре популяции *F. distichus* наблюдается снижение доли молодых особей в южном и среднем коленах залива, а также регистрируется увеличение размера талломов по сравнению с экологически чистыми районами (Современное состояние макрофитобентоса, 2009).

В целом результаты исследования бентосных сообществ Кольского залива, как и данные биотестирования, указывают на значительное загрязнение южного и среднего колен Кольского залива.

Сравнение данных биотестирования и результатов химико-аналитических исследований не позволило выявить загрязняющие вещества, ставшие причиной токсичности для водоросли *Ph. tricornutum* вытяжек донных отложений, отобранных в бухте Озерко, на Нордкинской банке и в Западном Прибрежном районе. Не удалось установить и загрязняющие вещества, обусловившие кратковременное подавление роста культуры водоросли *Ph. tricornutum* в вытяжках донных отложений открытых районов Баренцева моря. Возможно, суммарное действие накопленных в донных отложениях загрязняющих веществ на тест-объект оказалось выше, чем токсичность каждого отдельного поллютанта или их арифметической суммы за счет синергического эффекта. Кроме того, в донных отложениях могли присутствовать загрязняющие вещества, которые не были определены в результате проведенных химико-аналитических исследований.

Результаты биотестирования донных отложений Варангер-фьорда, Мотовского залива и открытых районов Баренцева моря показали, что токсичные для водоросли *Ph. tricornutum* донные отложения здесь регистрируются достаточно редко. Это не противоречит опубликованным данным о состоянии донных биоценозов перечисленных акваторий. В литературе отсутствуют сведения об изменениях в бентосных сообществах Варангер-фьорда в результате антропогенного воздействия. Отмечают, что биомасса и численность основных видов бентоса фьорда подвержены существенным колебаниям под воздействием естественных факторов (Переладов, 2006). В трофической структуре бентоса Мотовского залива зарегистрирован аномально высокий процент плотоядных видов. Полагают, что это обусловлено увеличением содержания органического вещества в донных отложениях залива в результате хозяйственной деятельности человека (рыболовство и судоходство) на его акватории. Вместе с тем донные сообщества большей части Мотовского залива в целом находятся в ненарушенном состоянии (Изменение донной фауны..., 2003). Изменения в сообществах зообентоса открытых районов Баренцева моря если и наблюдаются, то связаны с климатическими флуктуациями или негативным воздействием донных тралений и драгирования (Денисенко, 2008).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что наиболее часто (более 60% станций) токсичные для водоросли *Ph. tricornutum* донные отложения регистрировались в южном и среднем коленах Кольского залива. В Мотовском заливе, Варангер-фьорде и в открытых районах Баренцева моря токсичные для водоросли *Ph. tricornutum* пробы донных отложений встречаются единично.

Литература

1. ГОСТ Р 53910-2010 Вода. Методы определения токсичности по замедлению роста морских одноклеточных водорослей *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. М.: Изд-во Стандартинформ, 2010. 41 с.

2. *Денисенко С.Г.* Макрозообентос Баренцева моря в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб.: 2008. 45 с.
3. Зообентос литорали и сублиторали. Количественное распределение и пространственно-временная изменчивость / *О.С. Любина, О.Ю. Ахметчина, Е.А. Фролова* и др. // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 161-182.
4. Изменение структуры донной фауны Мотовского залива Баренцева моря за период с 1932 по 1996 гг. / *Е.А. Фролова, Н.А. Анисимова, П.А. Любин* и др. // Роль климата и промысла в изменении структуры зообентоса шельфа (камчатский краб, исландский гребешок, северная креветка и др.): Тез. докл. междунар. семинара (г. Мурманск, 19-21 марта 2003 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2003. С. 94-96.
5. *Малавенда С.С., Малавенда С.В.* Донные фитоценозы южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря // Проблемы океанографии, биологии и освоения биоресурсов морей российской Арктики: Материалы XXX юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 150-летию со дня рождения Н.М. Книповича (Мурманск, май 2012 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2012. С. 116-122.
6. Методика получения водных вытяжек из донных отложений для их биотестирования / *Э.П. Щербань, О.М. Арсан, Т.Н. Шаповал* и др. // Гидробиологический журнал, 1994. Т. 30, № 4. С. 100-111.
7. *Патин С.А.* Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М: Пищевая промышленность, 1979. 303 с.
8. *Переладов М.В.* Методические аспекты и некоторые результаты изучения динамики бентоса Варангер-фьорда (Баренцево море) в 2001-2005 гг. // Современное состояние популяций краба Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: Сб. материалов междунар. конф. (Мурманск, 25-29 сентября 2006 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2006. С. 80-83.
9. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИА Природа, 2002. 118 с.
10. Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Баренцева моря / *Титов О.В., Лепесевич Ю.М., Педченко А.П.* и др. // Нефть и газ арктического шельфа – 2006: Материалы международной конференции. Мурманск, 15-17 ноября. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2006. С. 269-271.
11. Современное состояние макрофитобентоса / *Г.В. Воскобойников, М.В. Макаров, И.В. Рыжик* и др. // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 241-249.

Дауэвальтер В.А., Кашулин Н.А.

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

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ИМАНДРА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В 2012 г. на 12 станциях Имандры, крупнейшего озера Мурманская область, был проведен отбор донных отложений (ДО) с целью оценки экологического состояния озера в зоне влияния промышленных стоков ОАО «Апатит» (рис. 1). ДО отбирались отборником колонок открытого гравитационного типа, сделанного из плексигласа (внутренний диаметр 44 мм), с автоматически закрывающейся диафрагмой. Колонки ДО были послойно разделены на слои по 1 см (всего 226 проб), помещены в предварительно помытую кислотой полиэтиленовую посуду и отправлены в лабораторию для анализа.

Для определения валовых концентраций металлов высушенная при 105°C навеска образца массой 0.2 г обрабатывалась 4 мл концентрированной азотной кислотой (HNO₃) класса ОСЧ в автоклаве с тефлоновым вкладышем при температуре 140°C в течении 4 ч. Содержимое автоклава потом охлаждалось до комнатной температуры, и 2 мл аликвота перемещалась в 60 мл пластиковую бутылочку и разбавлялось деионизированной водой до объема 25 мл. Результирующий раствор анализировался методом атомной абсорбции: в пламени ацетилен-воздух (Cr, Co, Fe, Mn), в пламени ацетилен-закись азота (Sr, Al) с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра AAS-30; с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра Perkin-Elmer-360 в пламени пропан-бутан-воздух (Ni, Cu, Zn), в пламени пропан-бутан-закись азота (Ca, Mg), атомной эмиссии в пламени

пропан-воздух (Na, K). С помощью прибора AAN-800 (электротермическая атомизация) определяли концентрации Cd, Pb, As. Концентрации Hg определяли с использованием проточно-инжекционной ртутной системы Perkin-Elmer FIMS 100. Фотометрическим методом с помощью прибора КФК-3-01 «ЗОМЗ» определяли Р.

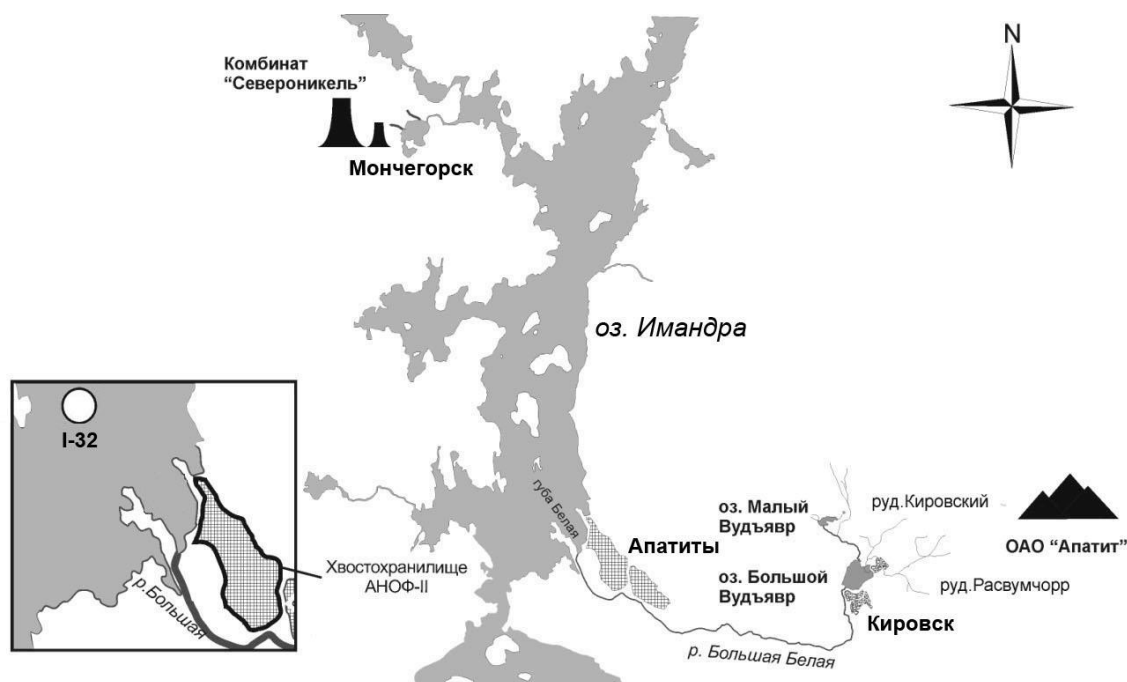


Рис. 1. Карта-схема исследуемой части оз. Имандра

Статистическая обработка результатов исследований и построение графиков проводились с использованием стандартных программ Statistics (version 6.1) и Microsoft Office Excel 2003 на персональном компьютере IBM PC AT.

Наибольшие вариации величин влажности, потерь при прокаливании (ППП) и исследуемых элементов отмечаются в ДО станций, ближе расположенных к месту поступления грубообломочных продуктов обогащения апатитонепелиновой руды – губе Белой и хвостохранилищу АНОФ-II ОАО «Апатит». В толще ДО станций Белой губы (рис. 2) четко выделяются две части – верхняя более молодая с высокими значениями влажности, PPP и большей части металлов и Р, и нижняя с меньшими значениями этих показателей, которая отложилась до начала горнодобывающей и перерабатывающей деятельности на водосборе оз. Имандра. Это распределение исследуемых элементов можно объяснить историей разработки Хибинских апатитонепелиновых месторождений и поступлением взвешенных веществ различных размеров с предприятий ОАО «Апатит» (Моисеенко и др., 1997). Промышленное освоение месторождений на берегах оз. Имандра было начато в 30-е годы XX столетия. В 1929 году был введен Апатитовый рудник, а в 1931 году – первая обогатительная фабрика. До 1957 г. хвосты обогащения (отходы в составе сточных вод) сбрасывались в р. Большая Белая, и далее они без всякой очистки поступали в юго-восточную часть Большой Имандры. На прилегающей акватории по данным В.В. Чижикова (1980) сформировалась техногенная залежь отходов апатитонепелиновых пород толщиной слоев до 8 м. Впоследствии на водосборе р. Большая Белая была построена серия отстойников, из которых в озеро поступала слегка осветленная часть отходов. Одновременно со строительством АНОФ-II (окончание строительства в 1964 г.) был сооружен огромный отстойник-накопитель площадью 3.4 км² путем отсечения залива (губы Белой) от всего озера (последняя дамба сооружена в 1968 г.). Сброс осветленной части стоков с высоким содержанием тонкодисперсных взвесей ($\varnothing < 0.2$ мкм) сохранялся. Ежедневно для своих нужд фабрика забирала из озера 400 тыс. м³ чистой воды. Загрязнение озера интенсивно продолжалось и в период 1976-1978 гг. В конце 1978 г. было введено частичное оборотное водоснабжение, что позволило снизить объем сброса сточных вод более чем в 2 раза. В 1984-1992 гг. объем сброса находился в пределах 150-180 млн м³/год. Прозрачность воды увеличилась в среднем до 2 м. Однако, уровень загрязнения оставался очень высоким. Сказывался эффект вторичного загрязнения, когда вследствие ветрового взмучивания мелкодисперсные взвеси поднимались со дна и распространялись на большие расстояния.

Влияние стоков предприятий ОАО «Апатит» сказалось в высоких концентрациях элементов, содержащихся в апатитонефелиновых рудах и вскрышных породах. Это, прежде всего элементы, содержащиеся собственно в минералах апатите и нефелине – Ca, P, Na, K, Al, а также сопутствующие им щелочноземельный элемент Sr и редкоземельные элементы, не исследуемые в настоящей работе, но подробно описанные ранее по результатам исследований геохимической миграции элементов в оз. Имандра (Моисеенко и др., 1997; Даувальтер и др., 1999). На формирование химического состава ДО южной части плеса Большой Имандры оказывают также влияния сточные воды других предприятий, расположенных на его берегах, главным образом комбината «Североникель» (сказывается в увеличении концентраций Ni, Co, Cu, Cd и других халькофильных элементов в поверхностных слоях ДО), а также Оленегорского ГОКа (Fe, Mn). За более чем 80-летнюю историю деятельности ОАО «Апатит» в Белой губе накопилась значительная толща минеральных ДО. Основным образующим их материалом являются взвешенные частицы, поступающие из рудников, обогатительных фабрик и хвостохранилищ, т.е. представляющие собой отходы добычи и обогащения апатитонефелиновой руды.

В вертикальном распределении Hg в ДО исследуемых станций Большой Имандры четко отмечается приповерхностный максимум от 0.6 до 2.3 мкг/г, что практически на 2 порядка больше средних фоновых концентраций этого чрезвычайно токсичного халькофильного элемента в ДО озер Мурманской области (рис. 2). Эти максимальные концентрации отмечаются на разных глубинах от 7 до 14 см, в зависимости от скорости осадконакопления. Ниже этих максимальных содержаний на 2-3 см отмечаются содержания Hg, сопоставимые со средними фоновыми концентрациями Hg в ДО озер Мурманской области. Источник поступления такого большого количества Hg в оз. Имандра неизвестен.

Сопоставляя с вертикальными профилями других загрязняющих тяжелых металлов, можно сделать вывод, что начало поступления Hg в оз. Имандра совпадает с началом поступления элементов со стоками ОАО «Апатит» (K, Na, Sr, P, Al, Ca) и комбината «Североникель» (Ni, Cu, Co и другие), но максимальные концентрации Hg фиксируются раньше по времени, чем максимумы основных загрязняющих тяжелых металла – Ni и Cu. Можно предположить, что максимальное поступление Hg происходило в 1930-е, а может быть и 1940-е годы. Возможно, что при проведении взрывных работ на первых этапах разработки апатитонефелиновых месторождений в качестве детонаторов использовалась гремучая ртуть.

Концентрации Hg в поверхностном слое ДО выше в плесе Большая Имандра, чем в Йокостровской Имандре. На исследуемых станциях содержание Hg в поверхностном 1-см слое ДО находится в диапазоне от 0.14 до 0.38 мкг/г. В Большой Имандре происходит уменьшение содержания Hg по направлению распространения потока загрязнения от главного источника загрязнения на этой акватории оз. Имандра – ОАО «Апатит», что говорит в пользу того, что именно сточные воды объединения являются причиной увеличения содержания Hg в ДО озера. Минимальные содержания Hg отмечаются на станциях Йокостровской Имандры, где происходит разбавление загрязненных вод, поступающих из Большой Имандры.

Факторным анализом выявлены определяющие факторы, влияющие на формирование химического состава ДО исследуемой акватории оз. Имандра (табл.). Первым фактором, имеющим наибольший вес (37%), является влияние стоков апатитонефелинового производства. Высокие значения коэффициентов в факторной модели характерны для элементов, источником поступления которых является ОАО «Апатит», – K, Na, Sr, P, Al, Ca. Влажность и ППП имеют довольно высокие отрицательные коэффициенты в первом факторе.

Во втором факторе, имеющим меньший по сравнению с первым фактором вес (23%), высокие значения коэффициентов характерны для элементов, поступающих со стоками комбината «Североникель» – Ni, Cu, Co, Cd, Pb, As, а также Mn, концентрации которых возрастают к поверхности ДО (табл.). В этом факторе высокие отрицательные коэффициенты имеет также глубина ДО (т.е. по направлению к поверхности ДО происходит увеличение концентраций вышеперечисленных элементов). В третьем факторе (вес 10%) высокий отрицательный коэффициент выявлен для элемента, поступающего, главным образом, со стоками Оленегорского ГОКа – Fe. Для геохимически родственных элементов As и Mn также отмечены довольно высокие значения коэффициента в третьем факторе. Таким образом, в результате проведенных исследований выделились три основных источника, имеющих наибольшее влияние на формирование химического состава ДО исследуемых станций оз. Имандра. Это собственно стоки апатитонефелинового (ОАО «Апатит») и металлургического (комбинат «Североникель» и Оленегорский ГОК) производства.

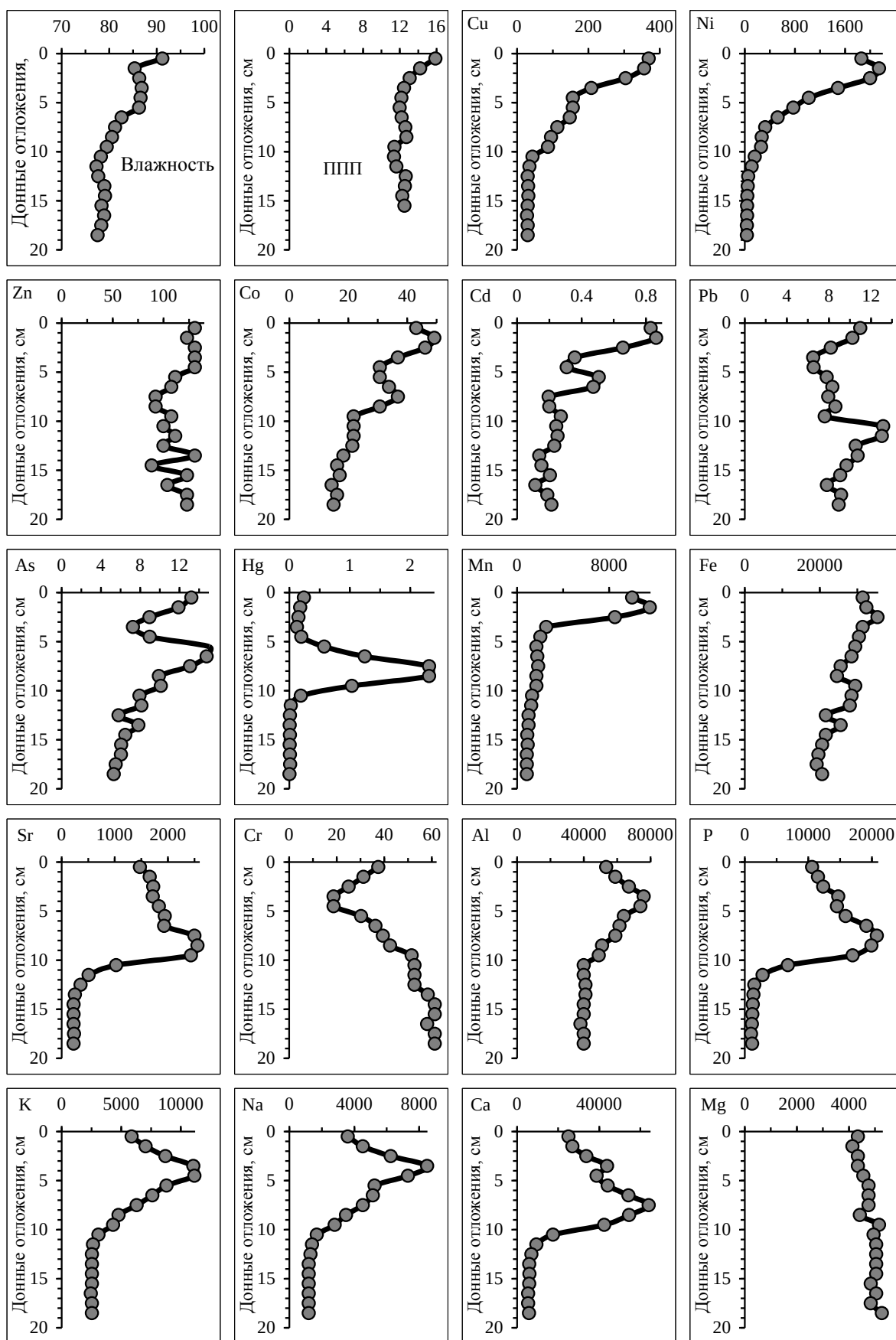


Рис. 2. Распределение влажности и потерь при прокаливании ППП (%) и концентраций исследуемых элементов (мкг/г сух. веса) в толще ДО станции I-32 оз. Имандра

Факторная модель химического состава ДО станций оз. Имандра

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Cu	0.42	0.71	0.37
Ni	0.16	0.89	0.17
Zn	0.26	0.31	0.21
Co	0.54	0.69	-0.28
Cd	-0.20	0.87	0.09
Pb	-0.34	0.65	0.14
Mn	0.00	0.60	-0.46
Fe	-0.15	0.36	-0.82
Sr	0.84	0.18	0.22
Cr	-0.77	-0.26	-0.19
Al	0.96	0.02	0.05
As	0.05	0.63	-0.65
Hg	0.45	0.07	0.10
P	0.87	-0.03	0.05
K	0.90	-0.12	0.00
Na	0.82	-0.20	-0.05
Ca	0.93	-0.10	0.04
Mg	0.74	-0.17	-0.01
Глубина ДО	0.07	-0.79	-0.30
H ₂ O	-0.64	0.37	0.43
ППП	-0.76	0.08	0.36
Вес фактора, %	37.3	23.4	10.1

Таким образом, результатами исследований было установлено, что такие параметры, как влажность и ППП (т.е. косвенный показатель содержания органического вещества), элементы, содержащиеся собственно в минералах апатите и нефелине – Ca, P, Na, K, Al, а также сопутствующие им элементы – Sr, Mg, и другие, в первую очередь редкоземельные элементы, в ДО оз. Имандра могут служить своеобразным маркером истории поступления взвешенного материала апатитонефелинового производства. Наиболее четко влияние сброса взвешенного материала проявляется в акваториях оз. Имандра в непосредственной близости от места поступления сточных вод. Далее по мере распространения потока взвешенных частиц влияние их сброса снижается, но проявляется практически на всех исследуемых станциях оз. Имандра. На формирование химического состава ДО оз. Имандры оказывают также влияния сточные воды других горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, расположенных на берегах плеса Большая Имандра, главным образом комбината «Североникель» (в увеличении концентраций Ni, Cu, Zn в поверхностных слоях ДО), а также Оленегорского ГОКа (Fe, Mn). За более чем 80-летнюю историю горнодобывающей, перерабатывающей, металлургической деятельности в оз. Имандра накопилась значительная толща загрязненных минеральных ДО, основным образующим их материалом являются взвешенные частицы, поступающие из рудников, обогатительных фабрик, хвостохранилищ, металлургического производства. Эти накопленные в ДО элементы могут являться источником загрязнения водной толщи оз. Имандра еще долгие годы, особенно в условиях все усиливающегося в последние годы эвтрофирования озера, даже при резком снижении сброса загрязняющих веществ вышеописанными предприятиями.

В целом исследованные участки оз. Имандра являются чрезвычайно загрязненными благодаря интенсивной антропогенной деятельности, главным образом металлургической (комбинат «Североникель») и горно-перерабатывающей (ОАО «Апатит»). Наибольший вклад в высокое загрязнение практически на всех станциях оказывают в первую очередь приоритетные загрязняющие тяжелые металлы – Ni, Cu, Co, а также такой высокотоксичный халькофильный элемент, как Hg.

Литература

1. Даувальтер В.А., Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В. Геохимия редкоземельных элементов в озере Имандра, Мурманская область // Геохимия. 1999. № 4. С. 376-383.
2. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра). Апатиты: Изд-во КНЦ, 1997. 127 с.
3. Чижиков В.В. Гидрохимия и донные отложения озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения // Экосистемы озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1980. С. 24-64.

Демиденко Н.А.

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва
demidenko_nikola@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГУБЕ ДОЛГАЯ-ВОСТОЧНАЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕВЕРНОЙ ПЭС

Губа Долгая-Восточная расположена на южном побережье Баренцева моря. Губа Долгая представляет собой удлинённый, ориентированный с северо-востока на юго-запад фьордоподобный залив Мурманского побережья Кольского полуострова, вдающийся в берег на 5.5 км (рис. 1). Так как высота берегов губы превышает 100 м только на редких участках, то её можно отнести к разновидности фиордов, которые называются *фиарды* и отличаются более пологими берегами, меньшими глубинами (десятки метров) и меньшей расчленённостью дна (Морская ..., 1980). Средняя ширина акватории губы составляет 0.65 км, средняя глубина – 40.7 м, максимальная – 96 м. Губа Долгая глубоководная, на 45% площади глубины превышают 50 м. Акватория залива при уровне полной воды занимает 5.6 км², объём бассейна составляет 0.25 км³.

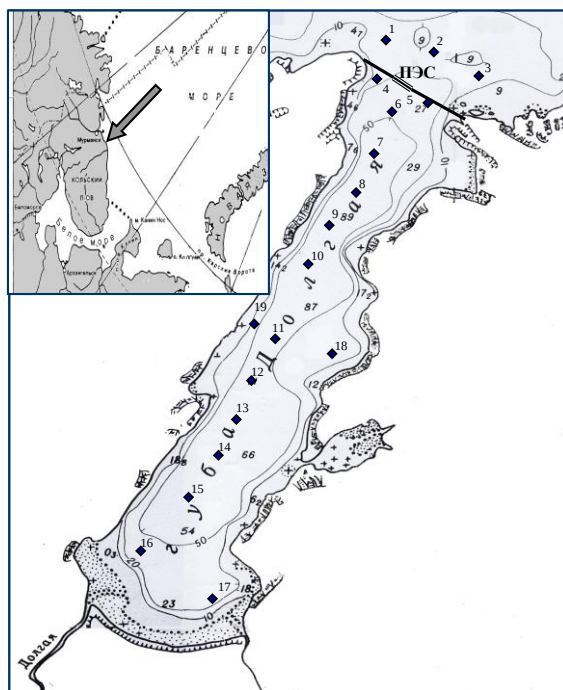


Рис. 1. Схема глубин и положение гидрологических станций, выполненных во время съемок в губе Долгая в сентябре 2008 г. и июне 2009 г. На входе в губу Долгая – створ проектируемой Северной приливной электростанции

Подводный рельеф губы – типичный для фьордоподобных заливов. Поперечный профиль депрессии жолобообразный. Днище затопленного трога выположено и не имеет значительных неровностей, за исключением расположенного в центральной части губы, ближе к ее восточному берегу, поднятия, образующего подводную банку с минимальной глубиной 11 м. Самая глубоководная (глубина 96 м) часть губы расположена к северу от этой банки в 2 км от устья.

Характеристика климатических параметров района губы Долгая дана по материалам многолетних наблюдений на метеостанции Териберка Мурманского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (69° 12' с.ш., 35° 06' в.д.) с 1936 по 2012 гг., расположенной в 4.5 км к востоку от входа в губу Долгая и по ГМС Дальние Зеленцы.

Климат района полярный, морской. Отепляющее влияние ветви теплого Северо-Атлантического течения под названием Нордкапское, благодаря которому в Баренцево море поступают сравнительно теплые атлантические воды, приводит к тому, что море здесь практически свободно ото льда в течение всего года. Район характеризуется большой неустойчивостью погоды с резкой сменой давления, температуры воздуха, ветра и внезапным выпадением осадков.

Температурный режим района губы Долгая, как и всего Мурманского побережья носит черты морского климата высоких широт. Средняя годовая температура воздуха на ГМС Териберка составляет +0.6°C. Расчетная температура наиболее холодной пятидневки равна -21°C. Абсолютный минимум температуры воздуха -34°C. Абсолютный максимум температуры воздуха равен +35°C. Для ГМС Териберка средняя дата перехода среднесуточной температуры воздуха выше нуля – 25 апреля, ниже нуля – 24 октября.

Годовое количество осадков для большей части территории бассейна р.Териберки составляет 550–600 мм. Средняя годовая сумма осадков в районе губы Долгой достигает 472 мм. В течение года осадки выпадают неравномерно. Большая часть их, примерно 60% годовой суммы, падает на теплый период года.

Ветровой режим имеет ярко выраженный муссонный характер с преобладанием северных ветров с моря в летний период и южных направлений ветра с суши в зимний период. Преобладающее направление ветра за зимний период южных и юго-западных румбов, в летний период – северо-западных и северных румбов. Средняя годовая скорость ветра составляет 5.3 м/с. Наблюденная максимальная скорость ветра отмечалась в декабре – феврале и составила 40 м/с. Среднее число дней в году со скоростью ветра, равной или превышающей 8 м/с, составляет 270 дней, 15 м/с составляет 111 дней, 20 м/с составляет 38 дней, 30 м/с – 2.3 дня и 40 м/с – 0.07 дней.

Программой инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства Северной ПЭС в губе Долгая была предусмотрена постановка придонных станций в районе предполагаемого створа плотины.

Гармоническому анализу были подвергнуты ряды обеих станций и выполнены для 35 гармонических постоянных, рекомендованных Международным Океанографическим Комитетом. Результаты обработки оказались практически одинаковыми (Гидрометеорология ..., 1991). Однако результаты, полученные по наблюдениям на станции 3, предпочтительнее в силу меньшей дискретности наблюдений (10 минут). Амплитуды, превышающие 10 см, имеют четыре приливные волны: M_2 (124.9 см), N_2 (31.6 см), S_2 (30.5 см) и K_1 (16.6 см).

Прилив в губе Долгая правильный полусуточный, вызванный главным образом атлантической приливной волной, с максимальной величиной в сизигию 4.0–4.2 м, минимальной – 0.7–0.9 м. Величина прилива в устье губы Долгой в среднюю сизигию составляет 3.13 м, в средний промежуток – 2.54 м, в среднюю квадратуру – 1.85 м. Время роста прилива 6 ч 11 мин., время падения – 6 ч 14 мин. Разница в уровнях двух последующих полных вод редко достигает 0.40 м, двух малых вод – 0.50 м. Эти параметры остаются практически неизменными по всей протяженности губы.

Приливные колебания уровня моря на входе в губу Долгая для точки С составляют значение наивысшего теоретического уровня (ВТУ) 220.4 см относительно среднего уровня моря (СУМ), значение наинизшего теоретического уровня (НТУ) относительно среднего уровня моря составляет – 213.6 см.

Расчетные суммарные колебания уровня моря относительно среднего уровня моря, возможные 1 раз в n лет рассчитываются за 55 лет на основе технологии, объединяющей гидродинамическое и вероятностное моделирование. Расчет был произведен по месячным экстремумам, полученным в результате гидродинамического моделирования (таблица).

Расчетный суммарный уровень моря относительно среднего уровня моря

Экстремальные уровни, см	Период повторяемости, лет						
	1	2	5	10	25	50	100
Максимум	241	247	253	259	260	261	270
Минимум	-223	-226	-230	-233	-239	-245	-256

Измерение скоростей течений на входе в губу Долгая проводилось двумя высокоточными измерительными комплексами Recording Doppler Current Profiler (RDCP-600) производства фирмы AANDERAA INSTRUMENTS (Норвегия, AADI). Дискретность наблюдений за скоростями течений на станции 1 составляла 30 минут, на станции 3–10 минут соответственно.

На станции 1 (глубина постановки 18.7 м) использовалось семь горизонтов: 3 м, 5 м, 7 м, 9 м, 11 м, 13 м и 15 м. Скорости течений на каждом горизонте в процессе измерений осреднены по глубине в слое 2 метра и по времени за 1.5 мин. Как следует из представленных материалов максимальная скорость течения на станции 1 наблюдалась на поверхностном горизонте и составила 91.2 см/с. Однако, из-за сильных искажений скорости течения на поверхности более надежна оценка максимальной скорости 59.7 см/с, приуроченная к горизонту 3 метра. На горизонте 5 метров она резко падает, составляя всего 25.7 см/с, и затем довольно плавно убывает до 17.6 см/с на горизонте 13 м, несколько увеличиваясь у дна (до 19.5 см/с). Резкое снижение максимальной скорости течения связано с наличием в районе горизонта 5 метров слоя скачка солености и температуры. Средняя скорость течения плавно убывает с 9.0 см/с на горизонте 3 метра до 5.2 см/с у дна.

Направление скорости течения на поверхностном горизонте вследствие близости берега имеет ориентацию вдоль оси СВ (отливное течение) – ЗЮЗ (приливное течение). На нижележащих горизонтах картина оказывается обратной: пропадает ЮЮЗ направление, возрастает вероятность СВ сектора.

На станции 3 (глубина постановки 26.0 м) десять горизонтов: 3 м, 5 м, 7 м, 9 м, 11 м, 13 м, 15 м, 17 м, 19 м и 21 м. Поверхностный горизонт отбраковывался. Скорости течений также на каждом горизонте в процессе измерений осреднялись по глубине в слое 2 метра и по времени за 1.5 мин.

Направление скорости течения имеет ориентацию на верхних горизонтах 3 и 5 м ССВ (отливное течение) – ЮЮЗ (приливное течение), при этом повторяемость приливного сектора равна порядка 14%, а сектора, ответственного за отлив – 25%.

Таким образом, на станции 1 преобладает отлив, а на станции 3 – прилив. Данное явление обусловлено очертанием берегов губы Долгой. На форму прилива оно не оказывает существенного влияния. В центре створа направление оси скоростей течений имеет ориентацию строго С (отлив) – Ю (прилив).

Расчет характеристик ветрового волнения выполнялся с учетом уравнения эволюции спектральной плотности волнового действия. Такой подход предпочтительнее использовавшегося ранее, когда применялась параметрическая модель, поскольку он позволяет получить более объективные спектральные характеристики параметров ветрового волнения различных типов.

Измерение параметров волнения в губе Долгая проводилось двумя высокоточными измерительными комплексами Recording Doppler Current Profiler (RDCP-600). За весь период натурных наблюдений наибольшая высота волн отмечалась на обеих станциях. На станции 1 высота значительных волн достигла 2.20 м, а высота максимальных волн – 3.40 м, на станции 3: 3.27 и 5.02 соответственно. Периоды ветрового волнения в районе губы Долгая характерны для волн открытого моря. Из розы направлений волнения видно, что сильное волнение направлено на юго-восток. Таким образом, волноопасным направлением для рассматриваемого района является СЗ.

Структура вод губы Долгой определяется наличием подводного порога в устье и глубокой (до 96 м) котловиной. Зимнее конвективное перемешивание в период изотермии достигает дна, весенне-летняя термогалинная стратификация вод устанавливается под влиянием пресного стока, а также прогрева поверхностных вод. Главный пикноклин залегает летом на глубине 25-30 м, второй скачок плотности – в верхнем 5-10 м слое.

В период инженерно-гидрометеорологических изысканий в губе Долгая в июне–августе 2009 г. в устье губы Долгой по створу проектируемой ПЭС были установлены донные станции, которые получили характеристики изменения температуры и солености в придонном горизонте за период времени около 2-х мес. Придонная температура воды на станциях за весь период наблюдений возрастает с 4.5°C до 7°C. Приливные колебания хорошо выражены. Максимальная амплитуда

колебаний температуры воды за счет прилива составляет 2°C. Минимальная температура воды на станциях за весь период наблюдений составила соответственно 3.30 и 2.70°C, максимальная – 7.35 и 7.40°C. Временные изменения солености невелики. Можно отметить только слабое возрастание с 34.2‰ в начале до 34.5‰ в конце периода наблюдений. Колебания солености воды, обусловленные приливом, также хорошо выражены, как и в рядах температуры воды. Изменения солености воды за весь период наблюдений находились в пределах 33,64–34.55‰.

В сентябре 2008 г. в губе Долгая была выполнена гидрологическая съемка на 19 станциях, которая позволила подробно интерпретировать основные особенности структуры вод губы. Измерения температуры и электропроводности воды производилось с помощью автоматического зонда 2D ACM фирмы FSI. Структура вод, зафиксированная в период съемки, соответствует летней стратификации, еще не затронутой осенней трансформацией. Максимум температуры на всех станциях располагается на поверхности.

Вертикальная термическая структура однородна по всему пространству губы. На поверхности залегал слой толщиной не более 5 м с температурой около 8°C. Далее в слое 5–25 м температура монотонно понижалась до 7°C. Эти два слоя находятся в зоне беспрепятственного водообмена между губой и морем. В слое 25–35 м располагался термоклин, где температура понижалась с 7°C до 4°C. Ниже градиенты температуры уменьшаются и с 50 м наблюдается изотермия. В слое толщиной более 40 м температура изменяется в пределах 0.1°C. Минимальная температура на дне котловины равна 2.6°C.

Стратификация солености существенно отличается от стратификации температуры. Максимальные вертикальные градиенты солености наблюдаются в верхнем слое толщиной 4 м и ограниченном изогалиной 33.0‰. На некоторых станциях в поверхностном слое толщиной менее 1 м соленость понижается до 29.0‰–30.0‰, что связано с воздействием локальных источников опреснения. Верхний слой имеет толщину около 20 м, что соответствует глубине порога. Его характеристики и эволюция определяются двумя факторами: местной сезонной трансформацией (прогревом, охлаждением, опреснением, осолонением при льдообразовании) и водообменном с морем. Во время съемки минимальные значения солености наблюдались в северной части губы. В слое 4–45 м соленость монотонно увеличивается с 33.0‰ до 34.7‰ и далее остается практически неизменной. Максимальная соленость на дне котловины равна 34.77‰.

Нижняя граница слоя обозначена термоклином, ограниченном горизонтами 25–35 м. Второй слой – это воды, заполняющие котловину губы. В структурном отношении слой состоит из двух частей: верхней, примыкающей снизу к термоклину, между горизонтами 35–50 м. Отличительная особенность этой части – ее некоторая трансформированность, о чем свидетельствуют вертикальные градиенты температуры и солености. Придонная часть слоя, ниже 50 м, напротив, совершенно однородна.

Повторная гидрологическая съемка в губе Долгая была выполнена 14 июня 2009 г. с тем же количеством и положением станций, как и в сентябре 2008 г. Весенняя структура вод в губе Долгая отличается следующими особенностями. На входе в губу, в районе порога с глубинами менее 30 м наблюдается сравнительно однородная гидрологическая структура с монотонным понижением температуры от 4°C до 3°C и повышением солености с 34.0 до 34.5‰. На некоторых станциях на поверхности присутствует тонкий слой с температурой около 6°C и соленостью до 32.5‰ – это следствие выноса поверхностных вод из губы. Структура вод непосредственно в губе Долгая отличается отчетливым трехслойным строением: поверхностный слой (0–5 м) переходит в промежуточный слой (5–25 м) и далее следует глубинный слой (40–95 м). Поверхностный слой имеет местный генезис, он сформирован опреснением и прогревом вод губы в весенний период. Промежуточный слой отличается слабой стратификацией и по термогалинным характеристикам идентичен воде на входе в губу. Снизу промежуточный слой подстилает пикноклин, составленный из совпадающих по глубине термоклина и галоклина. Под пикноклином расположен глубинный слой с однородной водой.

Сравнение двух съемок, осенней 2008 г. и весенней 2009 г., дает возможность в определенной мере оценить как характер и величину сезонной трансформации вод в губе, так и межгодовую изменчивость характеристик вод котловины губы Долгая. Это можно показать на примере самой глубокой станции съемки, для которой построены совмещенные кривые вертикального распределения температуры и солености по двум сезонам. Поверхностный слой весной выделяется по температуре и по солености, а осенью только по солености. Наибольшие сезонные изменения происходят в промежуточном слое. От весны к осени температура слоя повышается с 3–4°C до 7–8°C, а соленость уменьшается примерно на 0.5‰. Скачок температуры в термоклине увеличивается с 1.5°C до 4.0°C, а скачок солености в галоклине удваивается с 0.5 до 1.0. От весны к осени

увеличивается толщина термоклина с 15 м до 30 м, а его нижняя граница опускается примерно на 10 м. Положение и толщина галоклина при этом изменяется незначительно. Воды котловины отличаются высокой однородностью, как по температуре, так и по солености. Это определенно указывает на их единообразное формирование в предшествующую зиму. Отсутствие вертикальных градиентов характеристик в пределах глубинного слоя указывает на его неподверженность сезонной трансформации сверху. Глубина сезонных изменений по температуре ограничена 50 м, а по солености – 40 м.

Появление плотины с водоводами на пороге губы Долгой при строительстве Северной приливной электростанции вызовет или может вызвать существенные изменения термогалинной структуры вод:

1. Если конструкция и расположение водоводов в теле плотины будет препятствовать истечению из губы воды поверхностного слоя в фазу отлива, то это приведет к росту опреснения на поверхности, увеличению градиентов солености, а зимой – интенсификации льдообразования на акватории губы Долгая.

2. Интенсивное перемешивание воды в водоводах в фазу прилива приведет к формированию в губе подповерхностного однородного слоя, толщина которого в значительной степени будет зависеть от объема водообмена. Возможное следствие – заглубление термоклина, как это получилось в Кислой губе (Марфенин и др., 1995).

3. Если окончательно подтвердится, что вода котловины формируется на пороге губы Долгая, то появление плотины практически полностью блокирует этот процесс и возникнет реальная опасность изоляции этого слоя (полной или частичной). В любом случае необходимы дальнейшие исследования процессов структурообразования и трансформации вод в губе Долгая.

Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Вып.1 Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 240 с.
2. Марфенин Н.Н., Малютин О.И., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М., Усачев И.Н. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 1995. 125 с.
4. Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона: процессы, понятия, определения / Научная редакция В.П. Зенковича и Б.А. Попова. М.: Мысль, 1980.

Денисов Д.Б.

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

ВОДОРΟΣЛЕВЫЕ СООБЩЕСТВА В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВО ВОД КОЛЬСКОГО СЕВЕРА

В последние десятилетия наиболее резко обозначилась проблема качества водных ресурсов в Евро-Арктическом регионе. Несмотря на то, что здесь сосредоточено огромное количество разнотипных водоемов, их современное состояние свидетельствует о значительном истощении всех видов водных ресурсов, что, в свою очередь, порождает целый комплекс серьезных экологических последствий регионального масштаба. Долговременное многофакторное антропогенное воздействие, включая промышленное загрязнение и нарушение естественных геолого-гидрохимических циклов, в настоящее время привело к дефициту качественных пресных вод. Под угрозой находятся не только запасы питьевых или используемых в промышленных целях вод, но и ценные виды гидробионтов.

Водорослевые сообщества, находящиеся в самом начале цепей питания, в условиях подобных изменений являются наиболее чувствительным компонентом водных экосистем, в свою очередь оказывающим трансформирующее воздействие на другие структурно-функциональные элементы. Спецификой альгоценозов высоких широт является способность вегетировать при малом содержании элементов биогенного питания (нитратов и фосфатов), а также их адаптационные механизмы, позволяющие максимально эффективно использовать благоприятные для развития периоды в течение сравнительно короткого гидробиологического лета (Кашулин и др., 2013б). Таким образом, водорослевые сообщества региона изначально обладают мощным потенциалом к массовому

развитию при благоприятных условиях, что успешно реализуется при появлении дополнительных факторов, таких как антропогенное эвтрофирование (Кашулин и др., 2013а; Денисов, 2010; 2012; Денисов и др., 2009). Показатели состояния альгоценозов приобрели в настоящее время определяющее значение в системе биоиндикации. При оценке качества вод требуется учитывать синергетику нового комплекса факторов, действие которых неоднозначно и не всегда может быть оценено с помощью существующих общепринятых комплексных показателей.

Многолетние исследования (2003-2013 гг.) альгоценозов разнотипных водных объектов Кольской Субарктики позволили заключить, что в последние десятилетия значимые изменения в функционировании и структурной организации экосистем вызваны не только долговременным промышленным загрязнением, но и являются реакцией на глобальные и локальные изменения климата (Денисов, 2010; 2011а; Денисов, Кашулин, 2013, Кашулин и др., 2013а; 2013б). В связи с этим, особенно актуальной проблемой является ухудшения качества водных ресурсов в результате усиления процессов эвтрофирования. Долговременное поступление во внутренние водоемы Кольского Севера сточных вод, содержащих биогенные элементы (в первую очередь нитраты и фосфаты) сказалось на процессах первичного продуцирования: не типичное для олиготрофных вод обогащение доступными элементами питания вызвало увеличение биомассы отдельных представителей фитопланктона и фитоперифитона, а также появление новых, не характерных для региона видов.

Глобальные и региональные климатические изменения в сторону более мягкого, океанического климата, многократно усиливают развитие процессов эвтрофирования, что в некоторых водоемах с мезотрофным (и близким к нему) трофическим статусом проявляется в массовом развитии синезеленых водорослей в летний период.

Наблюдается изменение в экосистемных процессах передачи биогенных элементов по трофическим цепям и способах их утилизации: массовое и непродолжительное развитие синезеленых водорослей с их последующим отмиранием и быстрым разложением, возвращает биогенные элементы в водную среду в доступной для водорослей форме, что может повлечь за собой новую вспышку биомассы. При таком коротком цикле биогенные элементы не выводятся из экосистемы, и лишь незначительная их часть идет на формирование биомассы более высоких трофических уровней.

В последние годы увеличиваются как средние значения биомассы фитопланктона (для оз. Имандра), так и диапазон значений – появляется больше экстремальных (озерно-речная система Пасвик). На примере оз. Имандра показано, что синезеленые водоросли, вызывающие цветение воды (*Dolichospermum lemmermannii* (Richter) Wack., Hoff. & Komárek; *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault; *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.) практически не выедаются зоопланктоном, а также, вероятно, угнетают развитие других групп водорослей. В эти периоды в последние годы наблюдается массовая гибель молоди рыб, включая ценные промысловые виды (Кашулин и др., 2013а; Денисов, 2011а; 2011б).

Установлено, что «цветение» в оз. Имандра чаще всего наблюдается во время штиля, ему предшествуют сравнительно высокие температуры воздуха, массовое развитие цианопрокариот приурочено к заливам и губам, куда формирующуюся у поверхности пленку водорослей сгоняет небольшим ветром. Очевидно, эти явления реализуются, преимущественно, при благоприятном сочетании метеорологических и гидролого-гидрохимических условий, наряду с достаточным количеством биогенных элементов. Достоверной связи численности синезеленых водорослей с содержанием биогенных элементов не выявлено, в то время как участки акватории, где наблюдалось цветение синезеленых водорослей, приурочены к зонам распространения стоков апатитового производства. В настоящее время явления массового развития цианей характеризуются рядом специфических черт. Во-первых, они ограничены сравнительно изолированными участками акватории озера, и не распространяются на открытые водные пространства. Во-вторых, формирование плотных скоплений водорослей отчасти обусловлено легким ветром, направленным в сторону залива (губы), с последующим штилем. В-третьих, явление локального цветения не всегда сопровождается высокой долей синезеленых водорослей в составе фитопланктона, развивающегося в толще воды и на открытых участках акватории.

Прямым следствием массового развития водорослей является продукция большого количества органического вещества, на разложение которого расходуется большое количество кислорода, что вызывает смену оптимального для арктических и субарктических гидробионтов кислородного режима на бескислородный в придонных слоях воды и донных отложениях.

Одной из основных проблем озерных экосистем является изменение естественных гидрологических режимов в связи с организацией и многолетней эксплуатацией водохранилищ (оз. Имандра). Колебания уровня и температуры воды водоемов ведут к дестабилизации экосистемы водоема, вызванные колебаниями минерализации вод, содержания основных ионов, биогенных элементов, органических соединений, микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов, что ускоряет такие негативные процессы в водоеме, как эвтрофирование, закисление и загрязнение. Значительные колебания уровня воды, не согласующиеся с естественной сезонной динамикой, являются дестабилизирующим фактором состояния пресноводных экосистем, а изменения климата могут оказать синергетический эффект на эти процессы и вызвать драматические последствия.

Искусственные колебания уровня воды, не синхронизированные с естественной динамикой, привели к существенным нарушениям в функционировании литоральных экосистем, а в некоторых случаях к полному исчезновению литоральных сообществ организмов. Выпадение такого важного структурно-функционального элемента из экосистемы озера приводит к изменениям циклов биогенных элементов, сокращению нерестовых площадей, исчезновению многих литоральных организмов, в том числе и кормовых объектов для ценных представителей ихтиофауны – нарушаются условия для естественного воспроизводства рыб, в первую очередь сиговых и лососевых.

Изменения в сообществах фитоперифитона водоемов Кольского Севера также демонстрирует глобальный масштаб происходящих изменений. Обнаружен (2013 г) феномен массового развития диатомовой водоросли *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) Schmidt в литоральной части водохранилища Янискоски и мелководных участках реки Пасвик ниже плотины. Подобные явления получили название «Didymo (Rock Snot)» и в последние десятилетия были зарегистрированы по всему миру, включая Новую Зеландию, Канаду, США (Bothwell, 2006; Vieglais, 2007). Водорослевые маты формируют значительные объемы биомассы, изменяя существующие трофические сети, вызывают перестройки в структуре и количественных характеристиках бентосных сообществ, меняют привычное местообитание ценных пород рыб.

Водоемы восточной части Кольского полуострова в настоящее время в наименьшей степени подвержены антропогенному влиянию. В 2010 году были исследованы диатомовые сообщества фитоперифитона 14 водотоков бассейна верховьев р. Поной. Всего было выявлено 174 таксона диатомовых водорослей рангом ниже рода. Несмотря на сходные условия формирования качества вод, диатомовая флора каждого водотока имеет свои специфические черты, что связано с комплексом локальных гидролого-географических факторов. Видовое разнообразие существенно различалось в разных водотоках (Индекс Шеннона-Уивера 1.2–3.1 бит/экз.). Заболоченность территории водосбора способствует поступлению элементов питания водорослей, в частности, гуминовых кислот. Типичными видами являлись: *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *T. flocculosa* (Roth) Kütz., *Eunotia diodon* Ehrb. Данные о видовом составе исследованных водных объектов могут послужить научной основой для разработки и коррекции нормативов качества вод северных регионов.

Водоемы и водотоки восточной части Кольского полуострова сравнительно мало изучены в отношении экологических характеристик, что затрудняет объективный анализ происходящих изменений. В то же время, сравнение с данными ранних исследований (Нилова, 1966) показывают, что типичные таежные воды отчасти приобретают более высокий трофический статус. Это проявляется как в сокращении в составе сообществ доли видов, характерных для олиготрофных таежных водоемов с пониженным рН (< 7.0), так и в появлении форм, способных к массовому развитию. Так, в летний период (2013 г.) в планктоне таежных озер весьма велика доля цианопрокариот (до 43 %): *Anabaena cylindrica* Lemm., *Chroococcus dispersus* (Keis.) Lemm., *C. minutus* (Kütz.) Näg. В составе сообществ были обнаружены цианеи, способные вызывать «цветение» воды (*Dolichospermum lemmermannii*). В то же время, по уровню биомассы все водоемы характеризуются низкими значениями < 1 г/м³ и соответствуют значениям биомассы летнего фитопланктона тундровых и лесотундровых озер Кольского полуострова; содержание хлорофилла «а» для всех водоемов было невысоким и не превышало 1.66 мг/м³, что соответствует олиготрофному трофическому статусу.

Особое значение происходящие изменения имеют для разработки и корректировки оценочных систем качества вод, базирующихся на показателях водорослевых сообществ. Наибольшие трудности при этом возникают при использовании интегральных оценочных индексов в случае комплексной антропогенной нагрузке на водоем. На примере оз. Имандра показано, что использование общепринятого индекса сапробности (S) согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 для оценки качества вод в настоящее время требует пересмотра, что связано с существенной трансформацией

таксономической структуры сообществ фитопланктона в результате определенного токсического действия тяжелых металлов на отдельные чувствительные группы водорослей-сапробионтов (рис. 1). Классы качества вод, выделяемые на основе этого индекса, призваны отражать, преимущественно, трофический статус вод, без учета токсической нагрузки, поэтому воздействие тяжелых металлов не учитывается при расчетах. Таким образом, согласно рассчитанному по водорослевым сообществам индексу сапробности водоему с высоким трофическим статусом может быть присвоен более низкий и воды отнесены к «чистым». Использование этого показателя в условиях многофакторного антропогенного воздействия должно сочетаться с данными других методов оценки качества вод. После соответствующей коррекции, возможно применение индекса S в качестве индикатора токсического воздействия и степени подавления функции фотосинтеза у водорослей.

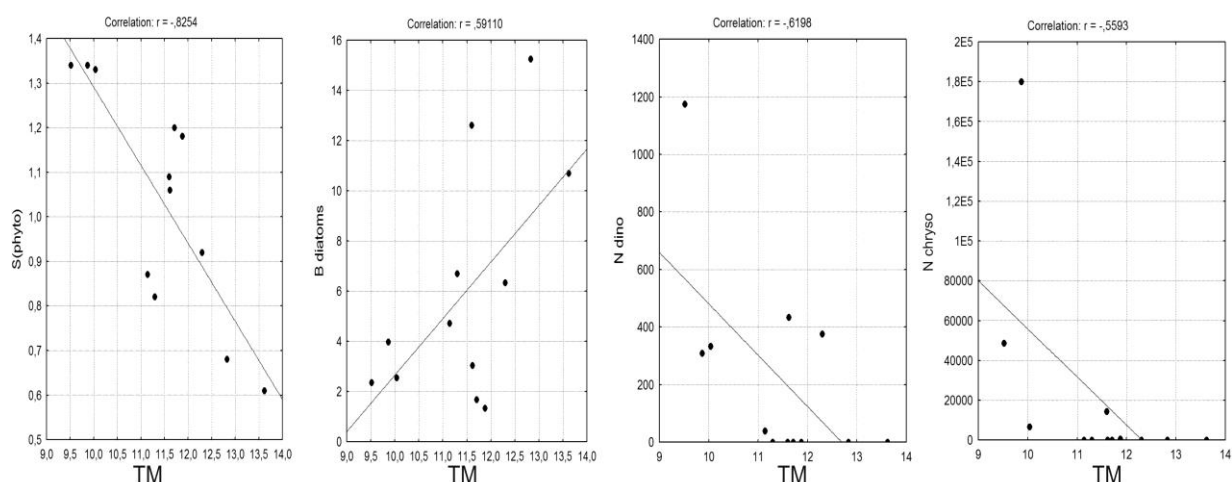


Рис. 1. Зависимость некоторых показателей сообществ фитопланктона оз. Имандра от содержания тяжелых металлов: S(phyto) – индекс сапробности, рассчитанный по показателям фитопланктона; B diatoms – биомасса диатомовых водорослей ($г/м^3$); N dino – численность динофитовых водорослей (кл/л); N chryso – численность золотистых водорослей (кл/л); TM – суммарное содержание тяжелых металлов: Cu, Ni, Co, Cd ($мкг/л$)

Таким образом, водорослевые сообщества демонстрируют изменения в структурно-функциональной организации водных экосистем Кольского Севера в глобальном масштабе. Были существенно расширены знания о видовом составе и структуре сообществ, что позволило сделать выводы о степени и характере происходящих изменений. В последние годы действие антропогенных факторов, очевидно, было усилено изменениями регионального и глобального климата, что повлекло за собой резкие и кратковременные сезонных изменения, в частности, массовое развитие отдельных видов. В составе альгоценозов увеличилась доля синезеленых водорослей, включая и потенциально токсичные формы. В водоемах «фоновых» районов в настоящее время сохраняется типично «субарктический» облик альгофлоры, с некоторыми признаками повышения трофического статуса, что также может являться следствием динамики климатической системы.

Наибольшее опасение вызывают тенденции резкого увеличения скорости процессов эвтрофикации вод в последние годы, что проявляется в различных районах Кольского полуострова. Сочетание нагрузки биогенными элементами с токсическим загрязнением для ряда водоемов приводит к искажению таких показателей, как индекс сапробности (S), что заставляет поставить вопрос о разработке корректировок систем биоиндикации. Искусственное регулирование гидрологического режима для водохранилищ наряду с эвтрофированием привело к нарушению процессов транспорта биогенных элементов и их трансформации в трофических цепях, упрощению и укорачиванию циклов этих элементов, что требует разработки мероприятий по управлению качеством водных ресурсов в регионе.

Литература

1. Денисов Д.Б., Кашулин Н.А. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды КНЦ РАН: прикладная экология Севера, 3/2013 (16). С. 68-94.

2. Денисов Д.Б. Экологические особенности водорослевых сообществ Кольского Севера: современные сукцессии. Тезисы докладов IV Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии» (Киев, 23-25 мая 2012 г.). Киев, 2012. С. 91.
3. Денисов Д.Б. Явления массового развития водорослей в разнотипных пресноводных водоемах Кольского полуострова как результат глобальных преобразований окружающей среды. «Глобальные климатические процессы и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов»: Тез. Докл. Междунар. Науч. Конф. (г. Мурманск, 9-11 ноября 2011 г.) Изд-во Кольского НЦ РАН, 2011а. С. 45–47.
4. Денисов Д.Б. Водорослевые сообщества различных ландшафтов Кольского Севера в оценке состояния водных экосистем // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге. Екатеринбург: УрО РАН, 2011б. 344 с. (тираж 250 экз.) С. 275-281.
5. Денисов Д.Б. Экологические особенности водорослевых сообществ разнотипных субарктических водоемов // Вестник Кольского научного центра РАН, 2010. № 1. С. 48-55.
6. Денисов Д.Б., Кашулин Н.А., Терентьев П.М., Валькова С.А. Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области. Вестник МГТУ, 2009. Т 12, № 3. С. 525–538.
7. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М., Кашулин А.Н. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник МГТУ, 2013а. Т. 16, № 1, С. 98-107.
8. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Вандыш О.И., Королева И.М., Валькова С.А., Кашулина Т.Г. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейны Баренцева и Белого морей и Ботнического залива Балтийского моря). Апатиты, Изд-во Кольского НЦ РАН, 2013б. Ч. 1. 298 с., Ч. 2. 253 с.
9. Нилова О.И. Гидробиологическая характеристика р. Поноя и ее притоков // Рыбы Мурманской области. Мурманское книжное изд-во, 1966. С. 105–111.
10. Bothwell M. Blooms of *Didymosphenia geminata* in Rivers of Vancouver Island 1990 to Present: A Sign of Environmental Change or a New Invasive Species? Paper presented in Québec City, November 17, 2006, at INRS-ETE.
11. Vieglais C. The New Zealand experience with didymo, Biosecurity New Zealand, 30th Congress of the International Society of Theoretical and Applied Limnology (SIL 2007), International Workshop on *Didymosphenia geminata*, August 19th 2007, Montréal.

Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Здорвеннова Г.Э.

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

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО ЛЕТА 2010 ГОДА

В 2010 году на территории Европейской России был достигнут абсолютный максимум летних температур, как по значениям, так и по продолжительности за весь период инструментальных наблюдений (1886-2010 гг.) (Груза, Ранькова, 2011). Причиной этого события указывается малоподвижный стационарный антициклон, блокирующий процессы западного переноса (Шакина, Иванова, 2010; Груза, Ранькова, 2011; Мохов, 2011; Гинзбург 2011). Подобные периоды аномальной погоды (“волны тепла”) наблюдались в 1972 году в России, в 2003 году в Западной Европе. Но установившийся летом 2010 г. над европейской территорией России блокирующий антициклонический режим был экстремальным по своей интенсивности и продолжительности (около двух месяцев) и наблюдался на огромной территории. Особенно тепло было в центре и на юге европейской территории, так в Москве в июле было зарегистрировано 10 температурных рекордов (<http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/227-temperaturnye-rekordy>). Южная часть Карелии также испытала сильную жару. На метеорологической станции (МС) Петрозаводск одной из первых был обновлен абсолютный исторический максимум температуры воздуха – 7 июля, в Москве это событие наблюдалось 16 июля. Всего в июле 2010 на МС Петрозаводск отмечено 7 абсолютных максимумов температуры воздуха, которые достигали 33.0-33.2°C.

Одним из наиболее значимых физических параметров в любой озерной системе является температура воды. Сравнительно малые изменения в термическом режиме озера, например, в термической стратификации, могут вызывать большие сдвиги в количественном и качественном составе фитопланктона, бактериопланктона и зоопланктона. Чрезвычайная жара лета 2010 г. с особой остротой подняла проблемы климатических изменений и их последствий. Цель нашей работы определить влияние продолжительных аномально высоких летних температур окружающего воздуха 2010 года на температуру воды и содержание кислорода – важных элементов экосистемы озер умеренной зоны.

Материалы наблюдений. Для рассмотрения влияния жарких условий лета 2010 года мы выбрали два озера южной Карелии – Сямозеро и Вендюрское, которые находятся в 30 км друг от друга, и поэтому по существу находятся в одинаковых климатических условиях, однако заметно отличаются по морфометрическим характеристикам (таблица). Озеро Сямозеро относится к средним озерам по площади и глубине, озеро Вендюрское – типичное малое озеро. Оба озера мезотрофные, по вертикальной термической структуре они относятся к метатермическому типу, т.е. обычно имеют два слоя: верхний квазиоднородный и нижний стратифицированный (Ефремова, Пальшин, 2003; Пальшин и др., 2008).

Для озера Сямозеро проанализированы многолетние среднедекадные натурные данные о температуре поверхности воды Карельского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1953-2011 годы. За тот же период рассмотрены среднемесячные летние данные о температуре воздуха на ближайшей метеостанции Петрозаводск. Для характеристики летней вертикальной термической структуры и концентрации растворенного кислорода использованы данные непрерывных измерений, полученные Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН на оз. Вендюрском в 2007 – 2013 гг. Высокочувствительные приборы канадской фирмы «RBR Ltd» (TR-1060, TDR-2050, TDO-1050) устанавливались в озере на буйковых станциях на разных глубинах через 1-1.5 м. Измерения проводились с шагом по времени одна минута, что позволило получить подробные материалы о поступлении и перераспределении тепла и содержании растворенного кислорода во всей водной толще озера. Восемью срочные данные наблюдений на МС Петрозаводск (http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r_day_stn.sht?num=514) были использованы за период измерений (2007-2013 гг.).

Характеристики исследуемых озер

	Сямозеро	Вендюрское
Широта, ° с.ш.	61.92	62.25
Долгота, ° в.д.	33.28	33.25
Высота, м	106.5	143.8
Площадь, км ²	266	10.4
Средняя глубина, м	6.7	5.3
Максим. глубина, м	24.5	13.4
Объем, км ³	1.79	0.06

Результаты. В июле 2010 г. среднемесячная температура воздуха на МС Петрозаводск составила 22.3°C, что превысило среднее значение по выборке (16.5°C) за период 1953-2011 гг. на 3.1 стандартного отклонения (σ) и была выше базовой нормы (1961-1990) на 6.2°C. На оз. Сямозеро в этот месяц средняя температура поверхности воды 23.7°C превысила среднее значение по выборке (18.7°C) на 2.9 стандартных отклонений. Причем в июле 2010 года среднемесячная температура воды была на 2.5°C больше предыдущего рекорда 1972 года (рис. 1). Экстремально высокая (для данной местности) среднедекадная температура поверхности воды 25.8°C была зарегистрирована во второй декаде июля.

Очень теплыми также были две первые декады августа, когда средняя температура воздуха составила 22.5°C. В августе среднемесячная температура воздуха превысила среднее значение по выборке (14.4°C) на 2.0 σ , а температура воды – на 2.6 σ . Небывало высокие значения среднедекадной температуры воды для карельского озера наблюдались в первой и во второй декаде августа (23.8°C и 22.5°C, соответственно).

Статистический анализ временных рядов межгодовой изменчивости в июле для температуры воздуха и воды за период 1953-2011 гг. показал наличие значимых положительных трендов (рис. 1).

Линейные тренды рассчитаны методом наименьших квадратов и выражены в градусах за десятилетие. Установленная средняя скорость изменения региональной температуры воздуха в июле равна $0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет, уровень значимости ($p < 0.01$), а для температуры воды в озере – $0.52^{\circ}\text{C}/10$ лет ($p < 0.0001$). В августе для температуры воздуха тренд оказался не значимым, а для озера значения роста температуры воды составили $0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет ($p < 0.0001$).

Известно, что для распространения различных видов гидробионтов и возможности их существования в водоеме требуется наличие определенных температурных условий. Особенно важен для них период, когда температура верхнего слоя воды в озерах устойчиво больше 10°C (так называемое “биологическое лето”). Для каждого года наблюдений на оз. Сямозеро мы определяли дату устойчивого перехода температуры воды через 10°C весной и осенью. Разница между датой начала и концом периода составляла продолжительность “биологического лета”, а интегральная сумма значений температуры воды за каждый день больше 10°C составляла сумму градусо-дней “биологического лета” (Пальшин и др., 2008).

Весной средняя дата перехода температуры воды через 10°C наблюдается в конце мая – первой декаде июня, а осенью она приходится на конец сентября – первую декаду октября. На оз. Сямозеро средняя продолжительность периода с температурой воды у берега выше 10°C составляла 120 суток, причем максимальная продолжительность “биологического лета” достигла 142 дня в 2006 году, минимальная – 92 дня в 1956 году (рис. 2). Средняя сумма градусо-дней за этот период была для оз. Сямозеро 1927 градусо-дней. Сумма градусо-дней и продолжительность “биологического лета” достаточно тесно связаны (коэффициент корреляции 0.91).

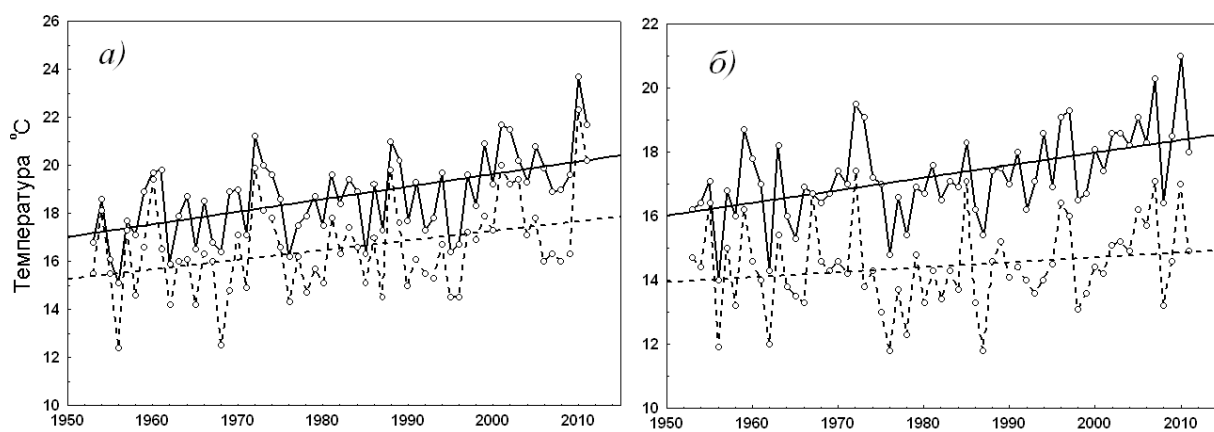


Рис. 1. Среднемесячная температура поверхности воды оз. Сямозеро (сплошная линия) и среднемесячная температура воздуха на МС Петрозаводск (прерывистая линия) а) в июле; б) в августе

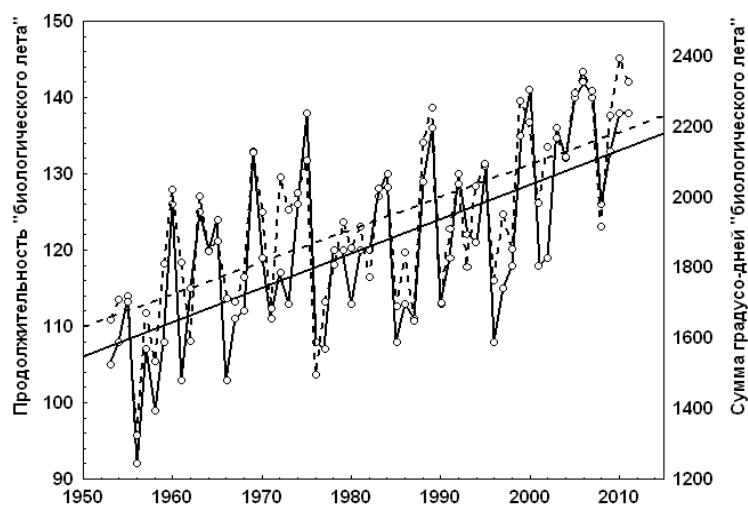


Рис. 2. Продолжительность “биологического лета” (сплошная линия) и сумма градусо-дней (прерывистая линия) оз. Сямозеро

Температура воды в 2010 году была аномальной в июле и в первой половине августа, тем не менее, несмотря на максимальную сумму градусо-дней (2396), из-за прохладного июня «биологическое лето» не стало самым продолжительным (138 дней). Следует отметить, что в этот год продолжительность периода с температурой поверхности воды выше 20°C составила 50 суток, что для Карелии крайне экстремальная ситуация.

К сожалению, из-за отсутствия данных наблюдений на разных горизонтах водной толщи в оз. Сямозеро нельзя судить о межгодовых изменениях в вертикальных распределениях температуры воды. Наличие подробных измерений на близко расположенном оз. Вендюрском за 2007-2013 гг. дало уникальную информацию о формировании вертикальной термической структуры в метатермическом озере в разные по синоптическим условиям годы. В Вендюрском озере, как правило, устойчивого сезонного термоклина не наблюдается, и водная масса озера может периодически перемешиваться до дна. В жаркую и маловетреную погоду июля 2010 года сформировался устойчивый термоклин (рис. 3), градиент температуры в котором достигал $5^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^{-1}$ в слое 3-5 м. Термоклин препятствовал переносу тепла от поверхности к придонным слоям, поэтому придонная температура менялась слабо. Летом 2010 г. термоклин регистрировался в озере до второй половины августа. К середине августа он опустился до глубин 5-7 м, градиент температуры в нем составлял 3-4°C м⁻¹. Достиг дна и разрушился термоклин лишь после 23 августа. Продолжительность «биологического лета» в 2010 году для оз. Вендюрского составила 139 суток, а сумма градусо-дней 2369, значения близкие для оз. Сямозеро.

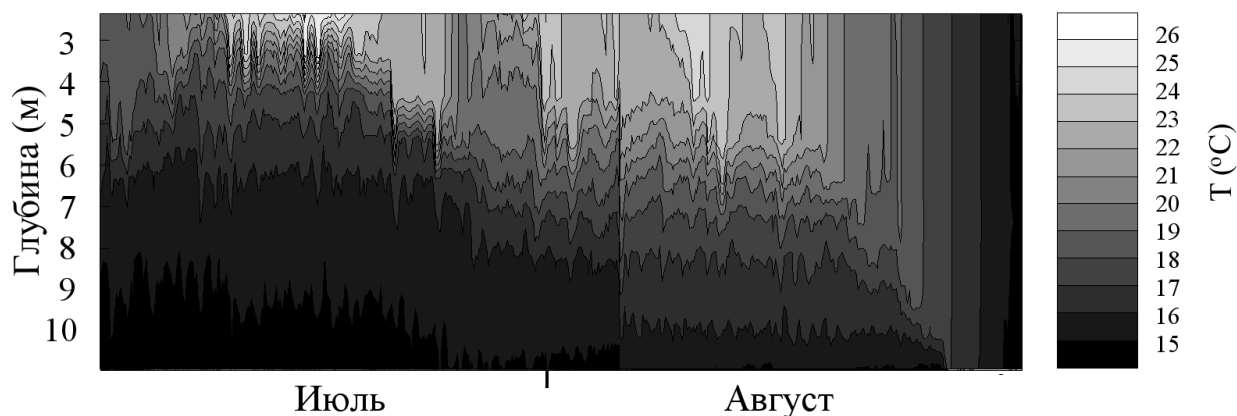


Рис. 3. Формирование вертикальной термической структуры в оз. Вендюрском в июле-августе 2010 г.

Летом в малых озерах при слабых ветрах и наличии термической стратификации возникают условия затрудненной аэрации водной толщи, что может приводить к дефициту растворенного кислорода в придонных слоях. В оз. Вендюрском он, как правило, существует недолго в силу периодического ветрового перемешивания, охватывающего всю водную толщу даже при умеренных ветрах. В конце июля – начале августа при обострении термоклина в глубоководной части озера концентрации кислорода в разные годы понижались на горизонтах 2-3-м над дном до 3 мг л⁻¹ (< 30%), а в придонном слое толщиной 0.5-0.7 м были даже меньше 1 мг л⁻¹. Жарким летом 2010 года наблюдалась экстремальная гравитационная устойчивость водной толщи, которая при повышенных температурах воды имела серьезные последствия для содержания кислорода в озере. В период с 1 по 20 августа на горизонтах измерений, расположенных в 3.64, 1.64 и 0.99 м над дном, концентрации РК не превышали 2.5, 2.0 и 1.5 мг·л⁻¹, соответственно (рис. 4). В придонном слое 0.5 м концентрации кислорода в это время были меньше 0.5 мг·л⁻¹, а на горизонте 0.2 м над дном – менее 0.1 мг·л⁻¹. Дефицит растворенного кислорода (концентрация менее 2 мг л⁻¹) наблюдался не только в центральной глубоководной части озера, но и в придонном слое толщиной до одного метра в локальном углублении дна у северного берега. По мере заглубления сезонного термоклина во второй декаде августа содержание растворенного кислорода в верхнем перемешанном слое выравнивалось. Окончательное разрушение придонных анаэробных зон произошло только после полного перемешивания водной массы озера в третьей декаде августа.

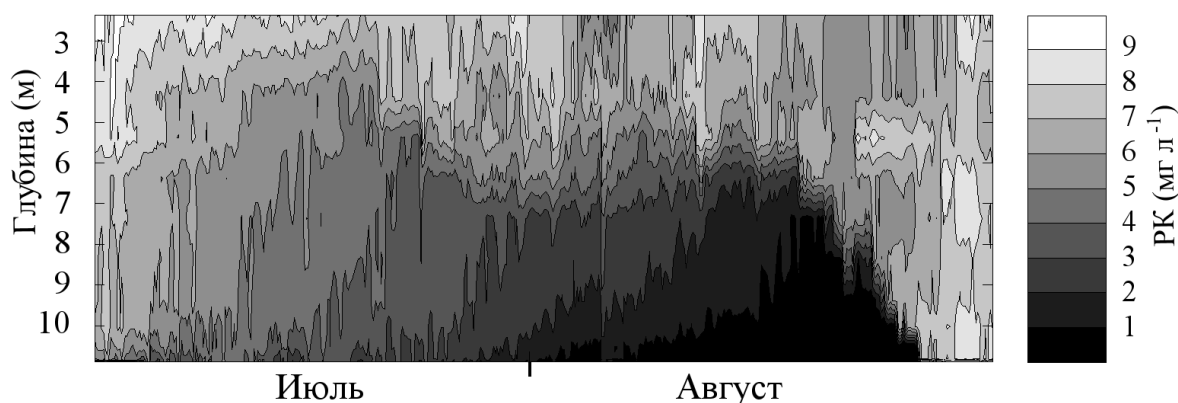


Рис. 4. Содержание растворенного кислорода в центральной глубоководной части оз. Вендюрского в июле-августе 2010 г.

Многолетние наблюдения на оз. Сямозеро позволили проанализировать и сравнить диапазон естественной межгодовой изменчивости температуры воды за 60-летний период и показать превышения температуры воды от среднемноголетних в рекордно жаркое лето 2010 года. В работе также была предпринята попытка оценить влияние уникального “природного эксперимента” в условиях аномально жаркого лета на вертикальные распределения в озерах температуры воды и содержания растворенного кислорода. Следует отметить, что выборка, включающая данные с аномальными погодными условиями, особенно ценна, т.к. такая информация может помочь оценить возможный отклик экосистем водоемов суши в зоне умеренных широт на прогнозируемые в будущем условия при потеплении климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-00338).

Литература

1. Гинзбург А.С. Региональные максимумы температуры воздуха и возможность их простых энергобалансовых оценок // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2011. Т. 47, № 6. С. 722-728.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Оценка возможного вклада глобального потепления в генезис экстремально жарких летних сезонов на Европейской территории РФ // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2011. Т. 47, № 6. С. 717-721.
3. Ефремова Т.В., Пальшин Н.И. Формирование вертикальной термической структуры озер Северо-Запада России и Финляндии // Водные ресурсы, 2003. Т. 30, № 6. С. 696-706.
4. Мохов И.И. Региональные максимумы температуры воздуха и возможность их простых энергобалансовых оценок // Физика атмосферы и океана, 2011. Т. 47, № 6. С. 709-716.
5. Пальшин Н.И., Ефремова Т.В., Потахин М.С. Влияние морфометрических характеристик и географической зональности на термическую стратификацию озер // Водные ресурсы, 2008. Т. 35, № 2. С. 202-209.
6. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология, 2010. № 11. С. 5-18.

Захаров А.Б., Рафиков Р.Р.

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

РЫБНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ВОСПРОИЗВОДСТВО В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Во многих регионах Российской Федерации, в том числе и в Республике Коми, в последние десятилетия отмечается устойчивая тенденция снижения водных биологических ресурсов. В водоемах республики, начиная с 90-х годов прошлого века, наблюдается 5-10-ти кратное падение промысловых уловов во всех бассейнах главных рек. Численность популяций ценных и промысловых рыб кратно снизилась во многих речных и озерно-речных системах в бассейне р. Печора и, особенно,

в водотоках, пересекаемых трассами транспортировки нефти и газа, а также расположенных в районах производственной деятельности объектов топливно-энергетического комплекса. Первопричина деградации рыбных ресурсов на территориях хозяйственного освоения связана не только с локальными техногенными загрязнениями водосборов малых и средних рек, которые к тому же в последнее время чаще всего оперативно ликвидируются. Как правило, обустройство и эксплуатация геологических месторождений, сопровождается строительством коммуникационных и транспортных систем, что резко повышает доступность водоемов и обитающего в них рыбного населения для человека. При этом эксплуатация рыбных ресурсов носит несанкционированный и нерациональный характер, что быстро приводит к их истощению. Проведенные Институтом биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) и Северным Полярным Институтом рыбного хозяйства и океанографии (г. Архангельск) исследования в бассейне р. Печора и ее притоках показали, что в условиях нерегулируемого рыболовства, в первую очередь сокращаются запасы лососеобразных рыб – сига, пеляди нельмы, европейского хариуса и других видов, имеющих высокую коммерческую значимость. Естественное восстановление их численности в условиях непрекращающейся производственной деятельности затруднено.

Анализ опыта мирового сообщества показал, что проблема восстановления и поддержания рыбных запасов на высоком уровне решается комплексной реализацией мероприятий по трем направлениям: усиление охраны водотоков, снижение техногенного загрязнения и в случае необходимости (например, потери части нерестового потенциала), используются методы искусственного воспроизводства рыбного населения.

В программе по развитию аквакультуры на 2008–2012 годы Республики Коми, начатой еще в 2002 году, уделено серьезное внимание развитию мероприятий по искусственному воспроизводству «природных» популяций разных видов рыб. Зарыбление водных объектов молодью ряда видов промысловых рыб широко практикуется в Российской Федерации и многих других странах. Однако данные работы для Республики Коми, несмотря на имеющийся опыт, носят во многом ограниченный характер, что обусловлено многообразием водоемов и их географическим расположением, биологическими особенностями объектов воспроизводства, но главным образом недостаточным финансированием. Рыбоводные технологии по искусственному воспроизводству природных популяций осуществляются по двум основным направлениям. Первое, включает сбор и оплодотворение икры непосредственно на водоемах и последующую инкубацию на рыбоводных хозяйствах и выпуск молоди в водоемы. Второе направление также широко распространено в мировой практике и базируется на создании маточных стад разных видов рыб. Автономность и высокая технологичность данного направления обуславливают его перспективность при наличии специализированного современного рыбоводного комплекса.

Выбор объекта воспроизводства или популяции зависит от многих факторов: генезиса фауны, численности вида и его места в структуре рыбного населения, промысловой значимости, необходимости поддержания численности заводским способом. Состояние рыбных запасов Республики Коми таково, что практически все ценные и промысловые виды рыб нуждаются в их охране и восстановлению естественной численности. Это в первую очередь сиговые рыбы и европейских хариус, для популяций которых во всех реках отмечаются признаки деградации их ресурсной значимости. В речных системах бассейна р. Печора европейский хариус и сиг, как промысловые до настоящего времени виды, относятся к доминирующим видам в ихтиоценозах, как по численности, так и биомассе. В последние десятилетия запасы сиговых и европейского хариуса во многих притоках р. Печора, таких как Ижма и Ухта с притоками, Велью, Вуктыл и непосредственно в самой р. Печора, оказались подорванными. Для многих водотоков Тимана и средней Печоры характерно снижение доли в уловах лососевидных рыб, имеющих высокое коммерческое и эстетическое значение. Аборигенные виды, такие как, европейский хариус и сиг местной экологической формы, на местах нагула представлены рыбами младших возрастных групп – двух, трех и четырех лет, то есть особями, не достигшими половой зрелости. При этом численность европейского хариуса здесь не превышает 20 – 30 экземпляров на гектар, что на порядок ниже, чем данный показатель обычный для участков рек, сохранивших естественную плотность рыб. К числу негативных признаков, характеризующих популяции хариуса и сига малых рек в рассматриваемом регионе, относится отсутствие в промысловых уловах рыб старших предельных возрастов, например, 11+-12+. Явное омоложение возрастной структуры основных промысловых видов рыб прослеживается при анализе возрастного состава нерестовой части популяций хариуса и сига. Преобладающая часть производителей имеют возраст пять – шесть лет, то есть впервые участвуют

в нересте. Картина сложившейся депрессии запасов лососеобразных рыб дополняется еще и тем, что в условиях рек горного и полугорного типа, экологическую нишу, которую освоил реофильный европейский хариус, даже в его отсутствие не может занять ни один из видов рыб, обитающих в бассейне р. Печора. Складывается ситуация, когда водотоки сохранили свою первозданную чистоту, а многие их биотопы с быстрым течением остаются невостребованными для рыбного населения. Такая картина достаточно типична для рек не только Тимана, с относительно развитой инфраструктурой, но и уральских притоков Печоры (например, р. Вуктыл, Унья, Илыч и даже акватории заповедника и Национального парка – объектов федерального значения). Повышение доступности рек и несанкционированное рыболовство стало главной причиной полного исчезновения ранее промысловых популяций тайменя на реках Косью и Илыч.

Несмотря на ухудшение среды обитания рыб, наблюдаемое в районах обустройства и функционирования объектов ТЭК и снижение при этом потенциала популяционных ресурсов (включая выпадение из ареала воспроизводства нерестовых участков, потеря или ухудшение нагульных угодий), многочисленные акватории сохранили свой естественный гидрохимический и гидробиологический режим. Однако, эффективное восстановление численности лососеобразных рыб здесь в настоящее время возможно лишь с помощью искусственного воспроизводства. Учитывая состояние популяций ценных и промысловых видов в бассейне р. Печора и во многих ее притоках, особенно, протекающих или граничащих с техногенными зонами, а также давно назревшую необходимость восстановления их ресурсной значимости, сиговые рыбы и европейский хариус предлагаются как модельные виды для реализации и развития мероприятий по воспроизводству «природных» популяций рыб в водоемах Республики Коми. Это тем более необходимо, если учесть, что сиговые рыбы и европейский хариус относятся к числу основных промысловых видов в бассейне р. Печора, численность которых во многом определяют общую рыбопродуктивность реки. Кроме того, во многих небольших по размеру притоках Печоры структура рыбного населения такова, что европейский хариус в них по численности явно доминирует и на отдельных биотопах доля его в уловах достигает 60-90% и более.

Анализ состояния запасов основных ресурсных видов рыб в бассейне р. Вычегда показывает, что практически для всех промысловых рыб также характерны признаки депрессивного состояния: снижение численности промысловой части популяций, ухудшение биологических показателей, падение промысловых уловов. Это касается прежде всего таких видов, как европейский хариус, сиг (в главных притоках р. Вычегда), атлантический лосось, нельма, лещ, язь, щука, стерлядь.

Аналогичная ситуация наблюдается и в бассейне р. Мезень, где как в магистральном русле, так и ее притоках, сохраняется тенденция снижения запасов основных промысловых рыб. В первую очередь проблемы сохранения запасов актуальны для атлантического лосося, европейского хариуса и щуки.

Анализ материалов рыбохозяйственных исследований позволяет рекомендовать, как первоочередные объекты искусственного воспроизводства для бассейна р. Печора европейского хариуса и сига. В перспективе в число видов для искусственного воспроизводства необходимо включить и такие коммерческие виды рыб, как нельма, пелядь, чир, омуль и атлантический лосось. Мероприятия по выпуску молоди европейского хариуса уже в настоящее время требуется проводить, по крайней мере, на тиманских притоках Печоры (бассейн р. Ижма с притоками Сэбысь, Сюзью, Айюва, Седью, Тобысь и др.), а также некоторых притоках среднего и верхнего течения р. Печора. Учитывая современное состояние кормовой базы рыб, экологическая емкость водотоков в бассейне р. Печора для выпуска европейского хариуса составляет по экспертной оценке не менее 5 миллионов экземпляров сеголетков хариуса. Осуществление работ по искусственному воспроизводству сиговых рыб должно ориентироваться на нижнее течение и, частично, среднее течение р. Печора. Учитывая состояние промысловых стад сиговых рыб, обширность их ареала и ресурсный потенциал, экспертная оценка необходимой численности по ежегодному выпуску составляет около 10-15 миллионов мальков.

Для акваторий бассейна р. Вычегда на первом этапе рекомендуется выпуск молоди таких промысловых видов, как лещ, язь и щука, запасы которых, в настоящее время можно охарактеризовать как неудовлетворительные или нерентабельные для промысла. Расчетная экологическая емкость акваторий составляет до 10 миллионов молоди (частиковых) рыб. Восстановлению промысловых запасов европейского хариуса в главных притоках р. Вычегда (Локчим, Вишера, Вымь, Сысола и др.) будут способствовать работы по выпуску не менее 2-3 миллионов сеголетков. В среднесрочной перспективе мероприятия по искусственному воспроизводству должны охватить и такие виды рыб, как стерлядь, атлантический лосось, нельма и сиг.

Для среднего и верхнего течения р. Мезень и ее притоков (рр. Вашка, Ирва и др.) характерно падение ресурсного значения, регионально важных и коммерчески значимых видов рыб. Это атлантический лосось и европейский хариус. В последние годы отмечено снижение доли в уловах щуки. Учитывая эти обстоятельства в первую очередь необходимо ориентироваться на восстановление численности европейского хариуса и щуки. Экологическая емкость акваторий по экспертной оценке составляет не менее 2–3 миллионов мальков для каждого вида.

Учитывая региональный российский опыт и международную практику, для восстановления запасов промысловых видов рыб в рыбохозяйственных акваториях, где сохраняется хорошее качество природной среды, но не востребуются нерестилища или нагульные угодья, в связи с низкой численностью рыб, мероприятия по искусственному воспроизводству будут иметь решающее значение.

Кроме государственных программ по восстановлению и сохранению водных биологических ресурсов, важное значение должны иметь мероприятия по искусственному воспроизводству, где источниками инвестиций являются крупные компании (водопользователи), технологические объекты (буровые, магистральные и межпромысловые коммуникации и т.д.) которых размещены в зоне воздействия на водные экосистемы.

В течение последних 5 лет в Республике Коми осуществляются работы выпуску мальков, преимущественно сига и европейского хариуса, в бассейне р. Печора. Объемы выпуска достигают полутора миллионов мальков ежегодно. К государственной программе удалось подключить Компании «Лукойл Коми» и «Роснефть», финансирующих часть работ по искусственному воспроизводству. В данном контексте это лишь малая доля необходимых инвестиций, поскольку объем ущерба природной среде (включая водным биологическим ресурсам) в результате производственной деятельности только крупных компаний («Лукойл Коми», «Транснефть», «Роснефть», «Газпром», «Газпромтранс», «Боксит Тимана», «Сыктывкарский ЛПК» и другие), ежегодно составляет сотни миллионов рублей. При этом проблемы рыбохозяйственной отрасли в настоящее время не отнесены к числу приоритетных.

Зотин А.А.

*Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, г. Москва
aazotin@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ МОЛЕВОГО ЛЕСОСПЛАВА НА СЕВЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Молевой лесосплав является наиболее дешевым, а в некоторых районах – единственно доступным способом транспорта леса. Тем не менее, в связи с укоренившейся точкой зрения, что такой способ транспортировки является наиболее губительным для экосистемы, молевой лесосплав, за некоторыми исключениями, был запрещен на всей территории России в 1995 г. (Водный Кодекс Российской Федерации, 1995).

В настоящее время стало очевидно, что принятие закона было основано на чисто декларативных утверждениях или на неверно интерпретированных фактах.

Так, например, резкое уменьшение вылова рыб было объяснено негативным воздействием лесосплавных работ (Николаева, 2009). Однако, как оказалось, в те же периоды времени аналогичное уменьшение вылова произошло и в других водоемах, не использовавшихся для лесосплава (Коротаяевский, 2006; Митрофанов, 2007).

Подробный анализ литературных данных по влиянию молевого лесосплава на водную экосистему, проведенный рядом исследователей (Мануковский, Савчук, 2007; Митрофанов, 2007; Харитонов, 2007; Харитонов, Посыпанов, 2007; Штаборов, Рымашевский, 2011), показал, что большинство тезисов, выдвигаемых противниками молевого сплава (см. Николаева, 2009), не подтверждаются имеющимися фактами. Лесосплав при его правильной технологии организации не оказывает значительного отрицательного влияния на водный баланс водоемов (Мануковский, Савчук, 2007).

Имеющиеся факты свидетельствуют о том, что:

- во-первых, концентрация токсических продуктов гниения леса в водоемах, на которых проводится молевой лесосплав, не превышает ПДК (Патякин и др., 1983; Мануковский, Савчук, 2007);

- во-вторых, механическое воздействие плывущего леса на нерестилища при грамотной организации сплава можно свести к минимуму. Как отмечает Н.А. Остроумов: "...Большинство весенненерестующихся форм нерестятся в пойме во время разлива и даже часто используют для прикрепления икры тот же древесный субстрат - кусты, хворост, коряги. Период эмбрионального развития небольшой. Выклюнувшаяся молодь подчас прикрепляется к субстрату, на котором была икра. Осенненерестующиеся рыбы нерестятся в местах с быстрым течением, где отходы сплава задерживаются редко..." (цит. по Мануковский, Савчук, 2007);

- в-третьих, «засорение» рек корой, ветками и топляком на самом деле является скорее положительным фактором. Развитие на отходах древесины различных организмов приводит к формированию новой экосистемы, с существенно большим разнообразием видов животных и растений по сравнению с водоемами, где лесосплав не производится. «...Участки дна, засоренные древесными остатками и затонувшей древесиной, в реках европейского северо-востока значительно богаче жизнью, чем участки с тем же грунтом, но без древесины. Здесь появляются даже моллюски, столь редкие в этих реках. Рыба охотно держится около затонувших деревьев. Здесь она питается дендрофилами. Дендрофилов охотно используют в пищу многие рыбы». (Н.А. Остроумов, цит. по Мануковский, Савчук, 2007).

- в-четвертых, альтернативой молевому сплаву является вывоз леса автотранспортом. Однако при таком способе транспортировки вред, наносимый экосистеме, оказывается более существенным по сравнению с лесосплавом. Вследствие привлечения дополнительного автотранспорта усиливается загрязнение природы нефтепродуктами, тяжелыми металлами, выхлопными газами, резиной и т.п.; из-за необходимости прокладки новых дорог нарушается почвенный покров и т.д. (Мануковский, Савчук, 2007).

- в-пятых, в том случае, если добыча леса вообще прекращается, также появляется ряд негативных эффектов, связанных с отсутствием грамотного ухода за лесом: появляются переспелые, гниющие на корню леса; развиваются эпидемии леса, приводящие к его усыханию (Коротаевский, 2006).

Кроме вышеперечисленного, совершенно не учитываются эффекты от резкого прекращения лесосплава. Наиболее очевидные из них - уменьшение уровня и скорости течения воды в реках, что приводит к уменьшению кормовой базы для биофильтраторов и степени аэрации нерестилищ, снижению самоочистки воды в озерах и реках, повышению вероятности полного промораживания водостока в зимний период, увеличению заболачивания берегов, формирование торфяного слоя почвы, увеличивающего пожароопасность.

Не принимаются также в расчет эффекты социально-экономического характера, такие как удорожание лесозаготовок (при переходе на вывоз леса автотранспортом), увеличение уровня безработицы (при прекращении добычи леса), повышение интенсивности и эффективности браконьерского лова рыб.

Сейчас уже стало ясно, что резкое прекращение молевого лесосплава повсеместно выбило экосистемы из сложившегося состояния гомеостаза. Формируются новые гомеостатические состояния. Конкретные последствия прекращения лесосплава, конечно, зависят от большого количества факторов, сочетание которых различно для разных экосистем.

Для примера, рассмотрим, как прекращение лесосплава повлияло на экологическую обстановку в небольшом по площади бассейне ручья Торма, протекающего в 20-30 км к востоку от пос. Умба (Герский р-н, Мурманская обл.) (рис. 1). Ручей Торма вытекает из оз. Верхнее Тормозеро, протекает через ряд озер (оз. Нижнее Тормозеро, оз. Верхнее Выпчозеро, оз. Нижнее Выпчозеро) и впадает в Белое Море.

Вырубка леса с применением молевого лесосплава в бассейне ручья была начата в начале XX века и закончилась в начале 80-х годов XX века.

Обследование ручья, проведенное нами в 1994 г., показало, что в ручье обитала популяция пресноводного двусторчатого моллюска обыкновенная жемчужница *Margaritifera margaritifera* (сем. Margaritiferidae). Этот вид находится под угрозой исчезновения и внесен в Красную Книгу Российской Федерации и в Международную Красную Книгу. Наряду с другим двусторчатым моллюском беззубкой *Anodonta* sp. (сем. Unionidae), населяющим озера, жемчужница является естественным биофильтратором и, следовательно, важным компонентом системы самоочистки водных экосистем. Численность *M. margaritifera* в 1994 г. была оценена нами в 4000 экз. (Beletsky et al., 1995).

При повторном обследовании в 2004 г. наблюдалась массовая гибель жемчужниц. Створки недавно погибших раковин локализовались в русле ручья на порожистых участках и непосредственно за ними.

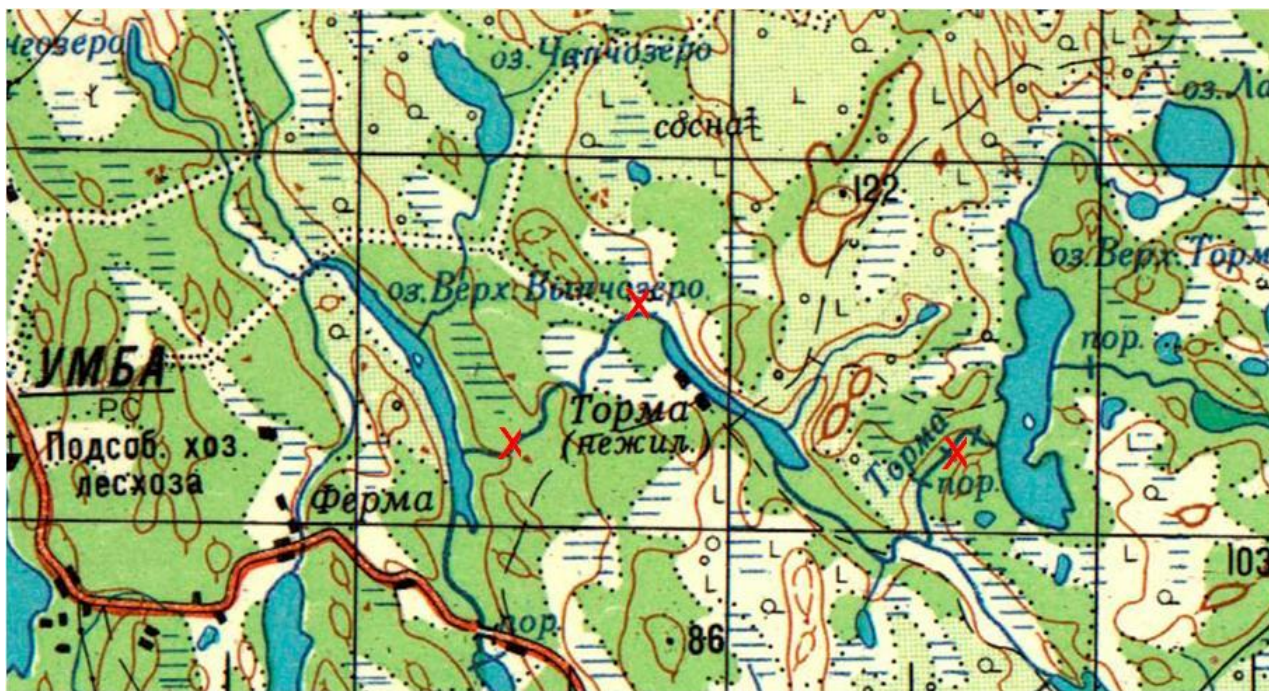


Рис. 1. Карта бассейна ручья Торма. Масштаб 1:200000. Крестами обозначены участки ручья, где обитала жемчужница

Наконец, обследование 2013 г. показало полное исчезновение популяции. Живых жемчужниц обнаружено не было. Створки раковин в большом количестве лежали в прибрежной зоне. Количество погибших моллюсков приблизительно соответствовала численности всей популяции.

Одновременно обнаружена массовая гибель беззубок в озерах (рис. 2а).

Причины гибели, по-видимому, не связаны с каким-либо кратковременным токсическим воздействием катастрофического характера (кислотный дождь, загрязнение ракетным топливом и т.п.), поскольку гибель моллюсков в соседних популяциях *M. margaritifera* (р. Варзуга, р. Муна) не превышала обычного уровня. Скорее всего, именно прекращение лесосплава привело в конечном итоге к исчезновению популяции жемчужниц в бассейне р. Торма.

Конкретный фактор, оказавшийся критическим для жизнеспособности моллюсков, не ясен. Возможны следующие варианты:

1. Уменьшение количества пищи в связи с сокращением количества организмов, развивавшихся за счет потребления продуктов молевого лесосплава (затонувших бревен, коры, сучьев и листьев), и уменьшением скорости течения в ручье из-за снижения напора воды.

2. Полное промерзание мест обитания жемчужниц из-за снижения уровня воды.

3. Закисление воды из-за заболачивания побережья.

Последнее представляется наиболее вероятным. Характерной особенностью створок погибших раковин является почти полное растворение перламутрового и призматического слоев, в то время как внешний конхиолиновый слой остался относительно не поврежденным (рис. 2 б,в). Поскольку конхиолиновый слой растворяется в щелочи, а остальные слои - в кислотах (Зюганов и др., 1993), можно предположить, что вода в ручье закислилась до критической для выживания жемчужниц величины.

Если наши предположения верны, то в ближайшее время следует ожидать массовой гибели жемчужницы в бассейне реки Муна с аналогичными параметрами экосистемы. Молевой сплав по реке Муна был прекращен несколько позже, чем в бассейне ручья Торма.

Двустворчатые моллюски являются одним из основных компонентов системы самоочистки воды. Поэтому их гибель несомненно оказывает негативный эффект на экосистему в целом. Кроме того, двустворчатые моллюски, их личинки и молодь являются важным компонентом пищевых цепей. В частности, для северных рек они служат основным источником пищи для выдры, занимают существенную часть рациона некоторых видов водоплавающих птиц и рыб. Извлекая из воды кальций для построения раковин, двустворчатые моллюски участвуют в регуляции солевого состава воды в водоемах.

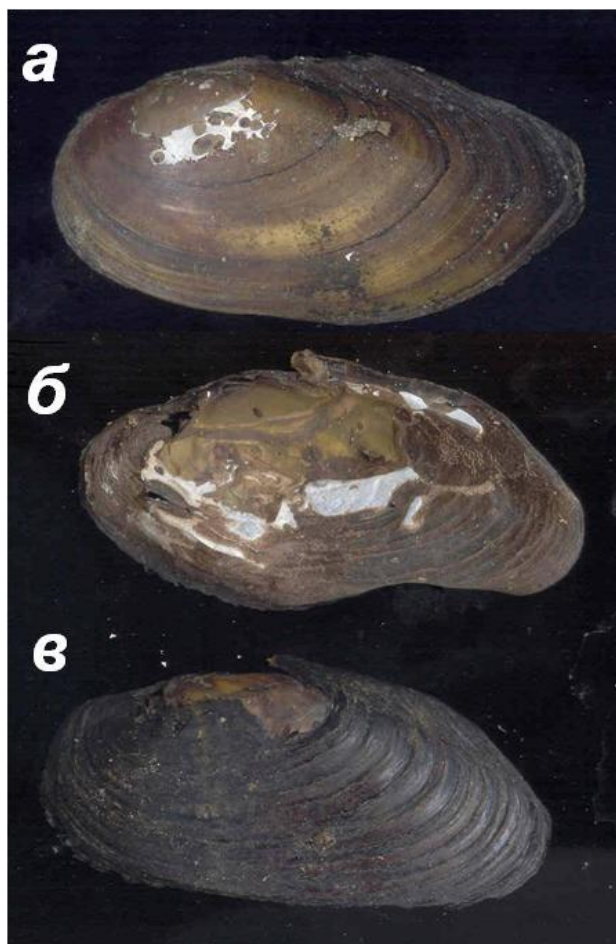


Рис. 2. Створки раковин погибших моллюсков. Сбор августа 2013 г. а – *Anodonta* sp., прибрежная зона оз. Верхнее Выпчозеро; б – *M. margaritifera*, побережье ручья Торма; внутренняя сторона; в – то же, внешняя сторона

Кроме очевидного прямого негативного воздействия прекращения лесосплава, следует также отметить и косвенные эффекты экологического и социально-экономического характера. Так, в результате запрета молевого лесосплава в Терском районе добыча леса оказалась не рентабельной, что привело к закрытию леспромхоза - одного из основных градообразующих предприятий. Другое градообразующее предприятие (рыборазделочный завод) закрылось в результате запрета на отлов беломорской сельди. Как следствие, местное население в основной своей массе было вынуждено заняться либо сбором ягод и грибов на продажу, либо ловом ценных пород рыб (чаще всего, браконьерским). И то и другое занятие привело к дополнительному антропогенному воздействию на экосистемы.

Таким образом, прекращение молевого сплава не дало ощутимого результата ни для охраны окружающей среды, ни для повышения эффективности рыбного хозяйства, в то время как отрицательные экологические и экономические последствия этого шага очевидны (Штаборов, Рымашевский, 2011). Стало очевидным, что молевой лесосплав является не только самым дешевым способом транспортировки леса, но и наносящим наименьший вред природе, а с учетом дополнительных факторов, он даже полезен для функционирования экосистем и увеличения биоразнообразия.

По-видимому, настало время поставить вопрос о снятии запрета на лесосплав. Конечно, при этом надо соблюдать определенные условия: проводить сплав только в те периоды, когда рыба не нерестится; очищать нерестилища от засорения непосредственно перед нерестом; обеспечивать достаточный уровень воды к моменту ледостава, чтобы предотвратить промерзание водоема; не допускать работу бульдозеров и иных машин в русле водоемов и т.п.

Работа осуществлена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-04-00397-а, 12-04-00594-а) и Президиума РАН (Программы «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и «Организация научных экспедиций и содержание научных стационаров»).

Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации от 16.11.1995 № 167-ФЗ. 1995.
2. Зюганов В.В., Зотин А.А., Третьяков В.А. Жемчужницы и их связь с лососевыми рыбами. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1993. 134 с.
3. Кортаевский А. Лесосплав: зло или панацея // Газета «Вельские вести» (Вельский район). 2006. 22 дек.
4. Мануковский А.Ю., Савчук С.А. Лесосплав как экологически безопасный способ доставки леса. 2007. http://science-bsea.bgita.ru/2007/les_2007/manukovsky_les.htm
5. Николаева Е. Лес рубят – рыбы летят // Рыбачьте с нами. 2009. № 6. С. 150.
6. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
7. Харитонов В.Я. Возродим лесосплав - поднимем лесную промышленность // Лесные новости. 2007. 27 августа. № 15.
8. Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // ИВУЗ. «Лесной журнал». 2007. № 1. С. 45-52.
9. Штаборов Д.А., Рымашевский В.Л. Проблемы лесосплава на малых и средних реках архангельской области. 2011. http://science-bsea.bgita.ru/2011/les_2011/shtaborov_problem.htm
10. Пятакин В.И., Бейлин И.Я., Захаренков Ф.Е., Куковицкий Ф.Г., Солодухин М.М., Токарев Б.В., Шварц Д.М. Машины, суда и оборудование лесосплава. Справочник. 2-е изд. 1983. М.: Лесн. пром-сть, 336 с.
11. Beletsky V.V., Popkovich E.G., Ziuganov V.V., Zotin A.A. Modern distribution of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in the Russia // Abstr. Twelfth International Malacological Congress. Vigo, Spain, 1995. P. 13.

Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Кучко Я.А.

Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

ilmast@karelia.ru

МОНИТОРИНГ ИХТИОФАУНЫ ОЗЕРА КЕНТО (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Состояние пресноводных экосистем Европейского Севера зависит от многих факторов, среди которых в настоящее время все более значимую роль играют различные формы хозяйственной деятельности человека (Решетников и др., 1982; Алимов и др., 2004; Стерлигова и др., 2002 и др.).

Основным фактором антропогенного влияния на водоемы Республики Карелия является сброс сточных вод промышленными центрами. Среди предприятий Карелии ведущая роль в этом плане принадлежит объектам целлюлозно-бумажной промышленности. Особой и весьма специфичной проблемой республики является характер антропогенного влияния металлургического комбината ОАО «Карельский окатыш» на водоемы озерно-речной системы р. Кенти. Река Кенти протяженностью 97 км протекает через ряд озер и впадает в оз. Среднее Куйто, относится к водосбору р. Кеми (басс. Белого моря). В связи со строительством и последующей эксплуатацией горно-обогатительного комбината, верхнее озеро системы (оз. Костомукшское) преобразовано в хвостохранилище и используется для захоронения хвостов (измельченные остатки пустой породы после отделения железной руды) и оборотного водоснабжения (Биота северных озер..., 2012).

Как было показано в ряде работ (Пальшин и др., 1994; Поверхностные воды..., 2001; Лозовик и др., 2007, 2010 и др.) в последнее десятилетие в воде хвостохранилища отмечается стабилизация химических показателей, но продолжает расти содержание калия, сульфатов и лития, а также наблюдается увеличение минерализации воды и уменьшение ее щелочности. Данную тенденцию авторы связывают с многократным использованием воды хвостохранилища для оборотного водоснабжения комбината и с увеличением примеси сернистых соединений в руде.

Озеро Кенто (64°52' с.ш. и 31°07' в.д.) – седьмой после хвостохранилища и озер Окуневого, Куроярви, Поппиярви, Юрикьярви, Койвас водоем системы реки Кенти. Площадь озера составляет 30,8 км². Водоем относительно глубоководный, средняя глубина – 3,8 м, максимальная – 23,5 м. Площадь водосбора составляет 677 км². В связи с тем, что водоем находится в значительном отдалении от хвостохранилища, биоценозы озера в меньшей степени подвержены воздействию техногенных вод. Водоем можно охарактеризовать как олиготрофный. Среднее значение биомассы фитопланктона составляет – 0,2

г/м³, зоопланктона - 0.1 г/м³, макрозообентоса – 1.7 г/м² (Современное состояние..., 1998; Каталог озер..., 2001; Состояние водных..., 2007; Озера Карелии, 2013).

Результат опытного лова в 2013 году на озере Кенто показал, что в водоеме обитает 10 видов рыб (6 семейств): сиг, ряпушка, налим, плотва, язь, щука, уклейка, ерш, окунь и подкаменщик. Массовыми видами являются плотва и окунь. По численности и биомассе в водоеме доминируют рыбы бореального равнинного комплекса.

Плотва - один из многочисленных видов в озере, встречается повсеместно, предпочитает прибрежную богатую растительностью зону. Возрастной состав уловов был представлен особями пяти возрастных групп, доминировали пятилетки (более 30%). Максимальный возраст выловленной плотвы в озере составил 7 лет при длине 18 см и массе 100 г. Для северных популяций плотвы характерна большая продолжительность жизни. Так в Керетьозере отмечены рыбы в возрасте 28 лет [Беляева, 1946], в Пяозере – 22 (Мельянцева, 1954), в Сямозере – 19 (Вебер и др., 1962). Предельный возраст плотвы в бассейне р.Каменной отмечен в Кимасозере – 22 года (Первозванский, 1986). Половое созревание плотвы наступает в возрасте 4 лет при средней длине 13 см и массе 35 г. Для плотвы оз. Кенто характерны не высокие показатели линейного и весового роста. Сопоставление линейно-весовых показателей плотвы водоемом системы р. Кенти: Костомукшского хвостохранилища и оз. Кенто не выявило существенные различия в темпе роста. Плотва изучаемых озер значительно уступает в росте плотву оз. Каменного, которая из-за низкой численности имеет максимальные показатели роста среди водоемов исследуемого региона.

Окунь встречается по всему водоему, предпочитает прибрежную зону. Возрастной состав уловов представлен особями шести возрастных групп, максимальный возраст рыб составил 7 лет. Половая зрелость у окуня в водоеме наступает в 3-4 года, при длине 14 см и массе 40 г. Длина рыб варьировала от 10.3 до 22.6 см, масса тела от 17 до 200 г. Темп роста окуня озера Кенто невысокий и сходен с ростом окуня из водоемов системы реки Кенти.

В соответствии с приказом Федерального агентства по рыболовству озеро Кенто следует отнести к водным объектам высшей категории рыбохозяйственного значения, так как водоем используется для добычи ценных видов водных биоресурсов и является местом их размножения, зимовки, массового нагула, путями миграций. Из категории ценных видов рыб в оз. Кенто обитает сиг (пресноводная жилая форма).

Так как промышленный лов на озере Кенто не ведется оценки его рыбопродуктивности была выполнена с использованием уравнений регрессии (Китаев, 1994). Известно, что общая численность и биомасса популяций рыб находятся в относительном динамическом соответствии с обеспеченностью пищей (Никольский, 1974) и напрямую зависят от географической зональности водных объектов, чем севернее расположен водоем, тем беднее его кормовая база и тем ниже его рыбопродуктивность (Китаев, 1984; Решетников, 2000). Расчеты показали, что среднее значение рыбопродукции для озера Кенто составило около 4-5 кг/га.

Сравнительный анализ состояния ихтиофауны водоемов системы реки Кенти показал, что Костомукшское хвостохранилище наиболее сильно подвержено антропогенному влиянию. Функционирование горно-обогатительного комбината привело к упрощению структуры водных сообществ. Так ихтиофауна водоема в настоящее время представлена 5 видами (4 семейства): сиг, плотва, уклейка, щука и налим. В оз. Кенто обитает 10 видов рыб (6 семейств). Поступление техногенных вод в систему р.Кенти сказывается в первую очередь на малых верхних водоемах (Окуновом, Куроярви, Поппалиярви, Юриккаярви). Вниз по течению реки в результате разбавления происходит уменьшение минерализации. Воздействие техногенных вод на оз.Кенто вследствие большого разбавляющего эффекта проявляется слабо.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий», Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», Минобрнауки РФ (НШ-1410.2014.4; Соглашение 8101), гранта РФФИ № 12-04-00022а.

Литература

1. Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г., Орлова М.И. и др. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М.: Т-во науч. изданий КМК. 2004. 436 с.
2. Беляева К.И. Рыбы Керетьозера // Тр. Карело-Фин. отделения ВНИОРХа, 1946. Т.2. С. 255-289.
3. Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. Под общ. ред. Н.Н. Немовой, Н.В. Ильмаста, Е.П. Иешко, О.В. Мецераковой. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 230 с.
4. Вебер Д.Г., Кожина Е.С., Потапова О.И., Титова В.Ф. Материалы по биологии основных промысловых рыб Сямозера // Тр. Сямозерской комплексной экспедиции. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1962. С.82-113.

5. Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 290 с.
6. *Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
7. *Китаев С.П.* Ихтиомасса и рыбопродукция малых и средних озер и способы их определения. СПб.: Наука, 1994. 176 с.
8. *Лозовик П.А., Калмыков М.В., Дубровина Л.В.* Озерно-речная система Кенти. Химический состав техногенных вод // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск, 2007. С. 100-106.
9. *Лозовик П.А., Калмыков М.В., Кулакова Н.Е.* Многолетняя динамика изменения режима системы р. Кенти под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОКа // Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения: материалы докл. Всерос. конф. Апатиты, 2010. С. 203-208.
10. *Мельянцева В.Г.* Рыбы Пяозера // Тр. Карело-Финского университета. 1954. Т. 5. С. 3-77.
11. *Никольский Г.В.* Теория динамики стада рыб. М., Пищевая промышленность, 1974. 447 с.
12. Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
13. *Пальшин Н.И., Сало Ю.А., Кухарев В.И.* Влияние Костомукшского ГОКа на систему р. Кенти. Гидрологические и гидрохимические аспекты // Использование и охрана водных ресурсов бассейна Белого моря (в границах Карелии). Петрозаводск, 1994. С. 140-161.
14. Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск, 2001. 165 с.
15. *Первозванский В.Я.* Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
16. *Решетников Ю.С.* Состояние биологического разнообразия и функционирование водных экосистем // Изучение и охрана разнообразия фауны, флоры и основных экосистем Евразии. Материалы межд.конфер. Москва: ИПЭЭ РАН, 2000. С. 264-270.
17. *Решетников Ю.С., Попова О.А., Стерлигова О.П. и др.* Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
18. Современное состояние водных объектов Республики Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 188 с.
19. Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 210 с.
20. *Стерлигова О.П., Павлов В.Н., Ильмаст Н.В. и др.* Экосистема Сямозера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 120 с.

Калениченко В.М.¹, Курбанова Ф.Г.², Шумкова М.В.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра гидрологии суши, г. Москва
lia_balashova@mail.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, г. Москва
nirvana451f@mail.ru

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»

Научно-исследовательская работа проводилась на территории *государственного заповедника «Кивач»*, расположенного в Кондопожском районе Республики Карелия. Площадь заповедника составляет около 11 тыс. га. Наибольшая протяженность его территории с севера на юг равна 12 км, с запада на восток – 14 км. Вокруг заповедника в 1975 году создана охранная (буферная) зона или переходная территория.

Проделанную работу можно разделить на два основных этапа: полевой и лабораторный. Полевая часть проходила непосредственно на территории государственного заповедника «Кивач» в период с 10 июня по 1 июля 2013 г., в свою очередь, лабораторная часть была организована в КарНЦ РАН Институте Водных проблем Севера в Петрозаводске – с 1 июля по 4 июля 2013 года и на территории Красновидовской УНБ, г. Можайск – с 8 по 12 июля 2013 г.

Главный *объект исследований* – водные объекты, расположенные в пределах заповедника «Кивач» (включая буферную зону).

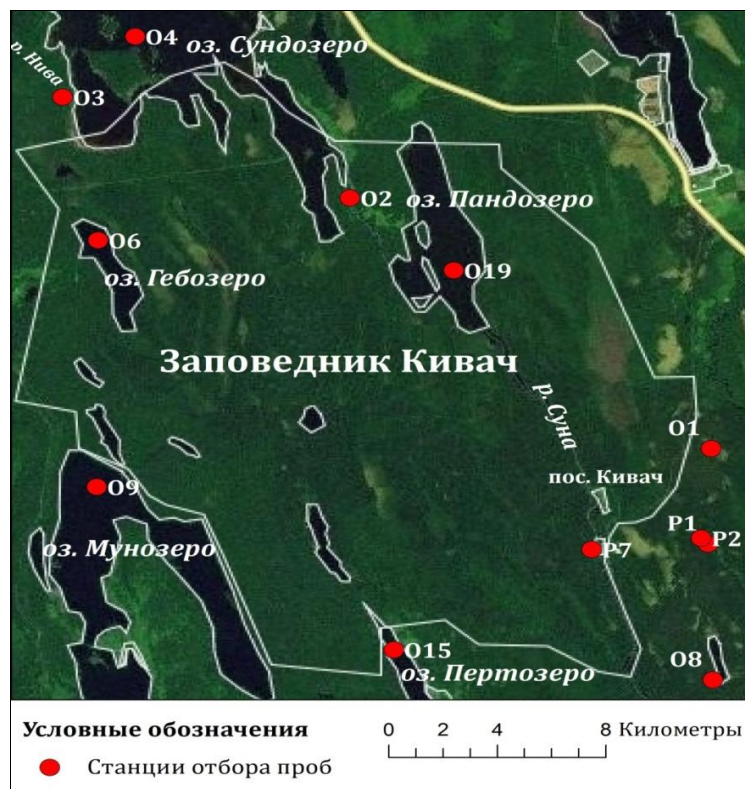


Рис. 1. Месторасположения станций отбора проб воды в пределах заповедника «Кивач»

Создание заповедных зон благоприятно влияет не только на сохранность и детальное изучение естественного хода природных процессов и явлений, протекающих в водных объектах, но и на восстановление водных экосистем, которые подверглись серьезному антропогенному воздействию. Поэтому основной *целью научных исследований* являлась оценка состояния водных объектов территории заповедника с помощью полученных эколого-гидрохимических характеристик водоемов и водотоков.

Стоит заметить, что одной из важных составляющих проделанной работы является сравнение полученных результатов исследования с ранними гидрохимическими данными за июль 1990 года.

Актуальность работы заключается в том, что экосистемы северных водоемов нуждаются в постоянном мониторинге за качественным состоянием вод, потому что они отличаются особой уязвимостью, связанной с пониженной способностью самоочищения и низкими темпами внутриводоемных процессов в условиях короткого прохладного лета, значительной облачности и избыточного увлажнения в течение всего года. Кроме того, необходима охрана и рациональное использование водных ресурсов, оценка их состояния и потенциала, а также нормирование антропогенной нагрузки.

Для гидрохимического анализа водных объектов заповедника были отобраны 20 проб воды в 12 водных объектах: озерах, реках и ручьях (рис. 1).

Все отобранные образцы (0.5 и 1 л) были взяты в течение трех недель, с периодом выезда на объект один раз в два дня. В дальнейшем часть из них помещалась в морозильную камеру для того, чтобы впоследствии были проведены гидрохимические анализы на определение железа, марганца, биогенных веществ и органики в КарНЦ РАН Институте Водных проблем Севера. Другая часть проб необходима была для определения солевого состава воды на территории Красновиловской УНБ, поэтому они хранились в обычных условиях в полевой лаборатории.

Кроме того, на станциях отбора проб проводилось термокондуктиметрическое зондирование вод – измерялась температура и электропроводность. Производился отбор и фиксация проб для подсчета биомассы фитопланктона. В полевой лаборатории на территории заповедника проводились измерения pH воды, а также титрометрическим методом определения по Винклеру были получены концентрации растворенного кислорода в пробах, взятых и зафиксированных на месте.

Все анализы проводили по общепринятым в гидрохимической практике методикам, а пересчеты – по соответствующим формулам (Алекин, 1973; Цыцарин, Шмидебер, 1972).

Ниже кратко изложены **основные результаты** проведенных исследовательских работ.

1) Во-первых, были рассчитаны **значения минерализации** для каждого изученного водного объекта территории. Максимальное значение минерализации наблюдается на руч. Опытном – 234.5 мг/л, а минимальная – оз. Чудесной ламбе – 5.8 мг/л. Среди водоемов наиболее – 109.6 (h=0.5 м) и оз. Гебозеро – 99.8 (h=0.5м). Примечательно то, что в Карелии в целом, среди большого числа исследованных водоемов, с суммой ионов свыше 100 мг/л насчитывается не более 10.

2) Во-вторых, на основе полученных результатов анализов все изучаемые водные объекты были отнесены к определенному **виду вод по разным классификациям типов вод**, в основу которых заложены разные принципы – определение индекса воды вод по О.А. Алекину, а также классификация природных вод по величине минерализации по О.А. Алекину.

По **классификационной системе О.А. Алекина** преобладающим видом являются воды гидрокарбонатного класса кальциевой группы второго типа, что свидетельствует о том, что большая часть вод территории «Кивача» маломинерализованная, тесно связанная с различными осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород. Они составляют 44% среди всех других видов. Среди наименее распространенных для территории заповедника «Кивач» трудно выделить доминирующий, так как пять различных видов имеют одинаковую долю распространения в 6%.

Классификация по минерализации О.А. Алекина характеризуется теми же величинами, где единственным отличием является наименование двух групп видов вод и единицы измерения – г/дм³ (Алекин, 1970). В целом воды заповедника очень маломинерализованные (<0.1 г/л) доля маломинерализованных объектов в 1.5 раза меньше (0.1-0.2 г/л).

3) Был произведен **анализ видового количества фитопланктонного сообщества** и расчет биомассы фитопланктона в отобранных пробах на четырех водоемах: на Сундозере, Пандозере, Мунозере и Пертозере. Все представленные озера заповедника «Кивач» являются очень чистыми по показателям биомасс фитопланктона, даже с учетом отмерших клеток. Рассматриваемые водоемы относятся к олиготрофному типу по критерию %-ого отношения диатомовых водорослей к общей численности фитопланктонного сообщества, который в среднем составляет 32.5%. Преобладающее число отмерших водорослей золотистого отдела свидетельствует о поступлении болотных вод. В соответствии с измеренными показателями органики на данных водоемах можно предположить, что для оз. Пандозера характерен приток вод верховых болот, так как величина ХПК в период летней межени находится в пределах 18.6-24.5 мгО/л и равна 22.9 мгО/л. Для остальных трех озер: Сундозера, Мунозера и Пертозера приход осуществляется за счет вод болот переходного типа.

5) Установленные нормы **величин ПДК** в санитарно-гигиенических целях и для рыбохозяйственных водоемов превышаются только по нескольким показателям на территории заповедника. Так как изучаемая зона изъята из пользования человеком, то антропогенное влияние необходимо исключить полностью. Поэтому изменения в гидрохимическом составе вод происходит под совокупностью естественных, природных факторов. Среди параметров, которые превосходят установленные пределы ПДК выделяются: рН воды, ХПК, ПО и Fe.

6) В качестве лабораторных исследований в период прохождения полевого этапа были определены **содержания растворенного кислорода** во всех изучаемых водных объектах заповедника. Было установлено, что в целом воды не превышают установленного нижнего предела содержания кислорода по ПДК = 6 мг/л. Наименьшая концентрация растворенного кислорода наблюдается на Железистом ключе – 0.85 мг/л или 7% нас. Напротив, наибольшее количество кислорода наблюдается на оз. Петрозере на глубине 0.5 м составляет 10.08 мг/л или 108% насыщения. Пересыщение вод кислородом было зафиксировано на 5 из 12 объектах, помимо оз. Пертозера к ним относятся: оз. Пандозеро, оз. Мунозеро (0.5 м), Чудесная ламба и руч. Опытный. Остальные 7 водных объектов испытывают недосыщение кислородом.

Стоит отметить очень интересную особенность вертикального распределения кислорода в карельских озерных водах. В теории, чем ниже температура воды, тем больше может содержаться в ней растворенного кислорода. Однако в реальных условиях большие коррективы вносит процесс фотосинтеза, осуществляемый фитопланктоном, а также важная роль отводится процессу стратификации водоема. На двух рассматриваемых озерах: на Мунозере и Сундозере, замечено большее содержание кислорода, чем у поверхности. Если на глубине 0.5 м на Мунозере содержится 9.79 мг/л, то на 14 м – 11.23. Такое соотношение может быть вызвано хорошей перемешиваемостью вод, а также небольшой численностью фитопланктона в фотическом слое и малым количеством органики у дна, на окисление которой, как правило, затрачивается значительное количество кислорода.

7) Кроме прочих работ был проведен **сравнительный анализ гидрохимических характеристик водных объектов за июнь 2013 года и июль 1990 года**.

В 1990 году в июле на территории заповедника была проведена научная экспедиция ФГУН Саратовского НИИ сельской гигиены Роспотребнадзора, целью которой являлась эколого-гигиеническая характеристика водоемов и водотоков заповедника «Кивач» (Мосияш С.А., Орлов А.А., Кураева Т.Г., 2011). Расположение станций отбора проб совпадает со съемкой, проведенной в 2013 году.

Наиболее различные данные характерны для таких показателей, как: общая жесткость, содержание железа, щелочность, pH, ХПК и ПО.

Данные **общей жесткости** на 1990 год июль месяц присутствуют – в среднем жесткость равна 1.23 мг-экв/л, а за 2013 год – 1.11. Таким образом, отмечается небольшое уменьшение фонового показателя жесткости. Наибольшие отличия заметны на примере руч. Опытного в сторону уменьшения величины данного показателя за 2013 год и, наоборот, увеличения в Железистом ключе.

Согласно данным по концентрации **железа**, можно утверждать, что средняя величина по показателю за 1990 год равнялась 0.11 мг/л. Поэтому в целом фоновое количество общего железа в водах заповедника увеличилось до отметки 0.26 мг/л. Наибольшая концентрация железа за 1990 года наблюдается в Железистом ключе, как и в 2013 году. Разница состоит в величине содержания – за 1990 год она равна 0.7 мг/л.

Увеличение показателя **щелочности** наблюдается на 2013 год только в водах Железистого ключа, в основном преобладает уменьшение содержания гидрокарбонатов по сравнению с июлем 1990 года. Средняя щелочность за июль 1990 – 67.33 мг/л, а за июнь 2013 – 56.61.

Величина **перманганатной окисляемости** уменьшилась на 0.8 мгО/л по сравнению со значением, равным 9.4 мгО/л за июль 1990 года.

По показателю **химического потребления кислорода**, наоборот, отмечается увеличение ХПК на 2013 год, по сравнению с 1990 годом: 20.51 мгО/л и 18.1 мгО/л.

Сравнивая величины **водородного показателя воды**, следует отметить, что наблюдается небольшое подкисление вод, таких озер, как: Чудесная ламба, Гимойламби, Пандозера и Мунозера, а также в руч. Опытном и Чечкином ручье. Наибольшее уменьшение показателя pH воды наблюдается в оз. Панозеро – на 2013 год за июнь месяц pH равно 6.15, в то время как, на июль 1990 года pH – 7.3. Такое подкисление водной среды может обуславливаться большим притоком болотных вод.

Сравнивая значения показателей, полученные за два исследуемых года, можно сделать заключение об относительно стабильном состоянии экосистем описанных водных объектов. Если отдельно рассматривать озера, то они характеризуются достаточной стабильностью на общем фоне, так как колебания значений гидрохимических показателей лежат практически в одних пределах. Исключения составляют некоторые озера и водотоки, которые под влиянием естественных, природных факторов поддаются процессам подкисления болотными приточными водами. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о низких темпах процессов эвтрофирования и о достаточной стабильности экосистем изученных озер.

С гигиенических позиций содержание исследуемых веществ практически не превышает нормативные величины, исключения составляют лишь некоторые водные объекты по таким показателям, как: pH, общее железо, ХПК и ПО. Однако, превышения предположительно связаны с воздействием естественных факторов.

Основными выводами проделанных работ являются следующие утверждения: в ходе эколого-гигиенических исследований на карельских заповедных озерах выяснилось, что все они маломинерализованные, гидрохимические параметры которых практически не превышают санитарно-гигиенических требований ПДК. По степени трофии карельские воды относятся к олиготрофному типу. В целом воды пригодны для питья. По сравнению с предыдущими данными за 1990 год отмечаются низкие темпы процессов дистрофирования, что свидетельствует о стабильности изученных экосистем, а также наблюдается небольшое подкисление поверхностных вод приточными болотными водами.

Литература

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 144 с.
2. *Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 155 с.
3. *Мосияш С.А., Орлов А.А., Кураева Т.Г.* Гидрохимическая характеристика водоемов заповедника «Кивач» // Труды Государственного заповедника «Кивач», 2011. № 5. С. 3-15.
4. *Цыцарин Г.В., Шмидеберг Н.А.* Гидрохимический практикум: общие методы анализа и обработки основных гидрохимических данных. М.: Изд-во МГУ, 1972. 128 с.

Комулайнен С.Ф.¹, Сластина Ю.Л.²

¹Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
jls@inbox.ru

²Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
komsf@mail.ru

СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЬГОЦЕНОЗОВ ОЗЕР РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ГУМИФИКАЦИИ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА)

На территории г. Петрозаводска находится ряд малоизученных озер, различающихся по гидрологическим и гидрохимическим показателям. Городские водоемы испытывают влияние хозяйственно-бытовых стоков и рекреационную нагрузку. Характерной особенностью гидрохимического режима этих озер является широкий диапазон изменчивости величины рН и цветности, разный уровень трофности их вод (табл. 1). Природные и антропогенные факторы формируют разнообразие состояний планктонных сообществ в малых водоемах, изучение которых представляет научный интерес.

Таблица 1

Морфометрические и гидрохимические показатели изученных озер

Параметры	Карьер	Ламба Сулажгора	Четырех верстное	Денное-2	Соломенская Ламба
Длина озера (км)	0.58	0.24	0.6	0.26	0.25
Площадь зеркала озера (км ²)	0.14	0.01	0.12	0.02	0.02
Макс. ширина (км)	0.34	0.07	0.23	0.07	0.12
Макс. глубина (м)	13.0	5.2	4.6	3.0	1.7
Ср. глубина (м)	6.7	3.4	3.2	2.0	1.2
Прозрачность (м)	2.7	0.7	1.3	0.5	0.2
Р _{общ.} (мг/л)	0.01	0.07	0.05	0.03	3.50
NO ₃ ⁻ (мгN/л)	0.03	0.04	0.10	-	-
N _{общ.} (мг/л)	0.5	0.7	0.7	1.04	6.38
Электропроводность (μSm/cm)	390	120	180	56	1100
Цветность (Pt-Co°)	5	100	80	200	926
рН	8.0	7.0	7.5	5.2	8.7

Исследования фитопланктона и фитоперифитона были выполнены на пяти водоемах, расположенных в черте г. Петрозаводска. Озера Четырехверстное, Сулажгорская Ламба и Денное-2 являются водоемами естественного генезиса, связаны своим происхождением с Онежским озером. Вторая группа изучаемых водоемов – искусственные водоемы, образовавшиеся на месте бывших карьеров. В Каменном Карьере ранее добывались кварцито-песчаники. Соломенская Ламба возникла на месте песчаного карьера (Сластина, 2011). Оз. Соломенская Ламба - гиперэвтрофный водоем с экстремально высокой цветностью и содержанием биогенов.

Сбор и обработка проб фитопланктона и фитоперифитона проводились согласно принятым в гидробиологической практике методам (Комулайнен, 2003; Унифицированные, 1976). Определение видового состава проводилось на световом микроскопе Olympus CX 4, с использованием определителей видов и флор (Определитель..., 1951-1986; Диатомовый анализ, 1949; Васильева, 1987). Для выявления роли таксонов вычислялись: частота встречаемости, частота и порядок доминирования, относительное обилие видов. Определение пигментов проводили в смешанном 90% ацетоновом экстракте (Determination..., 1966). Индексы сапробности рассчитывали с помощью программы «OMNIDIA» (Komulainen, 2009). Эколого-географические характеристики приведены по системе, принятой в экологии и биогеографии водорослей (Баринова, 2006). Расчет биомассы произвели счетно-объемным методом.

В фитопланктоне изученных озер обнаружено 146 видов водорослей. Максимальное число видов отмечено в оз. Четырехверстном, а минимальное в Денном -2 (12).

Наиболее разнообразны *Bacillariophyta*, *Clorophyta*, *Cyanophyta*, *Euglenophyta*. Зеленые (38) и диатомовые (26) более разнообразны в озере Четырехверстном. эвгленовые (р.*Euglena*, *Trachelomonas*, *Phacus*) и криптофитовые – в Сулажгорской Ламбе. в Карьере – синезеленые. В Соломенской Ламбе доминировали эвгленовые. в Денном-2 диатомовые и зеленые (табл. 2).

Таблица 2

Доминирующий комплекс и биомасса фитопланктона изученных озер

Водоемы	Число видов	Биомасса, г/м ³	Доминирующие виды
Ламба Сулажгора	56	1.03 ± 0.08	<i>Ceratium hirundinella</i> , <i>Trachelomonas volvocina</i>
Карьер	48	0.75 ± 0.15	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Stephanodiscus astraea</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i>
Четырехверстное	95	1.96 ± 0.45	<i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Trachelomonas volvocina</i> , <i>Trachelomonas planctonica</i> , <i>Oscillatoria agardhii</i>
Ламба Соломенное	21	5.57 ± 0.62	<i>Phacus caudatus</i> , <i>Navicula</i> sp., <i>Monoraphidium comtortum</i>
Денное 2	12	0.55 ± 0.06	<i>Peridinium cinctum</i> , <i>Navicula</i> sp., <i>Woronichinia naegeliana</i>

В фитопланктоне выявлено 97, а в фитоперифитоне – 61 вид водорослей-индикаторов сапробности. Количество видов-индикаторов сапробности составляло от 52 до 67% общего видового состава водорослей. Значения индекса Сладечека и Трофического Диатомового Индекса (TDI) изменяются, соответственно, от 0.5 до 1.0 и от 1.4 до 2.2. Это также позволяет отнести воды исследованных озер к олигосапробной зоне и характеризовать их как условно чистые. В тоже время уровень количественного развития фитопланктона в озерах Ламба и Четырехверстное характеризует их как мезотрофные, а оз. Каменный карьер позволяет отнести к олиготрофным (Китаев, 2007).

В фитоперифитоне исследованных водоемов определено 76 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 47 родам, 25 семействам и 5 отделам: *Euglenophyta* – 1, *Cyanophyta* – 11, *Dinophyta* – 1, *Bacillariophyta* – 49, *Chlorophyta* – 14.

Большая часть определенных видов (48%) – евперифитонные формы. Они формируют структуру группировок фитоперифитона во всех исследованных водоемах, составляя от 50 до 75% от числа встреченных в перифитоне озер видов и от 61 до 97% от их суммарной численности. Кроме евперифитонных форм в группировках постоянно присутствуют планктонные (31.6%) и донные водоросли (19.7%).

Положение на шкале галобности известно для 61 таксона водорослей, подавляющее большинство которых олигогалобы. Среди них преобладают индифференты – 45-72% от общего числа определенных в перифитоне озер видов. Массовыми в альгоценозах являются, как правило, галофобные виды, предпочитающие очень низкую минерализацию (до 0.02 г/л). Именно благодаря доминированию *Tabellaria flocculosa*, относительное обилие галофобных видов в перифитоне оз. Ламба достигает 28%.

Таблица 3

Структура фитоперифитона исследованных озер (S – число видов, H – индекс Шеннона, TDI – трофический диатомовый индекс, SI – индекс Сладечека)

Озеро	S	H	TDI	SI	Доминанты по численности	Доминанты по биомассе
Четырехверстное	42	2.46	2.09	1.25	<i>Fragilaria capucina</i> <i>Melosira varians</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Cocconeis placentula</i> <i>Cladophora glomerata</i>
Каменный карьер	37	2.14	2.02	1.44	<i>Melosira varians</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Epithemia zebra</i>	<i>Cladophora glomerata</i> <i>Melosira varians</i> <i>Epithemia zebra</i>
Ламба	33	1.98	1.52	0.99	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Eunotia pectinalis</i> <i>Epithemia zebra</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Eunotia pectinalis</i>

Среди индикаторов рН в перифитоне также преобладают индифференты – 62% таксонов. Алкалофилы и ацидофилы составляют, соответственно, 23 и 15%. Разнообразие и обилие алкалофилов было максимальным в менее гумифицированном оз. Каменный карьер (34% от общего числа определенных видов). Из ацидофилов встречены обычные обитатели болот и торфяников – *Closterium*, *Euastrum*, *Cosmarium* и *Eunotia*. Доминантами альгоценозов обрастаний являются *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Eunotia pectinalis* и *Frustulia rhomboides*.

Основа фитоперифитона в исследованных озерах сформирована относительно небольшим количеством видов. Подавляющее большинство водорослей, определенных в перифитоне, – единичные формы с низкими показателями численности. При этом 30% водорослей зарегистрированы только на одной и 15% – на двух станциях. К видам, доминирующим по численности, отнесено 26 видов. Однако реально структуру фитоперифитона в водоемах определяют 8 видов: *Melosira varians*, *Tabellaria flocculosa*, *Fragilaria capucina*, *Eunotia pectinalis*, *Cocconeis placentula*, *Achnanthes minutissima*, *Epithemia zebra*, *Cladophora glomerata*. На их долю приходится более 10% от суммарной численности и биомассы фитоперифитона, формируемого в конкретных озерах (табл. 3).

Эколого-географические спектры доминирующего комплекса отличаются от выявленных для альгофлоры в целом. В его составе более разнообразны евперифитонные формы, при сохранении структуры географического спектра отмечается увеличение доли галофобных и ацидофильных форм.

Максимальная биомасса отмечена в оз. Каменный карьер, где доминировала *Cladophora glomerata*. Размах колебаний численности в конце биологического лета (август) достигал нескольких порядков – от 0.01×10^3 до 430×10^4 кл/см², биомасса изменялась от 0.01 до 54.4 мг/см² субстрата.

На основе кластерного анализа выделены две группы озер. В первую входят Денное-2, Соломенская и Сулажгорская Ламбы, для которых характерна высокая цветность, низкая прозрачность и рН воды.

В фитопланктоне и фитоперифитоне этих озер увеличивается разнообразие ацидофильных видов. Из диатомей здесь доминируют *Tabellaria flocculosa*, виды рода *Eunotia*. Увеличивается вклад десмидиевых (р. *Staurastrum*) и эвгленовых (*Phacus pleuronectes* (Ehrb.) Duj, *Ph. parvulus* Klebs, *Trachelomonas volvocina*) водорослей, постоянных для альгофлоры болот.

Отмечено снижение видового богатства и биомассы фитоперифитона. В то же время наблюдается «противофазность» (Девяткин и др., 2001) в развитии фитопланктона в Соломенской ламбе. Здесь при высокой концентрации фосфора отмечены также высокие значения биомассы фитопланктона, сформированной преимущественно фотоауксотрофами, способными активно функционировать не только на свету, но и гетеротрофно в темноте. В Сулажгорской ламбе, для которой отмечено термическое загрязнение, в фитопланктоне доминировали динофитовые водоросли.

В водоемах второй группы (озера Каменный Карьер и Четырехверстное), имеющих повышенную для водоемов Карелии минерализацию, в фитопланктоне доминировали сине-зеленые водоросли. Фитоперифитон озер Каменный Карьер и Четырехверстное более разнообразен (66 и 52 вида) в сравнении с «цветными». Доминирующий комплекс перифитона в них сформирован алкалофилами (*Cocconeis placentula*, *Cladophora glomerata*), типичными представителями «южного» типа альгофлоры (Чернов, 1949).

Анализ структуры и функционирования альгофлоры пяти озер, расположенных в черте г. Петрозаводска, выявил, что степень гумификации не отражается отрицательно на количественном развитии фитопланктона при наличии достаточного количества биогенных веществ. Преимущественного развития в высокоцветных водоемах достигли фотоауксотрофы, способные расти фоторофно на свету и гетеротрофно в темноте. В водоемах с повышенной минерализацией доминировали синезеленые. В ламбах, подверженных термическому загрязнению, развивались динофитовые.

Основную часть пигментного фонда фитопланктона в городских водоемах Петрозаводска составляет хлорофилл *a*. Его относительное содержание варьировало от 45% до 98% от суммы хлорофиллов *a*, *b*, *c*. Вклад хлорофиллов *b* и *c* в суммарный фонд зеленых пигментов изменялся от 10% до 45% и от 5% до 28%. Вклад хлорофилла *c* часто превышал вклад хл *b*, что объясняется степенью развития зеленых и диатомовых водорослей (рисунок).

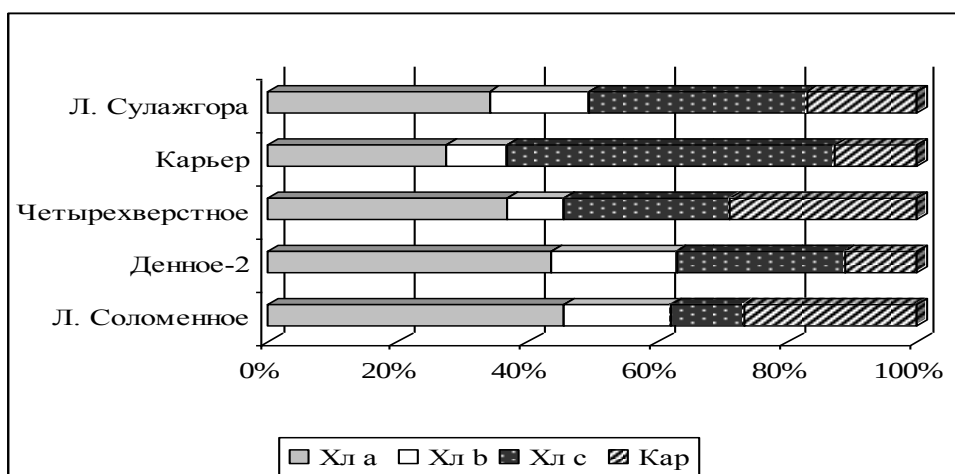


Рис. 1. Пигментный комплекс фитопланктона городских водоемов

В фитопланктоне озер с высокой цветностью уменьшается вклад основного пигмента – хлорофилла *a* в общую сумму пигментов, увеличивается доля каротиноидов (табл. 4).

Таблица 4

Структура пигментного фонда фитопланктона городских водоемов

Водоем	Хл-л а. мг/м ³	Хл-л b. мг/м ³	Хл-л с. мг/м ³	Каротиноиды, мгSPU/м ³
Ламба Соломенное	60.82	21.78	15.01	35.48
Денное-2	0.86	0.38	0.51	0.22
Четырехверстное	3.51	0.85	2.43	2.75
Карьер	0.93	0.32	1.71	0.43
Ламба Сулажгора	3.14	1.42	3.07	1.56

Изменения уровня содержания каротиноидов обычно повторяло ход динамики хлорофилла *a*. Отношение $K/хл\ a$ составляло 0.4-0.8 и было сходным с наиболее часто отмечаемыми величинами для фитопланктона пресноводных водоемов (Минеева, 2004). Значения пигментного индекса $E\ 480/E664$, характеризующего соотношение желтых и зеленых пигментов, составляли от 0.6 до 1.

В фитопланктоне и фитоперифитоне гумифицированных озер увеличивается разнообразие ацидофильных видов. Из диатомей здесь доминируют *Tabellaria flocculosa*, виды рода *Eunotia*. Увеличивается вклад десмидиевых (р. *Staurostrum*) и эвгленовых (*Trachelomonas volvocina*) водорослей, постоянных для альгофлоры болот.

Установлено, что степень гумификации водоемов не сказывается на количественном развитии фитопланктона при высокой обеспеченности водорослей биогенными веществами. В таких случаях преимущественное развитие в высокоцветных водоемах получали фотоауксотрофы, способные расти и размножаться фототрофно на свету и гетеротрофно в темноте. В то же время наблюдалось подавление развития фитоперифитона в водоемах с повышенным содержанием гуминовых веществ.

Литература

1. *Баринова* <http://hghltd.yandex.net/yandbtm?lang=ru&fmode=envelope&tld=ru&text=%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%2C%20%D1%84%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BD%202006&url=http%3A%2F%2Fwww.izdatgeo.ru%2Fpdf%2Ffrast%2F2011-2%2F20.pdf&lr=18&l10n=ru&mime=pdf&sign=8b733d9791f6d16d0df854235160a781&keyno=0> - YANDEX 30 С.С. Биоразнообразие водорослей индикаторов окружающей среды / С.С. *Баринова* <http://hghltd.yandex.net/yandbtm?lang=ru&fmode=envelope&tld=ru&text=%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%2C%20%D1%84%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BD%202006&url=http%3A%2F%2Fwww.izdatgeo.ru%2Fpdf%2Ffrast%2F2011-2%2F20.pdf&lr=18&l10n=ru&mime=pdf&sign=8b733d9791f6d16d0df854235160a781&keyno=0>

- Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. Тель-Авив: Piles studio, 2006. 498 с.
2. Васильева И.И. Эвгленовые и желтозеленые водоросли Якутии / И.И. Васильева. Л.: Наука, 1987. 366 с.
 3. Девяткин В.Г. Гидрофизические факторы продуктивности литорального фитопланктона: оценка и прогноз содержания хлорофилла и интенсивности фотосинтеза / В.Г. Девяткин, Н.Ю. Метелева, И.В. Митропольская // Биология внутренних вод, 2001. № 1. С. 36-45.
 4. Диатомовый анализ: В 3 т. Т. 1 Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей / под ред. А.Н. Криштофович. М. Госгеоллиздат, 1948. 231с.
 5. Китаев С.П. Основы гидробиологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
 6. Комулайнен С.Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках / С.Ф. Комулайнен. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 43 с.
 7. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ / Н.М. Минеева. М.: Наука, 2004. 156 с.
 8. Определитель пресноводных водорослей СССР: В 14 т. Т 1-8, 10, 11, 13, 14 / под ред. М.М. Голлербаха. Л.: Наука, 1951. 1986.
 9. Сластина Ю.Л. Структура криофитона в озерах города Петрозаводска / Сластина Ю.Л., С.Ф. Комулайнен, Потахин М.С., Ключкова М.А. // Труды Карельского НЦ РАН, 2011. № 4. С. 138-141.
 10. Унифицированные методы исследования качества вод: В 3 ч. Ч. 3. Методы биологического анализа вод / под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: СЭВ, 1976. 185 с.
 11. Чернов В.К. О географическом распространении водорослей в пресных водоемах Карело-Финской ССР и районирование республики по водорослевой растительности ее водоемов / В.К. Чернов // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР, 1949. Вып. 2. С. 77-80.
 12. Determination of photosynthetic pigments: report of SCOR-UNESCO working group 17 / Monographs on oceanographic methodology. Determination of photosynthetic pigments in water. P.:UNESCO, 1966. P. 9-16.
 13. Komulainen S. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia / S. Komulainen // Studi Trentini di scienze naturali 84. 2009. P. 153-160.

Королева И.М., Кашулин Н.А., Терентьев П.М., Зубова Е.М.

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

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ (COREGONUS ALBULA L.) В ВОДОЕМАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В реализации государственной политики в области экологического развития России приоритетными являются задачи сохранения биологического разнообразия и рационального природопользования. Необходимость их решения особенно актуальна для промышленно освоенных территорий Крайнего Севера, испытывающих мощное техногенное воздействие горно-перерабатывающих, металлургических и энергетических комплексов. Знание биологии рыб является обязательным для научного обоснования рациональной эксплуатации водных биологических ресурсов: определения допустимых норм их изъятия, установления сроков вылова и разрешенных районов и орудий лова.

Европейская ряпушка - обычный, широко распространенный вид ихтиофауны северо-запада России, особенно многочисленна она в озерах Карелии и Мурманской области. В ряде пресноводных водоемов дает основную часть ихтиопродукции, изымаемой организованным промыслом (Доклад...; 2007; Биоресурсы..., 2008). Исследования по биологии ряпушки в озерах Мурманской области немногочисленны (Владимирская, 1950; Рыбы..., 1966; Рыбы..., 1977; Неличик, 1985; Ихтиофауна..., 2005) или остались не опубликованными (Отчет, 1969; Отчет, 1972). Больше внимания было уделено изменчивости ее популяционных характеристик и состояния организма в условиях влияния

предприятий горно-перерабатывающей промышленности и энергетики (Лукин и др., 1984; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные изменения, 2005; Антропогенные изменения, 2007; Королева, 2011).

Целью данной работы было обобщение имеющихся литературных материалов и результатов собственных исследований по биологии ряпушки в зависимости от условий обитания, включая изменения абиотических (температура воды, уровень трофности, степень техногенного загрязнения озер) и биотических факторов (состояние кормовой базы).

Материал и методика. Полевые исследования проводились в летне - осенний период с 1996 по 2012 гг. на водоемах водосборного бассейна вдхр. Имандра, оз. Куэтсъярви и озерах бассейна р. Кола (рис. 1). Для сравнения привлечены литературные данные по Умбозеру и Ловозеру.

Ихтиологический материал отбирался плавными сетями с разно-размерной ячеей и ставными жаберными сетями с размерами ячеей от 10 до 50 мм. Сетные порядки выставлялись в литоральной и профундальной зонах водоемов, на глубине от 1 до 14 м. Также использовался материал из мережных уловов на вдхр. Имандра и Умбозере. Рыб обрабатывали по принятым в ихтиологии методикам (Правдин, 1966).

Результаты. Большинство озер Мурманской области олиготрофные. В результате хозяйственной деятельности человека ряд озер или участков крупных водохранилищ из олиготрофных переходят в разряд мезотрофных и эвтрофных. К таковым относятся вдхр. Имандра, ряд заливов в оз. Чунозере, оз. Ковдор. В наибольшей степени качество вод изменилось в вдхр. Имандра (г. Белая – апатито-нефелиновое производство; г. Монче – медно-никелевое пр-во, г. Молочная – подогретые сбросные воды Кольской АЭС), оз. Ковдор (влияние Ковдорского горно-обогатительного комбината) и оз. Куэтсъярви (медно-никелевое производство).

Характеристика кормовой базы. В большинстве озер биомасса (В) зоопланктона в течение периода открытой воды изменяется от 0.2 до 1 гм⁻³, в т.ч. рачкового планктона от 0.01 до 1.0 гм⁻³, что позволяет оценить их как малокормные. К средnekормному по показателям зоопланктонного сообщества в отдельных заливах и губах приближается вдхр. Имандра - В_{средн.} кормового планктона около 0.3 г м⁻³ (Вандыш, 2000). Высококормными являются г. Белая вдхр. Имандра - В_{общ.} зоопланктеров до 3.4 г м⁻³, в т.ч. кормовых до 1.65 г м⁻³ (Вандыш и др., 2013) и оз. Ковдор, В_{средн.} более 3 гм⁻³, максимальная - 9 гм⁻³.

Ихтиофауна обычно представлена 8-13 видами. Основу ихтиомассы в водоемах составляют виды, относящиеся к арктическому – пресноводному (арктический голец, европейская ряпушка, обыкновенный сиг, налим, корюшка) комплексу.

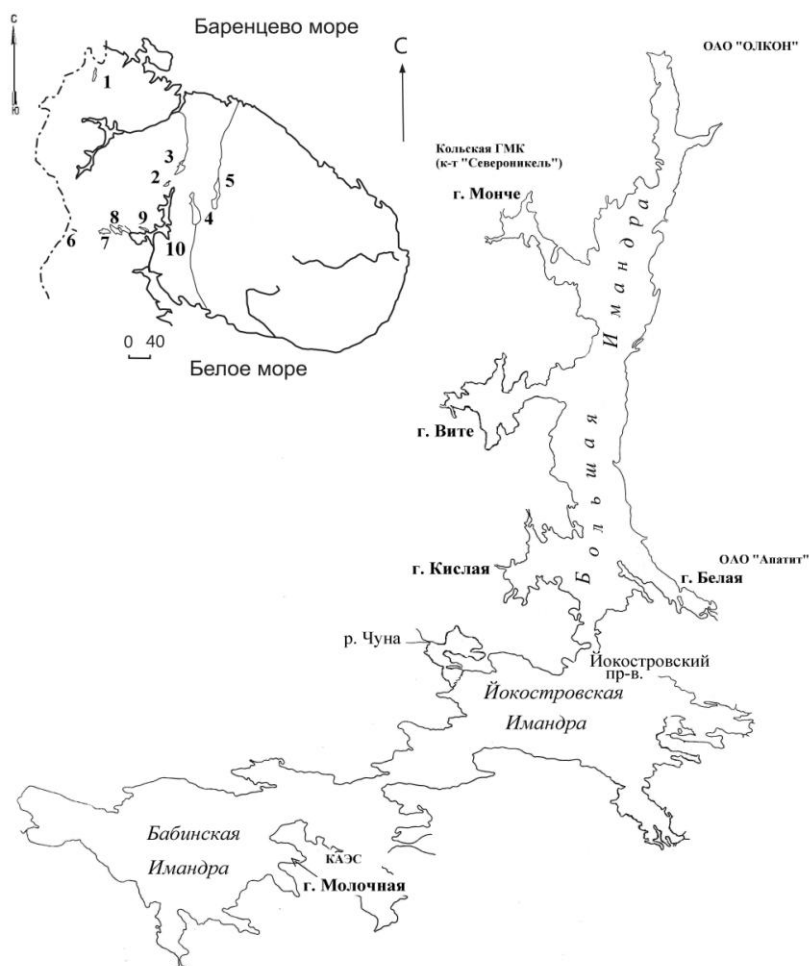


Рис. 1. Карта-схема района исследований и места сбора проб. 1 – оз. Куэтсъярви, 2 – Колозеро, 3 – Кахозеро, 4 – Умбозеро, 5 – Ловозеро, 6 – оз. Ковдор, 7 – Ниж. Чалмозеро, 8 – вдхр. Ниж. Пиренга, 9 – Чунозеро, 10 – вдхр. Имандра

Биология ряпушки. Наиболее изученной остается ряпушка вдхр. Имандра. Первые предварительные сведения на основе уловов 1959-1960 гг. установили размерно-весовую и возрастную структуру стад, обитающих в плёсах Большой, Йокостровской и Бабинской Имандры (Рыбы, 1966). Ряпушка, выловленная в первых двух плесах имела средний вес 9.4 г., основу уловов составляли двухлетки. Выполненные с 1965 по 1968 гг. сотрудниками КФАНа исследования в Большой Имандре установили, что средний вес ряпушки значительно менялся в зависимости от температурных условий года и, соответственно, развития кормового планктона – от 11 г. до 19 г., тах до 50 г. Соотношение полов равное. Ряпушки с гонадами в ювильной стадии имели вес от 4 до 7 г., средний – 5 г., доля незрелых особей в улове составляла 1.4% (Промежуточный отчет, 1969). По результатам наблюдений в 1965-68 гг. в Большой Имандре было выделено 4 основных района нерестовых концентраций ряпушки в осенний период (конец августа – сентябрь месяцы): 1. р-н Каменных островов, 2. р-н северной конечности Сяв острова, 3. р-н выхода из Вите губы в открытую Имандру, 4. р-н выхода из Монче-губы в открытую Имандру. Повторные обловы (1996, 2012 г.) акватории Большой Имандры показали, что г. Вите, г. Монче, г. Кислая до настоящего времени остаются местами нереста.

Отмечалось отсутствие ряпушки в районах, подверженных загрязнению от Оленегорского ГОКа (ОАО «Олкон») и комбината «Апатит» (ОАО «Апатит»), и отличавшихся повышенным содержанием взвешенных веществ (Отчет, 1972). После введения частичного оборотного водоснабжения ряпушка снова стала встречаться в уловах.

В 1970-80-х гг. в уловах преобладали двух-, трехлетние особи и в незначительных количествах встречались сеголетки и пятилетние рыбы (рис. 2).

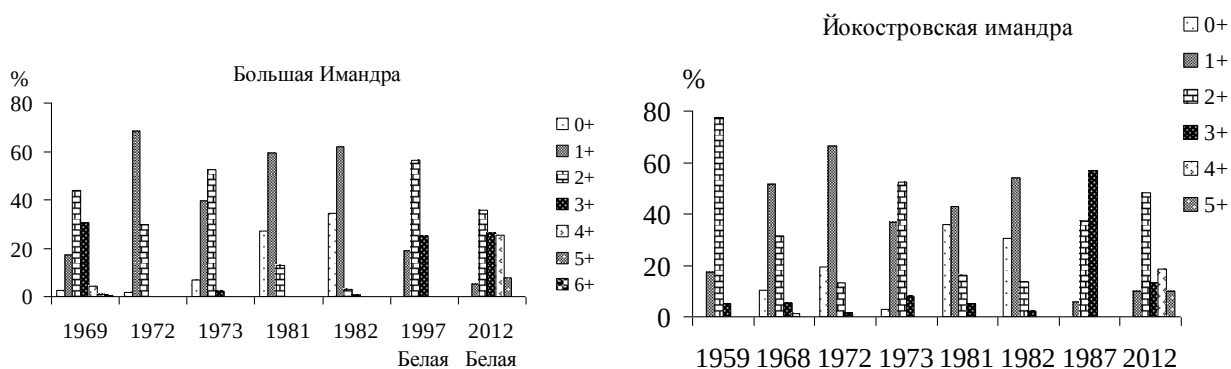


Рис. 2. Возрастное распределение ряпушки в плесах вдхр. Имандра

Линейные размеры (длина АС L_{Sm}) варьировали от 8 до 15 см, масса от 4.5 до 30 г., соотношение полов равное. При повышении уровня трофности воды, обусловленного поступлением биогенов в составе сточных вод ОАО «Апатит», в г. Белая в 1990-х гг. сформировалось локальное стадо с более крупными размерами, чем в целом по плесу. Максимальная масса ряпушки в уловах достигала 80 г при L_{Sm} 20 см, средняя навеска составляла 30 г, средняя L_{Sm} – 14 см. Численно доминировали самки. По результатам обследования 2012 г. масса и длина по-прежнему остаются высокими: средняя навеска составляет 16 г, наиболее крупные экземпляры весят 50 г, средняя длина равна 12.5 см., наибольшая – 18 см. Продолжительность жизни увеличилась на год и в уловах присутствуют 5+ особи (рис. 2). В половой структуре доминировали самки: 1 : 3.

В зоне влияния медно-никелевого производства (г. Монче) в 1990-х гг. средняя масса составляла 8.7 г (4-31), средняя длина – 10.0 см (8.1-14.8). Предельный возраст – четыре года. Соотношение полов равное.

В *Йокостровской Имандре* в период интенсивной нагрузки (1970-80-е гг.) доминировали двухлетние рыбы (рис. 2), в отдельных районах доля сеголеток (0+) в улове доходила до 35%. Наблюдавшееся резкое омоложение промыслового стада ряпушки могло быть вызваны преждевременной гибелью рыб вследствие ухудшения качества водной среды.

В этом же плёсе отмечались самые низкие размерно-весовые показатели. Наибольшая масса не превышала 20 г (средняя 9.4 г), L_{Sm} 12.7 см (средняя 9.8 см). В уловах преобладали самцы от 1.5 до 2.5 раз. Был выявлен феномен смещения сроков созревания – в нерестовом стаде появились рыбы, нерестующие в возрасте 0+. Изменилась и половая структура - соотношение ♂ и ♀ составило 1 : 1.3 в пользу самок (Отчет, 1972; Лукин и др., 1984).

По результатам анализа уловов 2012 г. возрастная структура ряпушки, обитающей в районе Йокостровского пролива, состояла из шести групп, max возраст – 6 лет. Наблюдалось увеличение средних линейно – весовых показателей: L_{Sm} составляла 11.7 см, max 20.8 см, средняя навеска выросла до 12 г, значительно увеличилось количество рыб с массой свыше 10 г. В половой структуре доминировали самки 1 : 2.7. Как и ранее (1970 гг.) (Моисеенко, 1983), большие нерестовые скопления ряпушки наблюдались вдоль западного берега Йокостровского пролива, в губах Кислой и Вите.

В *Бабинской Имандре* в 1960-х гг. рыбы отличались более продолжительным возрастным рядом. Их размеры были крупнее: средняя навеска колебалась от 10 г (двухлетки) до 15 г (трехлетки), в улове доминировали трехлетки (Рыбы..., 1966). В начале 1970-х гг. средняя масса ряпушек достигала 16 г при длине 12 см. Наибольшие зафиксированные размеры не превысили 35 г и 15 см, что ниже предельных размеров, свойственных мелкой форме. По размерам и весу между самцами и самками отличий не было. Основу уловов по-прежнему давали трехлетки (Отчет, 1972; Отчет, 1976).

В 2011 г. в зоне влияния подогретых вод, сбрасываемых Кольской атомной станцией и расположенного там же форелевого хозяйства были пойманы пятилетние ряпушки (рис. 3). Вероятно, благоприятный температурный режим и дополнительные источники питания (искусственные корма) способствуют увеличению продолжительности её жизни. Роста размеров не произошло. В соотношении полов отмечено трехкратное преобладание самцов.

Интересны сведения Смирнова А.Ф., проводившего исследования в Имандре с 1966 по 1969 гг. (Рыбы..., 1977). По его данным в водоеме присутствовали шести и семилетние особи.

В водоемах, трофический статус которых остался *олиготрофным* (Чалмозеро, Колозеро, вдхр. Ниж. Пиренга и частично вдхр. Имандра: губа Монче, губа Молочная), средняя навеска ряпушки

составляет 6-9 г., средняя длина по Смитту колеблется от 9.6 до 10.8 см. Продолжительность жизни в большинстве озер не превышает четырех лет.

В *мезотрофных* водоемах (в вдхр. Имандра – г. Белая, Йокостровский плес; оз. Кахозеро; ряд заливов Чунозера), средняя масса увеличивается до 12-20.5 г, линейные размеры до 11.7-14.3 см. Максимальные наблюдаемые размеры были 80 г и 20 см. Предельный возраст – шесть лет. В *эвтрофных* водоемах (оз. Ковдор) отдельные экземпляры достигали массы 160 г. и длины АС 23 см. Средние навеска и длина в зависимости от термического режима года менялись от 38 г и 16.9 см до 91 г и 19.7 см. (Антропогенные, 2005). Рыбы старше шести лет в уловах не встречались. В оз. Умбозеро по данным 1960-х гг. обитали два стада: в северной части с менее кормными условиями с массой до 30 г и длиной 15 см; в южной части предельная масса достигала 130 г. при длине 20 см. Продолжительность жизни 2+ и 3+ соответственно (Рыбы..., 1966). По результатам уловов 1982 г. тах возраст выловленных ряпушек – пять лет. Средняя масса равнялась 60 г, тах 180 г.; средняя длина – 19 см и тах – 20.5 см. При этом содержание фосфора, биомасса и численность зоопланктона соответствовали олиготрофному статусу водоема.

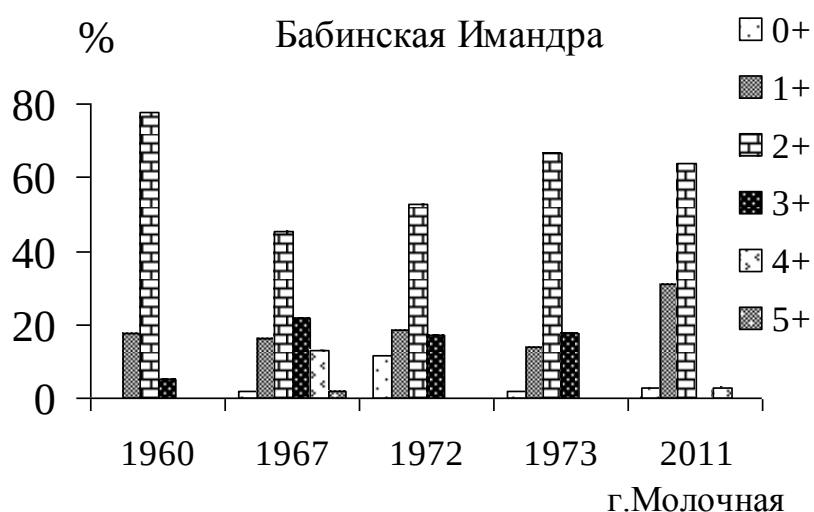


Рис. 3. Возрастное распределение ряпушки в плесе Бабинская Имандра

В половой структуре не было выявлено четких закономерностей, связанных с трофностью, температурным режимом, наступлением нереста и уровнем загрязненности. Как в разных озерах, так и в пределах одного водоема в различные годы наблюдались варианты с равным соотношением самцов и самок, преобладанием самцов или самок.

В целях решения вопросов современной диагностики и таксономии евразийских ряпушек приведем некоторые морфологические характеристики рыб, обитающих на Кольском полуострове.

Меристические признаки. По нашим данным для имандровской ряпушки формула спинного плавника D III – IV 7-10, чаще – III-9; для ряпушки из оз. Ковдор D III – IV 8 – 9, чаще III-9, для ловозерской - D III 9-10. В анальном плавнике у имандровской ряпушки количество неветвистых лучей изменялось от III до IV, ветвистых от 10 до 13, чаще – III-12 (наши данные), для ловозерской A III 11-13 (Рыбы..., 1966). Наиболее важным диагностическим признаком является количество позвонков. У имандровской ряпушки их в среднем 56.8, у ковдозерской - 55.0, пределы варьирования 53–57. У чунозерских рыб число позвонков в среднем 56.7 с пределами колебания 54-59 [Решетников, 1980]. Количество жаберных тычинок изменялось от 35 до 45, в среднем 37 (в вдхр. Имандра) и 42 (в оз. Ковдор). Число чешуй в боковой линии II – от 60 до 83, в среднем – 73 (для имандровской ряпушки).

Пластические признаки. Анализ пластических диагностических признаков у имандровской ряпушки показал, что антедорсальное расстояние составляет 44% от длины тела (по Смитту). Отношение вентроанального расстояния к антедорсальному не превышает 60% (52% у йокостровской ряпушки и 56% у рыб из г. Белая), что в совокупности с меристическими признаками указывает на принадлежность исследованных особей к типичной европейской ряпушке (*Coregonus albula* L.).

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что в пресноводных олиго- и мезотрофных водоемах Мурманской области обитает мелкая форма европейской ряпушки с длиной 10-14 см и средней массой 6-20 г. С дальнейшим повышением трофности наблюдается рост размерно-весовых показателей, в озерах встречается более крупная экоморфа со средней массой до 90 г. Последующий контроль за динамикой популяционных показателей ряпушки позволит выявлять изменения трофического статуса водоемов и оценивать зоны возможного экологического неблагополучия и риска, давать прогноз для ведения рационального промысла.

Литература

1. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Часть 1: Ковдорский район // Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2005. 234 с.
2. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 2: Озерно-речная система реки Чуна в условиях аэротехногенного загрязнения // Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2007. 238 с.
3. Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. 272 с.
4. Вандыш О.И. Зоопланктон как индикатор состояния озерных экосистем (на примере субарктического оз. Имандра) // Вод. ресурсы, Т. 27, № 3. 2000. С. 364.
5. Вандыш О.И., Черепанов, Кашулин Н.А., Денисов Д.Б. Влияние стоков горнорудного производства на зоопланктонное сообщество губы Белой озера Имандра Вестник Кольского НЦ РАН, 2013. № 1. С. 48-55.
6. Владимирская М.И. Фауна рыб Лапландского заповедника // Отчет фондов Лапландского государственного заповедника, 1950. 30 с.
7. Доклад о состоянии окружающей природной среды Мурманской области в 2006 г. Мурманск, 2007. 115 с.
8. Ихтиофауна малых озер и рек Восточного Мурман: биология, экология, ресурсы. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2005. 264 с.
9. Королева И.М. Особенности биологии ряпушки в условиях эвтрофирования // Сб. матер. Междун. конф. «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» СПб.: Любавич, 2011. С. 225-231.
10. Лукин А.А., Моисеенко Т.И., Кашулин Н.А. Изменение некоторых показателей ряпушки как реакция на меняющиеся условия обитания // В сб. Мониторинг природной среды Севера. Апатиты: Изд. Кольского НЦ, 1984. С. 58-62.
11. Моисеенко Т.И. Влияние на рыб загрязнения субарктического водоема (на примере озера Имандра) // Дисс. на соиск. учен. степени канд. биол. наук. Л.: ГосНИОРХ, 1983. 228 с.
12. Неличек В.А. Ряпушка *Coregonus albula* L. и налим *Lota lota* L. Верхнетуломского водохранилища // В кн. Рыбохозяйственные исследования Верхнетуломского и Серебрянского водохранилищ Мурманской области. Мурманск, ПИНРО, 1985. С. 72-85.
13. Окончательный отчет «Комплексное изучение и охрана озера Имандра» Горнометаллургический институт, Кольский филиал АН СССР. Фонды, 1972. 339 с.
14. Окончательный отчет по теме «Комплексное изучение Йокостровской и Бабинской Имандры и разработка рекомендаций по рациональному использованию водоема». Т. 1. Отдел энергетики Кольского филиала АН СССР. Апатиты. Фонды, 1976. 276 с.
15. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая пром-ть, 1966. 375 с.
16. Промежуточный отчет «Комплексное изучение и охрана озера Большая Имандра» Горнометаллургический институт, Кольский филиал АН СССР. Фонды, 1969. 133 с.
17. Промежуточный отчет «Результаты комплексного изучения озера Имандра в 1972 – 1973 гг.». Отдел энергетики Кольского филиала АН СССР. Апатиты. Фонды, 1974. 166 с.
18. Решетников Ю.С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 300 с.
19. Рыбы Мурманской области. Мурманское книжное издательство, 1966. 336 с.
20. Рыбы озер Кольского полуострова. Петрозаводск. Изд-во Петрозаводского Государственного Университета, 1977. 96 с.

Краснова Е.Д.¹, Воронов Д.А.^{2,3}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет, г. Москва

e_d_krasnova@wsbs-msu.ru

²Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского,

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

da_voronov@yahoo.com

³Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва

ОСВЕЩЕННОСТЬ В РАЗНЫХ СЛОЯХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ

На побережье Белого моря из-за поднятия берега, которое началось после схода ледника и продолжается и в наши дни, многие заливы постепенно отделяются от моря (Пантюлин, Краснова, 2011; Краснова и др., 2013а). По мере ослабления влияния моря они приобретают черты меромиктических водоемов: в них складывается стабильная вертикальная гидрологическая структура из нескольких слоев с контрастными физико-химическими параметрами, которые не перемешиваются между собой. В большинстве случаев водоемы эволюционируют в сторону опреснения, но ему подвергается только поверхностный слой, в то время как основная толща долгое время остается соленой или солоноватой. Типичная структура такого водоема включает три слоя: 1) поверхностный опресненный, 2) средний соленый, хорошо прогреваемый летом, с высоким содержанием кислорода и 3) нижний соленый анаэробный с запахом сероводорода, в котором температура всегда низкая, (Шапоренко, 2004, Шапоренко и др., 2005). Другой путь развития меромиктичности в морском заливе — осолонение за счет оседания на дно концентрированного солевого рассола, который возникает при образовании льда зимой (Краснова и др., 2013б). В этом случае в водоеме также образуется три слоя, но с другими характеристиками: 1) верхний соленый, который сообщается с морем, 2) средний соленый аэробный, прогреваемый летом и 3) нижний анаэробный с повышенной соленостью и низкой температурой. Различия в плотности между разными слоями воды препятствуют вертикальному перемешиванию, что приводит к возникновению резких физических и химических градиентов и к сезонному или постоянному меромиксису.

Каждый слой воды служит местом обитания соответствующей биоты. В опресненных водоемах морская фауна и флора постепенно сменяются на солоноватоводную и пресноводную, средние соленые слои характеризуются благоприятными условиями для развития морского фито- и зоопланктона, придонная анаэробная зона пригодна только для анаэробных организмов, главным образом — бактерий. По существу, в каждом водоеме соседствует три разные экологические сообщества с четкими границами между их биотопами. Мощность соответствующего слоя и его продуктивность определяются положением этих границ. В зоне контакта аэробных и анаэробных вод в большинстве исследованных водоемов обнаружены прослойки с яркой окраской — зеленого или красного цвета (Краснова, Пантюлин, 2013). Зеленый цвет обычно является результатом массового развития фототрофных зеленых серобактерий, красный возникает из-за цветения криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. (Краснова и др., 2013в, Краснова и др., в печати). Вблизи цветных слоев нередко наблюдается массовое развитие гетеротрофных организмов, в том числе — инфузорий. Для понимания, как функционирует экосистема озера в целом, важно знать, от чего зависит расположение границ слоев, слагающих ее, и насколько сама биота на него влияет.

Данная работа посвящена изучению одного из важнейших факторов, влияющих на продуктивность фотосинтезирующих организмов — освещенности. В толще воды солнечная радиация рассеивается, и даже в самых прозрачных водах ее интенсивность уменьшается с глубиной. Наличие минеральной взвеси и планктонных организмов способствуют поглощению и рассеянию света. В гидрологических исследованиях для оценки прозрачности воды принято использовать диск Секки: мерой прозрачности служит глубина, на которой он полностью исчезает из виду. Этот метод прост и хорош для экспресс-оценки, но не несет информации о том, какое количество солнечной радиации поступает на эту глубину, поскольку регистрируемый глазом световой луч, отраженный от диска, совершает двойной путь — к диску и обратно. Для определения величины солнечной радиации, достигшей заданной глубины, нужны приборы, регистрирующие ее *in situ*. В нашей работе мы использовали модернизированный цифровой люксметр AR813A (Smart Sensor) с диапазоном измерений от 0 до 100000 люкс, точностью измерений $\pm 4\%$. Часть люксметра, содержащую фотоэлемент, отделили от основного корпуса, герметизировали, соединили с корпусом люксметра

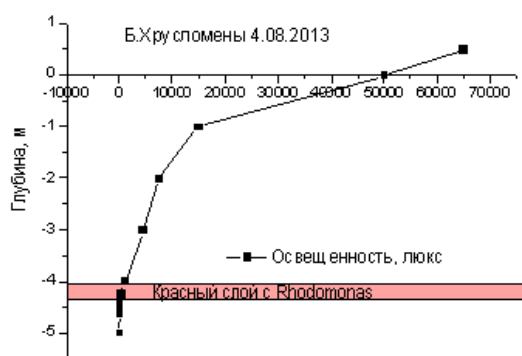
через провод длиной 10 м и установили в каркас с грузом, позволяющий опускать фотоэлемент в воду в вертикальном положении.

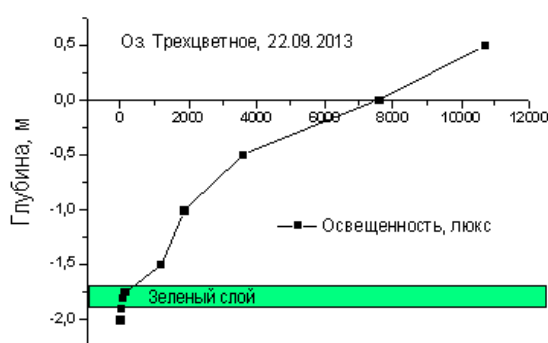
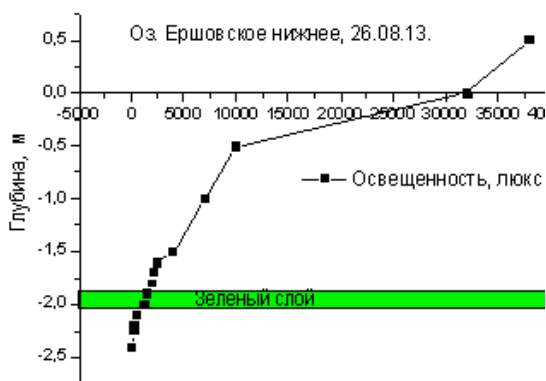
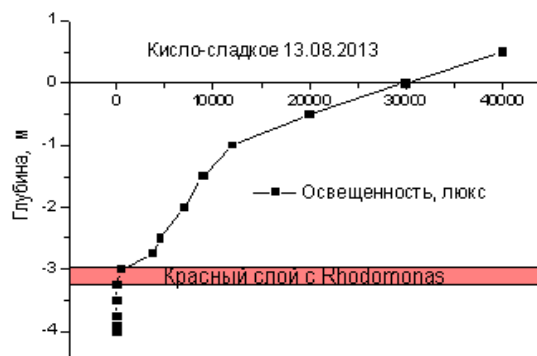
В шести водоемах на разных стадиях отделения от моря в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. М.В.Ломоносова с помощью этого люксметра мы измеряли освещенность на разной глубине от поверхности до дна с шагом 50 см, а в зонах с резкими градиентами на границах слоев – 5-10 см. Исследованные водоемы: 1) лагуна на Зеленом мысу, подверженная приливно-отливным колебаниям, но ослабленным, с диапазоном около 15-20 см, этот водоем эволюционирует по пути осолонения и нижняя водная масса имеет соленость 28-29‰; 2) оз. Кисло-Сладкое в 1.5 км от биостанции, в которое морская вода поступает нерегулярно, только во время сизигийных приливов; это водоем с типичной трехслойной структурой и опресненным поверхностным слоем; 3) оз. Большие Хрусломены на о. Оленьем в Ковдской губе с солоноватым 2-метровым поверхностным слоем, под которым располагается узкая соленая аэробная зона, а далее до глубины 20 м - соленая вода, насыщенная сероводородом; 4) оз. Еловое, достигшее следующей стадии изоляции, с пресным поверхностным слоем и крайне редкими заплесками морской воды, 5) оз. Нижнее Ершовское – также с пресным поверхностным слоем и остаточной соленой водой в донных понижениях; 6) оз. Трехцветное – классическое меромиктическое озеро с пресным поверхностным слоем и нижним соленым. В первых трех водоемах в летнее время наблюдается красный слой с высокой численностью одноклеточных водорослей *Rhodomonas* sp., в трех последних - прослойки зеленого цвета.

Результаты измерения освещенности приведены на рисунке. Во всех водоемах освещенность быстро падала в поверхностном слое 0.5-1 м, после чего ее уменьшение с глубиной становилось более постепенным, а по достижении цветного слоя, который в разных водоемах располагался на глубине от 1.5 до 4.5 м, падала до нуля. В то же время по соседству в море освещены глубины до 25 м.

Таким образом, кроме различий в температуре и солености, в выделяемых нами слоях есть большие различия по освещенности. Поверхностный слой во всех водоемах, независимо от его солености, лучше всего обеспечен солнечной радиацией. Ниже глубины 1 м в водной толще остается менее 25% исходного светового потока. До хемоклина, отмеченного цветными слоями, доходит лишь около 1% солнечной радиации, а нижняя водная масса под хемоклином находится в темноте.

Темнота под хемоклином, по всей вероятности, связана с затенением от цветного слоя, и низкая температура воды в нем может быть отчасти вызвана этим затенением. Таким образом, биотический фактор может влиять на абиотические условия и определять некоторые параметры вертикальной стратификации в прибрежных меромиктических водоемах.





Освещенность в водоемах, отделяющихся от моря

Литература

1. Краснова Е.Д., Воронова А.Д., Воронов Д.А. 2013б. Влияние образования льда на формирование вертикальной стратификации в соленых лагунах, отделяющихся от Белого моря. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. XII Международная конференция с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сборник материалов. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2013. С. 168-170.
2. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н. Кисло-сладкие озера, полные чудес. Природа, 2013. № 2. С. 39-48.
3. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. 2013. Природа красных слоев в водоемах, отделяющихся от Белого моря. Материалы научной конференции «Морская биология, геология, океанология – междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова (27 февраля – 1 марта 2013 г., Москва). М.: КМК, 2013. С. 151-156.
4. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Маторин Д.Н., Тодоренко Д.А., Белевич Т.А., Милютин И.А., Воронов Д.А. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Rhodomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря. Микробиология, в печати.
5. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Воронов Д.А. 2013а. Инвентаризация отделяющихся от моря водоемов на Карельском берегу Белого моря. – Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. XII Международная конференция с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Сборник материалов. Петрозаводск, Россия. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2013. С. 164–167.
6. Пантюлин А.Н., Краснова Е. Д. Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований. «Геология морей и океанов»: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: 2011. С. 241-245.
7. Шапоренко С.И. Кисло-сладкие озера у Полярного круга // Природа, 2004. № 11. С. 23-30.

8. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы, 2005. Т. 32. № 5. С. 517–532.

Круглова А.Н.

Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

kruglovaan45@mail.ru

ЗООПЛАНКТОН РЕК КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

Введение

Исследуемые реки, как и другие водотоки бассейна Белого моря имеют важное значение в естественном воспроизводстве лососевых рыб (Калюжин, 2003). В связи с наблюдающимся увеличением антропогенной нагрузки на водные экосистемы бассейна приобретают актуальность вопросы, связанные с проблемой биологического контроля за качеством вод. Организмы зоопланктона, как и многие другие группы гидробионтов, широко используются для диагностирования признаков антропогенных изменений водных экосистем и оценки их экологического состояния (Андроникова, 1996; Семерной, 2003; Крылов, 2005).

Цель работы – дать характеристику видового состава и количественных показателей зоопланктона в реках Кандалакшского побережья Белого моря для дальнейшего использования в системе экологического мониторинга.

Материалы и методы. Изучение сообществ зоопланктона проводилось на Кольском п-ове в 13 реках Кандалакшского побережья Белого моря (Порья; Канда с притоком Рябина; Кузрека; Лувеньга; Колвица; Умба с притоками Умбалка, Пила, Вяла с притоком Лямукса; Вудъярвйоки; Пиренга – приток р. Нивы). Более подробно исследовался зоопланктон реки Умбы. Отбор проб речного зоопланктона осуществлялся в летний период (июль-август) в течение ряда лет (2002, 2007, 2011, 2012 гг.), также использовались материалы более ранних периодов. Сбор и камеральная обработка зоопланктона проводилась согласно методам, принятым в гидробиологических исследованиях (Киселев, 1969; Руководство по методам гидробиологического анализа..., 1983; Комулайнен и др., 1989). Таксономические названия организмов зоопланктона приведены по руководству (Определитель..., 1994, 1995).

Результаты и обсуждение. Исследованные реки Кандалакшского побережья Белого моря, представляют собой сложные озерно-речные системы, типичные для гидрографической сети Европейского Севера, незначительно подверженные антропогенному воздействию. Таксономический состав, уровень развития организмов в реках во многом зависит от их морфометрии, наличия озер в бассейнах, степени заболоченности водосборов, гидрологического режима. Озера, входящие в состав таких систем, оказывают большое влияние на биологический режим ниже расположенных русловых участков рек. Наиболее крупным водотоком является Умба. Озерность исследованных рек изменяется от 1 до 20%. Более высокой озерностью отличаются Вяла, Умба, Колвица. По химическому составу речные воды преимущественно относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция, характеризуются довольно низкой (в среднем 24 мг/л) минерализацией и небольшим содержанием биогенных и органических веществ (в среднем 41 мг/л). Вода большинства рек имеет рН близкую к нейтральной (Ресурсы поверхностных вод СССР..., 1970; Иванов, Брызгалов, 2007).

За период выполненных нами наблюдений в составе зоопланктона исследованных водотоков определено 79 видов планктонных беспозвоночных (табл. 1), из них 29 (37%) видов коловраток (Rotatoria) и 50 видов ракообразных. Веслоногие ракообразные (Copepoda) представлены 11 видами (14%), ветвистоусые (Cladocera) – 39 (49%).

Таблица 1

Видовой состав зоопланктона рек Кандалакшского побережья Белого моря

№ п/п	Вид	Реки
1	2	3
Коловратки (Rotatoria)		

1.	<i>Notommata</i> sp.	4, 7
2.	<i>Trichocerca</i> (s .str.) <i>cylindrica</i> (Imhof 1891)	7
3.	<i>T. (s .str.) longiseta</i> (Schränk 1802)	6, 13
4.	<i>Trichocerca</i> sp.	1, 4
5.	<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg 1832	12
6.	<i>Synchaeta</i> sp.	2–8, 13
7.	<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson 1925	6, 12
8.	<i>Polyarthra</i> sp.	4–8
9.	<i>Ploesoma truncatum</i> (Levander 1894)	1, 3–6
10.	<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof 1891)	4–8, 11, 13
11.	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse 1850	6–8, 12, 13
12.	<i>Lecane (s. str.) luna</i> (Müller 1776)	1, 4
13.	<i>L. (Monostyla) lunaris</i> (Ehrenberg 1832)	1
14.	<i>Trichotria pocillum</i> (Müller 1776)	1, 6, 13
15.	<i>T. truncata</i> (Whitelegge 1898)	6
16.	<i>T. similis</i> (Stenroos 1898)	7, 8
17.	<i>Euchlanis meneta</i> Myers 1930	1
18.	<i>E. dilatata</i> Ehrenberg 1832	1–8, 13
19.	<i>E. deflexa</i> Gosse 1851	2, 5–9
20.	<i>E. alata</i> Voronkov 1911	4
21.	<i>E. lyra</i> Hudson 1886	6–9, 13
22.	<i>E. triquetra</i> Ehrenberg 1838	6, 13
23.	<i>Euchlanis</i> sp.	1–3, 6–8
24.	<i>Platylabus quadricornis</i> (Ehrenberg 1832)	7, 8
25.	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse 1851)	1, 4, 6–9
26.	<i>K. quadrata</i> (Müller 1786)	4, 6–8, 12
27.	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott 1879)	1, 4–9, 13
28.	<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet 1892	1, 6–8, 13
29.	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg 1834)	4, 7, 8
Кладоцеры (Cladocera)		
1.	<i>Sida crystallina crystallina</i> (O.F. Müller 1776)	7, 8
2.	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievins)	11
3.	<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach 1855	3–8, 13
4.	<i>Daphnia (Daphnia) pulex</i> Leydig 1860	12
5.	<i>D. (Daphnia) longispina</i> O.F. Müller 1785	6, 7, 12

1	2	3
6.	<i>D. (Daphnia) cucullata</i> Sars 1862	6–8
7.	<i>D. (Daphnia) cristata</i> Sars 1862	11, 13
8.	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Muller 1785)	3, 6, 7, 11
9.	<i>C. dubia</i> Richard 1894.	7–9
10.	<i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Muller 1776)	7–9
11.	<i>Ophryoxus gracilis gracilis</i> Sars 1862	8, 13
12.	<i>Echinisca rosea</i> Lievin 1848	7
13.	<i>Ilyocryptus sordidus</i> (Lievin 1848)	1
14.	<i>I. agilis</i> Kurz 1874	7, 8
15.	<i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F. Muller 1785)	4, 12
16.	<i>Pleuroxus trigonellus</i> (O.F. Muller 1785)	3, 4
17.	<i>P. truncatus truncatus</i> (O.F. Muller 1785)	3
18.	<i>Alonella nana</i> (Baird 1850)	4–9, 13
19.	<i>A. exigua</i> (Lilljeborg 1853)	1
20.	<i>A. excisa</i> (Fischer 1854)	1, 5, 9
21.	<i>Disparalona rostrata</i> (Koch 1841)	7, 8
22.	<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller 1785)	1, 4–10, 12, 13
23.	<i>Ch. ovalis</i> Kurz 1875	6, 7, 9, 10, 12
24.	<i>Ch. gibbus</i> Sars 1891	6
25.	<i>A. quadrangularis</i> (O.F. Muller 1785)	3, 4, 6, 7, 9, 10, 11
26.	<i>A. costata</i> Sars 1862	1, 2, 4–8, 11
27.	<i>Alona guttata</i> Sars 1862	7, 9
28.	<i>A. rectangular</i> Sars 1862	11, 13
29.	<i>Acroperus harpae</i> (Baird 1834)	1, 3–10, 13
30.	<i>Alonopsis elongatus elongatus</i> (Sars 1862)	1, 4, 6, 7, 9, 11
31.	<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer 1851)	9
32.	<i>Biapertura affinis</i> (Leydig 1860)	6, 10–12
33.	<i>B. intermedia</i> (Sars 1862)	4, 8
34.	<i>Bosmina (Bosmina) longirostris</i> (O.F. Muller 1785)	1–9
35.	<i>B. (Eubosmina) longispina</i> Leydig 1860	3
36.	<i>B. (Eubosmina) coregoni</i> Baird 1857	4, 6–9, 11–13
37.	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne 1778)	4–7, 9
38.	<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig 1860	7, 8
39.	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke 1844)	7, 8, 13
Копеподы (Copepoda)		
1.	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars 1863)	4–11, 13
2.	<i>Heterocope appendiculata</i> Sars 1863	6–8, 13
3.	<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine 1820)	1, 4, 5, 7, 11
4.	<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer 1851)	1, 2, 4, 7, 8, 13
5.	<i>E. macrurus</i> (Sars 1863)	7
6.	<i>Paracyclops fimbriatus fimbriatus</i> (Fischer 1853)	7
7.	<i>Cyclops strenuus strenuus</i> Fischer 1851	4, 6, 7
8.	<i>C. scutifer scutifer</i> Sars 1863	6, 7
9.	<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)	6–8, 12
10.	<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars 1863)	2, 3, 7, 9–11
11.	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus 1857)	6–8, 11, 13

Примечание: Реки: 1 - Порья; 2 - Канда; 3- Кузрека; 4 - Лувеньга; 5 - Колвица; 6 - Умба; 7 - Вяла; 8 - Лямукса; 9 - Пила; 10 - Рябина; 11 – Умбалка, 12 – Вудъярвйоки; 13 – Пиренга.

Количество видов по рекам колебалось от 6 (Рябина) до 51 (Вяля). В большинстве рек основу таксономического списка планктонных организмов составляли ракообразные, главным образом, ветвистоусые. Из них наибольшим видовым разнообразием (19 видов) отличалось семейство Chydoridae, составлявшее 50% от общего числа кладоцер. Представители других семейств (Sididae, Holopedidae, Daphniidae, Macrothricidae, Bosminidae, Leptodoridae) включали 1-6 видов ракообразных. Коловратки, отмеченные в речном зоопланктоне, относятся к десяти семействам, из которых наибольшее количество видов (7) характерно для Euchlanidae, остальные семейства насчитывали от 1 до 4 видов. Веслоногие ракообразные представлены подсем. Cyclopinae (5 видов) и подсем. Eucyclopinae (4 вида). Из каланид зарегистрированы *Eudiaptomus*, *HeterosCOPE*.

Особенности гидрографического строения речных бассейнов (площадь водосбора, озерность, заболоченность и др.) находят отражение в формировании основного комплекса планктонной фауны. Зоопланктон рек, в большей степени зарегулированных озерами (Вяля с притоком Лямуксой, Умба) характеризуется наибольшим видовым разнообразием, формируется за счет широко распространенных озерных форм ракообразных (*Holopedium gibberum*, *Bosmina obtusirostris*, *Cyclops scutifer*, *Eudiaptomus gracilis* и др.) и коловраток (*Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Bipalpus hudsoni*), выносимых из озер. В планктонной фауне рек с меньшим влиянием озер (Канда, Лувеньга, Порья, Кузрека) возрастает роль представителей фитофильного и прибрежного комплексов (*Bosmina longirostris*, виды родов *Alona*, *Alonella*, *Chydorus*, *Acroperus*, *Alonopsis*, *Pleuroxus*, *Eucyclops*, *Macrocyclus*, *Euchlanis*, *Lecane* и др.). Основу численности и биомассы речного зоопланктона создают ракообразные, в основном, ветвистоусые. Роль веслоногих рачков повышается на речных участках, расположенных ниже истоковых и русловых озер. Уровень количественного развития зоопланктона в реках значительно варьирует (табл. 2).

Таблица 2

Основные показатели зоопланктона исследованных рек

Река	Число видов	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³	Доминирующие таксономические группы	
				по численности	по биомассе
Порья	21	0.09	0.001	Коловратки	Кладоцеры
Канда	8	0.02	0.0001	Коловратки	Кладоцеры
Рябина	6	0.43	0.019	Кладоцеры	Кладоцеры
Кузрека	13	0.01	0.003	Кладоцеры	Кладоцеры
Лувеньга	30	0.07	0.003	Кладоцеры	Кладоцеры
Колвица	17	1.52	0.052	Кладоцеры	Кладоцеры
Умба	40	0.90	0.014	Копеподы, Кладоцеры	Копеподы, Кладоцеры
Умбалка	14	1.31	0.070	Кладоцеры	Кладоцеры
Вяля	51	6.30	0.211	Копеподы	Копеподы
Лямукса	37	2.78	0.037	Кладоцеры	Кладоцеры
Пила	20	0.37	0.012	Кладоцеры	Кладоцеры
Вудъярвйоки	12	20.0	2.600	Кладоцеры	Кладоцеры
Пиренга	23	7.90	0.270	Копеподы	Кладоцеры

Максимальные количественные показатели зоопланктона характерны для рек, зарегулированных озерами (численность: 20.0 тыс. экз./м³; биомасса: 2.6 г/м³, исток р. Вудъярвйоки из озера).

Заключение

Зоопланктон большинства исследованных рек Кандалакшского побережья Белого моря отличается значительным разнообразием за счет обогащающего влияния озер. Планктофауна исследованных водотоков типична для водоемов Европейского Севера, представлена видами, имеющими всесветное (44.3%), голарктическое (25.7%), палеарктическое (20%) и бореальное (10%) географическое распространение. В целом уровень количественного развития речного зоопланктона невысок. Более высокие показатели численности и биомассы характерны для рек, имеющих в бассейнах озера. Фауна ракообразных и коловраток исследованных рек имеет общие черты

с планктофауной других рек Карелии и Мурманской области (Куликова, Сярки, 1990; Комулайнен, Круглова, Барышев, 2005; Круглова, 2008).

Результаты проведенных исследований речного зоопланктона имеют значение для инвентаризации фауны озерно-речных экосистем в рамках проблемы сохранения биоразнообразия. Они могут использоваться для оценки состояния и прогнозирования изменений в водных экосистемах.

Литература

1. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
2. Иванов В.В., Брызгалов В.А. Гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря // Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 52-117.
3. Калюжин С.М. Атлантический лосось Белого моря: проблемы воспроизводства и эксплуатации. Петрозаводск: Издательский Дом «Петропресс», 2003. 263 с.
4. Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Хренников В.В., Широков В.А. Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1989. 41 с.
5. Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. Структура гидробиоценозов в некоторых реках Карельского побережья Белого моря // Материалы IX междунар. конф.: Проблемы изучения, рационал. исп. и охраны ресурсов Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 156-164.
6. Круглова А.Н. О планктофауне малых лососевых рек Кольского полуострова. // Биология внутренних вод, 2008. № 3. С. 8-13.
7. Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
8. Куликова Т.П., Сярки М.Т. Особенности формирования планктонной фауны притоков Онежского озера // Притоки Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1990. С. 77-99.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные. СПб.: ЗИН РАН, 1994. 394 с. Т. 2. Ракообразные. СПб.: ЗИН РАН, 1995. 627 с.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 1. Кольский полуостров. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 315 с.
11. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. Л.: Гидрометеиздат, 239 с.
12. Семерной В.П. Санитарная гидробиология. Ярославль. Изд-во Ярославского госуниверситета им. П.Г. Демидова. 2003. 147 с.

Лукина Ю.Н.¹, Лукин А.А.², Беличева Л.А.³

^{1,3}Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
jlukina@list.ru., belicheva.lida@yandex.ru

²Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства,
г. Санкт-Петербург
alukin@inbox.ru

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПАТОГЕНЕЗА РЫБ В ВОДОЕМАХ ПАЛЕАРКТИКИ

Сохранение биологического разнообразия – одна из ключевых задач современности, но устойчивое функционирование популяций и сообществ невозможно без здоровых жизнеспособных особей, которые определяют качество других уровней биологической организации. Поступление в водные объекты стойких загрязняющих веществ и тяжелых металлов представляет в настоящее время главную угрозу водным экосистемам в силу их биоаккумуляции и биомагнификации на более высоких трофических уровнях, вызывая появление широкого спектра заболеваний практически у всех живых организмов. Очевидно, что воздействие высоко токсичных и устойчивых поллютантов следует изучать через призму биологических ответов гидробионтов, в связи с чем проблеме заболеваний уделяется пристальное внимание во всем мире (Лукин и др., 2000; Моисеенко и др., 2002; Avcietal, 2005; Pathanetal, 2010, и др.). Несмотря на достигнутый прогресс в познании последствий антропогенного воздействия на рыб, представления о механизме повреждений, причинно-следственных связях

в развитии патологий, дифференциации патологических процессов окончательно не сформированы, что определяет актуальность данных исследований.

Цель данной работы заключалась в изучении морфофункциональных изменений в организме рыб в водоемах. Палеарктики на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях с учетом их роли в комплексной системе биоиндикации. География исследований охватывала европейско-сибирскую область Палеарктики (озера Имандра, Холмовское, Онежское озеро и его притоки, реки Кара, Северная Двина, Печора, Волга, Кета-Ирбэ). Тест объектами были выбраны виды рыб, не принадлежащие к одной систематической группе, но преобладающие в исследованных водных объектах: сиг *Coregonus lavaretus* (L.), язз *Leucis cusidus* (L.), пресноводная речная форма кумжи – форель (*Salmo trutta*), усатый голец *Barbatula barbatula* (L.) и подкаменщик обыкновенный *Cottus gobio* (L.).

Исследования базировались на концепции биологических маркеров, согласно которой они объединены в три группы: воздействия, эффекта и чувствительности. В качестве биомаркеров воздействия были использованы хлорорганические пестициды (ХОП), полихлорбифенилы (ПХБ) и полициклические углеводороды (ПАУ), накапливающиеся в организме рыб р. Печоры, характеризующиеся высокой потенциальной опасностью для человека и животных. Результаты исследования накопления ХОП (ДДТ, ДДД, ДДЕ, ГХЦГ) свидетельствуют о длительной циркуляции данных веществ в водной экосистеме и о хроническом загрязнении. Печоры, а также о том, что водоток подвергается в настоящее время загрязнению ХОП. Концентрации ПХБ также были на низком уровне, однако, разнородность композиционного состава, одновременное присутствие низко- и высокохлорированных соединений свидетельствуют о длительной их циркуляции в пределах р. Печоры, а также об относительно недавних поступлениях токсикантов в водную экосистему. Композиционный анализ ПАУ выявил 12 аренов, среди которых нафталин и метилнафталин, свидетельствующие о нефтяном загрязнении водной экосистемы и являющиеся наиболее токсичными компонентами растворимой фракции нефти. Таким образом, установлено одновременное присутствие в тканях рыб ХОП, ПХБ и ПАУ, что усиливает токсический эффект каждого, а качественный состав стойких органических загрязняющих веществ указывает на продолжающееся в настоящее время поступление данных соединений в исследуемую водную экосистему. Концентрации ХОП, ПХБ и ПАУ в тканях рыб были на низком уровне, но именно их хроническое воздействие в малых дозах способствует развитию окислительного стресса и, как следствие, широкого спектра патологий (Avci et al, 2005).

В качестве биомаркеров эффекта были исследованы изменения на макромолекулярном (показатели окислительного стресса и адаптивные перестройки в спектре жирных кислот) и тканевом (морфофункциональные изменения в организме рыб) уровнях. Процесс перекисного окисления липидов (ПОЛ) является универсальным механизмом повреждения мембранных структур клетки при действии неблагоприятных факторов среды, для нейтрализации которого в организме существует антиоксидантная система (АОС). Результаты наших исследований демонстрируют достоверное увеличение продуктов ПОЛ (малоновый диальдегид и диеновые конъюгаты) в очагах загрязнения на фоне неизменной активности супероксиддисмтазы. Это свидетельствует об интенсивном образовании активных форм кислорода в тканях рыб и об истощении ресурсов АОС под влиянием неблагоприятных факторов, хроническое действие которых подтверждают результаты наших исследований по накоплению ХОП, ПХБ и ПАУ в тканях рыб. Аналогичные отклики исследованы в организме рыб под влиянием ПХБ, минерального азота, тяжелых металлов и нефти и связаны с аккумуляцией токсикантов в липидах и с включением ксенобиотиков в жировой обмен (Потрохов и др., 2009; Achuba, Osakwe, 2003).

Исследование спектра жирных кислот, которые представляют универсальный механизм адаптации, выявило снижение полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) (докозагексаеновой и арахидоновой) в печени рыб в очагах загрязнения, которое сопровождалось активацией ПОЛ. Взаимосвязь этих процессов демонстрирует корреляционный анализ, свидетельствующий о достоверном снижении полиенов при увеличении малонового диальдегида и диеновых конъюгатов. Коэффициент $\omega 3/\omega 6$ при этом сохранялся в пределах нормы (2.8-3.3), что носит адаптивный характер и обеспечивает сохранение биологических свойств мембран в изменяющихся условиях среды. Подобная тенденция к снижению уровня ПНЖК в тканях печени и гонад сига была отмечена для оз. Имандра, испытывающего мультифакторное загрязнение (Шарова, 1999). Выявленный дефицит ПНЖК, может быть причиной ряда патологий, диагностированных в данном исследовании. В частности нефропатий, которые сопровождалась пролиферацией мезангиальных клеток в гломеруле, утолщением стенки и расширением кровеносных сосудов, утолщением базальной мембраны, дегенерацией почечных канальцев и развиваются вследствие недостатка $\omega 3$ -кислот (Malyszko et al, 1996). Не меньший интерес представляет арахидоновая кислота, которая играет значительную роль в процессах реабилитации

поврежденных тканей. Снижение содержания арахидоната может быть связано с ее расходом в процессе образования простагландинов, которые, воздействуя на клетки печени, способствуют их пролиферации и, соответственно, регенерации печени (Гарбузенко, Попов, 2001).

Результаты гистологических исследований свидетельствуют о широком спектре морфофункциональных изменений в организме рыб в водоемах Палеарктики. В Онежском озере и р. Кара, не испытывающих техногенного воздействия, морфологические изменения характеризовались небольшим разнообразием. В жабрах единственным признаком изменений прогрессивного типа являлась гиперплазия клеток респираторного эпителия. Архитектоника печени не была нарушена и ее трабекулярная структура сохранялась неизменной. Выявлены случаи кариопикноза и соединительнотканые разрастания вокруг кровеносных сосудов. В почках отмечались незначительные разрастания соединительной ткани вокруг почечных канальцев, блокада канальцев клеточным детритом, очаги агрегации макрофагов. Все выявленные структурные изменения носили единичный характер.

У рыб, обитающих в условиях воздействия сточных вод ЦБП (Выгозеро, р. Северная Двина), в качестве доминирующих морфофункциональных изменений выступали вакуолизация респираторного эпителия и гиперплазия респираторных, хлоридных и слизистых клеток, которые являются довольно распространенной адаптивной реакцией рыб на данный тип воздействия (Pathanetal, 2010). По отношению к стокам медно-никелевых производств (р. Кета-Ирбэ, оз. Имандра), основной "орган-мишень" – почки, характерной особенностью которых была почечно-каменная болезнь, диагностированная ранее в Норило-Пясинской водной системе (Решетников и др., 1999) и в водоемах Кольского п-ова (Лукин, Кашулин, 1991). Неопластическая трансформация и пренеопластические изменения являлись характерными патологиями при загрязнении нефтепродуктами, канцерогенность которых доказана в эксперименте и подтверждена натурными исследованиями (Pal et al., 2011). В условиях эвтрофирования доминировали отеки респираторного эпителия, аневризмы, дегенеративные изменения в почках – признаки действия цианотоксинов (Atencioetal, 2008).

Таким образом, морфологические изменения в тканях рыб развиваются в результате множества реакций, каскад которых запускается на молекулярном уровне с активации ПОЛ, что приводит к дестабилизации клеточных мембран и появлению патологий в жабрах, печени и почках. Действие токсичных веществ, накапливающихся в тканях, осуществляется по двум направлениям:

1. Развитие токсического процесса: активация ПОЛ→сокращение ПНЖК→дестабилизация мембран→деградация клеточного метаболизма→патологии органов и тканей.
2. Мобилизация адаптивных ресурсов: снижение содержания арахидоновой кислоты→образование простагландинов→регенеративные процессы.

Резюмируя все вышеизложенное можно констатировать, что в большинстве водоемов Палеарктики рыбы обитают в условиях хронического воздействия загрязняющих веществ, что подтверждается результатами по накоплению стойких загрязняющих веществ в донных отложениях и тканях рыб. В тоже время, ряд выявленных патологий указывает на острую реакцию организма рыб в ответ на вновь поступающие загрязняющие вещества в водные экосистемы. Так, образование новых нефронов в почках рыб является ранней ответной реакцией организма в стрессовых ситуациях, которая наблюдается в течение первых двух-четырех недель после воздействия и может продолжаться до двух месяцев. Вакуолизация эпителия почечных канальцев и репаративные процессы в печени также развиваются в острую фазу повреждения. Данные факты дают возможность предполагать, что на фоне хронического воздействия происходят спорадические локальные поступления токсичных загрязняющих веществ в исследуемые водные объекты. Морфофункциональные изменения выражаются в перестройках биохимического статуса, в патологических и компенсаторно-приспособительных реакциях, направленных на поддержание жизнедеятельности организма в ущерб пластическому росту и созреванию. Они интегрируются на более высоких уровнях организации (популяции, сообщество) и являются основой для последующих преобразований, что определяет их большое прикладное значение не только в диагностическом, но и в экологическом аспекте с учетом роли в комплексной системе биоиндикации.

Литература

1. Гарбузенко Д.В., Попов Г.К. Механизмы регуляции регенерации печени // Рос.журн. гастроэнтерол., гепатол., колопроктол. 2001. Т. XI. № 1. С. 21-25.
2. Лукин А.А., Кашулин Н.А. Состояние ихтиофауны приграничных районов СССР и Норвегии. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1991. 51 с.

3. Лукин А.А., Даувальтер В.А., Новоселов А.П. Экосистема Печоры в современных условиях. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2000. 192 с.
4. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Лукин А.А. и др. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 403 с.
5. Потрохов А.С., Зиньковский О.Г., Могилевич Н.А. Активность процессов перекисного окисления липидов у карпа под воздействием минерального азота // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Матер. XXVIII Междунар. конф., 5-8 октября 2009 г. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2009. С. 438-443.
6. Решетников Ю.С., Попова О.А., Кацулин Н.А. и др. Оценка благополучия рыбной части водного сообщества по результатам морфопатологического анализа рыб // Успехи современ. Биологии, 1999. Т. 119. № 2. С. 165-167.
7. Шарова Ю.Н. Особенности функционирования системы воспроизводства рыб Крайнего Севера в условиях техногенного загрязнения: автореф. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1999. 24 с.
8. Achuba F.I., Osakwe S.A. Petroleum-induced free radical toxicity in African catfish (*Clarias gariepinus*) // Fish Physiol Biochem. 2003. Vol. 29. P. 97-103.
9. Atencio L., Moreno I., Prieto A.I., et al. Acute effects of microcystins MC-LR and MC-RR on acid and alkaline phosphatase activities and pathological changes in intraperitoneally exposed *Tilapia* fish (*Oreochromis* sp.) // Toxicol. Pathol. 2008. Vol. 36. P. 449-458.
10. Avci A., Kaamaz M., Durak I. Peroxidation in muscle and liver tissues from fish in a contaminated river due to a petroleum refinery industry // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2005. Vol. 460. P. 101-105.
11. Malyszko J.S., Malyszko J., Pawlak K., Mysliwiec M. Effect of treating glomerulonephritis with omega 3 fatty acids for selected parameters of hemostasis, blood platelet function and lipid metabolism // Przegląd Lekarski. 1996. Vol. 53. P. 600-603.
12. Pal S., Kokushi E., Cheikyula O., et al. Histopathological effects and EROD induction in common carp exposed to dietary heavy oil // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2011. Vol. 74. P. 307-314.
13. Pathan T.S., Shinde S.E., There P.B., Sonawane D.L. Histopathology of liver and kidney of *Rasboradaniconius* exposed to paper mill effluent // Research Journal of Biological Sciences. 2010. Vol. 5. P. 389-394.

Мусатова М.В., Ефремова Т.А., Лозовик П.А., Сабылина А.В., Рыжаков А.В.

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
 rincalika21@yandex.ru, tanyusha_ptz@mail.ru

АВТОХТОННОЕ И АЛЛОХТОННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ И В ЕГО СОСТАВЕ УГЛЕВОДЫ И ЛИПИДЫ

Органическое вещество (ОВ) в поверхностных водах связано в основном с двумя источниками происхождения: его внутриводоемным образованием за счет продукционно-деструкционных процессов (автохтонное ОВ) и поступлением с водосборной территории (аллохтонное ОВ). Первое представлено биохимически лабильными соединениями (мочевина, углеводы, липиды, белки, летучие органические кислоты и др.), второе обусловлено веществами гумусовой природы.

Существует несколько отличительных признаков автохтонного и аллохтонного ОВ, по которым судят об их количестве:

- 1) по соотношению перманганатной окисляемости (ПО) и химическому потреблению кислорода (ХПК) и по отношению C:N (для автохтонного ОВ они меньше, чем для аллохтонного);
- 2) по способности к биохимическому окислению (автохтонное ОВ – легкоокисляемое, а аллохтонное – трудноокисляемое);
- 3) по интенсивности светопоглощения в видимой и УФ области спектра.

Несмотря на имеющиеся отличия автохтонного и аллохтонного ОВ, до сих пор отсутствуют надежные методы определения их содержания в воде. Это связано с тем, что ОВ природных вод не имеет четко фиксированной структуры и постоянно преобразуется в ходе различных внутриводоемных процессов, в результате чего меняется их состав и свойства.

Принимая во внимание, что аллохтонное ОВ представлено большей частью гумусовыми веществами, и для их выделения из воды широко используется адсорбция на

диэтиламиноэтилцеллюлозе (ДЭАЭ-целлюлозе) (Варшал и др., 1973), нами была разработана методика разделения ОВ природных вод на аллохтонную и автохтонную составляющие адсорбцией на ДЭАЭ-целлюлозе в динамическом режиме (Лозовик, Мусатова, 2013). Наряду с этим, также изучалось распределение углеводов и липидов в составе автохтонного и аллохтонного ОВ. Определение содержания липидов осуществлялось с фосфованилиновым реактивом, а углеводов с L-триптофановым в модификации П.А. Лозовика с соавторами (2013). Для анализа различных форм углеводов в их общем содержании, пробы воды обрабатывались следующим образом:

- 1) в исходной воде определяли общее содержание углеводов ($Y_{\text{общ}}$);
- 2) в воде после удаления гумусовых веществ адсорбцией на ДЭАЭ-целлюлозе определяли свободные углеводы ($Y_{\text{своб}}$);

- 3) в воде после удаления взвешенных веществ центрифугированием определяли растворенные углеводы ($Y_{\text{раств}}$);

- 4) содержание связанных углеводов ($Y_{\text{связ}}$) определяли по формуле: $Y_{\text{связ}} = Y_{\text{раств}} - Y_{\text{своб}}$;

- 5) определение взвешенных углеводов ($Y_{\text{взв}}$) на стекловолнистых фильтрах (Руководство..., 2004).

Что касается липидов, то определялось только их общее содержание фотометрическим методом с предварительной экстракцией из воды.

Исследование содержания автохтонного и аллохтонного ОВ, а также углеводов и липидов было проведено в разнотипных озерах Карелии в течение четырех гидрологических сезонов в 2012–2013 гг. В качестве объектов исследования в 2012 г. было выбрано 9 озер (Салонъярви, Вегарусъярви, Крошнозеро, Святозеро, Вендюрское, Урос, Урозери, Валгомозери, Яндомозери), отличающихся по гидрологическим и гидрохимическим показателям и по уровню трофии. В 2013 г. исследования продолжились на Онежском озере (Петрозаводская и Кондопожская губы, центр озера и устье Шуи), а также озерах Шотозери, Сямозери и Каменное (губа Камалахта, центр озера).

Расчет доли автохтонного ОВ осуществлялся по формулам:

$\rho_{\text{алл. раств}} = (\text{ХПК}_{\text{центр}} - \text{ХПК}_{\text{после адс}}) / \text{ХПК}_{\text{центр}}$, где $\text{ХПК}_{\text{центр}}$, $\text{ХПК}_{\text{после адс}}$ – ХПК центрифугированной воды и после адсорбции ОВ. Содержание растворенного автохтонного ОВ ($\text{ХПК}_{\text{авт. раств}}$) вычислялось по его доле ($\rho_{\text{авт. раств}}$): $\text{ХПК}_{\text{авт. раств}} = \text{ХПК}_{\text{центр}} \cdot \rho_{\text{авт. раств}}$, где $\rho_{\text{авт. раств}} = 1 - \rho_{\text{алл. раств}}$. С учетом того, что основное образование автохтонного ОВ происходит в вегетационный период, взвешенное ОВ в период открытой воды относили к автохтонному ОВ ($\text{ХПК}_{\text{авт}} = \text{ХПК}_{\text{авт. раств}} + \text{ХПК}_{\text{взв}}$), а в зимний период – к аллохтонному ($\text{ХПК}_{\text{авт}} = \text{ХПК}_{\text{авт. раств}}$). Исходя из этого, рассчитывали доли автохтонного ОВ для периода открытой воды по формуле $\rho_{\text{авт}} = \text{ХПК}_{\text{авт}} / \text{ХПК}_{\text{исх}}$, а для зимнего $\rho_{\text{авт}} = \text{ХПК}_{\text{авт. раств}} / \text{ХПК}_{\text{исх}}$. Наряду с оценкой доли автохтонного ОВ ($\rho_{\text{авт}}$) по адсорбции, осуществлялся ее расчет по эмпирической формуле $\rho_{\text{авт}} = 0,62 \text{ХПК} / \sqrt{\text{ЦВ} \cdot \text{ПО}} - 0,35$ (Лозовик и др., 2007). Указанная формула расчета $\rho_{\text{авт}}$ получена на основе математического анализа многочисленных данных по косвенным показателям содержания ОВ в поверхностных водах Карелии, и фактически она отражает первый отличительный признак автохтонного и аллохтонного ОВ (соотношение ПО и ХПК) и третий (светопоглощение). Зависимость доли аллохтонного ОВ ($\rho_{\text{алл}}$) по адсорбции от рассчитанной по эмпирической формуле ($\rho_{\text{алл}} = 1 - \rho_{\text{авт}}$) показана на рис 1. Значения доли аллохтонного ОВ, полученные по адсорбции, оказались близкими к расчетным по эмпирической формуле.

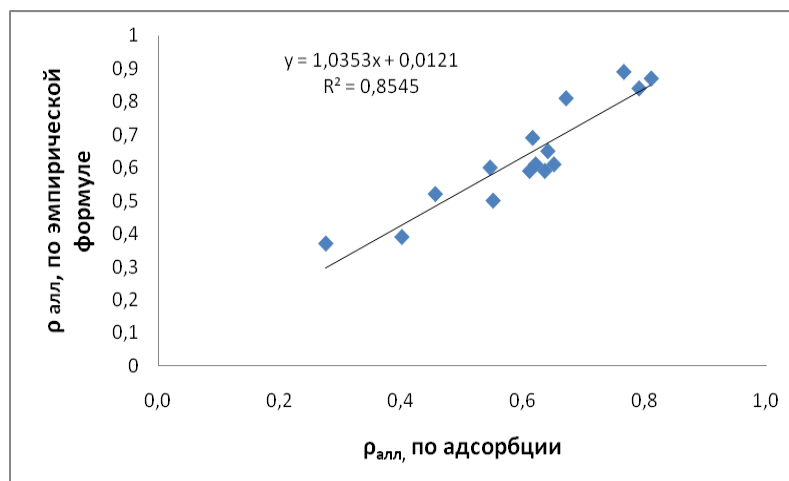


Рис. 1. Зависимость доли аллохтонного ОВ, рассчитанной по эмпирической формуле и по адсорбции

Анализ данных по соотношению C:N и ПО:ХПК в воде до и после адсорбции показал, что после адсорбции наблюдается снижение отношений C:N и ПО:ХПК. В пробах исходной воды среднее значение C:N составляло 23, а ПО:ХПК – 0.44, а после адсорбции они стали 10 и 0.35 соответственно. Эти данные свидетельствуют, что, применяя адсорбцию в динамическом режиме, можно разделить ОВ природных вод на автохтонную и аллохтонную составляющие. В тоже время, если сравнить отношение C:N с долей автохтонного ОВ для исходной воды (рис. 2), то видно, что коэффициент корреляции достаточно низкий и по соотношению C:N в исходной воде нельзя четко судить о содержании автохтонного и аллохтонного ОВ. Причина заключается в том, что основным процессом, обуславливающим изменение количественного состава ОВ природных вод как аллохтонного, так и автохтонного, является биохимическое окисление, которое сопровождается аммонификацией, т.е. идет с отщеплением NH_3 , и как следствие этого растет отношение $\text{C:N}_{\text{орг}}$.

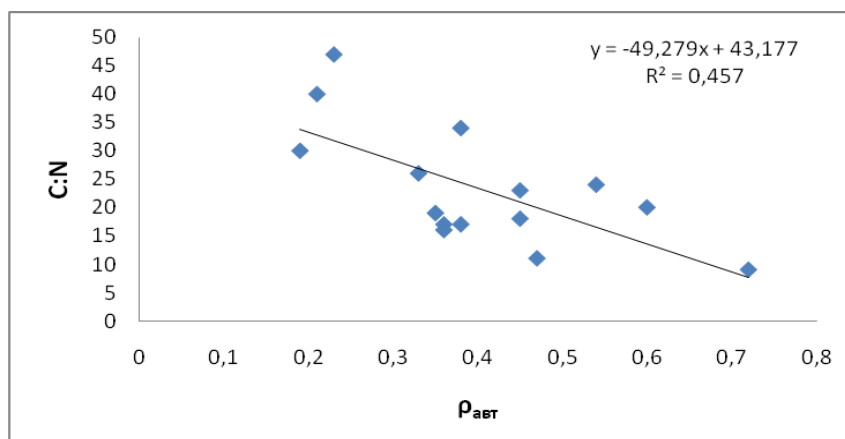


Рис. 2. Сравнение отношения C:N с долей автохтонного ОВ для исходной воды

Если проанализировать средние величины ХПК растворенного автохтонного ОВ в исследованных водных объектах, то можно отметить, что величины $(\text{ХПК}_{\text{авт}})_{\text{раств}}$ для всех водоемов имеют близкие значения (пределы колебаний 4.6–11.5 мгО/л). Наименьшие значения отмечены в олиготрофных озерах (Урос, Урозери, Вендюрское и Каменное), а также в центральном олиготрофном плесе Онежского озера. Средняя величина $(\text{ХПК}_{\text{авт}})_{\text{раств}}$ воды для всех исследованных водных объектов за все гидрологические сезоны 2012–2013 гг. составляет 8.2 мгО/л, что в пересчете на углерод ($\text{C}_{\text{орг}} = 0.375 \text{ ХПК}$) соответствует 3.1 мгС/л, что почти в 2 раза выше, чем в морских водах по Романкевичу (Романкевич, 2013), ОВ которых представлено автохтонным ОВ.

В 2013 г. было проведено исследование содержания органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) в воде исследуемых водных объектов (до и после адсорбции) фотохимическим методом с использованием персульфата аммония. Полученные данные свидетельствуют о значительном изменении содержания органического углерода в пробах воды после адсорбции по сравнению с исходными (рис. 3).

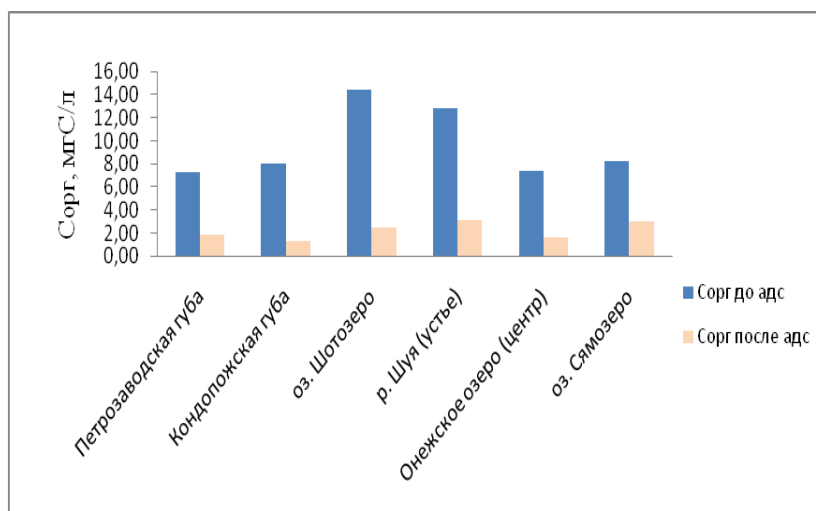


Рис. 3. Содержание органического углерода в воде до и после адсорбции

Содержание органического углерода в воде после адсорбции изменяется в пределах от 1.3 до 3.2 мгС/л (среднее – 2.2 мгС/л) и отвечает брутто формуле $C_6(H_2O)_{1.9}H_{6.7}NH_3$, полученной с помощью расчетно-аналитического метода (Лозовик, 2006). По этой формуле видно, что автохтонное ОВ является достаточно восстановленным. Концентрация ОВ, рассчитанная по брутто формуле, равняется 4.0 мг/л. Содержание углерода в ОВ составляет 55.3%, водорода – 10.4, кислорода – 23.6, а азота – 10.7%.

Исследования углеводов и липидов были проведены на тех же объектах, что и автохтонного и аллохтонного ОВ. Это позволило впервые установить, что углеводы в поверхностных водах представлены в трех формах: свободные, связанные и углеводы во взвеси. Как видно из рис. 4 общее содержание углеводов в исходной воде уменьшается с увеличением доли автохтонного ОВ, а концентрация углеводов после адсорбции гумусовых веществ изменяется слабо. Из всех объектов, представленных на рис. 4, существенно выделяется оз. Святозеро, в котором летом общая концентрация углеводов достигала 11.0 мг/л, но при этом наблюдалось и цветение воды. Полученные данные позволяют констатировать, что углеводы в поверхностных водах следует подразделять на связанные в составе аллохтонного ОВ и свободные в составе автохтонного ОВ. Медианные значения содержания общих углеводов в исследуемых объектах Карелии составляли 3.5 мг/л, свободных – 1.6, связанных – 1.5 и углеводов во взвеси – 0.4 мг/л. На долю свободных углеводов и липидов в автохтонном ОВ приходится – 27% и 3.7% соответственно, а на долю связанных углеводов – 14% от содержания аллохтонного ОВ.

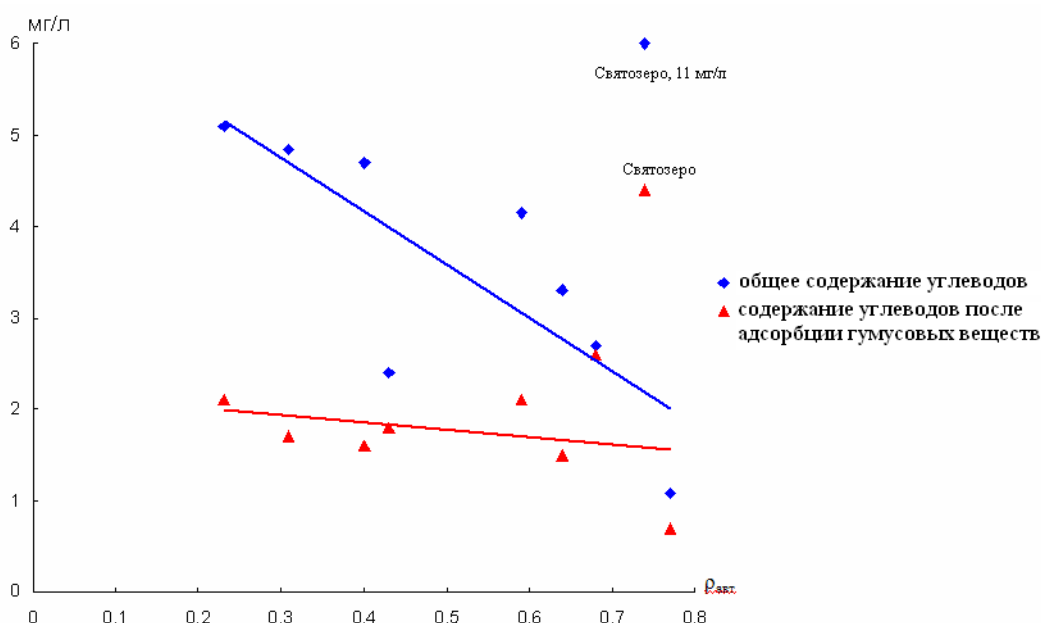


Рис. 4. Зависимость содержания углеводов в воде озер от доли автохтонного ОВ в исследованных озерах в летний период 2012 г.

Содержание липидов в озерах Карелии изменяется от 0.02 до 1.6 мг/л (в среднем 0.2).

Анализ связи содержания липидов от гумусности воды показал отсутствие такой закономерности в озерах с разным уровнем трофии, что имело место у углеводов (рис. 5). Это дает основание полагать, что липиды в поверхностных водах находятся преимущественно в составе автохтонного ОВ и образуются в результате протекания продукционно-деструкционных процессов.

Таким образом, в результате выполненной работы удалось разделить ОВ природных вод на аллохтонную и автохтонную составляющие адсорбцией на ДЭАЭ-целлюлозе. Установлено, что содержание растворенного автохтонного ОВ достаточно стабильно в водных объектах и составляет в среднем 3.1 мгС/л. В поверхностных водах углеводы представлены в трех формах: свободные (46%), связанные (43%) и углеводы во взвеси (11%). На долю свободных углеводов и липидов в автохтонном ОВ приходится – 27% и 3.7% соответственно, а на долю связанных углеводов – 14% от содержания аллохтонного ОВ. Основное отличие водоемов связано с разным содержанием аллохтонного ОВ.

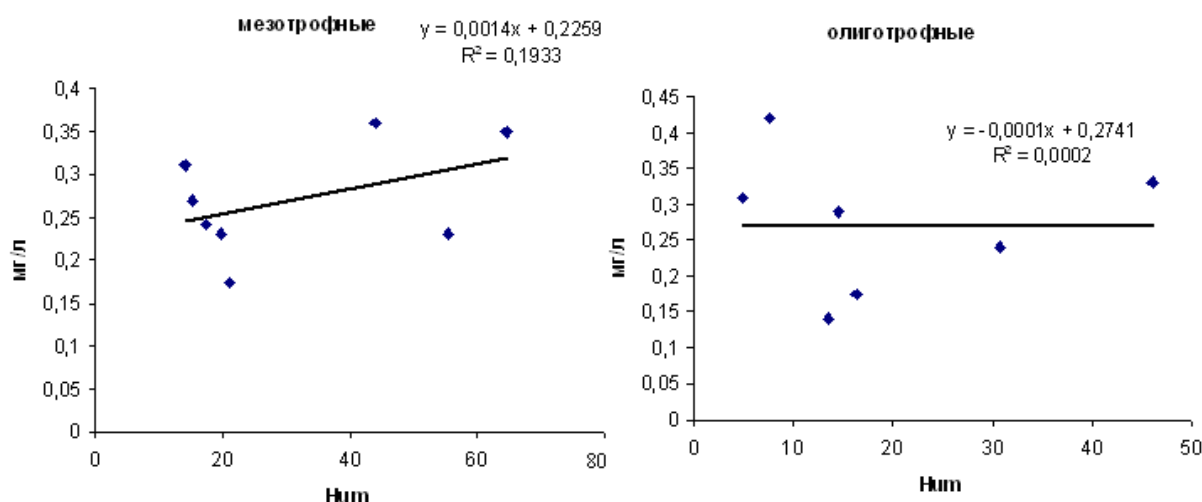


Рис. 5. Зависимость концентрации липидов от гумусности водного объекта в озерах с одинаковым уровнем трофики

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований № 11 ОНЗ РАН «Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике» и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-0264-а).

Литература:

1. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Сироткина И.С. Фракционирование, количественное определение и изучение некоторых основных компонентов растворенных органических веществ природных вод // Гидрохим. Материалы, 1973. Т. 59. С. 143-151.
2. Лозовик П.А. Расчетно-аналитический метод оценки содержания и элементного состава органического вещества природных вод // Журнал аналитической химии, 2006. Т. 61, № 6. С. 592-597.
3. Лозовик П.А., Ефремова Т.А., Сабылина А.В. Количественное определение содержания углеводов и липидов в поверхностных водах // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки, 2013. № 3. С. 57-62.
4. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б. и др. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы, 2007. Т. 34, № 2. С. 225-237.
5. Лозовик П.А., Мусатова М.В. Методика разделения органического вещества природных вод адсорбцией на диэтиламиноэтилцеллюлозе на автохтонную и аллохтонную составляющие // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки, 2013. № 3. С. 63-68.
6. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Массы углерода в гидросфере земли // Геохимия, 2013. № 6. С. 483-509.
7. Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры. М.: Издательство ВНИРО, 2004. 123 с.

Никулина В.Н.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург
vera.nikulina@zin.ru

ФИТОПЛАНКТОН ОЗЕРА КРИВОГО (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ) ПО МНОГОЛЕТНИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Озеро Кривое расположено в бассейне Кандалакшского залива Белого моря, 30 км южнее Полярного круга. Оно образовалось на месте постепенно опреснившегося залива моря. Уровень озера приблизительно на 6 м выше уровня моря. Площадь озера около 0.5 км², длина 1800 м, ширина 450 м, водосборная площадь 2.1 км².

Экосистема озера впервые изучалась в 1968, 1969 гг. в рамках МБП (Винберг Г.Г., ред., 1975). Проведенные работы выявили характерные особенности видового состава фитопланктона и функционирования экосистемы северного озера.

В качестве модельного водоема для изучения естественных динамических процессов, работы были продолжены в 1972 и ежегодно с 2002 г. до настоящего времени.

Исследования преследовали цель установить изменения, произошедшие в фитопланктонном сообществе в течение последних десятилетий и оценить трофическую значимость водорослей планктона.

В вегетационный сезон 2002-2013 гг. количественные пробы фитопланктона отбирали одновременно с пробами для определения содержания хлорофилла и первичной продукции. Определение видового состава и подсчет водорослей проводили в осадочных камерах объемом 10-25 мл с использованием инвертированного микроскопа Hydro-Bios, а также в камере Нажотта объемом 0.02 мл, используя микроскоп БИМАМ. Биомассу рассчитывали по суммарному объему клеток водорослей, принимая, что 109 мкм³ соответствует 1 мг сырой биомассы фитопланктона. К доминирующим видам отнесены виды, численность и/или биомасса которых превышали 10% общей.

За последний период исследований в планктоне зафиксировано 142 вида водорослей. Доминирующий состав водорослей в основном остался тем же, что и в 1968-1969 гг., но численность отдельных видов, значительно изменилась, отмечены также ранее не встречавшиеся виды.

Наиболее постоянными представителями планктона северного озера Кривого были и остаются водоросли из отделов Cyanophyta и Chrysophyta.

Сине-зеленые водоросли (Cyanophyta), преобладающие в оз. Кривом, отличаются характерным видовым составом. В основном – это мелкоклеточные виды, относящиеся к порядку Chroococcales: *Microcystis pulverea* (Wood) Forti, *Synechococcus aeruginosus* Näg., *Coelosphaerium kutzingianum* Näg., *Chroococcus minutus* (Kütz.) Näg. и др., доля этих водорослей в общей биомассе, несмотря на высокую численность, невелика. В осенний период в планктоне почти всегда в небольшом количестве наблюдалось поверхностное развитие колониальных водорослей *Anabaena lemmermannii* P. Richt. В исследованиях последних лет отмечен постоянно встречающийся и часто выходящий в разряд доминантов, вид *Oscillatoria irrigua* (Kütz.) Gom., который ранее в планктоне озера не был зафиксирован вообще.

Золотистые водоросли (Chrysophyta), наиболее значимая группа водорослей озера Кривого, которые преобладали весной и в первой половине лета, создавая весенний максимум биомассы фитопланктона. Массовыми были представители рода *Dinobryon* и *Uroglenopsis*.

Значение диатомовых водорослей (Bacillariophyta) было невелико в шестидесятые годы и еще более сократилось в настоящее время. Диатомовые водоросли в планктоне озера представлены 22 видами, которые все характеризовались показателями олиго- и бета-мезосапробных условий. Характерными представителями были такие виды как *Acanthoceras zachariasii* (Brun) Sim., *Rhizosolenia longiseta* Zachar., *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz., *C.kuetzingiana* Thwait., *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kram., *A.distans* (Ehr.) Sim., *A.islandica* (O.Müll.) Sim. Постоянно отмечался также наиболее распространенный вид для различного трофического типа озер *Asterionella formosa* Hass.

В раннелетнем планктоне оз. Кривого в первый период наших исследований в достаточном количестве встречался холодолюбивый вид *A. islandica* и тогда можно было проследить вертикальное распределение этих водорослей в соответствии с температурными условиями в водной толще озера. В годы последнего десятилетия, этот вид либо совсем не отмечался, либо встречался единичными экземплярами. Только с 2007 г. вид *A. islandica* в небольших количествах зафиксирован как в весенних, так и в осенних пробах. Значительно сократилась также численность представителей рода *Cyclotella*. На основании наших материалов, постоянное присутствие *A. zachariasii*, *R. longiseta* и видов *C.comta*, *C.kuetzingiana* в планктоне озера, практически не подверженного антропогенному воздействию, характеризует их, как виды – индикаторы чистых вод. Имеющиеся данные о значительном развитии *A. zachariasii*, *R. longiseta* в водоемах эвтрофного типа (Охапкин, Старцева, 2003) свидетельствуют о приспособлении некоторых представителей альгофлоры к изменяющимся условиям.

Доля диатомовых водорослей в общей биомассе фитопланктона олиготрофного холодноводного озера в течение сезона обычно была невелика и редко превышала 10%.

Динофитовые водоросли (Dinophyta), обычно представлены клетками, имеющими большие размеры, поэтому они составляли значительную часть в общей биомассе фитопланктона оз. Кривого и прежде, и сейчас. При этом основная доля приходилась на вид *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Schrank.

Криптофитовые водоросли (Cryptophyta) стали, практически, новой, достаточно широко распространенной группой для планктона озера. В настоящее время в оз. Кривом численность криптофитовых - *Cryptomonas obovata* Skuja, *C. reflexa* Skuja, *C. caudata* Schiller, *Chroomonas acuta* Uterm. составляет более 40*10³ кл./л. Благодаря доступным размерам для зоопланктона

с фильтрационным типом питания, эта группа водорослей значительно повысила трофическую значимость фитопланктона в озере по сравнению с 1968-1972 гг.

Величина общей биомассы за летние месяцы свидетельствует о некотором возрастании водорослей планктона в оз. Кривом за прошедший период. В среднем за вегетационный сезон 2002-2013 гг. биомасса фитопланктона составила 0.46 ± 0.055 мг/л, что выше биомассы, наблюдавшейся в первый этап исследований.

Такие изменения трудно считать закономерными, поскольку возможно, что в 1960-е годы при начале вегетационных работ в первой половине июня, пропускалось весеннее максимальное развитие фитопланктона (Никулина, 1975). Более подробные исследования, проведенные в 2002-2013 гг., показали, что весенний максимум очень различается в разные годы по срокам, по количественному развитию водорослей и даже по доминирующему составу.

В отличие от большинства озерных экосистем, где весенний фитопланктон представляют диатомовые водоросли, в оз. Кривом весной, как правило, преобладают золотистые водоросли. В некоторые годы весной доминировал вид *Uroglenopsis americana* Lemm., виды рода *Dinobryon* выступали в качестве субдоминантов. В другие годы, наоборот, доминировали *D.divergens* Imh., *D.bavaricum* Imh. и др., а доля вида *U.americana* была весьма скромной. Весенний максимум водорослей иногда превышал летний, иногда был несколько ниже. Общая биомасса фитопланктона в весенний период, практически, никогда не превышала 1 мг/л.

В период наших исследований наблюдалась межгодовая изменчивость среднесезонной биомассы фитопланктона, и наметился 6-7 летний цикл его обилия (рис. 1).

Межгодовая изменчивость и циклическое развитие отдельных видов и всего фитопланктонного сообщества широко отмечается в литературе и связывается с циклами солнечной активности, климатическими факторами, характеризующимися маловодными и многоводными фазами (Пырина и др. 2006; Трифонова, Афанасьева, 2008). В последние годы циклические изменения биологической продуктивности в водоемах Северо-запада связываются с ролью Арктического колебания в Атлантическом секторе (Максимов и др. 2009, 2012).

Есть основание полагать, что циклический характер численности *A. islandica* и всего фитопланктона в оз. Кривом также во многом определяется циклами солнечной активности и климатическими факторами.

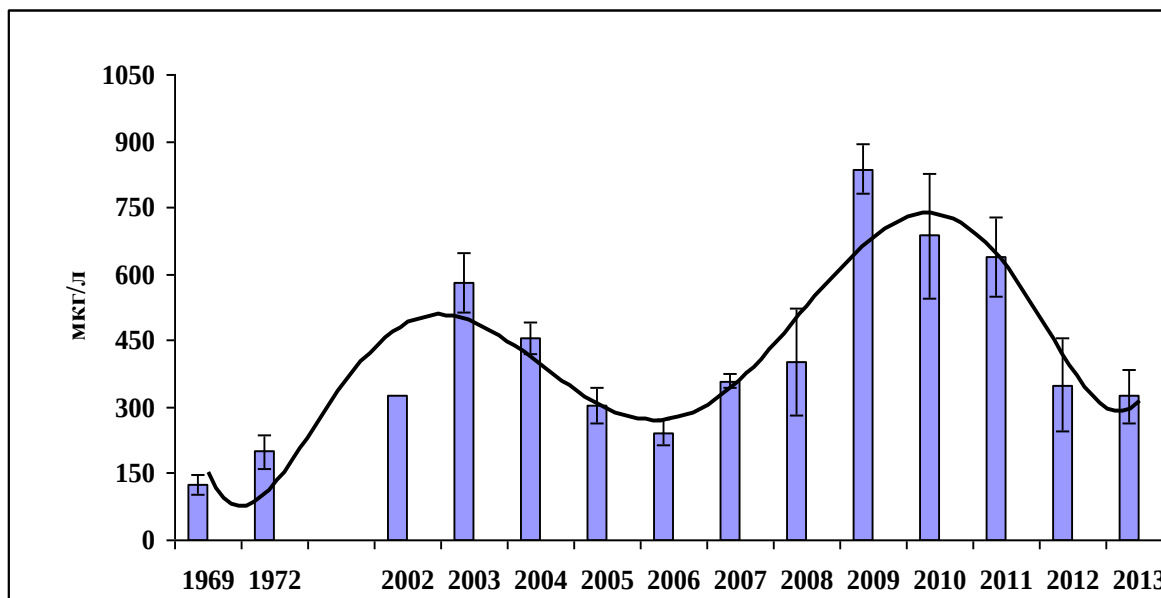


Рис. 1. Средняя за вегетационный сезон биомасса фитопланктона (мкг/л)

Четких различий в вертикальном распределении биомассы фитопланктона не отмечено, небольшое преобладание по численности мелкоклеточных сине-зеленых иногда наблюдалось в эпи- и металимнионе, что на общей биомассе почти не отразилось. Фотосинтез же в планктоне оз. Кривого приурочен к верхнему горизонту как в первый период исследований (Бульон, 1975), так и в 2000-е годы (Pavelieva, Umnova, 2005), что хорошо иллюстрирует величина суточного Р/В-коэффициента (рис. 2).

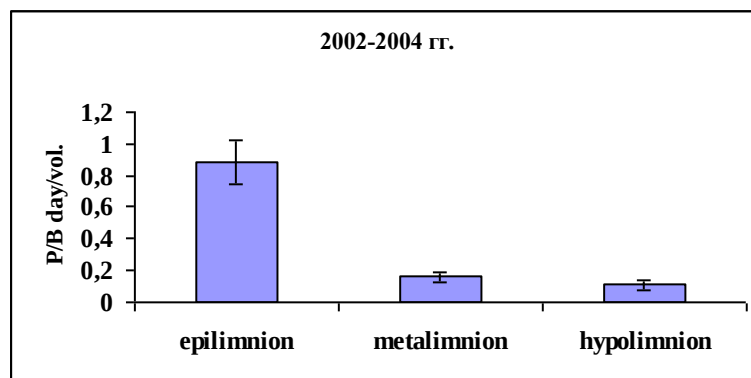


Рис. 2. Величина суточного П/Б коэффициента

Доля хлорофилла в биомассе фитопланктона в 2002-2013 гг. в среднем за сезон составила 0.17%, в 1968-1969 гг. – 0.2%.

Проведенные исследования позволили установить, что за прошедшие годы произошли некоторые изменения в видовом составе и количественном развитии фитопланктона. Доля некоторых эндогенных популяций водорослей сократилась, других – увеличилась. Кроме того, появились виды, ранее не встречавшиеся в планктоне.

Общая биомасса фитопланктона возросла с 0.20 до 0.46 мг/л, по которой, по-прежнему, озеро характеризуется как олиготрофный водоем.

Относительные характеристики фитопланктона очень близки с теми, которые наблюдались в первый период исследований.

Литература

1. Бульон В.В. Первичная продукция озер / Биологическая продуктивность северных озер. 1 Озера Кривое и Круглое. Л.: Наука, 1975. С. 32-41.
2. Винберг Г.Г., ред., Биологическая продуктивность северных озер. 1 Озера Кривое и Круглое. Л.: Наука, 1975. 228 с.
3. Максимов А.А., Березина Н.А., Голубков С.М., Умнова Л.П. Арктическое колебание и изменения в экосистеме северного озера / Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы XXV111 Междунар. конф. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2009. С. 343-348.
4. Максимов А.А., Березина Н.А., Голубков С.М., Никулина В.Н. Многолетние климатически обусловленные изменения продуктивности экосистемы северного озера – Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов, СПб, Наука, 2012. С. 138-144.
5. Никулина В.Н. Фитопланктон - Биологическая продуктивность северных озер, ч. 1, Л.: Наука, 1975. С. 42-54.
6. Оханкин А.Г., Старцева Н.А. Состав и экология массовых видов фитопланктона малых водоемов городских территорий (диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли) / Ботанический журнал, 2003. Т. 88, № 9. С. 84-96.
7. Пырина И.Л., Литвинов А.С., Кучай Л.А., Роцупко В.Ф., Соколова Е.Н. Многолетние изменения первичной продукции фитопланктона Рыбинского водохранилища в связи с действием климатических факторов / Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: КМК, 2006. С. 36-46.
8. Трифонова И.С., Афанасьева А.Л. Многолетние изменения фитопланктона оз. Красного / Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования, СПб, «ЛЕМА», 2008. С. 42-64.
9. Pavelieva E.B., Umnova L.P. The balance of organic matter in the Krivoe lake. / Abstracts of conference "Aquatic Ecology at the Dawn of XX1 Century", St-Petersburg, 2005. P. 72.

СВЯЗЬ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ С ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРОЙ ВОДОСБОРОВ

В условиях увлажненного климата Карелии и слабой водопроницаемости почв и геологических пород на водосборах сформировались болота, с которых в озера поступает большое количество аллохтонного органического вещества. Растворенный гумус влияет на цветность и прозрачность воды, и тем самым на распространение солнечной энергии в водной толще озер. В рамках данной работы рассмотрены лишь отдельные гидрооптические характеристики: коэффициент экстинкции – показатель вертикального ослабления интегральной облученности (300-3000 нм) и толщина слоя, в котором поток солнечной энергии уменьшается на 99% от величины на поверхности воды – глубина 1%-й интегральной облученности. Коэффициенты экстинкции используются в численных моделях при расчетах термического режима озер. Глубину 1%-й интегральной облученности часто связывают с глубиной фотической зоны, важной характеристикой при гидробиологических исследованиях.

Цель данной работы – оценить влияния отдельных характеристик водосборов (заболоченности, лесистости, проточности водоемов) на гидрооптические показатели водных объектов.

Материалы и методы. В географическом отношении исследуемые водоемы (56 озер) расположены на Фенноскандинавском кристаллическом щите (территория Карелии) от 61° до 66° с.ш. и от 30° до 37° в.д. Их выбор определялся наличием данных о цветности и прозрачности воды (Озера Карелии. 2013). Ландшафтные условия разных районов отражаются на количественных характеристиках водосборов, размерах и формах строения озерных котловин. Озера, включенные в выборку, разнообразны по своим морфометрическим характеристикам и проточности: от крупных озер Карелии (~1000 км²) до малых с площадью около 1 км², от самых глубоких (максимальная глубина ~100 м) до мелких со средней глубиной около 1 м (табл. 1). Площади водосборов изменяются в широких пределах от нескольких до десятков тысяч квадратных километров при заболоченности территории от 2 до 55% и лесистости от 28 до 85%. Показатели заболоченности и лесистости оценивались для крупных водосборов (Ресурсы поверхностных вод, 1972), а для малых по географическим картам масштаба 1:50000.

Таблица 1

Диапазоны изменчивости географических и лимнических характеристик 56 исследованных озер

Характеристика	Диапазон
Широта (φ), град	61°37' – 66°19' с. ш.
Долгота (λ), град	30°04' – 36°57' в. д.
Высота над уровнем моря (Z), м	33.9 – 201
Площадь зеркала (S), км ²	0.99 – 1140
Средняя глубина ($\bar{H}$), м	1.2 – 37.8
Максимальная глубина ($H_{\max}$), м	2.4 – 128
Объем (V), км ³	0.0016 – 23.4
Коэффициент условного водообмена (K), год ⁻¹	0.05 – 68.2
Коэффициент удельного водосбора (ΔF)	0.9 – 472.7
Заболоченность ($Заб.$), от 0 до 1	0.02 – 0.55
Лесистость ($Лес.$), от 0 до 1	0.28 – 0.85
Прозрачность (Z_0), м	0.7 – 9.0
Цветность (C), град.	3 – 149
Взвешенное вещество ($Взв.$), мг л ⁻¹	0.1 – 8
Хлорофилл (Chl “a”), мкг л ⁻¹	0.2 – 12.2

Цветность и прозрачность озер варьируют от 3 до 149 град. платиново-кобальтовой шкалы и от 0.7 до 9.0 м по диску Секки, соответственно. Водоемы Карелии относятся к классу низкопродуктивных, концентрация хлорофилла “a” обычно не превышает 4 мкг л⁻¹ (среднее по выборке

озер ~ 2 мкг л⁻¹). Содержание взвешенных веществ в озерах преимущественно невысокое – от 0.2 до 3.0 мг/л. Исключение составляют единичные водоемы, подверженные антропогенной нагрузке, в которых резко возрастают концентрации хлорофилла “а” или взвешенных веществ.

Для обработки натуральных данных были использованы методы корреляционного и регрессионного анализа. При анализе из выборки были исключены пять озер из 56 с экстремальными значениями отдельных характеристик (очень высокие концентрации взвешенных веществ или хлорофилла “а”).

Результаты. Опубликованных данных прямых измерений коэффициентов экстинкции в водоемах суши мало. При их отсутствии на практике обычно используют эмпирические оценки в виде:

$$\gamma = a z_{\delta}^{-b}, \quad (1)$$

где γ – коэффициент экстинкции, м⁻¹; z_{δ} – глубина прозрачности по диску Секки, м; a и b – безразмерные эмпирические коэффициенты.

Наиболее полный обзор эмпирических зависимостей из разных литературных источников (30 формул) для морских вод и континентальных водоемов приведен в работе (Чехин, 1987). Безразмерные эмпирические коэффициенты для различных типов вод существенно различаются: a – от 1.0 до 3.5, b – от 0.5 до 1.0. Для уменьшения разброса коэффициентов было предложено (Чехин, 1987) для разных типов вод наряду с прозрачностью по диску Секки дополнительно учитывать цветность воды:

$$\gamma = 0.46 C^{0.39} z_{\delta}^{-0.40}, \quad n = 200, \quad R = 0.92; \quad (2)$$

где C – цветность воды, град., n – количество озер, R – коэффициент множественной корреляции. Одновременное использование в формулах прозрачности и цветности было обусловлено тем, что эти характеристики не одинаково влияют на распространение в водной толще разных длин волн солнечной энергии. Показатели степени при z_{δ} (Чехин, 1987) для разных диапазонов длин волн в видимой области (400-680 нм) относительно стабильны (от -0.53 до -0.66), а показатели степени при C сильно изменяются (от 0.05 до 0.51). Растворенный в воде гумус больше поглощает ультрафиолетовую и коротковолновую часть в видимой области спектра солнечного излучения и слабо в длинноволновом диапазоне. Формула (2) была получена на основе данных 200 измерений, включая разные типы вод, с широкими диапазонами изменчивостей прозрачности 0.7-10 м и цветности воды 1-150 град, что позволяет использовать ее для озер гумидной зоны. Эта формула была проверена нами по данным 18 измерений коэффициентов экстинкции, цветности и прозрачности воды в восьми озерах, которые не входили в основную выборку. Все отклонения рассчитанных величин от измеренных значений не превышали 0.5 м⁻¹.

Глубину 1%-й интегральной облученности можно получить путем несложных преобразований, используя закон Бугера-Ламберта ($I_z = I_0 e^{-\gamma z}$):

$$z_{1\%} = \frac{4.605}{\gamma}, \quad (3)$$

где 4.605 – обратная величина натурального логарифма от 0.01. Показатели вертикального ослабления интегральной облученности (с широким спектральным диапазоном) в природных водах изменяются с увеличением глубины. По результатам наших измерений на озерах Онежском и Вендюрском датчиками ФАР (длины волн 400-700 нм) производства фирмы «Alec Electronics» (Япония) коэффициенты экстинкции для верхних слоев толщиной 0.5-1.0 м были в ~ 1.5 раза больше, чем интегральные значения для слоев воды 5-7 м. Это учитывалось нами при определении глубины фотического слоя.

Матрица коэффициентов парных корреляций (табл. 2) свидетельствует о наличии связи между отдельными характеристиками озер. Значимые связи в табл. 2 выделены жирным шрифтом. Высокая корреляционная связь наблюдается между лесистостью и заболоченностью, удельным водосбором и условным водообменом, цветностью и прозрачностью воды. Значимая связь наблюдается между содержанием взвешенных веществ и концентрацией хлорофилла “а”. Цветность и прозрачность воды в озерах коррелируют с показателями заболоченности, удельных водосборов и коэффициентами условного водообмена. При коэффициентах корреляций меньше 0.3 связи, как правило, незначимые, объясненная доля дисперсии меньше 10%.

Таблица 2

Матрица коэффициентов парных корреляций между ландшафтными и лимническими характеристиками озер ($\lg \Delta F$ и $\lg K$ – десятичные логарифмы показателя удельного водосбора и коэффициента условного водообмена, соответственно).

Выборка включает 51 водоем Карелии

	<i>Лес.</i>	<i>Заб.</i>	$\lg \Delta F$	$\lg K$	z_0	<i>C</i>	<i>Взв.</i>	<i>Chl "a"</i>
<i>Лес.</i>	1							
<i>Заб.</i>	0.83	1						
$\lg \Delta F$	0.23	0.16	1					
$\lg K$	0.14	0.22	0.90	1				
z_0	0.24	0.53	0.54	0.65	1			
<i>C</i>	0.27	0.64	0.58	0.68	0.71	1		
<i>Взв.</i>	0.00	0.06	0.01	0.16	0.19	0.05	1	
<i>Chl "a"</i>	0.26	0.19	0.13	0.01	0.18	0.05	0.65	1

Формирование химического состава воды озер происходит в результате ее поступления с водосбора и атмосферных осадков. В связи с этим необходимо было оценить долю речного притока в приходной составляющей части водного баланса:

$$\Delta P = \frac{P}{P + A},$$

где P и A – объемы речного притока и атмосферных осадков, м³. Доли речного притока (ΔP) тесно связаны с показателями удельных водосборов озер. Они близки к единице при значениях показателей удельных водосборов ≥ 100 и формирование водной массы озера почти полностью определяется химическими характеристиками речных вод. При уменьшении удельных водосборов (< 100) в формировании водных масс озер возрастает роль атмосферных осадков. Нами установлена зависимость ΔP от значений удельного водосбора озер при $\Delta F < 100$:

$$\Delta P = 0.354 + 0.676 \lg \Delta F - 0.185 (\lg \Delta F)^2, \quad n = 51, \quad r = 0.99, \quad (4)$$

при $\Delta F \geq 100$ $\Delta P \approx 1$.

Между характеристиками, полученными из показателей заболоченности и лесистости умноженными на долю речного притока, корреляционная связь низкая ($r = 0.36$), и их можно было бы использовать для получения уравнения множественной регрессии с независимыми предикторами. Пошаговый регрессионный анализ позволил исключить незначимые предикторы из уравнения (лесистость, содержание взвешенных веществ и концентрацию хлорофилла "а"), которые для озер Карелии объясняют лишь небольшую долю дисперсии. В результате для коэффициентов экстинкции установлено эмпирическое уравнение:

$$\gamma = 0.883 + 3.821 \Delta b + 0.4856 \lg K, \quad n = 51, \quad R = 0.90, \quad \varepsilon = \pm 0.30, \quad (5)$$

где $\Delta b = \Delta P \text{ Заб.}$ – доля воды речного притока умноженная на показатель заболоченности водосбора; ε – среднеквадратическое отклонение.

Для проверки регрессионной модели были рассмотрены распределения остатков относительно доли воды с заболоченной части водосбора и логарифма условного водообмена. Они показали, что уравнение (5) адекватно описывает изменчивость коэффициентов экстинкции в диапазоне от 0.3 до 3.5 м⁻¹. При получении регрессионной модели в выборку не были включены озера Вендюрской группы и Заонежья, для которых необходимая информация была получена в ходе полевых работ в 2011-2012 гг. Точки этих озер на рис. 1 в основном соответствуют общему разбросу данных.

Сравнение вычисленных коэффициентов экстинкции по (5) с измеренными значениями датчиками ФАР на Вендюрском и Онежском озерах, пиранометрами на оз. Рапсуд, Урос, Голубая ламба и опубликованными данными измерений на четырех озерах (Чехин, 1987) показало удовлетворительное соответствие в диапазоне от 0.3 до 2.5 м⁻¹ с отклонениями $< \pm 0.5$ м⁻¹. Зависимость глубины 1%-й интегральной облученности от коэффициентов экстинкции приведена на рис. 2, где линия соответствует формуле (3), разными точками показаны измеренные данные (Чехин, 1987) и результаты регистраций датчиками ФАР в озерах Вендюрском и Онежском. На рисунке также приведены значения, рассчитанные по формулам (2) и (3) для озер Вендюрской группы и Заонежья.

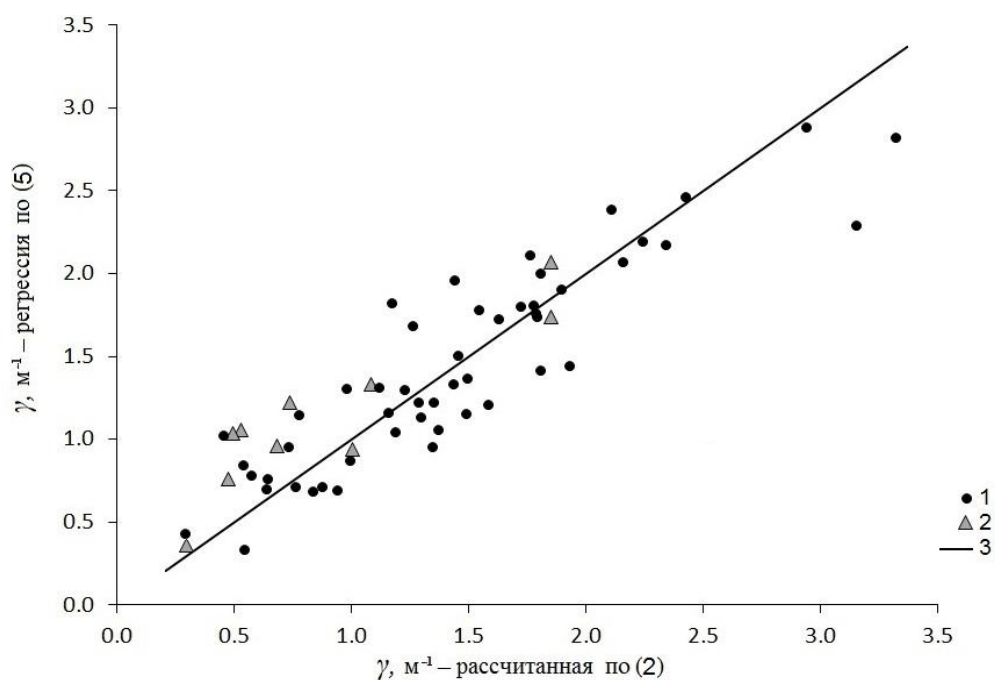


Рис. 1. Сравнение значений коэффициентов экстинкции, рассчитанных по цветности и прозрачности воды – формула (2) и характеристикам заболоченности и проточности озера – формула (5). 1 – водоемы Карелии (51 озеро), 2 – озера Вендюрской группы и Заонежья, 3 – линия аппроксимации данных по уравнению регрессии (5)

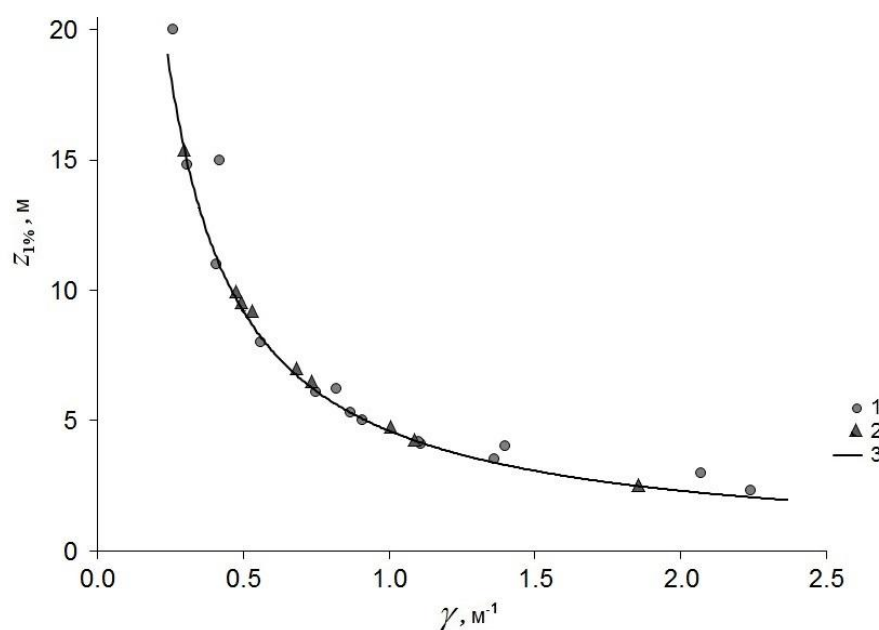


Рис. 2. Связь глубины 1%-й интегральной облученности в озерах с коэффициентами экстинкции: 1 – измеренные данные на разнотипных озерах России [Чехин, 1987] и датчиками ФАР на Вендюрском и Онежском озерах, 2 – рассчитанные значения по формулам (2) и (3) для 9 озер Вендюрской группы и Заонежья, 3 – теоретическая кривая в соответствии с формулой (3)

Таким образом, при отсутствии прямых измерений гидрооптических показателей (коэффициента экстинкции и глубины 1%-й интегральной облученности) их можно определить двумя способами: по характеристикам воды (цветности и прозрачности) или оценивать в зависимости от характеристик водосбора и озера (заболоченности, удельному водосбору, условному водообмену). У второго способа погрешность несколько больше, чем у первого, но в данном случае можно оценить гидрооптические показатели, не выезжая на водоем, а всю необходимую информацию для любого

озера Карелии получить с карт масштаба 1:50000. Средняя глубина озера, необходимая при оценке коэффициента условного водообмена, может быть рассчитана по эмпирической формуле (Сало и др., 20100.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-00338).

Литература

1. Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2013. 464 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Карелия и Северо-Запад, Т. 2, Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 528 с.
3. Сало Ю.А., Потахин М.С., Толстиков А.В. Расчет средней глубины озера Карелии при отсутствии батиметрических данных // Известия Русского географического общества, 2010. Т. 142. Вып. 3. С. 43-47.
4. Чехин Л.П. Световой режим водоемов. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1987. 130 с.

Петухов В.А.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

vera.nikulina@zin.ru

НЕМАТОДЫ КАК ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ ПРИБРЕЖНОГО МЕЙОБЕНТОСА НЕКОТОРЫХ ОЗЕР КАРЕЛИИ

Мейобентос до сих пор остается малоизученным объектом при гидробиологических исследованиях на водоемах. Это касается и многих водоемов Северо-запада России. В настоящей статье приводятся некоторые данные по нематодам побережья малых озер Кривое, Старушечье за 2002-2013 гг. (окрестности Беломорской биологической станции ЗИН РАН), небольших лесных озер, входящих в группу димиктических олигоацидно-нейтральных низкоминерализованных водоемов. Низкая трофность – характерная черта этих озер. Характеризуются также ряд районов озер Онежского и Выгозера. Для первых двух озер приводятся многолетние данные за 2002-2013 гг., для Онежского и Выгозера – данные за 2011-2012 гг.

Материал и методика. Сбор проб происходил на озере Кривое (4 станции) (координаты 66°20.5' и 33°38'), оз. Старушечье – (2 ст.) (66°14' и 33°51'), на Онеге – 11 ст. (на озере пробы были собраны в разных частях озера на 10 станциях). В Кондопожской губе (ст. 1-5), в Прионежье (Пинь-губе, ст. 6), устье реки Водлы (ст. 7), и Повенецком заливе (ст. 8 и 9).

Изучение мейобентоса побережья озер Кривое и Старушечье важно, так как это сообщество животных играет важную роль в потоке энергии и питании рыб в озерах подобного типа, особенно в условиях низкой продуктивности бентоса глубоководной зоны. Зообентос типичного для Карелии ледникового оз. Кривое подробно исследован в 1968-1969 гг. (Винберг, 1975). В более поздний период данные по мейобентосу озера приведены в работах Березиной и других авторов (Березина и др., 2005; Berezina, Petukhov, 2006).

Таблица 1

Коэффициенты уравнений для расчета индивидуальной массы тела организмов мейобентоса.

Группа животных	g	b	Литературный источник
Nematoda*	0.42	2.63	Цалолихин, 1981
Nematoda*	0.17	2.82	Цалолихин, 1981
Nematoda*	1.024	2.21	Цалолихин, 1981
Ostracoda	0.189	3.091	Ancar, Elmgren, 1976
Cyclopoida	0.037	2.762	Балушкина, Винберг, 1979
Cladocera	0.075	2.925	Балушкина, Винберг, 1979
Harpacticoida	0.033	2.719	Набережный, Ирмашева, 1980
Chironomidae	0.0095	2.781	Балушкина, Винберг, 1979
Oligochaeta	0.0785	1.997	Джендереджян, Унанян, 1987

Примечание: * В зависимости от отношения длины тела к ширине тела нематод.

На Выгозере – 4 ст. Пробы собирали на глубинах от 0 до 0.7 м в разных частях водохранилища в северной части – в Надвоицкой губе (Ст. 1, 63°83' с.ш. и 34°36' в.д.), Сенной губе (Ст. 2, 63°77' с.ш. и 34°59' в.д.), в юго-восточной части (Ст. 3, 63°49' с.ш. 34°96' в.д.) и в южной части – Телекинском заливе (Ст. 4, 63°26' с.ш. и 34°88' в.д.) (рисунок). Подробная характеристика районов отбора проб приведена в литературе (Березина и др., 2013). Отбор проб происходил на глубинах 0.3-0.7 м. Грунты – пески с разной степенью заиленности.

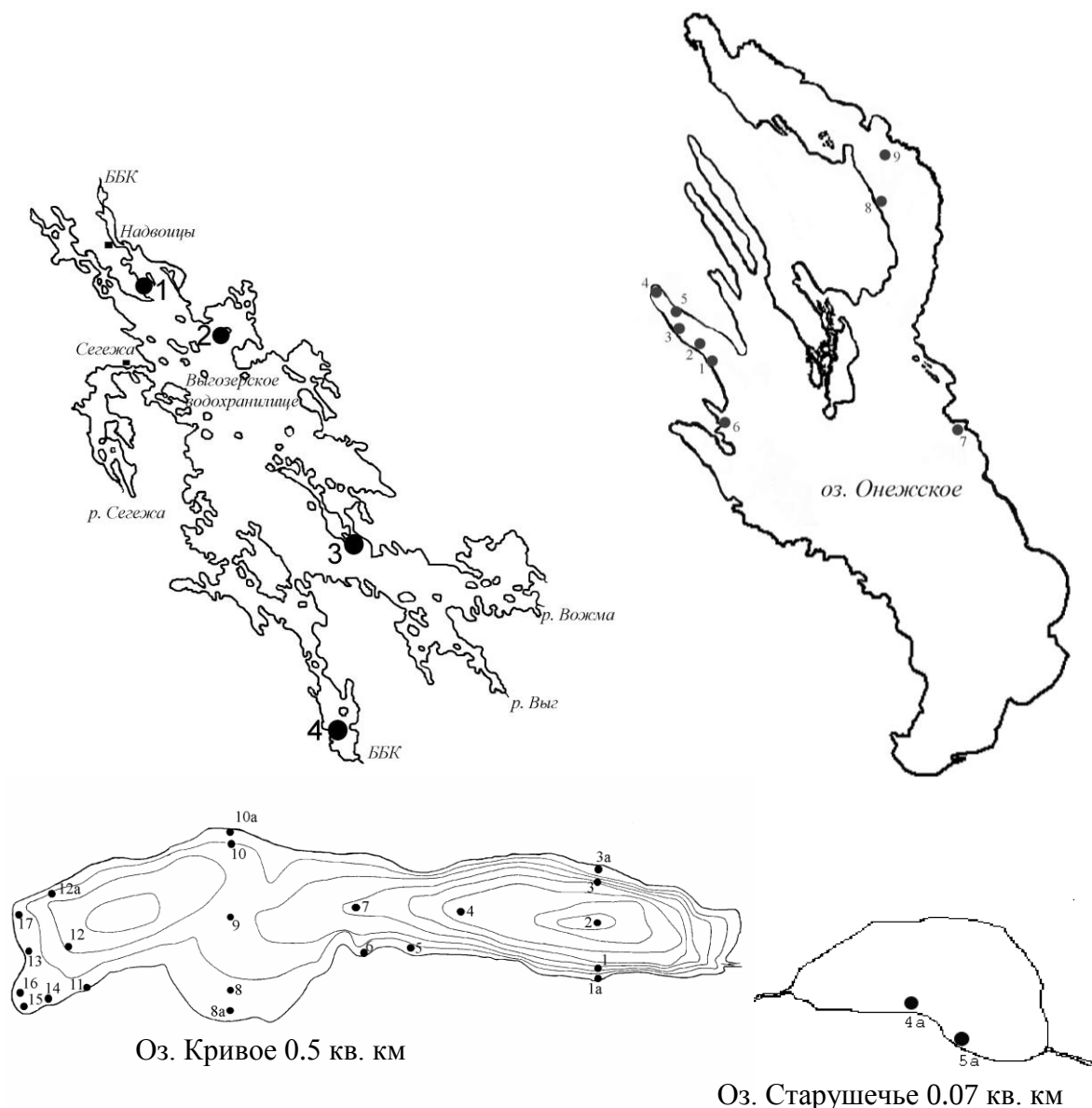


Схема взятия проб на озерах Выг, Онежском, Кривом и Старушечьем

Пробы отбирались и обрабатывались по стандартной методике (Гальцова, 1979; Цалолихин, 1981). Всего собрано и обработано около 500 проб мейобентоса.

Обсуждение результатов. Список видов животных мейобентоса приводится в табл. 2. Как видно, озера различаются по видовому разнообразию мейобентоса. Наиболее богат видами мейобентос оз. Кривое (27 таксона). Затем идут Онежское (20), Старушечье (10), Выгозеро (7). Из них в первом озере на нематод пришлось 16 видов, во 2-м – 6, в 3-м – 16, в 4-м – 4. Следующими по обилию видов оказались хирономиды – в целом в пробах их оказалось 12 видов. Остальные животные мейобентоса были представлены 1-2 видами. Из нематод больше всего оказалось представителей отряда Ecnoplida, затем идут нематоды отрядов Dorylaimida, Araeolaimida, Mononchida, Monhysterida и Chromadorida. Подобное распределение нематод характерно для настоящего региона. Больше всего видов нематод отмечалось в пробах из Онеги и Кривого – 16 видов, оз. Старушечье – 6, Выгозеро – 4. Наиболее распространенными видами нематод в оз. Кривое

были: *Brevitobrilus stefansri*, *Tripyla glomerans*, *Dorylaimus stagnalis*, *Ironus ignavus*; в оз. Старушечье – *Ironus ignavus*, *Dorylaimus stagnalis*; в Онежском – *Tobrilus gracilis*, *Epitobrilus medius*, *Eutobrilus grandipapillatus*, *Brevitobrilus stefanskii*, *Dorylaimus stagnalis*, *Ironus ignavus*; в Выгозере – *Tobrilus gracilis*, *Epitobrilus medius*, *Dorylaimus stagnalis* – обычные для региона нематоды. Нематодный состав вполне совпадает с указанным ранее Е.А Курашовым (1994) для некоторых озер региона.

Таблица 2

Станции отбора проб в Онеге

Онежское озеро, Кондопожская губа, литораль, глубина 0.5 м						Пинь-губа, литораль
Станция №	1	2	3	4	5	6
Название ст.	Тулгуба	Тернаволок, устье р. Суна	Березовый затон	г. Кондопога вершинная часть	деревня Кондопога	Пинь-губа, вершинная часть
Координаты	62°04'22"	62°07'13"	62°09'29"	62°12'10"	62°10'22"	61°61'50"
	34°20'54"	34°16'41"	34°14'50"	34°14'12"	34°17'20"	34°32'23"

Таблица 3

Список видов животных мейобентоса озер Кривое, Старушечье, Онежское, Выг

Группы и виды животных	Кривое	Старушечье	Онежское	Выг
1	2	3	4	5
Nematoda				
Отряд Enoplida				
1. <i>Tobrilus gracilis</i> (Bast.)	+		+	+
2. <i>T. brevisetosus</i> (W. Schneid.)			+	+
3. <i>Epitobrilus medius</i> (G. Schneid.)			+	+
4. <i>Semitobrilus pellucidus</i> (Bast.)			+	
5. <i>Eutobrilus grandipapillatus</i> (Brakenh.)			+	
6. <i>Raritobrilus steineri</i> (Micol.)			+	
7. <i>Brevitobrilus stefanski</i> Tsal.	+		+	
8. <i>Neotobrilus longus rossicus</i> Tsal.	+		+	
9. <i>Tripyla glomerans</i> Bast.	+			
10. <i>Prismatolaimus intermedius</i> (Bütsch.)	+			
Отряд Dorylaimida				
11. <i>Dorylaimus stagnalis</i> Dujard.	+	+	+	+
12. <i>Eudorylaimus carteri</i> (Bast.)	+			
13. <i>Ironus ignavus</i> Bast.	+	+	+	
14. <i>I. tenuicaudatus</i> de Man			+	
15. <i>Paractinolaimus macrolaimus</i> (de Man)	+	+	+	
Отряд Mononchida				
16. <i>Mononchus truncatus</i> Bast.		+		
17. <i>M. niddensis</i> Srwar.	+		+	
Отряд Monhysterida				
18. <i>Prodesmodora circulata</i> (Micol.)	+			
Отряд Chromadorida				
19. <i>Chromadorita leuckarti</i> (de Man)	+	+		
20. <i>Achromadora terricola</i> (de Man)	+			
Отряд Araeolaimida				
21. <i>Aphanojaimus aquaticus</i> Dad.	+		+	
22. <i>Plectus tenuis</i> Bast.	+	+	+	
23. <i>Paraplectonema pedunculatum</i> (Hofm.)			+	

1	2	3	4	5
24. <i>Euteratocephalus palustris</i> (de Man)	+			
Cladocera				
25. <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Mül.)	+			
26. <i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Mül.)	+			
Cyclopoida				
27. <i>Cyclops</i> sp.	+			
Chironomidae				
28. <i>Cladotanytarsus mancus</i> Walk.	+		+	
29. <i>Tanytarsus lobatifrons</i> Kieff.		+		+
30. <i>Psectrocladius</i> sp. K.	+			
31. <i>Pseudochironomus</i> sp. Mall.	+			
32. <i>Cryptochironomus defectus</i> Kieff.		+		
33. <i>Polypedilum nubeculosum</i> Mg.		+		
34. <i>P. scalaenum</i> Schr.				+
35. <i>Stictochirinomus</i> sp.				
36. <i>S. histrio</i> F.	+		+	
37. <i>Cricotopus</i> sp.			+	
38. <i>Endochironomus tendens</i> F.			+	
39. <i>Procladius</i> sp.	+			+
Harpacticoida				
40. <i>Canthocamptus staphylinus</i> Jur.	+			
Ostracoda				
41. <i>Candona candida</i> O.F. Müller	+			
Oligochaeta				
42. Tubificidae	+	+		
Всего	27	10	20	7

Таблица 4

Численность (тыс. экз./м²) и биомасса (г/м²) прибрежного мейобентоса озер Кривое, Старушечье, Онежское, Выг

Группы животных	Кривое	Старушечье	Онежское	Выг
1	2	3	4	5
Nematoda	3.75/0.022	1.50/0.008	7.50/0.035	4.72/0.034
Ostracoda	0.01/0.001	0.08/0.013		
Cyclopoida	0.14/0.007	0.21/0.015	0.04/0.003	
Harpacticoida	1.14/0.019	0.29/0.005		
Cladocera	1.60/0.113	0.62/0.043		
Hydracarina	1.14/0.170	0.62/0.080		
Эвмейобентос	7.78/0.332	3.32/0.164	7.54/0.038	4.72/0.034
Oligochaeta	1.64/0.182	3.68/0.473	1.70/0.220	0.8/0.095
Chironomidae	3.39/0.237	1.28/0.086	0.64/0.050	1.48/0.048
Псевдомейобентос	5.03/0.419	4.96/0.559	2.34/0.27	1.56/0.143
Мейобентос	12.81/0.751	8.28/0.723	9.88/0.308	6.28/0.177

Как видно из табл. 4, численность животных мейобентоса в изученных озерах различалась незначительно. Как правило, значительная часть общей численности приходилась на нематод – 18-75%. Значительной также была роль олигохет – 13-44%, хирономид – 6-26%. В общей биомассе на долю нематод приходилось 1.1-19%, олигохет – 24-71%, хирономид – 12-32%. Остальные группы животных мейобентоса встречались в незначительных количествах. Количественные характеристики мейобентоса исследованных озер существенно не отличаются от аналогичных данных по Северо-Западу России.

Выводы

1. В изученных озерах основу мейофауны составляют нематоды, на долю которых приходится свыше половины всех обнаруженных видов. Фауна нематод характерна для Северо-запада России.
2. Наиболее богата мейофауна озер Кривое и Онега. Менее богаты видами озера Старушечье и Выг.
3. Доля нематод в общей численности и биомассе мейобентоса достаточно высока.

Литература

1. Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных. Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л. ЗИН АН СССР, 1979. С. 58-79.
2. Березина Н.А., Петухов В.А., Иванова Т.С., Голубков С.М., Умнова Л.П. Структура и продуктивность прибрежных сообществ зообентоса двух озер Карельского севера. В кн. "Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий". Санкт-Петербург, Наука. ВВМ, 2005. С. 97-104.
3. Березина Н.А., Губелит Ю.И., Жакова Л.В., Тимакова А.М., Петухов В.А., Шаров А.Н. Структурные характеристики биотических сообществ каменистой литорали Выгозерского водохранилища. 2013. (в печати)
4. Винберг Г.Г. (ред.). Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Кривое и Круглое Труды Зоол. Института. Т. 56. Л.: Наука, 1975. 228 с.
5. Джендереджян К.Г., Унанян А.С. Связь между массой тела и некоторыми линейными параметрами тубифицид на примере *Potamothrix hammoniensis* (Michaelson). Водные малощетинковые черви: Матер. VI Всесоюз. симп. Рига, 1987. С. 64-66.
6. Гальцова В.В. Свободноживущие нематоды как компонент мейобентоса губы Чупа Белого моря // Нематоды и их роль в мейобентосе. Л., 1976. С. 165-272.
7. Курашов Е.А. Мейобентос как компонент озерной экосистемы. Российская Академия наук. Институт озераведения. Санкт-Петербург, 1994. 223 с.
8. Набережный А.И., Ирмашева С.Г. Соотношение размеров и массы тела у гарпактицид (Crustacea: Harpacticoida). Изв. АН МССР. Сер биол. и хим. наук. Кишинев, 1980. № 4. С. 75-76.
9. Цалолыхин С.Я. Определение веса пресноводных нематод. Эволюция, систематика, морфология и экология свободноживущих нематод. Л. ЗИН АН СССР, 1981. С. 80-85.
10. Цалолыхин С.Я. Свободноживущие нематоды Байкала. Новосибирск, 1980. 120 с.
11. Ankar S., Elmgren R. The benthic macro- and meiofauna of the Asko Landsort area. Astratified random sampling suvey. Contribution from the Asko Laboratori, Univ. of Stocholm. Sweden, 1976. V. 11. 115 p.
12. Berezina N.A., Petukhov V.A. Productivity and trophic relations in shallow littoral zone of Lake Krivoe (Northern Karelia): meiobenthos and macrozoobenthos. Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci., 310, 2006. P. 15-24.

Плотицына Н.Ф., Жилин А.Ю.

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии
им. Н.М. Книповича, г. Мурманск
nplotits@pinro.ru

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ЛОСОСЕВЫХ РЕК БАСЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

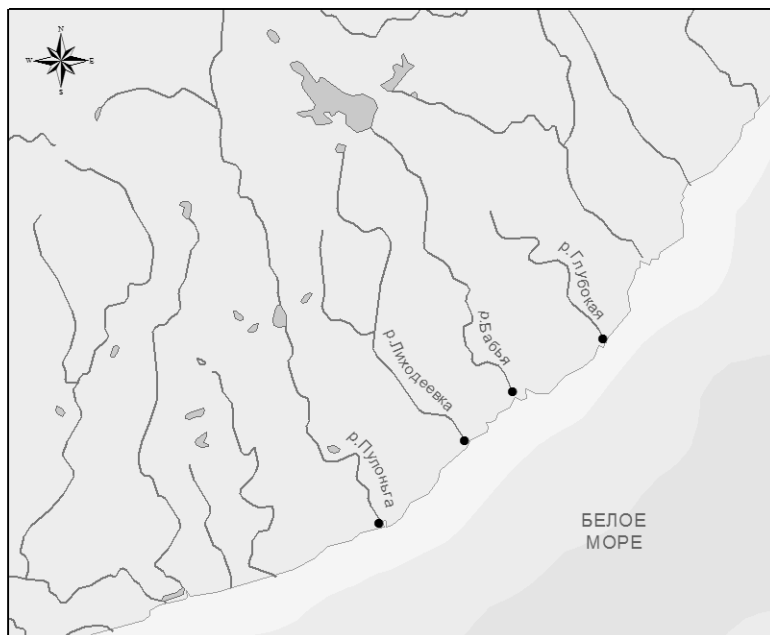
В августе 2012 г. были отобраны пробы воды в устьях лососевых рек Мурманской области Пулоньга, Лиходеевка, Бабя и Глубокая (бассейн Белого моря) (рисунок).

Определение показателей качества воды лососевых рек выполнено в лаборатории прикладной экологии и токсикологии ФГУП «ПИНРО», аккредитованной на техническую компетентность и независимость (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.518450).

Водородный показатель (рН) определялся на портативном рН-метре фирмы «HANNA Instruments», модель «PICCOLO» plus (Германия), биогенные элементы – на фотоэлектроколориметре КФК-2МП (Россия), хлориды, биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅), перманганатная окисляемость, щелочность и жесткость - титрованием.

Нефтепродукты (n-парафины C₁₀–C₃₁) определялись методом капиллярной газовой хроматографии на газовом хроматографе фирмы «Shimadzu» – GC-2010A (Япония) с пламенно-

ионизационным детектором и капиллярной кварцевой колонкой длиной 50 м. Количественная концентрация алифатических углеводородов рассчитывалась с использованием калибровки по флотскому мазуту марки Ф-5. Качественная идентификация алканов проводилась с использованием смеси индивидуальных *n*-парафинов фирмы «Sigma-Aldrich» (США).



Точки отбора проб воды в лососевых реках бассейна Белого моря (август 2012 г.)

Полициклические ароматические углеводороды, 19 соединений - нафталин, 2-метилнафталин, 1-метилнафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, перилен, индено(1,2,3-сd)пирен, дибенз(а, h)антрацен, бенз(g, h, i)перилен, определялись методом хромато-масс-спектрометрии с использованием хромато-масс-спектрометрической системы Agilent 6890N/5973 фирмы «Agilent Technologies» (США) с кварцевой капиллярной колонкой HP-5 MS длиной 30 м. Идентификация индивидуальных соединений выполнялась в режиме SIM (селективный мониторинг ионов). Количественное определение проводилось с использованием многоуровневой (многоточечной) калибровки тестовыми смесями, приготовленными из сертифицированных кристаллических ПАУ фирмы «Sigma-Aldrich» (США). Для автоматической обработки результатов анализа применялась программа «ChemStation» фирмы «Agilent Technologies».

Хлорорганические пестициды (α -, β -, γ -гексахлорциклогексан, гексахлорбензол, ДДТ и его метаболиты) и полихлорбифенилы (конгенеры с номерами по номенклатуре IUPAC: 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180, 187) определялись методом газовой хромато-масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus фирмы «Shimadzu» (Япония) с капиллярной кварцевой колонкой HP-5 MS длиной 30 м. Идентификация индивидуальных соединений проводилась в режиме SIM (селективный мониторинг ионов). Количественное определение выполнялось с использованием многоуровневой калибровки тестовыми смесями, приготовленными из сертифицированных кристаллических пестицидов и полихлорбифенилов фирмы «Sigma-Aldrich» (США). Для автоматической обработки результатов анализа применялась программа «GCMSsolution 2.5» фирмы «Shimadzu».

Микроэлементы (Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Co, Fe, Pb, Cd, As, Hg) определялись на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Shimadzu», модель AA-6800 (Япония), методами пламенной и непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии с использованием многоуровневой калибровки тестовыми смесями, приготовленными из аттестованных стандартных растворов микроэлементов фирмы «Shimadzu».

Для внутреннего контроля качества аналитических работ проводились межлабораторные сравнительные испытания с норвежскими институтами NIVA, Akvaplan-niva, NILU, Всероссийским НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ), Санкт-Петербургским научно-исследовательским центром экологической безопасности РАН, НПО «Тайфун» Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Обнинск).

Результаты определения качества воды исследованных лососевых рек представлены в таблице. Критериями служили предельно допустимые концентрации (ПДК_{р/х}) вредных веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения (Нормативы качества воды ..., 2011).

В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 (Охрана природы..., 1977) качество воды рыбохозяйственных водных объектов характеризуется следующими показателями: трофо-сапробностью; соленостью и жесткостью; водородным показателем (рН); вредными веществами.

Водородный показатель (рН) в воде исследованных рек соответствовал рыбохозяйственным требованиям, вода маломинерализованная, очень мягкая, так как основное питание рек осуществляется болотными водами, в меньшей степени – дождями. По таким трофо-сапробным показателям как БПК₅, азот аммонийный, азот нитритный и фосфор минеральный воды рек относились к ксено-, олигосапробному классу, по перманганатной окисляемости (ПО) – к альфамезосапробному классу. Индекс БПК₅/ПО, изменяющийся от 1.1 до 5.6%, указывал на слабое сапробное загрязнение воды рек, вызванное органическими веществами природного происхождения (болотные воды, питающие реки).

При мониторинге загрязняющих веществ в водной среде приоритетными считаются химические вещества, проявляющие стойкость, токсичность и способность к биоаккумуляции. Этим критериям отвечают нефтяные и полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения и тяжелые металлы. В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 (Охрана природы ..., 1977) вредные вещества в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, лимитируются по показателю токсичности для рыб и других водных организмов и характеризуются нормативами, утвержденными Приказом Росрыболовства № 20 от 18 января 2010 г. (Нормативы качества воды ..., 2011).

Концентрации микроэлементов в воде исследованных лососевых рек не превышали рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации (ПДК_{р/х}) (см. табл.).

Характеристика качества воды рек Пулоньга, Лиходеевка, Бабыя, Глубокая (август 2012 г.)

№ п/п	Определяемые показатели	Результат	ПДК _{р/х}
1	Водородный показатель, ед. рН	6.5–6.8	6.5-8.5
2	Хлориды, мг/л	6.56–10.5	300.0
3	БПК ₅ , мг О ₂ /л	0.26–1.56	2.0
4	Окисляемость перманганатная, мг О ₂ /л	23.0–38.0	-
5	Фосфор фосфатный, мг Р/л	0.003–0.005	0.05
6	Азот аммонийный, мг N/л	<0.02	0.39
7	Азот нитритный, мг N/л	0.003–0.004	0.02
8	Щелочность общая, мг/л	11.9–16.7	-
9	Жесткость общая, мг-экв./л	0.290–0.390	-
10	Медь, мг/л	0.0006–0.001	0.001
11	Цинк, мг/л	0.003–0.004	0.01
12	Никель, мг/л	0.0002–0.0005	0.01
13	Хром, мг/л	0.0002–0.0003	0.02
14	Марганец, мг/л	0.0006–0.003	0.01
15	Железо общее, мг/л	0.02–0.08	0.1
16	Кобальт, мг/л	0.0001–0.0003	0.01
17	Свинец, мг/л	0.0001–0.0004	0.006
18	Кадмий, мг/л	0.00002–0.0001	0.005
19	Ртуть, мкг/л	0.004–0.0009	0.01
20	Мышьяк, мг/л	0.00001–0.0001	0.05
21	Нефтепродукты, мг/л	0.0004–0.005	0.05
22	Нафталин, мг/л	0.00002–0.0001	0.004
23	Σ ПАУ, нг/л	57–285	-
24	Σ ГХЦГ, нг/л	2.4–7.9	10.0
25	Гексахлорбензол, нг/л	0.92–1.1	10.0
26	Σ ДДТ, нг/л	0.57–2.1	10.0
27	Σ ПХБ, нг/л	2.0-7.3	10.0

Примечание: 1 Σ ПАУ – суммарная концентрация полициклических ароматических углеводородов (19 соединений). 2 Σ ГХЦГ - суммарная концентрация α-, β-, γ-изомеров гексахлорциклогексана. 3 Σ ДДТ – суммарная концентрация метаболитов о,р'- ДДЕ, р,р'- ДДЕ, о,р'- ДДД, р,р'- ДДД, о,р'- ДДТ, р,р'-ДДТ. 4 Σ ПХБ – суммарная концентрация конгенов полихлорбифенилов с номерами по номенклатуре IUPAC: 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180, 187.

Концентрация нефтяных углеводородов была значительно ниже предельно допустимой концентрации 0.05 мг/л. Применяемый газохроматографический метод анализа позволяет проводить идентификацию состава и происхождения углеводородов. В данном случае величины отношений концентраций нормальных алканов с нечетным и четным количеством атомов углерода в цепи свидетельствовали о биогенном характере происхождения углеводородов.

В настоящее время отсутствуют нормативы содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в воде рыбохозяйственных водоемов, за исключением нафталина. Из индивидуальных соединений ПАУ в воде исследованных рек доминировали нафталин (значительно ниже ПДК_{р/х}), 1- и 2-метилнафталин. Из канцерогенных соединений обнаружен только бенз(а)пирен в очень незначительной концентрации - 0.01 нг/л (Ровинский и др., 1988).

В исследуемых водах определены остаточные количества пестицида ДДТ. Он был представлен шестью метаболитами, суммарные концентрации которых были значительно ниже рыбохозяйственной ПДК. Величины отношений концентраций метаболитов p,p' -ДДТ/ p,p' -ДДЕ < 1 свидетельствовали о давнем поступлении этого пестицида в воды рек. Отношение концентраций α -ГХЦГ/ γ -ГХЦГ > 1 также указывало на давнее загрязнение воды рек гексахлорциклогексаном (Персистентные пестициды ..., 1979). Остаточные количества гексахлорбензола и суммарные концентрации изомеров гексахлорциклогексана были значительно ниже ПДК_{р/х}.

Из индивидуальных полихлорбифенилов (ПХБ) в воде рек доминировали тетра- и пентахлорированные соединения с номерами по номенклатуре IUPAC 52, 99, 101, 105, 118, 138 и 153, составляющие 100% суммарной концентрации ПХБ (Полихлорбифенилы: проблемы экологии ..., 2011). Указанные соединения являлись основными компонентами промышленных смесей типа Agoslog (российские аналоги Совол и Совтол-10), применяющихся как диэлектрики в конденсаторах и трансформаторах, но суммарная концентрация полихлорбифенилов была значительно ниже рыбохозяйственной ПДК (Нормативы качества воды ..., 2011).

Литература

1. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд. ВНИРО, 2011. 257 с.
2. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. ГОСТ 17.1.2.04-77. М.: Изд. Стандартов, 2004. С. 107-118.
3. Персистентные пестициды в экологии пресных вод / Л.П. Брагинский, Ф.Я. Комаровский, А.И. Мережко. Киев: Изд. Наукова думка, 1979. 141 с.
4. Полихлорбифенилы: проблемы экологии, анализа и химической утилизации / Т.И. Горбунова, М.Г. Первова, О.Н. Забелина и др. М.: КРАСАНД; Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 400 с.

Рафиков Р.Р.

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

ОСОБЕННОСТИ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ВОДОЕМА В БАССЕЙНЕ Р. ПЕЧОРА

Развитие промышленности и сельского хозяйства, зачастую связано с необходимостью использования искусственных водоемов, которые могут сильно отличаются от естественных по своим характеристикам. Специфические условия техногенных гидрообъектов оказывают влияние, как на структуру их рыбного населения, так и на морфологические особенности составляющих его рыб. Изучение рыб, оказавшихся в таких водоемах, позволяют исследовать не только механизмы адаптации организма к новым условиям, но и способствует более адекватной оценке экологической обстановки таких водоемов.

Одним из таких объектов является водоем-охладитель Печорской ГРЭС, расположенный в Приполярье (65° с.ш., 58° в.д.), в бассейне среднего течения р. Печоры в 3 км от г. Печора. В процессе его создания в 1984г. были залиты два небольших озера и прилегающие заболоченные лесные участки, где предварительно были спилены деревья и намыт песок с примесью глины.

Береговая линия водоема практически неизрезанна, один из берегов – южный, укреплен бетонными плитами. Площадь образовавшегося водоема составила около 600 га. Температура воды на водосбросе и малой акватории охладителя изменяется от 12–15⁰С зимой до 30–35⁰С летом, а льдом покрывается лишь не более 30% площади (Бознак, Захаров, 2009). Превышение нормативов для рыбохозяйственных водоемов наблюдается для температуры (до 30–35⁰С летом), pH (до 9.1) и ионов меди (8 ПДК).

Современное рыбное население исследованного водохранилища сформировалось как на основе рыб, обитавших в озерах, использованных при его создании, так и относящихся к р. Печора, а именно ерш, плотва, окунь, хариус, налим, корюшка, щука и сиг.

С 1986 по 1998 гг., акватория использовалась для садкового рыбоводства. В результате аварий и нарушений технологического режима на рыбноводном хозяйстве, рыбная часть сообщества пополнилась бестером, радужной форелью, карпом и толстолобиком. Тем не менее, вселенцы не играли существенной роли в сообществе рыб, где доминирующими видами оставались ерш и плотва. Так по данным сетных (ячея 30–36 мм) уловов массовым видом являлся окунь, вторым по численности – плотва. В неводных уловах (ячея 10 мм) в массе вылавливались ерш и плотва, составляющие по численности более 95% (РБО Печ ГРЭС, 2005).

Сиг, хариус, налим, корюшка и щука характеризовались заметно меньшей численностью. Таким образом, водоем–охладитель ПГРЭС представлял собой вполне типичный окунево–плотвичный водоем, с включением ряда видов вселенцев. Однако и эта структура населения подверглась существенным изменениям. Так, в контрольных уловах, проведенных в августе 2005 г., отмечено всего три вида рыб: корюшка, ерш и верховка. (Бознак, Захаров, 2009).

В сборах 2008–2010 г., а также 2013 г. преобладают относительно теплолюбивые виды (каarp, уклейка, верховка) тогда как, обладающие широкой экологической пластичностью (ерш, обыкновенный и озерный гольяны, усатый голец) характеризуются меньшей численностью. Холодолобная корюшка и вовсе встречается только в восточной части водоема. По опросным данным, периодически в уловах отмечаются осетр, стерлядь и форель. Это связано с авариями на садковом рыбохозяйстве, основная причина которых – сильные волны и ветер весной и осенью.

В настоящее время доминирующим видом промысловой части рыбного населения является карп. Отловленные особи заметно различаются по характеру чешуйного покрова. Известно, что ранее здесь использовались различные (по развитию чешуи) породы карпа: чешуйчатый и зеркальный. Зеркальная форма данного вида встречается довольно редко. Также отмечались гибриды этих форм.

В зарослях прибрежной литорали (ячея сети 20 мм) разновозрастная молодь карпа составляет значительную часть уловов, тогда как на открытых участках (ячея сети 30–45 мм) другие виды рыб и вовсе перестают встречаться (таблица). На данный момент вид широко распространен в водохранилище, что свидетельствует об образовании устойчивой группировки, численность которой поддерживается за счет естественного воспроизводства. В период исследования (конец июня) половозрелые особи концентрировались в середине и удаленной части водоема, что вероятно связано с нерестом, т.к. здесь расположены мелководья с мягкой подводной растительностью. Визуально отмечались скопления рыб вблизи зарослей высшей водной растительности. Гонады у отловленных экземпляров находились на 4 и 5 стадиях. В тепловодной части берега водоема укреплены железобетонными плитами, дно ложа отсыпано гравием, что не соответствует субстратным характеристикам нерестово-выростных угодий данного вида рыб.

Структура уловов рыб водоема-охладителя Печорской ГРЭС (доля вида в %)

Вид рыб	Сетные уловы		Неводные уловы
	участки облова литоральной зоны		
	прибрежные	открытой воды	
Уклейка <i>Alburnus alburnus</i> (L.)			61
Верховка <i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel)			18
Карп <i>Cyprinus carpio</i> L.	64	100	
Обыкновенный ерш <i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.)	36		18
Усатый голец <i>Barbatula barbatula</i> (L.)			4

Питание рыб из различных частей водоема несколько отличается. Так, обилие и частота встречаемости пищевых компонентов в кишечном тракте у рыб, отловленных в удаленной части водоема заметно выше. С одной стороны это объясняется характером распределения населения

бентоса, т.к. количество видов действительно увеличивается по градиенту от водосброса, достигая максимума в самой удаленной части охладителя. Однако, выборка из тепловодной части ограничена особями в возрасте 2 лет. Известно, что молодь потребляет в основном растительность и кладоцер, что также может объяснять особенности питания. Скорость роста «одичавшего» карпа примерно в 2 раза ниже по сравнению с выращиваемым на различных хозяйствах.

Контрольный лов прибрежных мелководных участков тягловым неводом с ячейей 4 мм показал, что непромысловая часть рыбного населения состоит преимущественно из уклейки и верховки.

Впервые на Европейском Северо-востоке за пределами бассейна р. Вычегда верховка была отмечена в 2004 г. В.И. Пономаревым в контрольных уловах из малых притоков р. Печора (в районе г. Печора). В водоеме-охладителе Печорской ГРЭС это вид рыб был обнаружен в 2005 г. (Бознак, Захаров, 2009). Уклейка отмечена нами для данного водоема впервые. По основной версии о появлении данных рыб уклейка – результат непреднамеренной интродукции при завозе посадочного материала на функционировавшее в 1990-х годах рыбохозяйственное предприятие. Верховка, по-видимому, относится к аборигенным видам рыб, что может подтверждаться соответствием количества позвонков общей географической изменчивости данного показателя, а также наличием ее в других водоемах Печорского района (Бознак, Рафиков, 2009).

Данные виды не требовательны к субстрату, их нерест и нагул проходит в различных частях водоема с различными условиями среды, это сказывается на морфо-биологических особенностях. Так у особей из тепловодной части наблюдается тенденция к увеличению интегральных показателей асимметрии, снижается однородность и уровень связи числа элементов анализируемых метамерных структур (Рафиков, 2013). Выборки из удаленной части характеризуются более разнообразным питанием, вследствие чего, более быстрым темпом роста.

Все представители рыбного населения характеризуются либо порционным типом нереста (уклейка, верховка, карп, ерш) либо нерестуют ранней весной (корюшка), что свидетельствует

о критичности момента размножения или раннего развития для единого нерестующих весной рыб. При тепловом загрязнении водоема, кроме зон сильного и слабого воздействия, выделяют также интактную, где может сохраниться нативная фауна рыб. Известно, что активно перемещающимся водным животным свойственно явление выбора местообитания с оптимальными параметрами среды. Тепловодная часть водоема не отвечает таковой, ввиду специфики гидрохимических и термических условий и отсутствия необходимого количества нерестового субстрата для «традиционных» видов фитофильной группы. Тем не менее, в уловах из максимально удаленной части изучаемого гидрообъекта щука, окунь и плотва также отсутствуют. Возможно, в условиях замкнутого водоема-охладителя температура в жаркие летние периоды долгое время сохраняет высокое значение (30–32°C), что создало неприемлемые условия для большей части рыбного населения и гидробионтов (Никаноров, 1977). Например, последнее зафиксированное критическое превышение температуры в июле 2007 г. до 38° и падение уровня O₂ до 4.5 мг/л вызвало массовую гибель крупных (до 25 кг) особей толстолобика. Также известно, что высокая температура усиливает действие токсичных веществ, а летнее «цветение» воды изменяет уровни pH и O₂, что также оказывает негативное влияние на всю биоту водохранилища (Лукияненко, 1987).

По некоторым литературным данным, выпадение единого нерестующих видов из состава рыбной части сообщества может быть связано с несовпадением сроков развития молоди рыб и их кормовых объектов (Терещенко, 2005).

Несмотря на вышеизложенное, можно выделить и ряд положительных моментов. Во-первых, наличие теплых вод позволяет вести круглогодичное выращивание товарной рыбы. Во-вторых, водоем перспективен для организации спортивного, рекреационного и любительского рыболовства. В-третьих, натурализовавшийся карп может быть использован для зарыбления водоемов на территории Республики Коми.

Таким образом, в процессе формирования, рыбного населения водоема – охладителя, в нем происходят существенные изменения, выраженные в выпадении не только оксифильных (сиг, хариус, налим), но и ряда фитофильных (окунь, щука, плотва) видов рыб. Современный состав рыбной части сообщества водохранилища включает 8 видов, среди которых теплолюбивые достигли наибольшего развития в водоеме. Основной причиной всего является сильно нарушенный температурный и химический режим охладителя, причем наиболее экстремальные условия (с температурой воды порядка 30°C) наблюдаются в летний период в малой акватории водоема, вблизи сброса горячих вод.

Промысловое значение имеет лишь карп, но при средних показателях развития зообентоса (0.16 г/м²) и зоопланктона (0.1 г/м³), которые были определены в августе 2005 года, в водоеме–

охладителе ежегодно, за счет естественной продукции можно получать до 18 центнеров рыбы сырца. По видимому, нормализация температуры и химического состава воды до приемлемого уровня будет способствовать развитию кормовой базы рыб и увеличению рыбопродуктивности водоема по крайней мере в 20-30 раз (Бознак, Захаров, 2009).

Вопрос о происхождение верховки в изучаемом районе остается до конца не изученным, тем не менее, мы придерживаемся версии о ее длительном обитании в изучаемом районе. Находки верховки и уклейки в водоемах среднего течения р. Печора свидетельствуют о гораздо более широком распространении их на Европейском Северо-востоке России.

Литература

1. Бознак Э.И., Захаров А.Б. Рыбное население индустриального водоема в условиях многофакторного антропогенного воздействия // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: в 2 т. Т. 2: Управление водными ресурсами речных водосборов. Водная экология: труды Междунар. научно-практ. конф. (26 мая – 28 мая 2009 г., Пермь) / Перм. Гос. ун-т. Пермь, 2009. С. 220–224.
2. Бознак Э.И., Рафигов Р.Р. О находках уклейки (*Alburnus alburnus*) и верховки (*Leucaspis delineatus*) в водоемах бассейна р. Печора // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере: Материалы докладов Всероссийск. науч. конференции с международ. участием (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 16–20 ноября 2009 г.). Сыктывкар, 2009. С. 34–35.
3. Лукьяненко В.И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М.: ВО «АГРОПРОМИЗДАТ», 1987.
4. Никаноров Ю.И. Влияние сбросных вод тепловых электростанций на ихтиофауну и рыбное хозяйство водоемов-охладителей // Биологический режим водоемов-охладителей ТЭЦ и влияние температуры на гидробионтов. М.: Наука, 1977. С. 135–156.
5. Рафигов Р.Р. Оценка экологического состояния водоема-охладителя Печорской ГРЭС по данным анализа флуктуирующей асимметрии // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере: Материалы докладов 2-й Всероссийск. науч. конференции с международ. участием (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 8–12 апреля 2013 г.). Сыктывкар, 2013. С. 177–179.
6. Терещенко В.Г. Динамика разнообразия рыбного населения озер и водохранилищ России и сопредельных стран. Автореф. докт. биол. наук. СПб: Ин-т озераведения РАН, 2005. 49 с.

Сидорова А.И., Калинкина Н.М.

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
bolt-nastya@yandex.ru, cerioda@mail.ru

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ВСЕЛЕНЦА *GMELINOIDES FASCIATUS STEBBING* (AMPHIRODA) НА ЛИТОРАЛИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Для многих водоемов мира со второй половины XX века стала актуальной проблема биологических инвазий, то есть явления, связанного с проникновением в естественные и искусственные экосистемы несвойственных для них, чужеродных видов живых организмов из других регионов (Walther et al., 2009; Panov et al., 2010; Дгебуадзе, 2011). Появление чужеродных видов существенно изменяет механизмы функционирования экосистем.

В Онежском озере вид байкальского происхождения *Gmelinoides fasciatus* Stebbing был впервые обнаружен на западном побережье в 2001 году (Березина, Панов, 2003). Более поздними исследованиями было доказано распространение *G. fasciatus* практически на всей литорали Онежского озера (Калинкина и др., 2006; Полякова, 2008). При этом оказалось, что в различных биотопах его численность сильно варьирует – от 1.22 до 18.79 тыс. экз/м² (Кухарев, и др., 2008). Причины столь сильной изменчивости пространственного распределения популяции рачков оставались неизвестными. Их изучение стало целью настоящей работы. Среди причин, определяющих распространение особей какого-либо вида, выделяют: активный выбор организмами конкретных типов местообитания, биотические факторы (пресс хищников и конкурентов) и абиотические факторы (температура, физико-химические условия среды) (Гиляров, 1990). Нами в настоящей работе была рассмотрена значимость для популяции *G. fasciatus* таких факторов как пресс хищников (рыбы), кормовые условия, температура воды, особенности биотопа (наличие затишных условий).

Материал и методы исследования. Материалом для данной работы послужили гидробиологические пробы, собранные в течение 2010 г. Отбор и обработку проб осуществляли в соответствии со стандартными руководствами по сбору пресноводного бентоса (Методические рекомендации..., 1984). Отбор проб производили модифицированным пробоотборником Панова-Павлова (Панов, Павлов, 1986; Методические рекомендации..., 2005). Для изучения жизненного цикла амфипод на литорали Петрозаводской губы был собран гидробиологический материал в период с конца мая по начало октября 2010 года на двух станциях (П1, П2) каждые 10 дней в трех повторностях.

В Петрозаводской губе на станции наблюдения П1 исследования проводили на песчано-каменистом биотопе с зарослями макрофитов, главным образом, тростника обыкновенного *Phragmites australis* (Cav.). Площадь зарастания на станции составила около 5 м², на камнях отмечены обрастания нитчатыми водорослями. Станция защищена от волн двумя мысами с юго-восточной и северной сторон, которые образуют небольшую бухту.

Вторая мониторинговая станция П2 – каменистая, прибойная литораль. Высшая водная растительность отсутствовала на станции, однако на камнях отмечено обрастание нитчатыми водорослями.

Результаты. Для оценки **пресса хищников** на популяцию вида-вселенца в Петрозаводской губе нами были привлечены литературные и собственные данные по питанию различных рыб амфиподой *G. fasciatus*. Как оказалось, этот рачок является кормовым объектом для многих видов рыб, таких как окунь *Perca fluviatilis*, ерш *Gymnocephalus cernuus*, налим *Lota lota*, бычок-цуцик *Proterorhinus marmoratus* и др. (Горлачева, 2011; Ильмаст, Кучко 2012; Berezina, Strelnikova, 2010; Кияшко и др., 2010). Наши данные по питанию младших возрастных групп окуня на литорали Кумса-губы Повенецкого залива Онежского озера показали, что по частоте встречаемости в желудках доминировал *G. fasciatus*. Амфипода была обнаружена во всех исследуемых образцах. Кроме того, в 90% желудков были обнаружены личинки отрядов Ephemeroptera и Trichoptera. По биомассе доминировали личинки поденок Ephemeroptera (33%), амфипода *G. fasciatus* (28%) и ручейники Trichoptera (20%). Сходные результаты получены по питанию окуня в Петрозаводской губе Онежского озера (Ильмаст, Кучко, 2012). Согласно этим данным, в желудках рыб в весовом отношении доминируют поденки Ephemeroptera (49%) и амфиподы *G. fasciatus* (46%). По-видимому, для условий Петрозаводской губы, где расположены станции П1 и П2, роль пресса рыб (по крайней мере, окуней) на изучаемую популяцию амфиподы *G. fasciatus* можно считать соизмеримой, и, следовательно, не определяющей численность и биомассу рачков в рассматриваемых биотопах.

Для оценки **роли кормового фактора** сравнивали на станциях П1 и П2 популяционные показатели *G. fasciatus*, а именно, медианные значения длины тела самцов и самок и медианные значения плодовитости рачков (таблица). Размеры тела самцов ($L_{\text{самцы}}$, мм) были достоверно ($p < 0.05$) ниже на станции наблюдения П2, однако различия между медианными значениями составляли всего 2-5%. Размеры тела самок ($L_{\text{самки}}$, мм) на сравниваемых биотопах достоверно не различались. Поскольку различия между размерами тела рачков и их плодовитостью на двух биотопах отсутствовали или были незначительными, следовательно, обеспеченность пищей на двух станциях является сходной и кормовой фактор не лимитирует развитие рачков в изучаемых условиях (Гиляров, 1987).

Численность, биомасса, длина тела самцов, самок и плодовитость на двух станциях
Петрозаводской губы Онежского озера

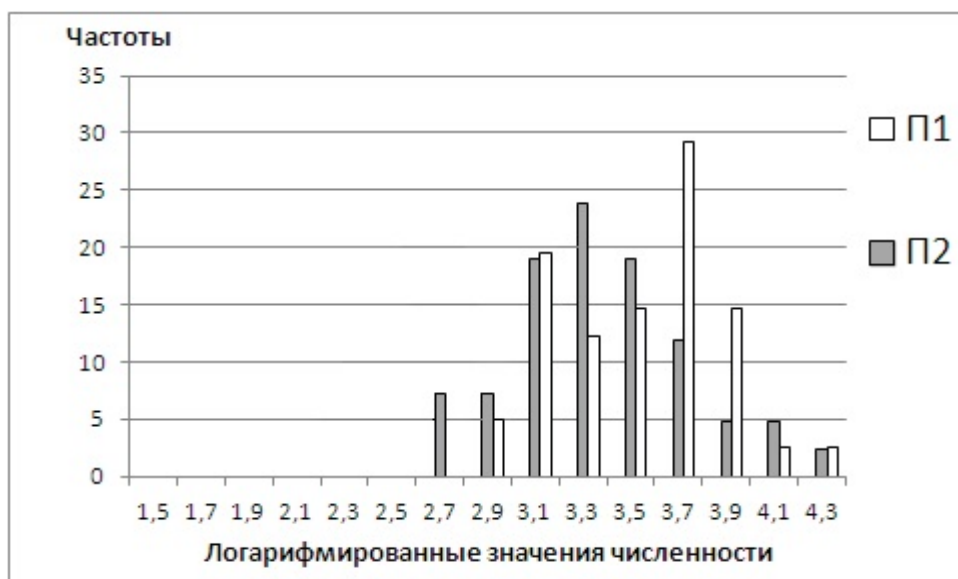
Станции	Показатели	Me	m	Me-tm	Me+tm	min	max	n
П1	$L_{\text{самцы}}$, мм	6.4	0.1	6.2	6.5	3.1	11.5	411
	$L_{\text{самки}}$, мм	4.9	0.1	4.7	5.1	3.1	9.5	577
	Е, яиц/самку	8	0.3	7	9	3	24	420
	$N, \text{экз./м}^2$	2998	467	2064	3933	522	13459	-
	$B, \text{мг/м}^2$	5064	1267	2530	7597	404	38676	-
П2	$L_{\text{самцы}}$, мм	5.9	0.3	5.3	6.5	3.1	11.2	99
	$L_{\text{самки}}$, мм	4.9	0.1	4.6	5.2	3.1	9.5	277
	Е, яиц/самку	9	0.6	8	10	4	23	142
	$N, \text{экз./м}^2$	1651	316	1018	2284	354	14992	-
	$B, \text{мг./м}^2$	2304	341	1621	2986	61	22269	-

Примечание: N – численность экз./м²; B – биомасса, мг/м²; L – длина тела мм; Е – плодовитость, яиц/самку; Me – медиана; m – ошибка медианы; Me-tm, Me+tm – нижний и верхний пределы варьирования медианы; n – число измерений.

Важным фактором, обеспечивающим сезонную динамику показателей развития изучаемого вида, является **температура воды**. На станции П1 вид *G. fasciatus* успевает пройти все важные фазы жизненного цикла, что обеспечивается необходимым количеством градусо-дней (гр.-дн.). В условиях станции П1 их количество в период с конца мая по начало октября составило 2349. В течение летнего периода (июнь-август) количество градусо-дней составляло 1627. Для условий второй станции П2 сумма градусо-дней незначительно отличалась от количества гр.-дн. первой станции П1 и составила 2269 за весь период исследования (Сидорова, 2013).

Согласно литературным материалам (Panov, Berezina, 2002), для отрождения двух выметов молоди у двух последующих генераций рачков *G. fasciatus* в летний сезон необходимо 1500-2000 гр.-дн. (оз. Ладожское, оз. Псковско-Чудское, оз. Отрадное). Для эмбрионального развития *G. fasciatus* требуется 248 градусо-дней. Для достижения половозрелости молоди новой генерации необходимо от 600 до 770 гр.-дн. (Матафонов, 2003; Барков, Курашов, 2011). Наблюдаемые нами значения градусо-дней укладываются в эти диапазоны, достаточные для развития двух поколений новорожденных рачков до взрослых особей. Таким образом, в Онежском озере на двух станциях П1 и П2 температурный фактор не лимитирует развитие популяции *G. fasciatus*.

Для оценки влияния **степени прибойности** на популяцию рачков в условиях двух биотопов рассматривали распределения логарифмированных значений численности амфиподы *G. fasciatus* (рисунок). Распределения этого показателя на станциях П1 и П2 достоверно не различались ($\chi^2=10.4$, $p<0.05$). Однако, медианы численности и биомассы на станции П1 (песчано-каменистый затишный биотоп с зарослями макрофитов) были достоверно (в 2 раза) выше, чем на станции П2 (каменистый прибойный биотоп) (таблица). Достоверно большие показатели развития рачков на станции П1 объясняются возможностью агрегирования рачков в затишных условиях, которые характерны именно для этого биотопа. Скопление рачков на литорали, где имеются укрытия (маленькие бухты, заросли макрофитов, изрезанная береговая линия) и определило максимальные показатели численности и биомассы на станции П1 в Онежском озере. Подобное явление концентрирования рачков в затишных местах отмечалось М.И. Бекман (1962) на литорали оз. Байкал.



Распределения логарифмированных значений численности на двух станциях Петрозаводской губы

Закключение

Успешная натурализация байкальской амфиподы *G. fasciatus* в новых условиях на литорали Петрозаводской губы Онежского озера объясняется прежде всего достаточным количеством градусо-дней (2269-2349 за период с конца мая по начало октября), которые определяют одногодичный жизненный цикл с двумя генерациями. Кормовые условия также не являются лимитирующим фактором для развития популяции *G. fasciatus* на двух типах биотопов – песчано-каменистом с зарослями макрофитов, каменистом, различных по степени открытости для прибоя. Пресс хищников (рыбы) на рачков в пределах акватории Петрозаводской губы соизмерим для двух типов биотопов. Фактором, определяющим максимальные показатели численности и биомассы рачков, оказались затишные условия, при которых формируются массовые скопления *G. fasciatus*.

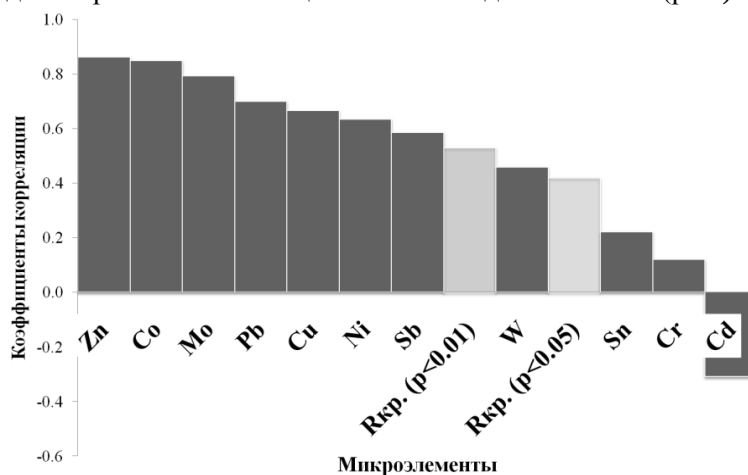
Литература

1. Барков Д.В., Курашов Е.А. Особенности экологии и биологии байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) в Ладожском озере / Литоральная зона Ладожского озера. Под ред. Е.А. Курашова. Спб.: Нестор-История, 2011. С. 294-350.
2. Бекман М.Ю. Экология и продукция *Micruropus possolsii* Sow. и *Gmelinoides fasciatus* Stebb. // Труды Лимнологического института Сибирского отделения АН СССР, 1962. Т. 2, Ч. 1. С. 141-155.
3. Березина Н.А., Панов В.Е. Вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежское озеро // Зоологический журнал, 2003. Т. 82, № 6. С. 731-734.
4. Гиляров А.М. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. М. 1987. 189 с.
5. Гиляров А.М. Популяционная экология. М.: Изд-во МГУ, 1990. 191 с.
6. Горлачева Е.П. Роль чужеродного вида *Gmelinoides fasciatus* в питании окуня *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 озера Арахлей // Ученые записки ЗабГГПУ, 2011. № 1 (36). С. 162-165.
7. Дгебуадзе Ю.Ю. 10 лет исследований инвазий чужеродных видов в голарктике // Российский журнал биологических инвазий, 2011. С. 1-6.
8. Ильмаст Н.В., Кучко Я.А. Байкальский бокоплав (*Gmelinoides fasciatus*) как кормовой объект рыб литоральной зоны Онежского озера // Вопросы рыболовства, 2012. Т. 13, № 1 (49). С. 35-40.
9. Калинкина Н.М., Сярки М.Т., Федорова А.С. Динамика популяционных показателей инвазионного вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) в Петрозаводской губе Онежского озера // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика. Мат. междунар. конф., посвящ. 60-летию КарНЦ РАН (24-27 окт. 2006 г.). Петрозаводск, 2006. С. 269-271.
10. Кияшко В.И., Халько Н.А., Халько В.В. Изменчивость спектров питания бычка-цуцка (Perciformes, Gobiidae) – нового вида в Рыбинском водохранилище // Вопросы ихтиологии, 2010. Т. 50, № 6. С. 821-827.
11. Кухарев В.И., Полякова Т.Н., Рябинкин А.В. Распространение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежском озере // Зоологический журнал, 2008. Т. 87, № 10. С. 1270-1273.
12. Матафонов Д.В. Сравнительная экология бокоплавов: *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) и *Gammarus lacustris* (Sars, 1863) в Ивано-Арахлейских озерах // Автореф. Дисс... канд. Биол. Наук. Улан-Удэ, 2003. 20 с.
13. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при ведении мониторинга биологического загрязнения на Финском заливе. Под ред. А.Ф. Алимova, Т.М. Флоринской. Санкт-Петербург, 2005. 68 с.
14. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
15. Панов В.Е., Павлов А.М. Методика количественного учета водных беспозвоночных в зарослях камыша и тростника // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 22. № 6. С. 87-88.
16. Полякова Т.Н. «Биологическое» загрязнение водных экосистем // Водная среда: комплексный подход к изучению, охране и использованию. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 26-31.
17. Сидорова А.И. Структурно-функциональные характеристики популяции байкальского вселенца *Gmelinoides fasciatus* Stebbing (Crustacea: Amphipoda) на северной границе ареала (Онежское озеро). Автореферат на соиск. ст. канд. биол. наук. Петрозаводск, 2013. 25 с.
18. Berezina N.A., Strelnikova A.P. The role of the introduced amphipod *Gmelinoides fasciatus* and native amphipods as fish food in two large-scale north-western Russian inland water bodies: Lake Ladoga and Rybinsk Reservoir / J. Applied Ichthyology. 2010. 26. P. 89-95.
19. Panov V.E., Alexandrov B., Arbačiauskas K., Binimelis R., Copp G.H., Grabowski M., Lucy F., Leuven R.S.E.W., Nehring S., Paunović M., Semenchenko V., and Son M.O. Risk Assessment of Aquatic Invasive Species Introductions via European Inland Waterways. In Josef Settele, Lyubomir Penev, Teodor Georgiev, Ralf Grabaum, Vesna Grobelnik, Volker Hammen, Stefan Klotz, Mladen Kotarac & Ingolf Kuhn (Eds) 2010. Atlas of Biodiversity Risk. Pensoft. Sofia, pp. 140-143
20. Panov V.E., Berezina N.A. Invasion history, biology and impacts of the Baikalian amphipod *Gmelinoides fasciatus* (Stebb.) / Invasive Aquatic Species of Europe. Eds.: Leppäkoski E., Olenin S., Gollasch S. Dordrecht: Kluwer Publisher, 2002. P. 96-103.
21. Walther G.R., Roques A., Hulme P.E., Sykes M.T., Pyšek P., Kühn I., Zobel M., Bacher S., Botta-Dukát Z., Bugmann H., Czucz B., Dauber J., Hickler T., Jarošík V., Kenis M., Klotz S., Minchin D., Moora M., Nentwig W., Ott J., Panov V.E., Reineking B., Robinet C., Semenchenko V., Solarz W., Thuiller W., Vilà M., Vohland K., Settele J. 2009. Alien species in a warmer world – risks and opportunities. Trends in Ecology and Evolution 24: P. 686-693.

ГЕОЭКОЛОГИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА)

Петрозаводск (главный город Республики Карелии) – крупный административный, промышленный, научный и культурный центр на северо-западе России. Малые реки Лососинка и Неглинка, главные водотоки города, в своем нижнем течении протекают по центральной части Петрозаводска, являясь уязвимыми мишенями для различных загрязняющих веществ (в том числе и тяжелых металлов), поступающих с водосборной площади. Систематические исследования петрозаводских водотоков касаются лишь оценки качества воды (Рыжков и др., 2012), что позволяет судить только о краткосрочных (моментальных) антропогенных воздействиях на водный объект. Донные отложения как маркеры длительного влияния на гидроэкосистемы характеризуют загрязнение водного объекта в ретроспективном аспекте (Даувальтер, 2012). Цель данной работы – охарактеризовать современное состояние донных отложений рек г. Петрозаводска, основываясь на геохимических и биологических данных.

Приоритетными металлами-загрязнителями урбанизированной среды для донных отложений рек Лососинки и Неглинки являются Ni, Zn, Co, Cu, Sb, Pb, W, Mo (Слуковский, Медведев, 2013). Отмечается тесная статистически значимая (при $p < 0.05$) корреляционная связь между концентрациями этих тяжелых металлов и основными фазами-носителями поллютантов в депонирующих средах – органическим веществом и оксидами Fe и Mn (рис.).



Коэффициенты корреляции между железным модулем и содержаниями тяжелых металлов в донных отложениях рек г. Петрозаводска

Кроме того, техногенный статус Ni, Zn, Co, Cu, Sb, Pb, W, Mo в донных отложениях рек г. Петрозаводска подтверждается корреляционной связью концентраций металлов с содержанием Li в исследуемых речных осадках, так как Li является маркером активного антропогенного воздействия на водосборную площадь водных объектов (Блохин, 2007) и тонких гранулометрических фракций изучаемых отложений (Loring, 1990). Таким образом, при расчете суммарного показателя загрязненности (Z_c) учитывались концентрации металлов, входящих в геохимическую ассоциацию типоморфных элементов урбогенеза, в донных отложениях рек г. Петрозаводска.

Наименьшие значения Z_c отмечены для русловых донных отложений р. Лососинки в районах лесных и лесопарковых зон города (таблица). Кроме того, низким уровнем загрязненности характеризуются пригородные (фоновые) участки обоих петрозаводских водотоков. Наибольшие значения Z_c , соответствующие уровню высокого и очень высокого техногенного загрязнения, установлены для русловых донных отложений р. Неглинки, протекающей по центральному району города с плотной застройкой и крупными транспортными узлами, а также для пойменно-русловых донных отложений искусственно зарегулированного приустьевых участка р. Лососинки.

Значения суммарного показателя загрязненности донных отложений рек г. Петрозаводска

	Me	Max	Min	N
Река Неглинка	36	129	11	40
Река Лососинка	15	59	1	55

Примечание: Me – медиана выборки, Max и Min – максимальное и минимальное значения, N – число вариантов в выборке.

Любая антропогенная нагрузка вызывает количественные и качественные изменения в сообществах живых организмов, обитающих в водных экосистемах. На обследованных участках рек Неглинки и Лососинки донные беспозвоночные представлены олигохетами, моллюсками, поденками, веснянками, ручейниками, жуками, клопами и личинками всевозможных двукрылых насекомых. Наибольшие значения численности и биомассы сообществ отмечены в черте города, что является следствием эвтрофированности городских водотоков (Биоиндикация..., 2007). Доминирующими группами гидробионтов являются олигохеты и хирономиды. Значение индекса Шеннона для станций в черте города по обоим водотокам варьирует от 0.14 до 2.81 (медиана – 1.56).

Фоновые участки рек Лососинки и Неглинки характеризуются меньшими биомассами донных группировок, присутствием в их составе требовательных к качеству воды организмов – веснянок, поденок и ручейников. Сообщества более разнообразны (индексы Шеннона по р. Неглинке – 2.98, Лососинке – 3.72). Установлено, что наименьшие значения индекса Шеннона соответствуют наиболее загрязненным участкам рек г. Петрозаводска (по Z_c). С другой стороны, максимальные значения индекса Шеннона соответствуют условно-чистым участкам исследуемых водотоков.

Литература

1. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга; Ин-т экологии Волжского бассейна РАН; Ин-т биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН; Ин-т клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН. М.: Наука, 2007. 403 с.
2. Блохин М.Г. Литий и рубидий в компонентах экосистемы залива Петра Великого: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.00.16. Владивосток, 2007. 112 с.
3. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
4. Рыжков Л.П., Горохов А.В., Марченко Л.П. Трансформация химического состава вод реки Лососинки под воздействием природных и антропогенных факторов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2012. № 8. Т. 1. С. 20–24.
5. Слуковский З.И., Медведев А.С. Применение рентгенофлуоресцентного анализа для геоэкологических исследований малых рек урбанизированных территорий // Экологическая геология: теория, практика, региональные проблемы: Материалы третьей международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 20-22 ноября 2013 г. Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2013. С. 204–207.
6. Loring D.H. Lithium – a new approach for the granulometric normalization of trace metal data // Marine Chemistry, 1990. Vol. 29. P. 155–168.

Сярки М.Т.

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
MSyarki@yandex.ru

ФЕНОЛОГИЯ ПЛАНКТОНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Онежское озеро является одним из Великих озер Европы. На большей части акватории оно сохранило свой естественный природный статус экосистемы, что вызывает повышенное внимание к изучению его современного состояния и сохранению уникальных свойств в будущем (Онежское озеро. Атлас, 2010; Ladoga and Onego..., 2010).

В последние десятилетия наблюдаются климатические изменения, отражающиеся на гидрологическом и термическом режиме озера. Так в 1990-2000 гг. вскрытие льда в Онежском озере происходило в среднем на 10 дней раньше, чем в предыдущие десятилетия (Климат Карелии..., 2004;

Efremova et al., 2013). Подобные явления определяют актуальность изучения фенологии, как науки «о сезонных явлениях природы, сроках их наступления и причинах, определяющих эти сроки» (Биологический энциклопедический словарь, 1986). Современная реакция водных сообществ, в частности, планктона на климатические изменения активно изучается во всем мире (Adrian et al., 2006; Thackeray et al., 2010; Wagner et al., 2013).

Основные трудности в изучении фенологии планктона Онежского озера вызываются двумя проблемами: трудностями непосредственного наблюдения подводных явлений и недостатком данных. В предыдущие годы исследования Онежского озера решали задачи слабо связанные с фенологией, например такие как, оценка качества воды и формирование биоресурсного потенциала, что обусловило недостаток подробных сезонных рядов данных. До настоящего времени сезонные периоды считаются по календарным месяцам (Смирнова, 1972; Куликова и др., 1997; Вислянская, 1999).

Взросшие требования к детализации знаний о состоянии водных экосистем и уточнению прогнозов определили необходимость поиска новых подходов к анализу данных, количество которых вряд ли значительно увеличится. В этих условиях достаточно перспективным является использование синергетического подхода. Озерный пелагический планктон является классической сложной системой и каждый год под действием внешних и внутренних факторов происходит закономерная самоорганизация структуры планктона или его сезонная сукцессия. В связи с этим применение терминологии и аналитического аппарата синергетики, как науки о поведении сложных систем позволит, может быть, интересным и продуктивным (Хакен, 1985).

В данной работе предлагается пример двух путей исследования фенологии планктона. Первый для изучения динамических характеристик представляет среднесезонную динамику планктона простым циклическим аттрактором, который может быть описан непрерывной плавной кривой. Второй путь связан с вероятностными состояниями и решает вопрос, можно ли выделить по структуре планктона отдельные сезоны и получить объективные критерии для выявления фенофаз, т.е. весеннего, летнего и осеннего планктона.

Данная работа является частью большого исследования фенологии экосистемы Онежского озера, в частности его пелагического планктона. Основой для работы являются результаты комплексных съемок в центральном и глубоководных районах Онежского озера с 1989 по 2010 гг. Сезонные наблюдения представлены ежемесячными съемками с июня по октябрь 1989, 1991 и 1993 гг. В остальные годы проводились одноразовые съемки в различные сроки вегетационного периода. Ряды данных имеют объем в 40-60 элементов.

Предыдущими исследованиями было показано, что большая часть показателей планктона, за некоторым исключением, имеет траекторию сезонных изменений в виде ассиметричной одновершинной кривой, что позволило описать их моделью. Регрессионным методом минимизации ортогональных расстояний (Orthogonal Distance Regression) был получен ряд параметров для аппроксимации заданной функцией временных рядов по температуре воды в слое 0.5 м, первичной продукции, численности и биомассы фито- и зоопланктона (Сярки, Чистяков, 2013). Представление сезонной динамики планктона в виде непрерывных функций позволило создать посуточную модель состояния пелагического планктона, описать основные особенности и даты сезонных явлений, их изменчивость, суточные скорости изменения величин, синхронность различных процессов (рис.1).

Развитие тех или иных групп и видов планктона приурочено к различным сезонным условиям и их максимумы разнесены во времени. Например, главные продуценты онежского комплекса диатомовые водоросли имеют основной весенний максимум в мае, а зеленые водоросли достигают максимума в конце августа (Вислянская, 1999). В то же время максимальные показатели суточной первичной продукции приурочены к оптимальным световым и температурным условиям в середине июля (Теканова, Сярки, 2008).

К началу «биологического лета» приурочен быстрый рост показателей количества коловраток, а затем и остального животного планктона. Среднегодовые даты максимумов для коловраток (19-21 июля) и ветвистоусых рачков (5-7 августа) разнесены более чем на две недели, что объясняется биологией составляющих их видов и конкурентными трофическими отношениями между группами. Поскольку соотношение групп зоопланктона является одним из важных показателей состояния озерной экосистемы, необходимо учитывать некоторую асинхронность их динамики. Период максимальных показателей для коловраток не превышает двух недель, поэтому часто не отражается в материалах гидробиологических съемок, что приводит к недоучету и снижению средних показателей для этой группы.

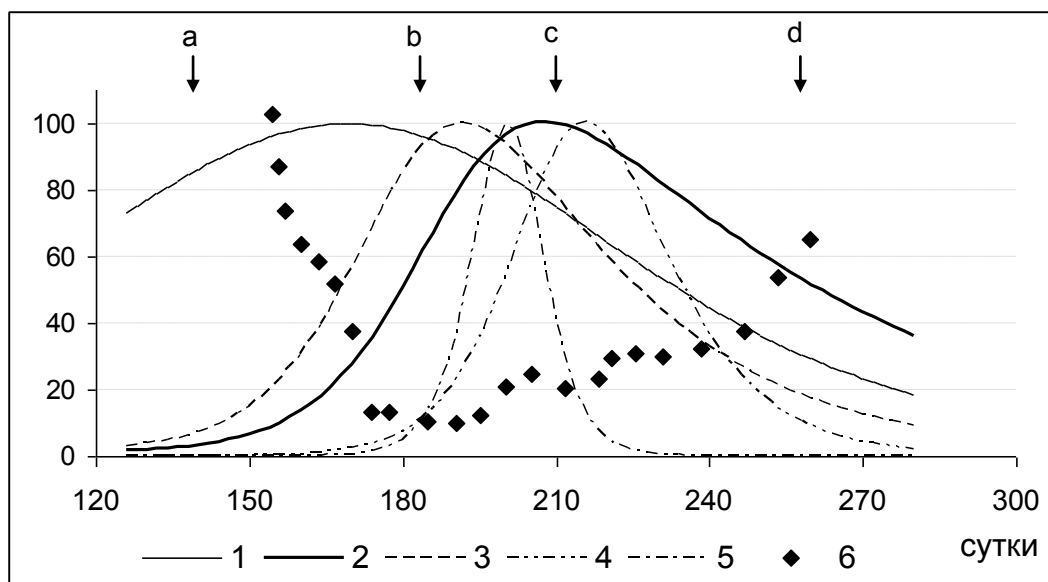


Рис. 1. Синхронность сезонных процессов в пелагическом планктоне. Нормированные данные. Стрелками показаны даты термических явлений:
1 - длина светового дня; 2 - температура воды в слое 0.5 м; 3 - суточная первичная продукция; 4 - биомасса коловраток; 5 - биомасса ветвистоусых; 6 - биомасса диатомовых водорослей (скользящие средние с шагом 7 элементов). a - разрушение льда; b - весенний переход через 10°C ; c - температурный максимум в слое воды 0.5 м; d - осенний переход через 10°C

Исследование фенологии планктона включает очень важный вопрос: сколько времени длится летний период. Если траектории сезонных изменений величин представляют собой плавные кривые, то существуют ли реально сезонные состояния? Иными словами можно ли разделять летний, весенний и осенний планктон? Существуют ли выраженные границы между сезонами?

Ответить на подобные вопросы, можно изучая вероятностные состояния планктона, если с помощью статистических методов найти формальные признаки сезонов. Достаточно детальные данные по зоопланктону центральной и глубоководной части озера в слое 0-5 м позволили провести дискриминантный анализ. Данные были организованы в матрицу, состоящую из 9 переменных (численности и биомассы основных 4-х групп зоопланктона и группирующей переменной) и 56 рядов (данные 5-ти станций в центральной и глубоководной части озера с 1989 по 2010 гг.). Группирующая переменная отражала сезонный период: весенний, раннелетний, позднелетний и осенний. Результаты анализа отражают достоверное разделение состояний зоопланктона между 4-мя сезонами (рис. 2).

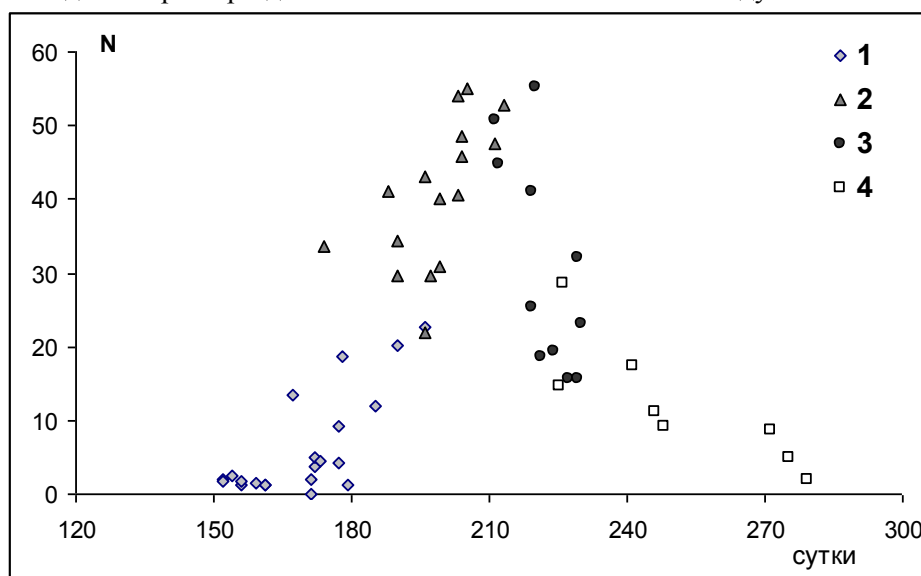


Рис. 2. Динамика численности зоопланктона (N , тыс. экз/м³) по сезонам:
1 – весенний, 2 – раннелетний, 3 – позднелетний, 4 – осенний

Анализ показал, что из 8 переменных, только 4 являлись значимыми ($p < 0.001$), а именно: численность коловраток, биомасса каланоид, кладоцер и коловраток. При этом формула дискриминации по переменным дает формальные признаки отнесения данных к определенным сезонам (таблица).

Классификационные коэффициенты для определения сезонных состояний зоопланктона

Переменные	Сезоны			
	весна	раннее лето	позднее лето	осень
Численность коловраток (тыс. экз./м ³)	0.00006	0.0012	0.0001	0.00025
Биомасса каланоид (г/м ³)	0.00673	0.0269	0.0241	0.00634
Биомасса кладоцер (г/м ³)	0.00021	-0.0138	0.0288	-0.00034
Биомасса коловраток (г/м ³)	0.00058	0.0418	-0.0076	0.00485
Константа	-1.22341	-22.9509	-10.5587	-2.77305

В весенний период по численности и по биомассе преобладают веслоногие рачки – копеподы. Примерно с 190 по 210 сутки начинается раннелетний период с преобладанием, как по численности, так и по биомассе (в сыром весе) коловраток. В конце его среднемноголетняя биомасса зоопланктона достигает до максимума (рис. 1). Позднелетний или просто летний период, продолжающийся с 210 по 228 сутки, характеризуется превышением количества кладоцер над коловратками. Общие величины зоопланктона в этот период плавно снижаются. В середине августа, с началом сильных штормов начинается осенний период, который характеризуется снижением доли коловраток и кладоцер, за счет увеличения роли веслоногих рачков. Из осеннего периода сообщество зоопланктона без резких изменений постепенно переходит в зимнее состояние. Нужно отметить, что межгодовая изменчивость размывает границы сезонов, состояния сходные по количественным показателям отличаются по структуре и наоборот. Это свидетельствует о самостоятельном информационном значении структурных показателей и сложной их связи с общим количеством зоопланктона.

Таким образом, в период календарного лета (июль-август) наблюдаются четыре выделенных по структуре зоопланктона сезона. Летний период для пелагического зоопланктона длится 40 суток, в течение которых сообщество проходит две совершенно разные по структуре фазы развития. Это необходимо учитывать при оценке современного состояния пелагической системы Онежского озера. Изменения в термическом режиме или в продолжительности безледного периода обязательно скажется на функционировании планктона, так как вся его жизнедеятельность синхронизирована с естественной цикличностью факторов среды.

Часть работы сделана при поддержке гранта РФФИ № 06-05-64403-а.

Литература

1. Биологический энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С. Гиляров. М.: Советская Энциклопедия, 1986. 831 с.
2. Вислянская И.Г. Структура и динамика биомассы фитопланктона // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1999. С.146-158.
3. Климат Карелии: Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 2004. 224 с.
4. Куликова Т.П., Кустовлянкина Н.Б., Сярки М.Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1997. 112 с.
5. Онежское озеро. Атлас. Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. 151 с.
6. Смирнова Т.С. Планктонные коловратки и ракообразные // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, 1972. С. 126-240.
7. Сярки М.Т., Теканова Е.В. Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Изв. РАН. Сер. биол., 2008. № 5. С. 621-625.
8. Сярки М.Т., Чистяков С.В. О применении метода ортогональных расстояний для моделирования сезонной динамики планктона Онежского озера // Экология, 2013. № 3. С. 234-238.
9. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 423 с.
10. Adrian R., Wilhelm S. and Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming // Global Change Biology, 2006. Vol. 12. P. 652-661.

11. Ladoga and Onego Great European Lakes. Observations and Modelling / Eds. L. Rukhovets and N. Filatov. Springer-Praxis, 2010. 302 p.
12. Efremova T., Palshin N., Zdrovennov R. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // Estonian Journal of Earth Sciences, 2013. V. 62, № 1. P. 33-41.
13. Ladoga and Onego Great European Lakes. Observations and Modelling // Eds. L. Rukhovets and N. Filatov. Springer-Praxis, 2010. 302 p.
14. Thackeray S.J., Sparks T.H., Frederiksen M., Burthe S., Bacon P.J., Bell J.R., Botham M.S., Brereton T.M., Bright P.W., Carvalho L., Clutton-Brock T., Dawson A., Edeards M., Elliott J.M., Harrington R., Johns D., Jones I.D., Jones J.T., Leech D.I., Roy D.B., Scott W.A., Smith M., Smithers R.J., Winfield I.J. and Wanless S.S. Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments // Global Change Biology, 2010. Vol. 16. P. 3304-3313.
15. Wagner A., Hülsmann S., Horn W., Schiller T., Schulze T., Volkmann S., Benndorf J. Food-web-mediated effects of climate warming: consequences for the seasonal Daphnia dynamics // Freshwater Biology, 2013. Vol. 58. P. 573-587.

Теканова Е.В., Сярки М.Т.

*Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
etekanova@mail.ru*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОГО ЦИКЛА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

В настоящее время на функционирование водных экосистем оказывают влияние антропогенные факторы и климатические изменения. Если реакции водных экосистем на антропогенное воздействие довольно хорошо изучены, то последствия изменения климата остаются весьма неопределенными, хотя и находятся на этапе активной разработки (Winder, Schindler, 2004; Многолетние изменения биологических..., 2008; Ladoga and Onego..., 2010; Rubao et al., 2010 и др.). В процессе развития водных экосистем произошла синхронизация сезонных явлений в планктоне с цикличностью внешних факторов среды. Климатические изменения сказываются на длительности безледного периода, что влияет на фенологию водных систем, в связи с чем весьма актуальным является исследование закономерностей сезонных явлений в озерах и их формализация. Так, в настоящее время показано, что в период 1990-2000 гг. вскрытие льда в Онежском озере происходит в среднем на 10 дней раньше, чем в предыдущие десятилетия (Efremova et al., 2013).

Первичная продукция (РР) как начальное звено трофической структуры и энергетических преобразований в планктонной системе служит интегральной характеристикой ее состояния в целом. Закономерности сезонной цикличности РР отражают влияние на систему всей совокупности внешних и внутренних факторов.

Целью данной работы является изучение основных сезонных закономерностей первично-продукционного процесса в пелагиали Онежского озера, а также влияния на них внешних и внутренних экологических факторов.

Онежское озеро – большой глубоководный и холодноводный димиктический водоем ($S = 9943 \text{ км}^2$, $V = 291 \text{ км}^3$, средняя глубина 30 м, максимальная – 120 м), сохранивший в целом природный олиготрофный статус (Биоресурсы Онежского озера, 2006).

Исследования были выполнены на глубоководных участках озера (рис. 1) в 1989-2006 гг. В период с июня по октябрь в результате ежемесячных съемок и разовых экспедиций в этих участках было выполнено 36 измерений РР. Скорость фотосинтеза измерялась радиоуглеродным методом (Кузнецов, Дубинина, 1989). Световые условия на водоеме оценивались по проникающей в воду солнечной радиации (Мокиевский, 1973). В работе использованы фондовые материалы ИВПС КарНЦ РАН по биомассе фитопланктона. Данные о хлорофилле «а», фосфоре и нитратном азоте предоставлены лабораторией гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН и определялись по аттестованным методикам в соответствии с Госстандартом России. Среднегодовое даты основных гидрологических событий для центрального плеса Онежского озера (разрушение льда, прохождение термического бара, наступление и окончание биологического лета) приведены по данным ИВПС КарНЦ РАН (Ефремова, 2010; Efremova et al., 2013).

Для анализа цикличности параметров использовались средние в фотическом слое воды показатели биомассы диатомовых и недиаомовых (зеленые, синезеленые, золотистые) водорослей, хлорофилла «а», фосфора общего, нитратного азота, температура поверхностного слоя воды и интегральная РР в фотическом слое воды.

Для решения проблемы анализа небольших рядов данных циклические процессы описывались траекториями среднесезонной динамики величин. Временные ряды ранжировались по сезонному показателю или суткам с начала года, затем сглаживались с помощью метода скользящих средних в модификации двойного сглаживания (Сярки, 2013) с шагом в 5 или 7 элементов ряда. Для удобства анализа синхронности процессов траектории всех показателей были нормированы и приведены к одному масштабу.

Как было показано ранее (Сярки, Теканова, 2008) сезонная динамика РР описывается несимметричной колоколообразной кривой с максимумом во второй декаде июля (рис. 2). Особенности сезонного цикла РР связаны как с внешними факторами, в первую очередь, температурой воды и падающей радиацией, так и с изменением структуры фитопланктона.

Анализ показал, что с начала июня скорость РР синхронизирована с ростом температуры воды. Максимум наблюдается в период оптимального сочетания двух регулирующих факторов – температуры воды и световых условий. В период с конца июля-начала августа начинается снижение величин первичного продуцирования. При относительно высоких температурах воды существенное влияние на него в этот период, по-видимому, оказывает ухудшение световых условий.

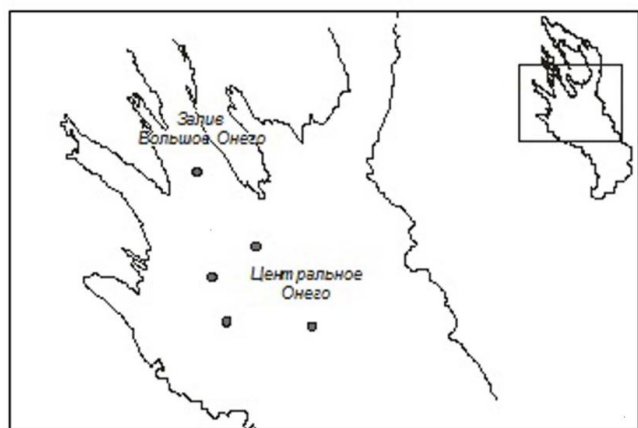


Рис. 1. Карта-схема района исследований

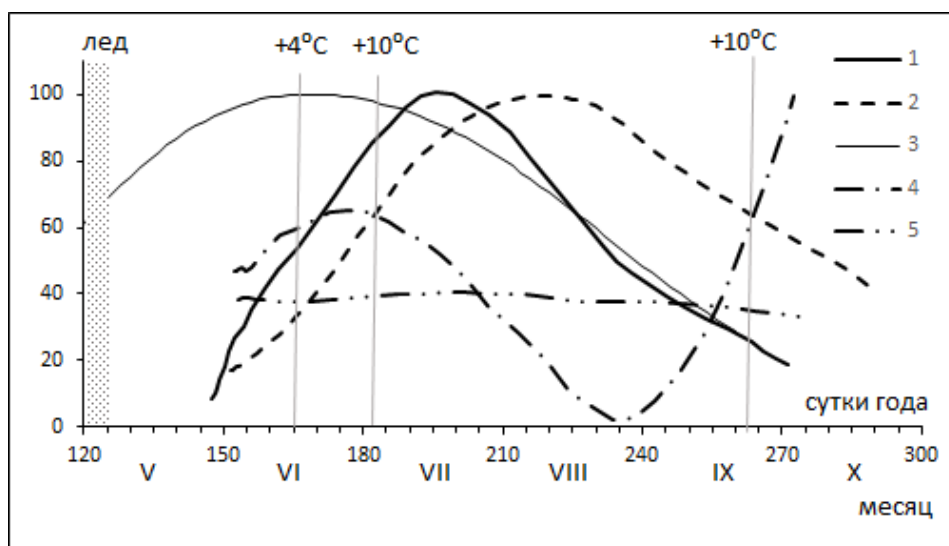


Рис. 2. Траектории среднесезонной динамики первичной продукции и внешних факторов среды. Все величины нормированы

— первичная продукция, - - - температура воды, - - - проникающая в воду радиация, - · - нитратный азот, — общий фосфор

Содержание общего фосфора в пелагиали озера относительно постоянно в течение всего вегетационного периода (7-12 мкг/л) и определяется, в основном, нагрузками речного стока и сточных вод промышленных центров (Сабылина и др., 2010). Сохранению в пелагиали низких концентраций фосфора способствует длительное существование в водоеме термического бара, который в весенний и осенний периоды ограничивает поступление в эту часть озера речных, техногенных и паводковых вод. Концентрация фосфора определяет невысокую общую активность продукционного процесса, в том числе и величину его максимума, но не оказывает влияния на его сезонные особенности (рис. 2).

Нитратный азот не является лимитирующим элементом в развитии фитопланктона в условиях Онежского озера, его динамика в течение вегетационного периода определяется потреблением фитопланктоном в процессе своего сезонного развития. Весенний максимум приходится на последнюю декаду июня, время начала развития фотосинтетически активного недиатомового фитопланктона, сезонный минимум – на последнюю декаду августа. С началом осени в пелагиали начинается постепенное повышение концентраций нитратов, скорее, за счет регенерации из отмирающего летнего планктона и поступления из прибрежных участков.

Особенности сезонного цикла продукционного процесса тесно связаны с сукцессиями структуры пелагических альгоценозов в течение вегетационного периода (рис. 3), так как различные виды и группы микроводорослей обладают разной фотосинтетической активностью.

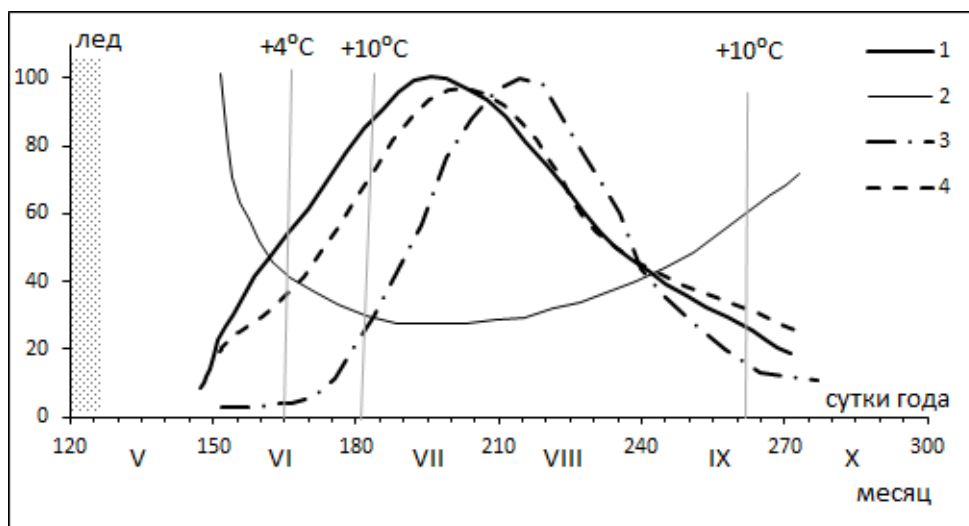


Рис. 3. Траектории среднемноголетней сезонной динамики первичной продукции и внутренних факторов среды. Все величины нормированы

— первичная продукция, — биомасса диатомового фитопланктона,
— · — биомасса недиатомового фитопланктона, - - - хлорофилл «а»

После весеннего перемешивания при прогреве воды до +4 °С в пелагиали появляется мелкоклеточный недиатомовый фитопланктон (зеленые, синезеленые, золотистые водоросли), обладающий, как правило, довольно высокой фотосинтетической активностью (Гутельмахер, 1986; Михеева, 1988; Петрова, 1990 и др.). Эти группы водорослей, в частности, зеленые и синезеленые, более требовательны к фосфору, чем диатомовые (Гутельмахер, 1986; Петрова, 1990 и др.), и к температурным условиям. Траектория сезонного развития недиатомового фитопланктона согласована с прогревом воды. Время наступления их сезонного максимума определяется медленным прогревом воды большого озера, длительное время (в среднем около 40 суток после разрушения льда) сдерживающим развитие недиатомового фитопланктона, максимум которого совпадает с сезонным температурным максимумом в первую декаду августа. Величина сезонного максимума недиатомовых пелагических водорослей ограничена низкими концентрациями фосфора в воде.

Сезонное развитие диатомового планктона имеет совершенно иной характер. Сезонный цикл его характеризуется двумя вершинами – в ранне-весенний и ранне-осенний периоды и находится в противофазе с динамикой РР, недиатомового фитопланктона и хлорофилла «а» в воде (рис. 3). Массовые виды диатомовых, формирующие сезонные максимумы, не относятся к фотосинтетически

активным (Петрова, 1990). Минимум развития диатомовых совпадает с максимумом первичной продукции и хлорофилла. В период самых ранних исследований в конце мая–начале июня уже наблюдается снижение биомассы диатомовых водорослей. Видимо, максимального развития в верхних слоях воды он достигает сразу после вскрытия льда или непосредственно перед его разрушением. К сожалению, данные о состоянии пелагического планктона в этот период отсутствуют. Наиболее вероятно, ведущую роль в формировании ранне-весеннего максимума диатомовых играют конвективные подледные процессы, развивающиеся после очищения льда от снега (Петров, 1990; Vehmaa, Salonen, 2009).

Содержание в планктоне хлорофилла “а” зависит от систематического состава альгоценоза и тесно связано с развитием недиадомового фитопланктона (рис. 3). Так, известно, что клетки зеленых водорослей содержат хлорофилла значительно больше, чем представители других групп (Елизарова, 1993 и др.). Траектории среднемноголетней сезонной динамики хлорофилла “а” и РР синхронны с одновременным прохождением сезонных максимумов во второй декаде июля. С двухнедельным отставанием следует сезонный максимум биомассы недиадомового фитопланктона.

Таким образом, основные сезонные закономерности процесса РР в пелагиали Онежского озера синхронизированы с цикличностью факторов среды, в первую очередь, температуры воды и падающей солнечной радиации, т.е. с климатическими и географическими особенностями. Несмотря на то, что основу фитопланктона пелагиали Онежского озера составляют диатомовые водоросли, сезонный максимум первичного продуцирования обеспечивается недиадомовым фитопланктоном, уровень развития которого ограничен низкими концентрациями фосфора в воде. Сезонное развитие диатомового планктона находится в противофазе с динамикой РР, недиадомового фитопланктона и хлорофилла «а». Согласованность циклических процессов является немаловажным фактором устойчивого функционирования пелагической планктонной системы Онежского озера.

Литература

1. Биоресурсы Онежского озера / Под ред. В.И. Кухарева, А.А. Лукина. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. 272 с.
2. Гутельмахер Б.Л. Метаболизм планктона как единого целого. Л.: Наука. 1986. 155 с.
3. Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. Сб. научн. ст. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. С. 126-130.
4. Ефремова Т.А. Термический режим // Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 2011. С. 55-66.
5. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 285 с.
6. Михеева Т.М. Проблемы изучения фитопланктона: нанопланктон (дефиниция, фракционирование и значимость в первичной продукции) // Гидробиол. журн., 1988. Т. 24. № 4. С. 3-21.
7. Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования / Под ред. И.С. Трифионовой. СПб.: Изд-во «Лема». 2008. 246 с.
8. Мокиевский К.А. Радиационный баланс Онежского озера // Тепловой режим Онежского озера. Л.: Наука. 1973. С. 52-134.
9. Петров М.П. Термический режим // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука. 1990. С. 32-37.
10. Петрова Н.А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер. Л.: Наука, 1990. 187 с.
11. Сабылина А.В., Лозовик П.А., Зобков М.Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков // Водные ресурсы, 2010. Т. 37. № 6. С. 717-729.
12. Сярки М.Т. Изучение траекторий сезонной динамики планктона с помощью метода двойного сглаживания // Принципы экологии. Научный электронный журнал, 2013. № 1. С. 62-68. ecopri@psu.karelia.ru
13. Сярки М.Т., Теканова Е.В. Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Известия РАН. Сер. Биологическая, 2008. № 5. С. 621-625.
14. Efreanova T., Palshin N., Zdrovennov R. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // Estonian Journal of Earth Sciences. 013. V. 62. № 1. P. 33-41.
15. Ladoga and Onego – Great European Lakes. Observations and Modelling / Leonid Rukhovets and Nikolai Filatov (eds). Chichester, UK. Springer. 2010. 302 p.

16. Rubao Ji., Edwards M., Runge J.A., Mackas D.L., Thomas A.C. Marine plankton phenology and life history in a changing climate: current research and future directions // Journal of Plankton Research. 2010. Vol. 32. № 10. P. 1355-1368.
17. Vehmaa A., Salonen K. Development of phytoplankton in Lake Pääjärvi (Finland) during under-ice convective mixing period // Aquat Ecol. 2009. V. 43. P. 693-705.
18. Winder M., Schindler D.E. Climatic effects on the phenology of lake processes // Glob. Change Biol. 2004. V. 10. Is. 11. P. 1844-1856.

Терентьев П.М., Кашулин Н.А., Зубова Е.М., Королева И.М.

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

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЫБНОЙ ЧАСТИ СООБЩЕСТВ МАЛЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Малые озера лесной зоны приграничного района России, Норвегии и Финляндии, расположенные в зоне влияния предприятия цветной металлургии (к-т «Печенганикель»), могут быть использованы для оценки состояния природных экосистем в условиях долговременной антропогенной нагрузки (Kashulin et al., 2007, 2008). Известно, что наряду с анализом показателей химии вод и донных отложений, гидробиологических параметров, большое значение при определении степени преобразования пресноводных систем имеет изучение рыбной фауны. При этом диапазон рассматриваемых показателей может охватывать достаточно широкие пределы – от клеточного до экосистемного уровня (Кашулин..., 2004). Кроме того, данные многолетних исследований состояния рыбной части сообщества на примере водоемов Мурманской области могут служить в качестве – основы изучения процессов изменения среды и климата, трансформаций пресноводных экосистем в условиях сохраняющейся антропогенной нагрузки (Кашулин и др., 2013; Терентьев, Кашулин, 2012). Среди водоемов региона наиболее многочисленными являются малые озера лесной зоны, являющихся местом обитания практически всех типичных для данного района видов рыб, в том числе имеющих ценное промысловое значение (кумжа, арктический голец, сиг) (Атлас пресноводных рыб..., 2003). Целью данной работы являлась оценка состояния рыбной части сообществ малых озер северо-западной части Мурманской области (Виртуовошъяур и Кочеяур) в условиях долговременного воздушного загрязнения на основе материалов многолетних наблюдений.

Водоемы относятся к малым озерам (площадью менее 5 км²) и расположены на территории России (рис. 1). В целом это озера лесной зоны ледникового происхождения с небольшими глубинами (таблица).

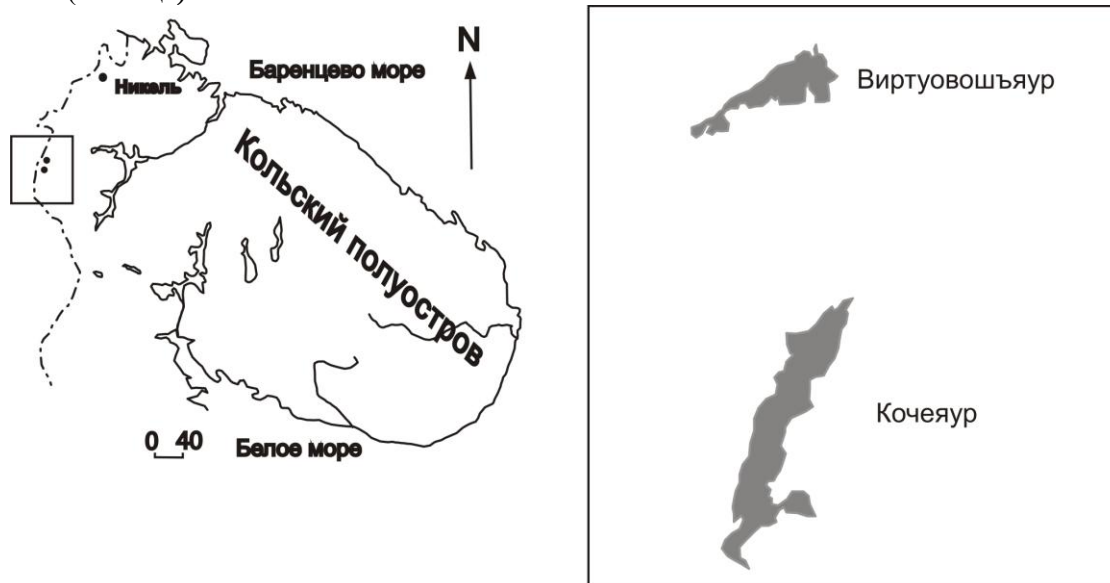


Рис. 1. Схема района исследований

Исследования ихтиофауны указанных озер имеют достаточно длительный характер (1989-2013 гг.), что позволяет провести сравнительный анализ и выявить современные тенденции изменений пресноводных экосистем. При проведении ихтиологических исследований пользовались стандартными методиками, описанными ранее (Аршаница, Лесников, 1987; Известия..., 1956; Кашулин, 1994, Мина и Клевезаль, 1976; Правдин, 1966).

Таблица 1

Расположение исследованных водоемов и удаленность от источника загрязнения

Водоем	Кочяур	Виртуовошъяур
Широта	68°35.853′	68°45.894′
Долгота	28°40.250′	28°47.548′
Средняя глубина, м	11	5
Площадь зеркала	3.16	1.16
Высота над уровнем моря	133	182
Удаленность от источника загрязнения, км	120	100

Известно, что антропогенная нагрузка на водные экосистемы Мурманской области и, в частности, для рассматриваемого приграничного района, сохраняется на достаточно высоком уровне, и в ближайшие десятилетия эти процессы будут сохранять свою интенсивность за счет высокого уровня загрязнения водосборных бассейнов и донных отложений водоемов (Кашулин и др., 2011).

Было показано, что структура рыбной части сообществ исследованных озер в настоящее время характеризуется сходной и практически повсеместно отмечаемой тенденцией для арктических экосистем к снижению доли сиговых видов рыб и постепенной смене доминирующих комплексов в сторону представителей окуневых видов (Терентьев, Кашулин, 2012). Данные изменения свидетельствуют о масштабных преобразованиях пресноводных арктических экосистем, связанных с влиянием комплекса факторов (изменения климата, усиление процессов антропогенного эвтрофирования вод, сохраняющаяся антропогенная нагрузка). В естественных условиях развития пресноводных экосистем аналогичные перестройки могут происходить в течение сотен лет, в то время как преобразования рыбной части сообществ водоемов Мурманской области происходят весьма стремительными темпами (рис. 2).

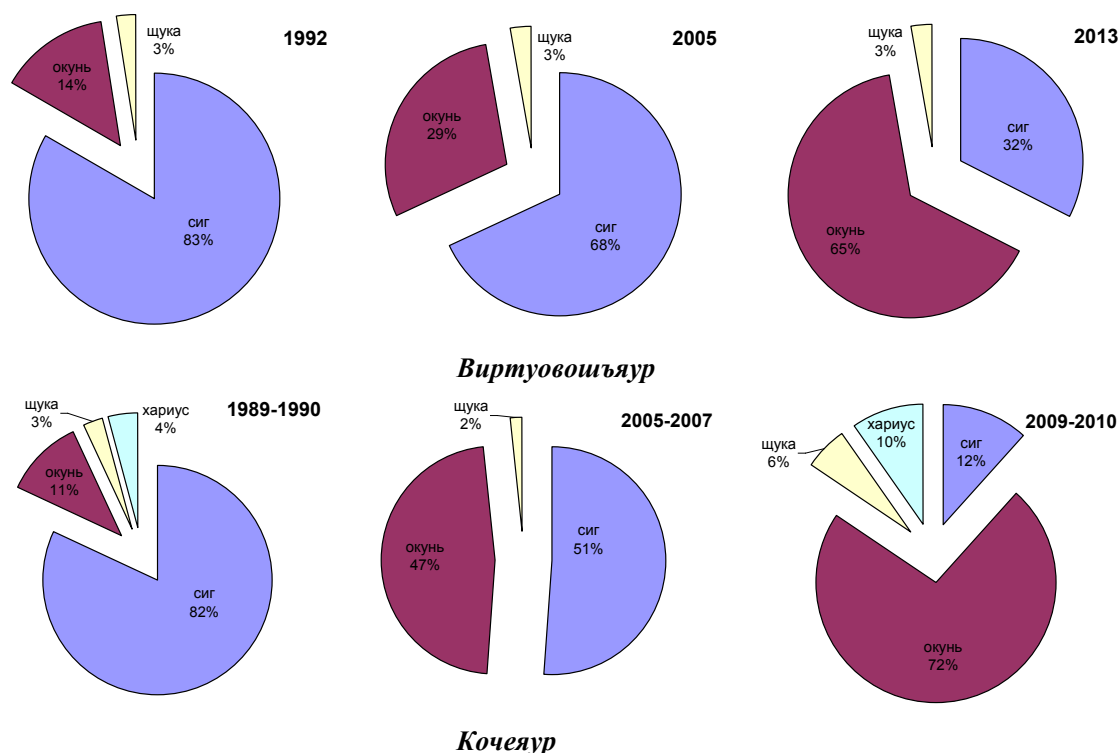


Рис. 2. Видовой состав уловов исследованных озер за многолетний период

Помимо изменений в структуре рыбного населения для исследованных озер отмечена тенденция к снижению размерно-весовых показателей сига. Сравнение размерно-весовых показателей сига оз. Кочегур и Виртуовошъяур за период около 20 лет в целом показывает снижение массы и размеров особей сига. Основу популяции сига исследованных водоемов в основном составляют особи младших возрастных групп (рис. 3). Возрастное распределение сига имеет сложный характер, где отсутствует свойственное природным ненарушенным экосистемам нормальное распределение возрастных классов. Данные изменения свидетельствуют о неравномерном пополнении популяции, а вариабельность размерно-весовых и возрастных показателей сига исследованных озер на фоне влияния природных факторов, очевидно, обусловлена влиянием промышленного загрязнения вод.

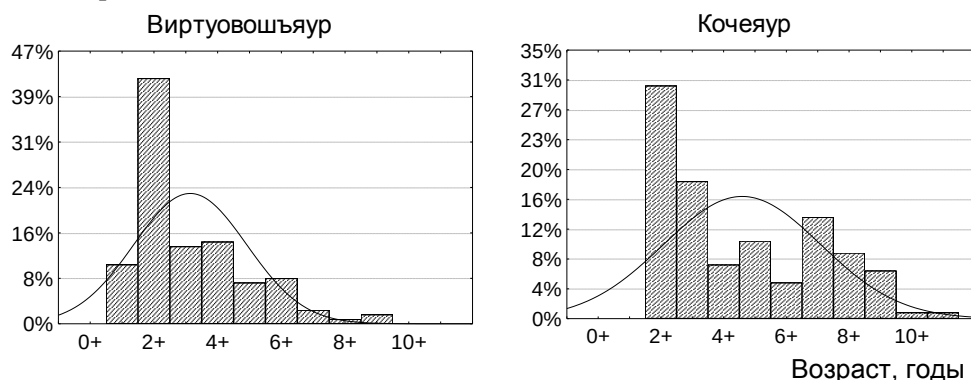


Рис. 3. Возрастное распределение сига исследованных озер (в % от общей численности в уловах)

На организменном уровне биологические ответы на снижение качества вод проявляются в патологических трансформациях внутренних органов и тканей. Анализ многолетних данных частоты встречаемости отклонений у рыб (сиг) также свидетельствует о сохраняющемся уровне нагрузки на пресноводные экосистемы (рис. 4). У сига исследованных озер, несмотря на достаточное удаление от комбината отмечена выраженная тенденция к росту числа особей с трансформациями печени, органов репродуктивной и выделительной системы.

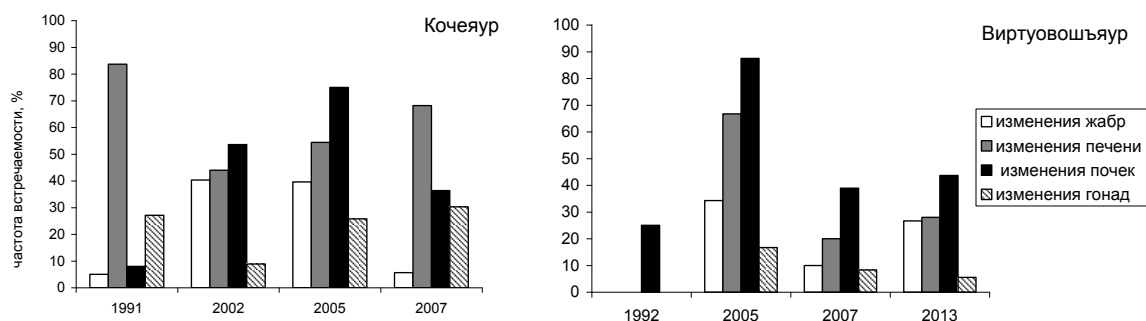


Рис. 4. Патологические изменения внутренних органов сига исследованных водоемов

Изучение состояния рыбной части сообщества озер приграничного района показало, что процессы, происходящие в экосистемах в целом имеют черты, регистрируемые в настоящее время в водоемах арктических широт. Изменения, отмечаемые на всех уровнях организации экосистем, включая состояние представителей ихтиофауны, являются свидетельством снижения качества вод в условиях усиления процессов антропогенного загрязнения, эвтрофирования, увеличения скорости естественных сукцессионных преобразований. Аналогичные процессы зарегистрированы как для крупных озерно-речных систем Мурманской области, подверженных значительной антропогенной нагрузке, так и для озер фоновых районов региона, сохраняющих черты естественных водоемов (Терентьев, Кашулин, 2012). Скорости преобразований в гидробиологических сообществах, включая рыб, происходят стремительными темпами, что может иметь негативные и драматические последствия в ближайшее десятилетие. Функционирование пресноводных экосистем Арктики в настоящее время требует разработки комплексного подхода к решению задач сохранения их ресурсного потенциала.

Литература

1. Аршаница Н.М., Лесников Л.А. Патолого-морфологический анализ состояния рыб в полевых и экспериментальных токсикологических исследованиях // Методы ихтиотокси-кологических исследований. Л.: ГосНИОРХ НПО Промрыбвод, 1987. С. 7–9.
2. Атлас пресноводных рыб России в 2-х томах. Наука, 2003. Т. 1. 379 с.
3. Известия всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Т. XLVI. Ленинград, 1956. 65 с.
4. Кашулин Н.А. Рыбы Северной Фенноскандии в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. 130 с.
5. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М., Кашулин А.Н. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник МГТУ, 2013. Т. 16. № 1. С. 98-107.
6. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С., Терентьев П.М., Денисов Д.Б. Влияние цветной металлургии на состояние субарктических пресноводных экосистем // Цветные металлы, 2011. № 11. С. 71-75.
7. Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
8. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 456 с.
9. Терентьев П.М., Кашулин Н.А. Трансформации рыбной части сообществ водоемов Мурманской области // Труды Кольского научного центра РАН. Изд-во КНЦ РАН, 2012. Вып. 2. С. 61-100.
10. Kashulin N., Koroleva I., Terentjev P., Amundsen P.-A., Gjelland K.Ø., Sandimirov S., Kudryavtseva L., Örn M., Lien C., Dalsbø L., Knudsen R. State of fish populations in small forest lakes in the Norwegian, Finnish and Russian area // In: 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 6/2007. (URN: ISBN: 978-952-11-2591-1, ISBN: 978-952-11-2591-1). 2007. 47 p
11. Kashulin N.A., Dauvalter V.A., Terentjev P.M., Sandimirov S.S., Koroleva I.M. Catalogue of lakes in the Russian, Finnish and Norwegian Border Area // Finland, Kuopio: Kopijyva Oy, 2008. 141 p.

Тимофеева В.В.

Институт леса Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
timofeevavera2010@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ФЛОРЫ МАКРОФИТОВ ОЗЕРА ТАЛАЯ ЛАМБА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Малое лесное озеро Талая ламба, является необычным для климатических условий Карелии незамерзающим водоемом с преимущественно подземным (родниковым) питанием. Озеро расположено в Медвежьегорском районе восточнее оз. Хейзъярви, в 15 км к северо-западу от пос. Юстозеро (62°51'39.1" с.ш., 33°18'34.14" в.д.). Всего в пределах водосбора ламбы находится 18 небольших бессточных озер, объединенных под общим названием – Талая ламба. В 1984 г. здесь был организован Государственный гидрологический заказник регионального значения «Озеро Талое».

Для побережья озера характерны высокие берега с крутыми склонами, поросшие сосновыми и елово-сосновыми лесами, в напочвенном покрове преобладают брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) и черника (*V. myrtillus*). На более пологих берегах лесной покров представлен березняками разнотравными с примесью ели и осины. Согласно применяемым ботаниками схемам флористического районирования, озеро расположено в пределах Заонежского флористического района (Раменская, 1983; Кравченко, 2007). Длина ламбы – около 300 м, ширина – до 70 м, глубина – до 6 м. Минерализация воды варьирует в пределах 90-150 мг/л. По преобладающим ионам воды водосбора Талая ламба относятся к гидрокарбонатным кальциево-магниево-магниево-кальциевым; по степени жесткости характеризуются как мягкие и очень мягкие (Богачев и др., 1979).

Несмотря на удаленность от населенных пунктов в XVII-XVIII вв. экосистемы озера подвергались активному антропогенному воздействию в связи с ведением здесь железоделательного промысла. По наблюдениям М.А. Богачева (2011, устн. сообщ.), в 1996-1997 гг. на озере поселились бобры, в результате деятельности которых из-за подтопления леса, площадь обводненной территории увеличилась примерно в 1.5 раза.

Впервые гидрботанические исследования оз. Талая ламба были проведены нами в 2011-2012 гг. Флора Талой ламбы сравнивалась с 6 малыми озерами Карелии, которые расположены в схожих типах ландшафта и находятся в пределах одного флористического района.

Небольшие размеры оз. Талая Ламба и перекрытый двумя бобровыми плотинами ручьевого сток, обусловили практически повсеместное распространение затишной илистой литорали (более 90% всей литоральной зоны) с незначительными вкраплениями песчаных и песчано-илистых грунтов преимущественно в северной части озера.

Всего во флоре озера выявлены 26 водных и прибрежно-водных видов макрофитов, из которых 25 – виды сосудистых растений, 3 вида – мхи.

Сравнительный анализ показал, что по ряду флористических параметров (таксономическое разнообразие, экологическая структура), Талая Ламба существенно отличается от многих малых озер Карелии, расположенных в близких по структуре типах ландшафта (например, озера Голубая ламба, Коверъярви, Рапсудозеро и Урос).

Разнообразие макрофитов Талой ламбы почти в 1.5 раза выше, чем, например, на равноценном по площади оз. Голубая Ламба (Кондопожский р-он; площадь – 0.039 км²; 18 видов) и сопоставимо с флорами некоторых озер Заонежского полуострова, площадь которых в 12–35 раз больше (оз. Гижозеро и Кондозеро: по 26 видов макрофитов).

Анализ экологических групп показал, что водная флора оз. Талая ламба (гидрофиты, гелофиты, гигрогелофиты) отличается более выраженной структурой и включает около 85% всех видов, тогда как на других 6 озерах участие водных видов может быть почти в два раза слабее (44.4-70.2%). Сравнение флоры оз. Талая ламба с флорами других озер района исследований (коэффициент Сьеренсена-Чекановского, K_{sc}), выявило их очень низкое сходство ($K_{sc} = 0.2-0.3$). При этом, между флорами Талой ламбы и наиболее соразмерной по площади Голубой ламбой (18 видов) сходство практически отсутствует – обнаружен только 1 общий вид *Menyanthes trifoliata*, а $K_{sc} = 0.04$. Данное различие обусловлено гидрологическими особенностями каждого озера: Талая Ламба является водоемом с очень активными процессами водообмена, что обуславливает разнообразие здесь видов, требовательных к повышенному минеральному питанию (*Potamogeton berchtoldii*, *Scorpidium scorpioides*, *Utricularia vulgaris*). Оз. Голубая ламба, наоборот, относится к типу олиготрофных озер с очень низкой степенью минерализации воды, не имеет притоков и видимого стока.

Для оз. Талая ламба характерен смешанный (сплавинно-донный) тип зарастания литорали. Общее проективное покрытие макрофитов составляет около 90%, при этом площадь открытой воды, не заросшей сплавиной мха и не занятой подтопленными поваленными деревьями, составляет около 45-50% акватории озера. Многочисленные разновеликие сплавины, покрывающие примерно 30-35% дна, толщи и поверхности воды, представлены группировками гидрофильного мха *Warnstorfia exannulata*. Немногочисленные группы или единичные экземпляры *Calliergon megalophyllum* и *Scorpidium scorpioides* встречаются на глубине 1-1.5 м на участках не заросшей илистой литорали.

Среди фитоценозов образованных сосудистыми растениями наибольшее распространение получили монодоминантные сообщества ежеголовника плавающего (15-20% всей литорали), а также *Sparganium natans* с примесью *Potamogeton natans*, *Myriophyllum alterniflorum* и *Utricularia vulgaris*.

Таким образом, из-за подтопления, вызванного деятельностью бобров более 15 лет назад, растительный покров озера Талая Ламба испытывает в настоящее время существенную трансформацию, которая выражается в сплошном (вся тоща воды) зарастании акватории моновидовыми сообществами гидрофильных мхов и 1-3 видовыми группировками сосудистых растений.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 11-05-01140_a.

Литература

1. Богачев М.А., Иешина А.В., Ильин В.А., Поленов И.К., Соколов С.Я. Подземные воды флювиогляциальных отложений на примере района Талая ламба // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1979. С. 123–136.
2. Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 403 с.
3. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л., 1983. 216 с.

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ БЕЛОГО МОРЯ (2001-2013 гг.)

В данной работе в качестве материала для анализа использованы данные, полученные в результате комплексного мониторинга Белого моря в 2001-2013 гг. Работы осуществлялись по единой сетке станций, охватывающей все Белое море. Всего выполнялось 42 станции в весенний, летний и осенний периоды года. На каждой станции проводились гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования. Кроме того осуществлялись работы по оценке загрязнения морских экосистем, по целому ряду показателей (нефтеуглеводороды, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, фенолы, алюминий).

Гидрологические исследования. Для оценки изменчивости термического режима вод Белого моря наряду с материалами, полученными в рейсах, были использованы данные береговых гидрометеостанций Северного управления гидрометеослужбы (СевУГМС).

В результате проведенных гидрологических исследований была получена сезонная и многолетняя изменчивость термохалинных характеристик вод Белого моря. Были посчитаны сезонные отклонения (аномалии) этих характеристик от среднемноголетних. Весеннему термическому распределению водных масс соответствуют период с мая по июнь, летнему – с июля по август, осеннему – с сентября по октябрь.

В период 2008-2013 гг. весенний термический режим вод Белого моря характеризовался постепенным увеличением прогрева водных масс, начиная с 2009 г. В 2011 г. отклонения среднегодовой температуры вод моря от среднемноголетней составили + 2.4°C, в 2012 г - + 1.6°C, в 2013 г. наблюдался пик прогрева (аномалия температуры + 3.1°C). В северных районах моря (Горло, Мезенский залив, Воронка) наблюдался постепенный прогрев вод без ярко выраженных межгодовых колебаний (рисунок).

Аномалии температур водных масс летнего периода в 2008 г. по всей акватории Белого моря характеризовались градацией «ниже нормы». Наименьший прогрев фиксировался в Кандалакшском заливе и Бассейне (отклонения аномалий температуры воды от среднемноголетних значений – 1.5°C). Но уже начиная с 2009 г., как и весной, наблюдается ежегодный прогрев водных масс выше многолетней нормы. В 2011 г. до +19°C, со значительным снижением до +0.1°C в 2012 г., и с пиком прогрева в летний период в 2013 г. (аномалия температуры +1.5°C).

В осенний период в целом повторяются тенденции весеннего и летнего изменения температуры по годам, но с тем отличием, что после максимального осеннего прогрева водных масс в 2001 г. (+2.0°) наблюдается постепенное снижение отклонений среднегодовых значений температуры водных масс моря от среднемноголетнего значения (рис. 1).

Гидробиологические исследования. Исследования продукционных характеристик планктона Белого моря в целом в 2001-2013 гг. показали, что все они (биомасса, первичная продукция, запас) подвержены значительной сезонной и многолетней изменчивости. Вместе с тем, существуют и определенные закономерности в создании и распределении биомасс и продукции планктона в Белом море. В течение года продукция морской экосистемы обычно лимитируется чередованием многих факторов. Кроме этого, снижение биомассы продуцентов консументами может приводить как к увеличению их продуктивности, так и к снижению. В водной среде чаще всего лимитирующими факторами выступают биогенные соединения, свет и интенсивность выедания.

Характер изменения средней биомассы фитопланктона Белого моря по сезонам имел примерно одни и те же закономерности в различные периоды наблюдений: максимум – весной, минимум – осенью, летом – промежуточные значения. В период 2010-2012 гг. было отмечено некоторое снижение средней биомассы фитопланктона в весенний период и значительное ее увеличение в осенний.

Сравнивая значения биомасс фитопланктона в отдельные периоды 2001-2013 гг. с предыдущими десятилетиями, можно заметить, что средние годовые значения биомассы фитопланктона в Белом море остаются примерно на том же уровне, что и 20-30 лет назад. Отмечается лишь незначительное уменьшение ее значений в весенний период года и увеличение примерно в полтора раза в летний период. В осенний период года, биомасса фитопланктона в Белом море в последнее десятилетие несколько возросла (табл. 1).

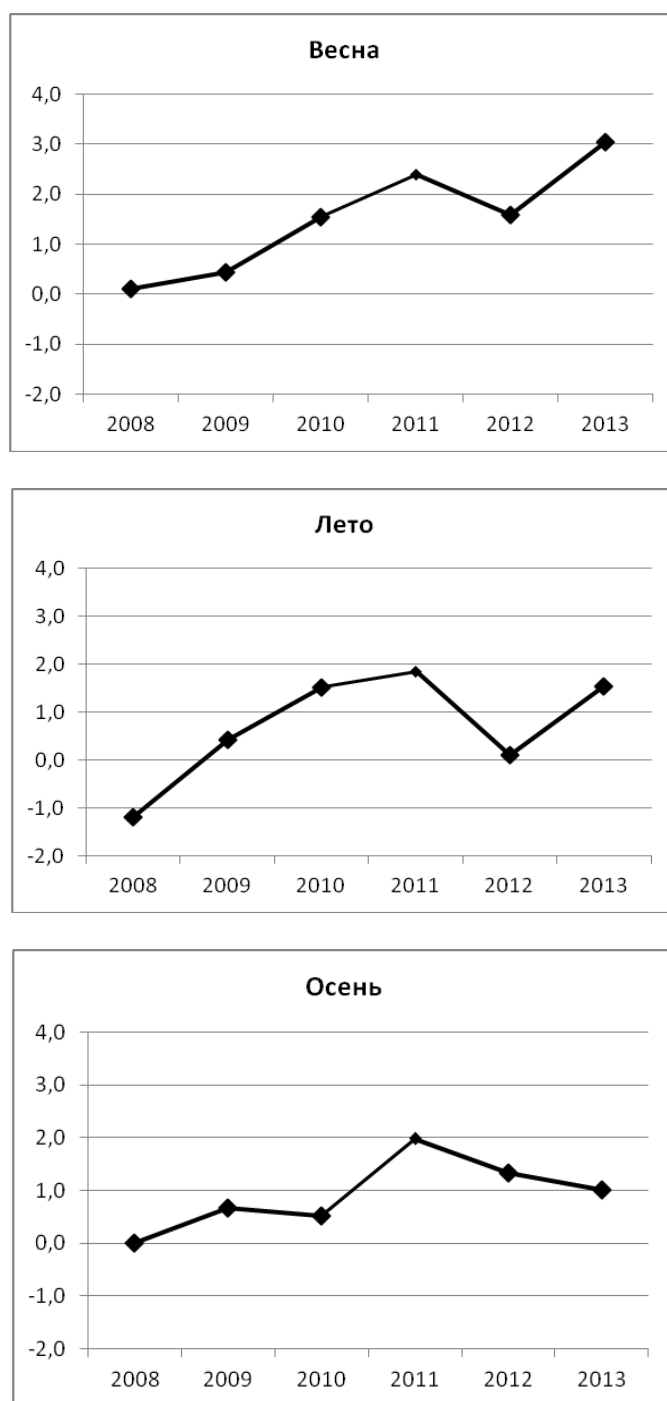


Рис. 1. Отклонения среднегодовых значений температуры вод Белого моря от многолетних величин по сезонам 2008-2013 гг.

Таблица 1

Среднемноголетние значения биомассы фитопланктона Белого моря
в различные периоды наблюдений, мг/м³

Год	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
1980-1992	444	283	153	293
2001-2008	578	377	142	366
2010 -2012	320	-	260	290
2001-2013	471	377	177	342

Таблица 2

Многолетняя динамика запасов фитопланктона Белого моря

Период	Запас	
	т/км ²	млн т
2001-2008 гг.	2.980	0.150
2010-2012 гг.	2.361	0.119
2001-2013 гг.	2.785	0.140

Как видно из таблицы 2, запасы фитопланктона в целом по Белому морю, имеют общую тенденцию к понижению своих значений в последние годы.

Полученные результаты по уровню продукционного процесса в различных районах моря, позволили оценить вклад каждой части акватории в суммарную годовую продукцию фитопланктона (табл. 3).

Таблица 3

Запас фитопланктона в Белом море по районам в 2001-2013 гг.

Район	Весна		Лето		Осень		Среднегодовое	
	млн т	т/км ²	млн т	т/км ²	млн т	т/км ²	млн т	т/км ²
Двинский залив	0.028	2.952	0.023	2.409	0.010	1.038	0.020	2.133
Онежский залив	0.009	0.761	0.008	0.671	0.004	0.336	0.007	0.589
Кандалакшский залив	0.025	3.910	0.019	2.980	0.010	1.590	0.018	2.827
Бассейн	0.148	6.787	0.103	4.734	0.041	1.916	0.097	4.479
Итого по морю:	0.210		0.153		0.065		0.142	

Наибольший вклад в создание общей первичной продукции моря вносит Бассейн (62%), наименьший - Онежский залив (5%), Двинский и Кандалакшский заливы примерно равны по уровню создания среднегодовой первичной продукции в Белом море (16-17%).

Наиболее продуктивным в 2001-2013 гг. в среднем отличается период биологического лета, в период 2001-2008 гг. – период биологической весны, а в 2010-2012 гг. – период биологической осени (табл. 4, 5, 6).

Таблица 4

Продукция фитопланктона в Белом море по районам в 2001-2013 гг.

Район	Весна мг С/(м ³ ·ч)	Лето мг С/(м ² ·ч)	Осень г С/(м ² ·сутки)	Годовая продукция, млн т С в год
Двинский залив	8.484	8.339	6.237	0.783
Онежский залив	4.872	6.172	5.516	0.259
Кандалакшский залив	5.416	5.249	4.808	0.736
Бассейн	6.416	6.110	4.902	2.911
Среднее	6.297	6.467	5.366	4.689

Таблица 5

Сезонные колебания продуктивности фитопланктона поверхностного горизонта
Белого моря в 2001-2013 гг., мг С/(м³·ч)

Год	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
2001-2008	7.275	6.268	4.276	5.940
2010 -2012	4.194	-	7.651	5.923
2001-2013	6.168	6.268	5.317	5.705

Таблица 6

Многолетняя динамика первичной продукции фитопланктона поверхностного горизонта Белого моря

Период	P _{0м} , мг С/(м ³ ·ч)	P, мг С/(м ² ·ч)	P, г С/(м ² ·сутки)	Годовая продукция млн т С в год
2001-2008 гг.	5.940	14.274	0.171	1.571
2010-2012 гг.	5.923	14.238	0.170	1.562
2001- 2013 гг.	5.705	13.781	0.165	1.516

Наибольшие среднесуточные запасы зоопланктона в период 2001-2013 гг. в Белом море были отмечены в весенний период года (1.744 млн т), наименьшие – в осенний период – 0.534 млн т, в летний период занимает промежуточное значение по показателям общей биомассы зоопланктона в море (0.701 млн т) (табл. 7, 8).

Таблица 7

Многолетняя динамика запасов зоопланктона в среднем по всему
Белому морю в различные периоды наблюдений

Период	Запас	
	т/км ²	млн т
2001-2008 гг.	17.6	0.938
2010-2012 гг.	24.4	1.415
2001-2013 гг.	20.4	1.1

В весенний период года создается более 50% всей годовой биомассы зоопланктона

Наиболее богатым по запасам зоопланктона в период 2001-2013 гг. был Бассейн моря. Во все сезоны он обеспечивал более 70% общего количества зоопланктона в Белом море (табл. 8).

Вклад других районов моря в создание общих запасов зоопланктона был менее весомым. Кандалакшский залив во все сезоны года создавал примерно 20-22% от общих запасов; доля Двинского и Онежского заливов в летний период увеличивалась по своим значениям примерно в полтора раза, но при этом общий вклад их в создание запасов зоопланктона был относительно не велик. Двинский залив в среднем создавал за сезон 7-11% от общих запасов, Онежский – 2-6%.

Таблица 8

Динамика сезонных запасов зоопланктона в Белом море по районам в 2001-2013 гг.

Район	Весна		Лето		Осень		Среднегодовой	
	млн т	т/км ²	млн т	т/км ²	млн т	т/км ²	млн т	т/км ²
Двинский залив	0.128	13.4	0.076	7.9	0.039	4.0	0.081	8.5
Онежский залив	0.025	2.1	0.041	3.4	0.011	0.9	0.025	2.0
Кандалакшский залив	0.345	52.9	0.133	20.4	0.118	18.2	0.198	30.5
Бассейн	1.246	57.2	0.451	20.7	0.366	16.8	0.782	35.9
Итого по морю:	1.744		0.701		0.534		1.086	

Исследования по загрязнению вод Белого моря. За исследуемый период наблюдалось эпизодическое превышение нефтяными углеводородами уровня ПДК на отдельных участках различных районов Белого моря. Подобные явления зафиксированы в Двинском, Онежском, Кандалакшском, Мезенском заливах, Горле и Воронке. Анализ пространственного распределения нефтяных углеводородов представляет предположить, что источником их поступления в морские воды являлся речной сток. Наиболее отчетливо это было выражено в Двинском и Мезенском заливах.

В поверхностных слоях повышенное содержание нефтяных углеводородов было характерно для кутовой части Кандалакшского залива, северо-восточного района Бассейна и в районах портов Северодвинска и Кеми.

Как показали исследования, загрязнение нефтяными углеводородами носит неустойчивый характер. Это указывает на то, что загрязнение морских вод в фиксированной точке происходит лишь при прохождении через нее пятен с повышенным содержанием нефтепродуктов.

Многие тяжелые металлы, например медь, кадмий, цинк и др., являются биологически необходимыми для организмов, однако при превышении определенных концентраций эти же элементы становятся токсичными. В процессе биоаккумуляции тяжелые металлы переносятся по пищевым цепям, накапливаясь в организмах более высоко трофического уровня.

Данные о концентрациях тяжелых металлов в воде Белого моря полученные в исследуемый период, свидетельствуют о незначительном уровне загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Концентрации меди в поверхностном слое воды исследованных районов Белого моря варьировали от 0 до 0.001 мг/дм³ и соответствовали природному фоновому уровню. В весенний период наблюдались значения, превышающие ПДК, что очевидно связано с таянием снега и весенним половодьем.

По кадмию концентрации в основном были ниже порога чувствительности используемых методов химического анализа, и лишь в 2011г. в весенний период зафиксировано незначительное превышение ПДК (0.006 мг/дм³).

Фоновые концентрации цинка и свинца были ниже пределов обнаружения применяемого метода анализа, для цинка меньше 0.002 мг/дм³, свинца – меньше 0.01 мг/дм³.

Уровень загрязнения морских вод Белого моря тяжелыми металлами остается сравнительно низким. Концентрации их либо минимальны, либо находятся ниже предела обнаружения методов выполнения измерений.

Исключение составило содержание в пробах меди и кадмия в весенний период наблюдений, когда были зафиксированы концентрации, превышающие рыбохозяйственный норматив.

Фролова Л.А.¹, Нигаматзянова Г.Р.¹, Веттерих С.², Ширмайстер Л.²

¹Казанский Приволжский федеральный университет, г. Казань

Larissa.Frolova@kpfu.ru; GuRNigamatzyanova@kpfu.ru

²Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, г. Потсдам, Германия
sebastian.wetterich@awi.de

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА РЯДА ОЗЕР БАСЕЙНА Р. КОЛЫМЫ НИЖНЕКОЛЫМСКОГО УЛУСА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Республика Саха (Якутия), как и другие северные регионы, отличается не только суровым климатом, но и насыщенностью водными объектами. Находящиеся на территории республики огромные запасы пресной воды сосредоточены как в многочисленных озерах, так и в местных водотоках и крупных реках. В связи с тем, что водоемы северного региона крайне высокочувствительны к изменениям окружающей среды, с каждым годом возрастает необходимость в их изучении и мониторинге в целях сохранения уникальности природы высоких широт (Smol et al., 2005).

Зоопланктонные сообщества, являясь значимым компонентом водных экосистем, тесно связаны со всеми остальными звеньями биоты. Зоопланктон является одним из компонентов кормовой базы рыб и играет значительную роль в определении рыбопродуктивности водоема. В тоже время зоопланктонные организмы, в силу своих физических особенностей, выступают в роли индикатора климатических изменений и используются для оценки состояния водоемов (Болотова, 2010).

Летом 2012 г. в ходе совместной немецко-российской экспедиции в рамках проекта «Полигон» («Polygons in tundra wetlands: State and dynamics under climate variability in Polar Regions» (POLYGON) (DFG-RFBR)) в Северо-Восточной части республики Саха (Якутия) в пределах Нижнеколымского улуса были проведены комплексные гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования 28 водоемов. Один из водоемов был повергнут мониторингу, в течение июля-августа пробы отбирались регулярно, с периодичностью один раз в 6 дней.

Обнаружено в общей сложности 125 таксонов и 109 видов зоопланктонных организмов, из которых по числу видов преобладают коловратки (85 видов), из ракообразных обнаружено 23 вида Cladocera и 7 видов Copepoda. Т.е. зоопланктонное сообщество имеет ротаторно-кладоцерный характер. Численность сообщества определяют коловратки (*Rotaria neptunia*), биомассу – представители Cladocera (*Daphnia pulex*). В зоогеографической характеристике преобладают виды с широким ареалом распространения над видами северной фауны. Северные виды более представлены среди коловраток. Виды с голарктическим и палеоарктическим ареалами распространения преобладают среди ракообразных.

Зоопланктон водоема, подвергнутого более детальному мониторингу, как и другие водоемы региона исследований, имеет ротаторно-копеподитный характер. Всего обнаружено 67 таксонов и 61 вид. Из них коловратки представлены более разнообразно (50 видов – 79.7% от общего числа таксонов зоопланктона), намного меньше представителей низших ракообразных (9 видов ветвистоусых – 14.5% и 2 вида веслоногих ракообразных – 2.9%) (рис. 1).

Наибольшим видовым разнообразием коловраток отличились семейства Lecanidae, Colurellidae и Trichocercidae (по 7 видов), представители которых обитают преимущественно в заросших водоемах среди водной растительности, мха, реже встречаются в планктоне; из ветвистоусых ракообразных отличилось семейство Chydoridae (6 видов), виды которого также предпочитают

обитать у дна и в зарослях разнотипных водоемов. По зоогеографическому районированию в зоопланктоне данного водоема преобладают виды с широким ареалом распространением (в основном – коловратки), меньше видов Голарктики и Палеарктики, которые представлены преимущественно среди ветвистоусых и веслоногих ракообразных (рис. 2).



Рис. 1. Видовое разнообразие зоопланктона по основным группам (в процентах)



Рис. 2. Зоогеографическая структура зоопланктона исследованных водоемов

Доминирующими видами в зоопланктонном сообществе являлись виды р. *Lecane* из Rotifera, *Chydorus sphaericus* (Muller, 1785) и *Alona quadrangularis* (Muller, 1785) из Cladocera, а также науплиальные и копепоидитные стадии Copepoda.

Количественные показатели зоопланктона, рассчитанные нами, выше подобных показателей зоопланктона северных водоемов (Вишнякова, 2010, Frolova, 2013), в основном благодаря развитию многочисленных коловраток и науплиальных стадий Copepoda. Численность обуславливают коловратки, в меньшей степени веслоногие ракообразные. К примеру, коловратка *Keratella quadrata* (Muller, 1786) обуславливает 20.4% от численности зоопланктона, науплиусы – 11.04%. Биомассу определяют в основном науплиальные и копепоидитные стадии веслоногих ракообразных, 25.4% от численности зоопланктона.

Пробы с маркировкой 12-Рок-1-4, отобранная в конце июля, отличилась максимальными количественными показателями, где максимальные значения зоопланктона пробы обусловлены неполовозрелыми стадиями видов Copepoda.

Во временном аспекте, до конца июля увеличивались показатели численности и биомассы групп зоопланктона, а за тем - их резкий спад в начале августа. Данную динамику можно связать как с жизненными циклами зоопланктонных организмов, так и с погодными условиями при отборе проб.

Согласно полученным данным, исследуемое озеро имеет ротаторно-копепоидный характер и отличается высокими количественными показателями. Численность обуславливают коловратки и неполовозрелые стадии веслоногих ракообразных, биомассу определяют в основном низшие ракообразные. По мере отбора проб с водоема в зоопланктонном сообществе возрастают количественные показатели, которые затем снижаются и вновь начинают возрастать.

Литература

1. Болотова Н.Л., Борисов М.Я., Думнич Н.В. Структура сообществ экосистем крупных озер Вологодской области как индикатор изменения климатических условий климата // Тезисы докладов IV международной конференции «Современные проблемы гидроэкологии». Санкт-Петербург: Зоологический институт Российской Академии наук, 2010. С. 28.
2. Вишнякова И.И., Абрамова Е.Н. Зоопланктон различных водоемов южной части дельты р. Лена / IV международная конференция «Современные проблемы гидроэкологии». Санкт-Петербург, 2010. С. 37.
3. Frolova L.A., Nazarova L.B., Pestryakova L.A., Herzsuh U. Analysis of the Effects of Climate-Dependent Factors on the Formation of Zooplankton Communities that Inhabit Arctic Lakes in the Anabar River Basin // Contemporary Problems of Ecology, 2013, Vol. 6, No. 1. PP. 1–11.
4. Smol JP, Wolfe A, Birks HJB, Douglas MSV, Jones VJ, Korhola A, Pienitz R, Rühland K, Sorvari S, Antoniades D and co-authors. Climate-driven regime shifts in the bio-logical communities of arctic lakes // Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 2005. 102. PP. 4397–4402

Чекрыжева Т.А., Рыжков Л.П.

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

Tchekryzheva@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗ. СВЯТОЗЕРО ПО ФИТОПЛАНКТОНУ

Водные экосистемы Республики Карелия испытывают воздействие различных антропогенных факторов. Возрастающее в последние десятилетия использование естественных водоемов республики с целью товарного разведения форели может приводить к усилению их эвтрофирования и снижению качества воды (Ильмаст и др., 2007, 2008; Китаев и др., 2008; Стерлигова и др., 2009; Рыжков и др., 2010, 2011; Стерлигова и др., 2011).

Озеро Святозеро (61°32' с.ш., 33°35' в.д.), расположенное в средней части водосбора р. Шуи (бассейн Балтийского моря), имеет небольшую площадь зеркала (9.9 км²) и водосбора (40.6 км²), является мелководным (средняя глубина 6.8 м), олигогумусным водоемом (16° Pt-Co шкалы) со слабокислой или нейтральной реакцией среды (рН 6.2–7.6, в среднем 6.9) и невысокой степенью минерализации ($\Sigma_{\text{и}}$ = 28.7 мг/л) (Сабылина и др., 1998; Каталог., 2001; Справочник., 2013).

Первые фрагментарные исследования фитопланктона оз. Святозеро, выполненные в 1950-е гг. прошлого столетия (Александров и др., 1959), были продолжены в дальнейшем в рамках программы мониторинга водной среды республики (Чекрыжева, 1998; Чекрыжева, Потахин, 2008; Чекрыжева, Комулайнен, 2010; Ильмаст и др., 2008; Генкал, Чекрыжева, 2011). В настоящее время, в связи с появлением нового антропогенного фактора (товарное форелеводство), исследования фитопланктона проведены с целью оценки качества воды озера в районе расположения садков форелевого хозяйства.

Цель работы заключалась в выявлении видового состава фитопланктона, анализа его таксономической и размерной структуры, экологических особенностей видов водорослей, уровня количественного развития фитопланктона, оценке качества воды по фитопланктону.

Пробы фитопланктона отобраны в июле 2013 г. в районе садков форелевого хозяйства и на разном удалении (110 м и 500 м в северном и южном направлениях) от места их расположения. Обработку проб осуществляли в соответствии с общепринятыми методами (Методика изучения..., 1975). К нанопланктонной фракции фитопланктона отнесены водоросли размером 10–30 мкм, а более крупные – к микропланктонной (Михеева и др., 1998). Индикаторную значимость видов водорослей и оценку качества воды определяли по (Макрушин, 1974; Вассер и др., 1989; Окснюк и др., 1993; Баринова и др., 2006). Значения индекса сапробности (S_c) рассчитывали по биомассе видов-индикаторов сапробности.

В составе летнего фитопланктона озера выявлено 64 таксона водорослей рангом ниже рода в следующем соотношении по систематическим отделам: диатомовые (Bacillariophyta) – 25 (39%), зеленые (Chlorophyta) – 19 (30%), золотистые (Chrysophyta) – 6 (9%), синезеленые (Cyanophyta) – 6 (9%), динофитовые (Dinophyta) – 3 (5%), криптофитовые (Cryptophyta) – 3 (5%), эвгленовые (Euglenophyta) – 2 (3%). Наиболее высокое видовое разнообразие имеют диатомовые (39% от общего списка), зеленые (30%), золотистые (9%) и синезеленые (9%) водоросли, составляющие в сумме 87% от общего списка. Следует отметить, что структура видового состава фитопланктона озера за длительный период, прошедший со времени предыдущих исследований, существенных изменений не

претерпела. Как в настоящее время, так и прежде (лето 1994 г., весна 2006 г.), разнообразнее представлены диатомовые и зеленые водоросли (Чекрыжева, 1998; Ильмаст и др., 2007). Соотношение таксонов, когда основу списка составляют представители вышеперечисленных отделов водорослей характерно для фитопланктона большого числа озер Карелии и, в целом, для водоемов умеренных широт (Трифенова, 1990; Альгофлора озер..., 2006).

Флористический анализ фитопланктона показал, что диатомовые водоросли представлены видами из родов *Aulacoseira*, *Tabellaria*, *Fragilaria*, *Cyclotella*, *Cyclostephanos*, *Discostella*, *Asterionella*, *Synedra*, *Nitzschia*. Разнообразие зеленых водорослей формируется хлорококковыми (*Cosmarium*, *Elakatotrix*, *Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Sphaerocystis*, *Schroederia*, *Coelastrum*, *Oocystis*), вольвоксовыми (*Chlamydomonas*) и десмидиевыми (*Closterium*, *Pediastrum*, *Staurastrum*). Золотистые представлены видами из родов *Chrysococcus*, *Kephyrion*, *Mallomonas*, динофитовые – из родов *Ceratium*, *Peridinium*, *Peridiniopsis*, криптофитовые – из родов *Chroomonas*, *Cryptomonas*, *Rhodomonas*, эвгленовые – из рода *Trachelomonas*. Из синезеленых встречаются виды из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Snowella*, *Woronichinia*.

Состав доминирующих в планктоне озера видов однообразен, массовыми видами на всех обследованных участках озера, как по численности, так и по биомассе, являлись *Fragilaria crotonensis* Kitton (диатомовые), *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin (динофитовые), *Anabaena crassa* (Lemmermann) Komark.-Legn. & Cronberg, *Woronichinia naegelianae* (Unger) Elenkin (синезеленые). Следует отметить, что в середине 1990-х гг. (Чекрыжева, 1998) в группу летних доминантов входили виды из родов *Aulacoseira*, *Cyclotella* (диатомовые), *Trachelomonas* (эвгленовые). Весной 2006 г. (Ильмаст и др., 2007) к массовым были отнесены *Fragilaria crotonensis*, виды из родов *Aulacoseira* и *Cyclotella* (диатомовые), а также *Ceratium hirundinella* (динофитовые).

Эколого-географический анализ показал, что в планктоне широко распространены космополитные виды (83%), относящиеся к планктонным формам (93%). По отношению к солености воды по классификации Кольбе (Прошкина-Лавренко, 1953) преобладают индифферентные (61%) и галофильные (27%) виды. По отношению к кислотности водной среды индифферентные виды составляют 59%, на долю алкалофильных видов, предпочитающих слабощелочные воды, приходится 41%.

Одним из наиболее информативных показателей структуры сообщества является индекс разнообразия Шеннона, который рассчитывается по биомассе отдельных видов (H_b) и учитывает вклад каждого вида в суммарную биомассу сообщества. Индекс видового разнообразия Шеннона связан с видовым составом, характеризует степень сложности структуры фитоценоза и, поэтому, широко используется при оценке экологического состояния водной экосистемы. За летний период исследований 2013 г. средняя величина индекса разнообразия Шеннона для всех станций составляла 1.42, варьируя от 1.17 до 1.95. Минимальное значение индекса разнообразия Шеннона 1.17 отмечено в районе садков. Амплитуда индекса Шеннона в летний период 1994 г. была выше, его значения находились в пределах 2.37-2.93, составляя в среднем 2.60.

Анализ количественных показателей развития фитопланктона в летний сезон 2013 г. показал, что средние значения численности и биомассы фитопланктона в озере достигают 719.0 тыс. кл./л и 0.829 г/м³ (табл. 1), а максимальные их значения не превышают 1.5 млн кл./л и 1.5 г/м³. Полученные в период исследований количественные показатели фитопланктона, оцененные с использованием общепринятых в гидробиологии трофических классификаций и шкал (Китаев, 1984, 2007; Трифенова, 1990), соответствуют уровню мезотрофных вод. В прежние годы исследований (июль 1994 г.) средние значения численности и биомассы фитопланктона в озере составляли 429,2 тыс. кл./л и 0.805 г/м³. Численность фитопланктона находилась в пределах 102.5-970.0 тыс. кл./л, биомасса – 0.193 и 1.652 г/м³. В 2006 г. количественные показатели весеннего фитопланктона достигали 315.0 тыс. кл./л для численности и 1.575 г/м³ (Ильмаст и др., 2008).

Основная часть численности фитопланктона формируется диатомовыми и синезелеными, а биомассы – динофитовыми и диатомовыми водорослями (табл. 2). В 1994 г. численность и биомасса летнего фитопланктона определялась диатомовыми водорослями (соответственно 62% и 60%), а в весенний сезон 2006 г. на их долю приходилось 77% численности и 37% биомассы. Значительным в общую биомассу в этот же период был вклад динофитовых (26%), синезеленых (20%) и зеленых (16%) водорослей.

В составе фитопланктона, выявлено 13 видов, относящихся к нанопланктону: диатомовые (Bacillariophyta) – 2, зеленые (Chlorophyta) – 7, золотистые (Chrysophyta) – 2, криптофитовые (Cryptophyta) – 1, эвгленовые (Euglenophyta) – 1 вид. В среднем численность мелкоразмерной (нанопланктон) фракции достигала 23.0 тыс. кл./л, а биомасса 0.068 г/м³, что составляет в среднем от общих величин численности и биомассы фитопланктона, соответственно, 3% и 7% (максимально

для численности 6%, для биомассы – 13%). В целом, в составе численности и биомассы фитопланктона преобладает крупноразмерная (> 50 мкм) фракция. В летний сезон 1994 г. биомасса нанофитопланктона в среднем составляла 0.482 г/м^3 (63% от общей), что значительно превосходило величины, полученные в 2013 г. и свидетельствовало о лучшей кормовой базе для зоопланктона.

Таблица 1

Количественные показатели фитопланктона

Показатель	Фитопланктон		Нанофитопланктон			
	Численность	Биомасса	Численность		Биомасса	
	тыс. кл./л	г/м ³	тыс. кл./л	%	г/м ³	%
Среднее	719.0	0.829	23.0	3	0.068	7
Минимальная	231.0	0.274	7.0	1	0.015	3
Максимальная	1365.0	1.435	58.0	6	0.185	13

Таблица 2

Численность и биомасса (%) разных групп водорослей от общей биомассы

Показатель	Диатомовые	Динофитовые	Синезеленые	Другие
Численность (%)	59	2	35	4
Биомасса (%)	29	51	13	7

Планктонные водоросли, являющиеся индикаторами качества воды и степени ее сапробности, одними из первых реагируют на изменение условий в водоеме. Сапробиологический анализ фитопланктона (по отношению к содержанию органического вещества) озера выявил виды, являющиеся показателями той или иной степени органического загрязнения среды. К индикаторам β -мезосапробной степени загрязнения относилось большинство (41%) видов. Олиго- β -мезосапробные (34%) и олигосапробные (14%) виды вместе составили 48% от всех видов-индикаторов сапробности.

Таблица 3

Распределение индикаторов органического загрязнения по группам сапробионтов

Характеристика	Число таксонов	%
Сапробность:		
Олигосапробы (о)	4	14
Олиго- β -мезосапробы (о- β)	10	34
β -мезосапробы (β)	12	41
β - α -мезосапробы (β - α)	1	3
α -мезосапробы (α)	2	7
Всего	29	100

Анализ распределения числа индикаторных видов сапробности по станциям выявил наименьшее количество видов индикаторов олиго- β -мезосапробных условий среды и отсутствие видов-индикаторов олигосапробных условий в месте расположения садков. Виды, показатели β - α -мезосапробных и α -мезосапробных условий отмечены только в районе садков и составляют 63% от общего количества всех встреченных видов индикаторов сапробности, в то время как в других участках озера доля видов индикаторов β -мезосапробных и β - α -мезосапробных колеблется от 13% до 50%.

Значения индекса сапробности (S_c), рассчитанного по биомассе индикаторных видов водорослей, в июле 2013 г. для всех обследованных участков озера находились в пределах 2.1–2.5 (среднее значение 2.3), что позволяет отнести их к 3 классу чистоты вод (умеренно-загрязненные, α -мезосапробная зона) (Оксиук, и др., 1993). Следует заметить, что летними исследованиями 1994 г. воды озера характеризовались, как схожими, так и несколько повышенными значениями индексов сапробности (2.4–2.9, в среднем 2.6) и их качество, также, оценивалось, в основном, уровнем третьего класса чистоты (Чекрыжева, 1998).

Таким образом, в летней альгофлоре выявлено 64 таксона рангом ниже рода с наибольшим видовым разнообразием диатомовых (39% от общего списка), зеленых (30%) и синезеленых (9%) и золотистых (9%) водорослей, составляющих в сумме 87% от общего списка, что характерно для фитопланктона большого числа озер Карелии и, в целом, для водоемов умеренных широт. В эколого-географическом отношении планктонная альгофлора озера представлена широко распространенными космополитными видами (83%), относящимися к планктонным формам (93%), индифферентными по отношению к солености воды (61%) и к кислотности водной среды (59%).

Уровень ценотического разнообразия (по индексам Шеннона) на всех станциях в исследуемой условно-чистой части озера существенно не различался, варьируя от 1.17 до 1.95, составляя в среднем 1.42. Следует отметить снижение индекса в месте расположения садков ($H_b = 1.17$). В составе численности и биомассы фитопланктона преобладала крупноразмерная (> 50 мкм) фракция. Доля мелкоразмерной (кормовой) нанопланктонной фракции составляла в среднем от общих величин численности и биомассы фитопланктона, соответственно, 4% и 7% (максимально для численности 6%, для биомассы – 13%).

Уровень количественного развития фитопланктона не превышал отмеченных максимальных величин 1.5 млн.кл/л для численности и 1.5 г/м³ для биомассы. Средние значения численности и биомассы фитопланктона в озере составляли 719.0 тыс. кл/л и 0.829 г/м³. Полученные в период исследований количественные показатели фитопланктона, оцененные с использованием общепринятых в гидробиологии трофических классификаций и шкал, соответствовали уровню мезотрофных вод. Основная часть численности формировалась за счет диатомовых и синезеленых водорослей, а биомассы – за счет динофитовых и диатомовых водорослей, что также указывает на повышенный уровень трофии вод озера.

Основная часть видов-индикаторов сапробности относилась к олигосапробным, олиго-β-мезосапробным и β-мезосапробным видам (89% от всех индикаторов сапробности). Сапробиологическое состояние разных участков озера в условиях влияния форелевого хозяйства, оцененное по значениям индексов сапробности (пределы 2.1–2.5; в среднем 2.3), оценивается уровнем 3 класса чистоты вод (умеренно-загрязненные, α-мезосапробная зона).

Литература

1. Александров Б.М., Беляева К.И., Покровский В.В. Оз. Святозеро // Озера Карелии (природа, рыбы и рыбное хозяйство). Справочник. Петрозаводск, 1959. С. 211-225.
2. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология / Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2006. 81 с.
3. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды // Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
4. Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова Думка, 1989. 608 с.
5. Генкал С.И., Чекрыжева Т.А. Центрические диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*, *Centrophyceae*) водоемов Карелии // Биология внутренних вод, 2011. № 1. С. 5–16.
6. Ильмаст Н.В., Иешко Е.П., Кучко В.Я., Павловский С.А. Экосистема Святозера: прошлое и настоящее // Общие проблемы мониторинга природных систем. Пенза, 2007. Ч. 2. С. 55–58.
7. Ильмаст Н.В., Китаев С.П., Кучко В.Я., Павловский С.А. Гидроэкология разнотипных озер южной Карелии. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2008. 92 с.
8. Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2001. 290 с.
9. Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озёр разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
10. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2007. 395 с.
11. Китаев С.П., Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Савосин Е.С. // Расчеты биогенной нагрузки от форелевой фермы на губу Святуха Онежского озера // Мат. науч. конф. «Водные и наземные экосистемы: пробл. и перспект. исследований» Вологда. ВГУ, 2008. С. 113-116.
12. Макрушин А. В. Библиографический указатель по теме. Л.: Наука, 1974. 53 с.
13. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 250 с.
14. Михеева Т.М., Остапеня А.П., Ковалевская Р.З., Лукьянова Е.В. Пико- и нанопланктон пресноводных экосистем. Минск.: Белгосунив, 1998. 196 с.
15. Озера Карелии. Справочник / Ред Н.Н. Филатов, В.И. Кухарев. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2013. 464 с.
16. Оксюк О.П., Жукин В.Н., Брагинский Л.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал, 1993. Т. 29, № 4. С. 62-76.

17. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды / Диатомовый сборник. Л.: ЛГУ, 1953. С. 186-205.
18. Рыжков Л.П., Дзюбук И.М., Горохов А.В., Марченко Л.П., Артемьева Н.В., Иешко Т.А., Рябинкина М.Г., Раднаева В.А. Состояние водной среды и биоты при функционировании садковых форелевых хозяйств. Водные ресурсы, 2011. Т. 38. № 2. С. 1-9.
19. Рыжков Л.П., Лобкова Н.А., Иешко Т.А., Тимакова М.В., Гура В.В. Результаты мониторинга Лахтинской губы Онежского озера в районе функционирования форелевого хозяйства. Садковое рыбоводство. Состояние и проблемы развития. Мат. межд. конф. 11-13 октября 2010 г. Петрозаводск: Петр ГУ, 2010. С. 78-82.
20. Сабылина А.В. Святозерская группа озер// Поверхностные воды озерно-речной системы реки Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 1991. С. 72-78.
21. Сабылина А.В., Мартынова Н.Н., Басов М.И. Водоемы среднего участка реки Шуи и озеро Ведлозеро // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. 1998. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 1998. С. 139-145.
22. Стерлигова О.П., Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Комулайнен С. Ф., Кучко Я.А., Павловский С.А., Савосин Е.С. Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Поволжский экологический журнал, 2011. № 3. С. 386-393.
23. Стерлигова О.П., Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Кучко В.Я., Павловский С.А., Савосин Е.С. Состояние Кефть-губы Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Матер. межд. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2009. С. 523-528.
24. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.
25. Чекрыжева Т.А. Водоемы среднего участка реки Шуи и озеро Ведлозеро. Фитопланктон // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. 1998. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 1998. С. 148-150.
26. Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. Альгофлора озер и рек республики Карелия (Россия) // Альгология, 2010. № 3. С. 319-334.
27. Чекрыжева Т.А., Потахин М. С. Фитопланктон разнотипных озер бассейна реки Шуя (Карелия) // Тр. Кар НЦ РАН. Серия Биogeография. Петрозаводск, 2008. Вып. 14. С. 148-156.

Чернова В.Г., Климовский Н.В., Петракова И.В.

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, Северный филиал, г. Архангельск
 chernova@pinro.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ЯНДОВОЙ ГУБЫ БЕЛОГО МОРЯ

В представленных материалах приводятся результаты экологических исследований, проведенных в 2011-2013 гг. в кутовой части Двинского залива Белого моря в зимний, весенний, летний и осенний периоды.

К числу наиболее распространенных загрязняющих веществ относятся: нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы, алюминий и бенз(а)пирен.

Оценка уровней накопления этих поллютантов в экосистеме Белого моря имеет не только теоретическое, но и практическое значение, обусловленное тем, что Белое море является районом добычи морепродуктов.

Яндова губа – часть Двинского залива, испытывающая на себе техногенную нагрузку от судостроительных предприятий находящихся в г. Северодвинске.

Нефть и нефтепродукты относятся к наиболее массовым загрязняющим веществам морей и океанов. Большое количество нефтепродуктов поступают в природные воды при перевозке нефти, со сточными водами промышленности, с хозяйственно-бытовыми сточными водами, а также в результате жизнедеятельности гидробионтов.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются наиболее токсичной группой углеводородов и имеют канцерогенные и мутагенные свойства (Ильницкий и др., 1979). Бенз(а)пирен

является наиболее характерным и распространенным соединением в ряду ПАУ. Активная циркуляция бенз(а)пирена в биосфере, его высокая молекулярная устойчивость к воздействию инактивирующих факторов и выявленная в экспериментах значительная проканцерогенная активность позволяет считать бенз(а)пирен индикаторным соединением, по содержанию которого оценивается степень загрязнения среды канцерогенными ПАУ (Израэль, Цыбань, 1989).

Результаты исследований показали, что бенз(а)пирен в водах и донных отложениях района Яндовой губы за период 2011-2013 гг. не обнаружен, значения массовых концентраций в целом меньше предела обнаружения применяемых методик: для воды – менее 0.5 нг/дм³, для донных отложений – менее 0.005 мг/кг.

Как показали мониторинговые наблюдения, содержание нефтепродуктов в пробах воды, отобранных в Яндовой губе, в течение всего периода исследований, в целом не превышало ПДК и составляло в среднем 0.019-0.027 мг/дм³ (табл. 1). Максимальное значение зафиксировано в весенний период 2011 г., где концентрация составила 0.064 мг/дм³, ненамного превысив уровень ПДК. Возможно, это было связано с весенним половодьем и поступлением нефтепродуктов в морские воды при таянии снега.

Таблица 1

Статистическая характеристика содержания нефтепродуктов в воде
в Яндовой губе в 2011-2013 гг. (мг/дм³)

Показатели	Зима	Весна	Лето	Осень
Среднее значение	0.027	0.024	0.021	0.019
Стандартное отклонение	0.010	0.015	0.016	0.010
Медиана	0.023	0.021	0.024	0.015
Максимальное значение	0.043	0.064	0.049	0.043
Минимальное значение	0.012	0.004	0.000	0.004
Количество наблюдений	15	16	18	19

Содержание нефтепродуктов в донных отложениях Яндовой губы в среднем составляло 7.44 мг/кг (табл. 2). Наибольшее загрязнение грунтов нефтепродуктами наблюдалось в весенний период, где имеются благоприятные условия для аккумуляции нефтепродуктов и мощные источники их поступления в морские воды.

Таблица 2

Статистическая характеристика содержания нефтепродуктов в донных отложениях
в Яндовой губе в 2011-2013 гг. (мг/кг)

Показатели	Весна	Лето	Осень
Среднее значение	8.83	8.43	5.05
Стандартное отклонение	2.18	3.51	1.70
Медиана	8.37	9.98	4.68
Максимальное значение	11.20	10.89	6.90
Минимальное значение	6.91	4.41	3.56
Количество наблюдений	3	3	3

К числу наиболее распространённых загрязняющих веществ относятся и фенолы. Они поступают в природные воды со сточными водами нефтеперерабатывающих, лесохимических и других предприятий. В природных условиях фенолы образуются в процессах метаболизма водных организмов, при биохимическом окислении и трансформации органических веществ.

По данным наблюдений 2011-2013 гг. по содержанию фенолов в воде, во все периоды наблюдались значения, превышающие ПДК, что указывает на техногенный источник их поступления в воду (табл. 3).

Диапазон изменчивости концентраций алюминия в воде составлял 0-0.04 мг/дм³. Максимальные значения концентраций фиксировались в весенний и летний периоды. Источником поступления могут быть как атмосферные осадки и сточные воды, так и растворение осадочных пород.

Среди поллютантов наибольшей токсичностью для гидробиоценозов обладают тяжелые металлы ввиду их высокой опасности и способности в течение длительного периода накапливаться в компонентах экосистем и передаваться по пищевым цепям.

Таблица 3

Статистическая характеристика содержания фенолов в воде в Яндовой губе в 2011-2013 гг. (мг/дм³)

Показатели	Зима	Весна	Лето	Осень
Среднее значение	0.0040	0.0058	0.0018	0.0027
Стандартное отклонение	0.0010	0.0013	0.0017	0.0031
Медиана	0.0036	0.0055	0.0016	0.0016
Максимальное значение	0.0054	0.0080	0.0040	0.0090
Минимальное значение	0.0028	0.0044	0.0000	0.0008
Количество наблюдений	5	5	6	6

К возможным источникам загрязнения биосферы тяжелыми металлами относят предприятия черной и цветной металлургии, машиностроения, заводы по переработке аккумуляторных батарей, автомобильный транспорт (Будников, 1998).

В водных средах тяжелые металлы присутствуют в трех формах: взвешенные частицы, коллоидные частицы и растворенные соединения. Значительная часть тяжелых металлов переносится поверхностными водами во взвешенном состоянии.

При анализе содержания меди в поверхностных водах наблюдались сезонные колебания концентрации: в зимний и осенний периоды они были максимальны, а летом, вследствие активного роста биомассы гидробионтов, снижались и не превышали 0.001 мг/дм³ (табл. 4).

Концентрации кадмия были меньше 0.003 мг/дм³. Незначительное превышение ПДК наблюдалось в 2011 г. в зимний период и составило 0.006 мг/дм³.

Фоновые концентрации цинка и свинца по результатам наблюдений за период 2011-2013 гг. не превышали уровень ПДК. Концентрации цинка были меньше 0.002 мг/дм³, свинца меньше 0.01 мг/дм³.

Таблица 4

Статистическая характеристика содержания меди в воде в Яндовой губе в 2011-2013 гг. (мг/дм³)

Показатели	Зима	Осень
Среднее значение	0.003	0.004
Стандартное отклонение	0.002	0.002
Медиана	0.003	0.004
Максимальное значение	0.005	0.005
Минимальное значение	<0.001	0.001
Количество наблюдений	5	6

Одной из важных задач при контроле уровня загрязнения морской среды является изучение донных осадков на содержание и анализ распределения тяжелых металлов (в донных осадках). Донные отложения накапливают поступающие в водоем вещества антропогенного происхождения и участвуют в общей системе круговорота элементов, влияя на формирование качественного состава вод. Сорбция тяжелых металлов донными отложениями зависит от особенностей состава последних и содержания органических веществ.

По результатам наблюдений в донных отложениях Яндовой губы прослеживается незначительная тенденция повышения концентрации меди и цинка по годам. Так по содержанию меди максимальное значение зафиксировано в осенний период 2013 г. – 4.4 мг/кг, по цинку – в летний и осенний периоды 2013 гг. до 5.5 мг/кг (табл. 5).

Концентрация кадмия в пробах донных осадков составляла от 0.005 до 0.038 мг/кг в 2011 г., а в 2012-2013 гг. была менее 0.003 мг/кг.

По содержанию свинца концентрация была менее 0.01 мг/кг, и только в летний период 2012 г. составила 0.62 мг/кг.

Анализ полученных данных по содержанию загрязняющих веществ в Яндовой губе Белого моря показал, что уровень загрязнения исследуемого района данными веществами можно признать относительно низким, поскольку зафиксированные концентрации не выходили за рамки их природной изменчивости и в целом соответствовали величинам типичным для прибрежной зоны Белого моря.

Статистическая характеристика содержания меди и цинка в донных отложениях
в Яндовой губе в 2011-2013 гг. (мг/кг)

Показатели	Цинк			Медь		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
Среднее значение	4.60	3.97	3.92	2.12	1.94	2.39
Стандартное отклонение	0.57	1.37	1.33	1.03	1.32	1.75
Медиана	4.87	3.41	3.19	1.60	1.28	1.54
Максимальное значение	4.98	5.54	5.46	3.31	3.46	4.40
Минимальное значение	3.94	2.97	3.11	1.46	1.08	1.23
Количество наблюдений	3	3	3	3	3	3

Литература

1. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных экосистем // Соросовский Образовательный журнал, 1998. № 5. С. 23-29.
2. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 528 с.
3. Ильницкий А.П., Виноградов В.Н., Рябчун В.К. и др. Опыт ретроспективного изучения канцерогенного углеводорода бенз(а)пирена в биосфере // ДАН АН СССР, 1979. 245, № 1. С. 254-257.

Шаров А.Н.¹, Холодкевич С.В.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский Центр экологической безопасности РАН,

г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

sharov_an@mail.ru

БИОИНДИКАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ ПРЕСНОВОДНЫХ И МОРСКИХ АКВАТОРИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

В последние годы широкое применение находят методы биологического мониторинга, связанные с использованием реакций биомаркеров гидробионтов на загрязнение среды обитания (Handy and Depledge, 1999; Hagger et al., 2009; Wells et al., 2001). Физиологические биомаркеры (кардиоактивность, дыхание, двигательная активность) являются эффективными инструментами биологического мониторинга, так как отражают интегральный ответ организма на воздействие загрязняющих веществ (Depledge et al., 1995) и позволяют получать информацию о восстановлении экосистемы на организменном уровне (Depledge, 1999). Для исследования биомаркерных реакций, применяются неразрушающие физиологические тесты адапционных возможностей гидробионтов из разных по уровню антропогенной нагрузки мест обитания (Bamber, Depledge, 1997).

В ходе предыдущих исследований (Kuznetsova et al., 2008) было обнаружено, что и морские, и пресноводные моллюски, а также крабы, различные виды пресноводных раков, взятые из экологически благополучных, чистых зон отличаются от животных из загрязненных акваторий тем, что после прекращения разработанных для каждого вида стандартизованных тест-воздействий они демонстрируют более высокую адаптивную способность, выражающуюся в существенно более коротком времени восстановления ($T_{\text{восст}}$) исходных значений частот сердечных сокращений (ЧСС) после тест-воздействий. Кроме того, по сравнению с животными из загрязненных акваторий, животные чистых акваторий демонстрируют более высокую однородность реакций, выражающуюся в невысокой (коэффициент вариации $CV \leq 0,1$) вариабельности индивидуальных величин ЧСС этой группы животных через 1 час после прекращения тест-воздействия. На основании лабораторных и полевых экотоксикологических исследований впервые было предложено использовать эти характеристики ($T_{\text{восст}}$ и CV) в качестве биомаркеров при оценке экологического состояния морских и пресноводных акваторий (Холодкевич и др., 2011; Kholodkevich et al., 2011).

Основной целью исследования являлась разработка, развитие и апробация в лабораторных и полевых условиях новых методов биоиндикации, на основе измерения поведенческих и

физиологических биомаркеров функционального состояния двусторчатых моллюсков, которые широко распространены в литоральной зоне как морских, так и пресных водных экосистем Севера.

Материалы и методы. Метод основан на оценке реакций организмов при различных функциональных нагрузках (например, быстрое изменение солености воды в пределах толерантности вида). Диагностика функционального состояния моллюсков проводилась путем анализа характеристик кардиоактивности, измеряемых неинвазивно волоконно-оптическим методом (Kholodkevich et al., 2008).

Отбор и содержание моллюсков. До 20 экземпляров моллюсков с каждой станции отбирали одинакового размера 70-90 мм. В течение 1-5 ч после отлова пресноводные моллюски доставлялись в лабораторию в пластиковых изотермических контейнерах объемом 10 л в природной воде. В лаборатории на створки моллюсков в область сердца наклеивались миниатюрные датчики с оптическим волокном. До проведения экспериментов моллюски были акклиматизированы к лабораторным условиям в течение 1-2 суток в 20-и литровых аквариумах с природной водой и постоянной аэрацией. Критерием акклиматизации была стабилизация ЧСС моллюсков после наклеивания датчика и помещения в экспериментальный аквариум. Постоянная аэрация (Aquael APR-300) и циркуляция (Aquael 350) воды в экспериментальном аквариуме обеспечивалась на протяжении всех экспериментов. Моллюсков не кормили.

Изменение солености. Для выявления физиологической реакции моллюсков на кратковременное тест-воздействие, связанное с изменением солености, проводили на 1 час снижение солености на 50% (для морских моллюсков) разбавлением дистиллированной водой или увеличение (для пресноводных моллюсков) путем добавления соли до концентрации в воде 3, 6 и 8 г/л NaCl. Затем восстанавливали соленость воды до первоначального уровня.

Измерение и анализ кардиоактивности. В рамках метода измерения кардиоактивности происходит преобразование исходного оптического сигнала в аналоговый (фотоплетизмограмма) с последующей оцифровкой (на 300Гц). Система сбора данных состоит из аналого-цифрового преобразователя (L-Card E14-140), портативного компьютера и оригинального программного обеспечения VarPulse. Производилась непрерывная одновременная регистрация ЧСС восьми моллюсков (рассчитываются средние значения по 50 интервалам сердечного ритма с шагом 10 интервалов). В течение всего времени эксперимента, данные о функциональном состоянии моллюсков непрерывно записывались и сохранялись в виде файлов для последующего анализа.

Анализ данных. Визуализация данных по динамики параметров кардиоактивности осуществлялась при помощи MS Excel, в результате чего были построены кривые изменения ЧСС для всех экспериментов. Для каждого эксперимента была вычислена величина времени восстановления (T_{rec}) ЧСС (к фоновому уровню) как разница (в минутах) между моментом начала восстановления солености и моментом, когда ЧСС достоверно не отличалась от фонового значения.

В 2011-2013 гг. были проведены эксперименты на двусторчатых моллюсках, отобранных на акваториях: Восточная часть Финского залива Балтийского моря, Белое море (губа Чупа Кандалакшского залива), Рыбинское водохранилище. Объектом исследования служили двусторчатые пресноводные моллюски *Unio pictorum* (L., 1758), *Unio tumidus* Retzius, 1788 и *Anodonta anatina* (L., 1758), *Anodonta cygnea* (L., 1758), *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), широко распространенные в Рыбинском водохранилище и пресноводной части Финского залива; и морские моллюски – мидий *Mytilus edulis* (L., 1758) Белого моря.

Результаты и обсуждения. ЧСС пресноводных моллюсков в ходе эксперимента изменялась от 5 до 45 уд./мин. Наблюдалась положительная прямая зависимость кардиоактивности моллюсков от температуры воды. Зависимость ЧСС *A. cygnea* от температуры воды в диапазоне от 5°C до 20°C может быть описана уравнением:

$$y = 2.15e^{0.1x}, R^2 = 0.95$$

Средняя ЧСС *U. pictorum* составляла 12 ± 3 и 31 ± 7 уд./мин, *A. anatina* - 8 ± 2 и 22 ± 5 уд./мин при температуре воды 16°C и 26°C, соответственно.

Было обнаружено снижение средней ЧСС моллюсков на 24% после продолжительного (более 1 месяца) содержания в аквариуме, что, возможно, связано с их недостаточным питанием в условиях эксперимента.

Наши исследования показали, что пресноводные двусторчатые моллюски, отобранные из разных мест, отличающихся уровнем загрязнения, реагируют неодинаково на добавление в воду 3 г/л NaCl. Моллюски из фоновых районов реагировали повышением (рис. 1) ЧСС (тахикардия), а животные из загрязненных мест обитания снижали ЧСС (брадикардия). Кроме того, отличался период восстановления ЧСС после смены воды до уровня начала эксперимента (фоновый) перед увеличением солености. При большем увеличении концентрации соли NaCl в воде (6 г/л) все

моллюски реагировали снижением ЧСС (рис. 2), но у особей из загрязненных мест обитания период восстановления был значительно больше (несколько часов) по сравнению с моллюсками из более чистых мест (30-60 мин.). Данная реакция была характерна для обоих видов исследуемых моллюсков.

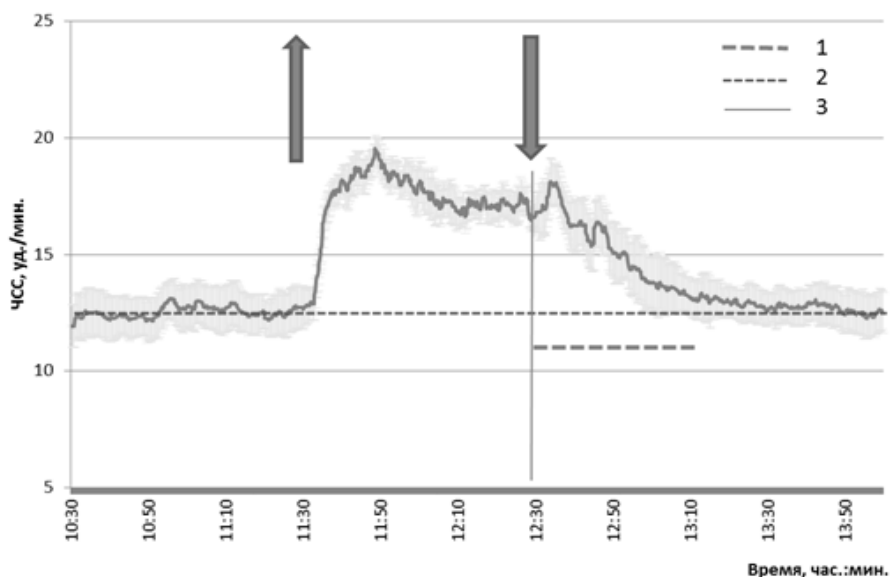


Рис. 1. Динамика средней ЧСС у 8 экз. *Anodonta* из фонового района при изменении солености воды (добавлении 3 г/л NaCl) в течение 1 ч ($T 16^{\circ}\text{C}$): 1 – период восстановления, 2 – фоновый уровень ЧСС, 3 – момент смены воды. Стрелками показан момент изменения солености воды

Вероятно, моллюски из условно чистых районов при небольшом увеличении солености воды повышают соленость гемолимфы для сохранения осмотического градиента, что сопровождается увеличением энергетических затрат и ЧСС. Животные из загрязненных мест обитания имеют сниженные адаптивные способности и на увеличение солености воды реагируют переходом на анаэробный обмен и снижением энергетического обмена и ЧСС соответственно.

Наиболее высокая численность двустворчатых моллюсков рода *Unionidae* в период наших исследований Восточной части Финского залива была обнаружена в районе парка «Дубки» г. Сестрорецк. По ряду гидробиологических и гидрохимических показателей (Экосистема эстуария..., 2008) данный район можно считать условно фоновым для эстуария Невской губы. Вместе с тем, отсыпка песка в рекреационных зонах в районе Репино и Сестрорецка весной 2012 года привела к деградации бентосных сообществ в литорали и негативно отразилась на физиологическом состоянии двустворчатых моллюсков. По сравнению с результатами лабораторных тестирований моллюсков из района парка «Дубки» в 2011 г. время восстановления ЧСС после функциональной нагрузки (повышение концентрации соли в воде до 3 г/л на 1 ч) увеличилось с 40 мин. до 2 ч.

Исследование **ЧСС морских моллюсков** было проведено на Беломорской станции ЗИН РАН (мыс Картеш). Исследовано время восстановления ЧСС мидий в литоральной и сублиторальной зоне после функциональной нагрузки (снижение солености воды на 50%). После чего, моллюски были доставлены в лабораторию НИЦЭБ РАН и проведены повторные исследования функционального состояния. Мидии, собранные в литоральной зоне оказались менее чувствительные к тест-воздействиям (изменение температуры и солености воды, световых условий) по сравнению с моллюсками, обитающими в сублиторали вне приливно-отливной зоны. На снижение солености все мидии реагировали брадикардией (снижением ЧСС).

Мидии, собранные в приливно-отливной зоне, во время тестирования непосредственно после сбора животных характеризовались небольшими значениями коэффициента вариации ЧСС, как до изменения солености воды, так и после (рис 3). После их транспортировки в лабораторию НИЦЭБ и акклимации к условиям содержания в аквариуме данный показатель вырос почти в 1.5 раза. А через два месяца содержания литоральных мидий в аквариуме этот разброс еще возрос, и уже не наблюдалось достоверных отличий в изменении ЧСС от фонового состояния при проведении эксперимента с кратковременным снижением солености воды в качестве функциональной нагрузки (рис. 3).

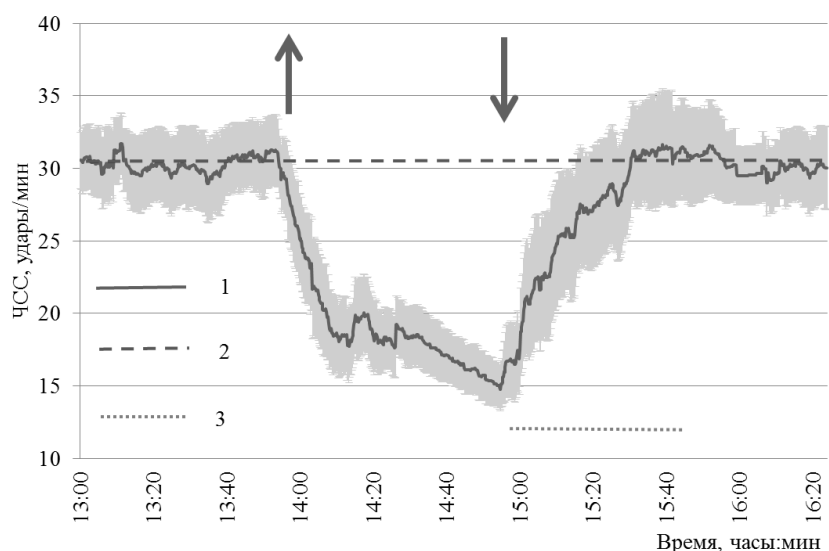


Рис. 2. Снижение ЧСС *Unio tumidus* при добавлении 6 г/л NaCl в течение 1 ч и возвращение до фонового уровня при последующей смене воды ($T\ 20^{\circ}\text{C}$). 1 – средние значения по 8 экз. и ошибка среднего, 2 – фоновый уровень ЧСС, 3 – период восстановления

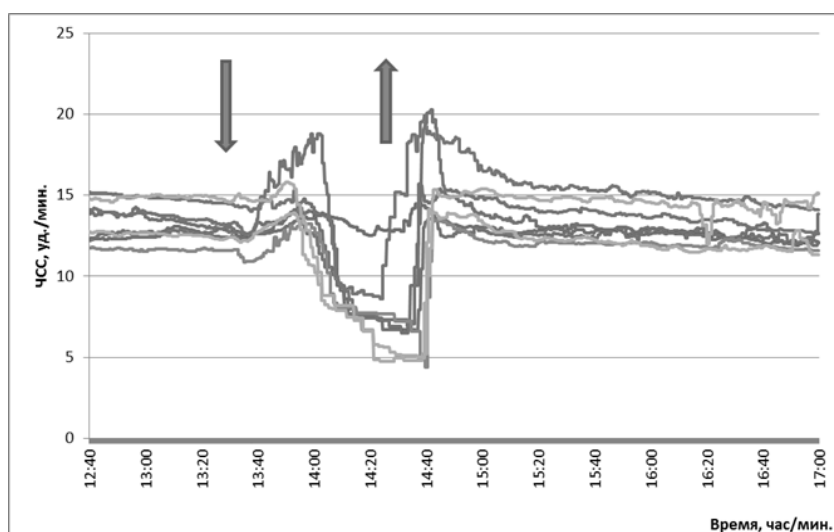


Рис. 3. Индивидуальные показатели ЧСС литоральных мидий *Mytilus edulis*, Белое море губа Круглая мыс Картеш, при снижении солёности воды на 50% на 1 час и последующее восстановление после смены воды ($T\ 10^{\circ}\text{C}$)

Сублиторальные моллюски, напротив, в эксперименте непосредственно после сбора животных характеризовались хотя и большим коэффициентом вариации ЧСС, но, тем не менее, быстрым временем восстановления после функциональной нагрузки. Повторные эксперименты после акклиматизации мидий к лабораторным условиям показали, что время восстановления ЧСС после функциональной нагрузки заметно возросло.

Таким образом, изменение восстановительного периода ЧСС моллюсков после кратковременного изменения солёности воды (как стандартная функциональная нагрузка) может использоваться в оценке функционального состояния местных видов животных, что позволяет подходить к ранжированию акваторий по их экологическому состоянию (здоровью). Результаты использования предложенного метода биоиндикации могут быть использованы в системе отчетности Европейского агентства охраны окружающей среды по государственным программам мониторинга в соответствии с рекомендациями Европейской Водной Рамочной Директивы (Directive, 2000).

Использование описанного неинвазивного метода регистрации ЧСС может успешно применяться для исследования состояния организмов редких (занесенных в Красную книгу) моллюсков северных водоемов, например европейской жемчужницы (*Margaritifera margaritifera*), т.к. после экспериментов все животные могут быть возвращены в среду обитания в неповрежденном состоянии.

Литература

1. Холодкевич С., Кузнецова Т., Трусевич В., Донченко В. Здоровье среды определяют моллюски. Система оценки качества воды на основе физиологических и поведенческих биомаркеров бентосных беспозвоночных и ее применение в биомониторинге природных и сточных вод // ВодаMagazine, № 5(45), Май 2011. С. 40-43.
2. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. Под ред. А.Ф. Алимova, С.М. Голубкова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 477 с.
3. Bamber S.D., Depledge M.H. Responses of shore crabs to physiological challenges following exposure to selected environmental contaminants // Aquatic Toxicology, 1997. V. 40. P. 79-92.
4. Depledge M.H., Aagaard A., Györkös P. Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioural biomarkers // Mar. Pollut. Bull. 1995. V. 31. P. 19-27.
5. Depledge M.H. Recovery of ecosystems and their components following exposure to pollution // J. Aquatic Ecosystem Stress and Recovery, 1999. V. 6. P. 199–206.
6. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. L. 327, 22. 12. 2000. 72 pp.http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm
7. Hagger J.A., Galloway T.S., Langston W.J., Jones M.B. Application of biomarkers to assess the condition of European Saltwater Sites. Environmental Pollution, 2009. V. 157. P. 2003–2010.
8. Handy R.D., Depledge M.H. Physiological Responses: Their Measurement and Use as Environmental Biomarkers in Ecotoxicology // Ecotoxicology, 1999. 8. P. 329-349.
9. Kholodkevich S.V., Ivanov A.V., Kurakin A.S., Kornienko E.L., Fedotov V.P. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations // Journal of Environmental Bioindicators, 2008, V. 3, № 1, P. 23-34.
10. Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Lehtonen K.K., Kurakin A.S. Experiences on ecological status assessment of the Gulf of Bothnia different sites based on cardiac activity biomarkers of caged mussels (*Mytilus edulis*) // ICES Annual Science Conference 2011, 19-23 September, Gdansk, Poland. <http://www.ices.dk/products/CMdocs/CM-2011/R/R2011.pdf>. (12 p.)
11. Kuznetsova T.V., Kholodkevich S.V., Kurakin A.S., Ivanov A.V., Kornienko E.L., Trusevich V.V., Gnyubkin V.F. Ecotoxicological investigations of chemical stressors effects on cardiac activity and valve movement of *Mytilus galloprovincialis* Lam.// SETAC Europe 18th Annual Meeting, 2008, Warsaw, 25-29 May 2008. Abstract Book (pdf). P.168-169.
12. Wells P.G., Depledge M.H., Butler J.N., Manock J.J., Knap A.H. Rapid toxicity assessment and biomonitoring of marine contaminants – exploiting the potential of rapid biomarker assays and microscale toxicity tests // Mar. Pollut. Bull. 2001. 42, 10. P. 799-804.

Шелехова Т.С.

Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск
Shelekh@krc.karelia.ru

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАОНЕЖЬЯ ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (КАРЕЛИЯ, РОССИЯ)

Донные отложения являются важным источником информации об эволюции водных экосистем и процессах, происходящих на их водосборах, кроме этого они позволяют судить о состоянии водных объектов.

Материалом для исследования послужили донные и поверхностные отложения озер Турастомозеро и Хашозеро, расположенных в западной части Заонежского полуострова (рис. 1).

Котловины обоих водоемов тектонического происхождения, приразломного типа, отчетливо линейны согласно северо-западному простиранию разломов, их борта обработаны ледником. Донные и современные поверхностные отложения, отобранные из скважин, пробуренных в центре озер, были исследованы методом диатомового анализа.

По составу диатомовых комплексов донных отложений, литологическим характеристикам осадков выделено пять этапов развития водоемов, соответствующих палеоклиматическим периодам голоцена от пребореального до субатлантического. В осадках каждого палеоклиматического периода и в современных отложениях определены доминирующие комплексы диатомей. По составу диатомовой флоры реконструирована кислотность среды (pH) (по: Renberg & Hellberg, 1982).

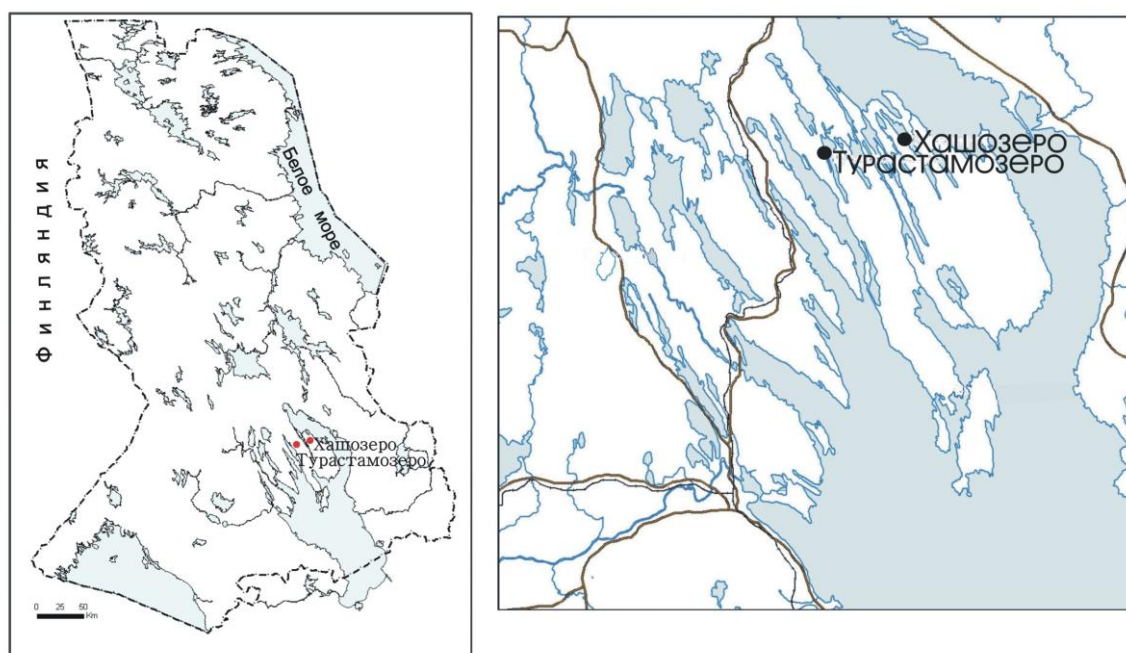


Рис. 1. Географическое положение изученных разрезов

В озере Турастамозеро исследован 21 образец донных отложений, мощностью 1.7 м с шагом 5-10 см; поверхностные получены с гл. 0.4 м, изучены по 1 образцу. Всего выявлено 238 видов и разновидностей диатомовой флоры. В Хашозере из скважины, мощностью 2.7 м с интервалом 10 см исследовано 27 образцов донных осадков, поверхностные отобраны с гл. 0.5 м, изучены по 1 образцу. Всего выявлено 180 видов и разновидностей диатомовой флоры из 32 родов. Ниже в таблицах 1, 2 представлены доминирующие диатомовые комплексы донных осадков озер палеоклиматических периода голоцена, тип отложений, реконструированные значения pH водной среды.

Таблица 1

Доминирующие диатомовые комплексы донных осадков оз. Турастамозеро

Турастамозеро 62° 34' с.ш.; 34° 40' в.д., абс. отм. уреза воды 44,7м				
Период	Глубина, м	Отложения	Доминанты	pH
Современные	0.4	Сапропель	Cymbella (Cymbella angustata, C. cesatii) Cyclotella comta, Tabellaria flocculosa, Tabellaria fenestrata, Anomoconeis exilis, Eucoconeis flexella, Navicula radiosa	6.8
SA	3.4-3.0	Сапропели серого цвета	Aulacoseira, Cyclotella comta, Tabellaria flocculosa Cymbella, Anomoeoneis, Navicula	6.0-6.5
SB	3.9-3.4	Диатомовые сапропели серого цвета	Cyclotella comta, Cymbella, Anomoeoneis, Navicula, Nitzschia	6.0-6.5
AT	4.4-3.9	Темно-серые диатомовые сапропели с примесью алеврита	Cyclotella comta, Anomoeoneis zellensis, Cymbella, Navicula, Nitzschia, Fragilaria. Achnanthes.	6.6-7.0
BO	4.7 - 4.4	Серые алевриты, сменяющиеся диатомовым сапропелем темно-серого цвета.	Fragilaria, Achnanthes Cocconeis, Epithemia, Navicula (Navicula farta, N. jentschii, N. scutelloides), Aulacoseira, Amphora	7.2-8.0
PB	5.0 – 4.7	Серые алевриты с прожилками ожелезнения	Fragilaria construens, F. brevistriata, Achnanthes oestrupii, A. jentschii, Cocconeis, Epithemia, Amphora, Diploneis domblittensis, Navicula jentschii	7.4-7.8

Таблица 2

Доминирующие диатомовые комплексы донных осадков оз. Хашозеро в голоцене

Хашозеро 62° 36' с.ш.; 35° 01' в.д., абс. отм.уреза воды 36м				
Период	Глубина, м	Отложения	Доминанты	pH
Современные	0.5	Сапропель	Achnanthes (A. oestrupii, A. lanceolata) Navicula (N. farta, N. cocconeiformis), Fragilaria (F.construens, F. brevistriata, F. pinnata, F. leptostauron)	7.4
SA	2.3-2.0	Темно-коричневые сапропели, богатые органикой	Fragilaria (F.construens, F. brevistriata, F. pinnata, F. leptostauron), Achnanthes (A. oestrupii, A. lanceolata), Navicula (N. farta, N. cocconeiformis, N.schoenfeldii, N.laterostrata, N. menisculus, N. scutelloides), Diploneis elliptica	7.5-7.2
SB	2.8-2.3	Темно-коричневые сапропели, богатые органикой	Fragilaria construens, Achnanthes lanceolata, Achnanthes oestrupii, Navicula cocconeiformis, N. farta	7.5-8.3
AT	3.2-2.8	Зеленовато-коричневые плотные сапропели	Fragilaria construens, Achnanthes oestrupii, N.farta, Aulacoseira granulata	7.0-8.0
BO	3,8-3,2	Алевритовые, относительно плотные светло-коричневые сапропели	Fragilaria construens, Achnanthes oestrupii, A. calcar, A. lanceolata, Navicula cocconeiformis, N. farta, N. scutelloides, Aulacoseira granulata, Cymbella, Amphora	6.9-7.4
PB	4,7-3,8	Серо-коричневые тонкослоистые слоистые алевриты	Fragilaria (F. construens) Aulacoseira granulata, A. undulata var. normanii, A. ambigua, Achnanthes (A. calcar, A. oestrupii, A. lanceolata)	7.3-7.0

Эколого-географические характеристики и pH спектр показаны на рис. 2, 3.

I этап - пребореальный период (PB) (12000-10500 календарных лет назад (к.л.н). В обоих озерах накапливались алевриты, отличающиеся лишь по цвету, плотности, слоистости и другим особенностям, связанным с характером кристаллических и подстилающих пород, в которых сформированы котловины. В это время водоемы были заливами холодного олиготрофного Онежского озера, о чем свидетельствует состав диатомовой флоры с доминированием арктоальпийских и бореальных видов водорослей, составляющих 50-60% всей флоры и характерной для литоральной зоны. Уровень Онеги по разным данным достигал 59-55 м (Девятова, 1986); 57-53 м (Демидов и др., 2003; Демидов, 2005, 2006). В его заливах минерализация воды была низкой, активная реакция колебалась от нейтральной-слабощелочной – в Хашозере до щелочной – в Турастамозере (табл. 1, 2, рис.2, 3).

II этап - бореальный период (BO) (10500-9000 к.л.н.) - снижение уровня Онежского озера до 48-51 м (Девятова, 1986); 50-43 м (Демидов и др., 2003). В заливах началось отложение алевритовых и диатомовых сапропелей, что хорошо согласуется с диатомовыми комплексами, соответствующими прибрежной фации. Повышается минерализация воды и pH (7.2-8.8 – Турастамозеро; 6.9-7.4 – Хашозеро), связанные с усилением подземного питания. Улучшается прогреваемость заливов, диатомовые комплексы соответствуют более высокому уровню трофии.

III этап - атлантический период (AT) (9000-5800 к.л.н.) - накопление сапропелей, в которых господствуют мелкие диатомовые родов *Fragilaria*, *Achnanthes*, *Cymbella*, донные формы родов *Navicula*, *Anomoeoneis*, *Nitzschia*, свидетельствующие о зарастании заливов прибрежной растительностью и дальнейшем падении уровней водоемов. Незначительно снижаются минерализация воды и pH (6.6-7.0 – Турастамозеро; 7.0-8.0 - Хашозеро). Увлажнение климата отражается на усилении поверхностного стока, в результате чего возрастает количество галофилов и планктонных видов *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella comta*, характерных для эвтрофных вод. Абс. отм. Онежского озера в этот период колебались в пределах 47-41 м (Девятова, 1986); 45-36 м (Демидов и др., 2003). Турастамозеро (абс. отм. 44.7м) полностью отделилось от Онеги.

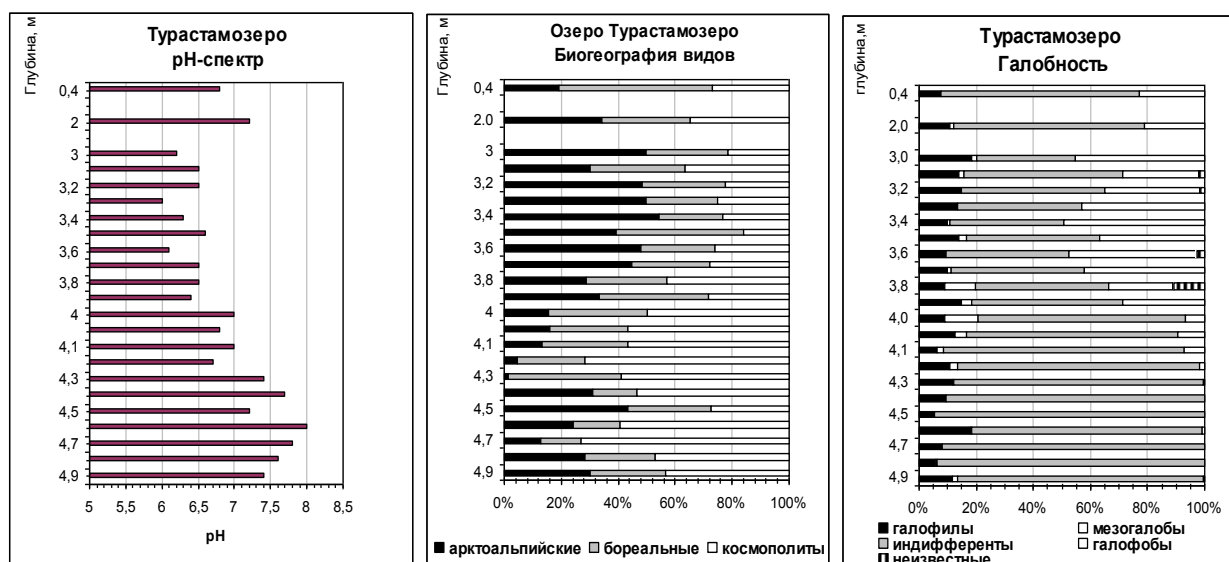


Рис. 2. Эколого-географические характеристики и pH спектр донных и поверхностных осадков оз. Турастамозеро

IV этап - суббореальный период (SB) (5800-2500 к.л.н.). Уровень воды в водоемах понижается, накапливаются богатые органикой сапропели. Полностью исчезают планктонные виды диатомей в Хашозере, в изначально более глубоком Турастамозере они представлены лишь незначительным содержанием *Cyclotella comta*. Массового развития достигают виды обрастаний рода *Cymbella* и донные родов *Anomoeoneis*, *Navicula*, *Nitzschia* в Турастамозере, а в Хашозере – обрастатели рода *Fragilaria*. Минерализация воды увеличивается, вероятно, за счет поступления трещинных вод и подземного питания. В Турастамозере, отделившемся от Онеги в атлантическое время pH снижается до 6.0-6.5, а в Хашозере, наоборот, повышается до 7.5-8.3. Абсолютные отметки уреза воды Онежского озера в это время составляли 37-38 м (Девятова, 1986); 39-32 м (Демидов и др., 2003). Поэтому можно предположить, что на данном этапе произошло отделение Хашозера (абс. отм. 36 м) от Онеги, в результате чего поступающие в малый водоем трещинные минерализованные воды, иссушение климата, ослабление поверхностного стока, а также, возможно антропогенное влияние способствовали некоторому подщелачиванию среды (рис. 3).

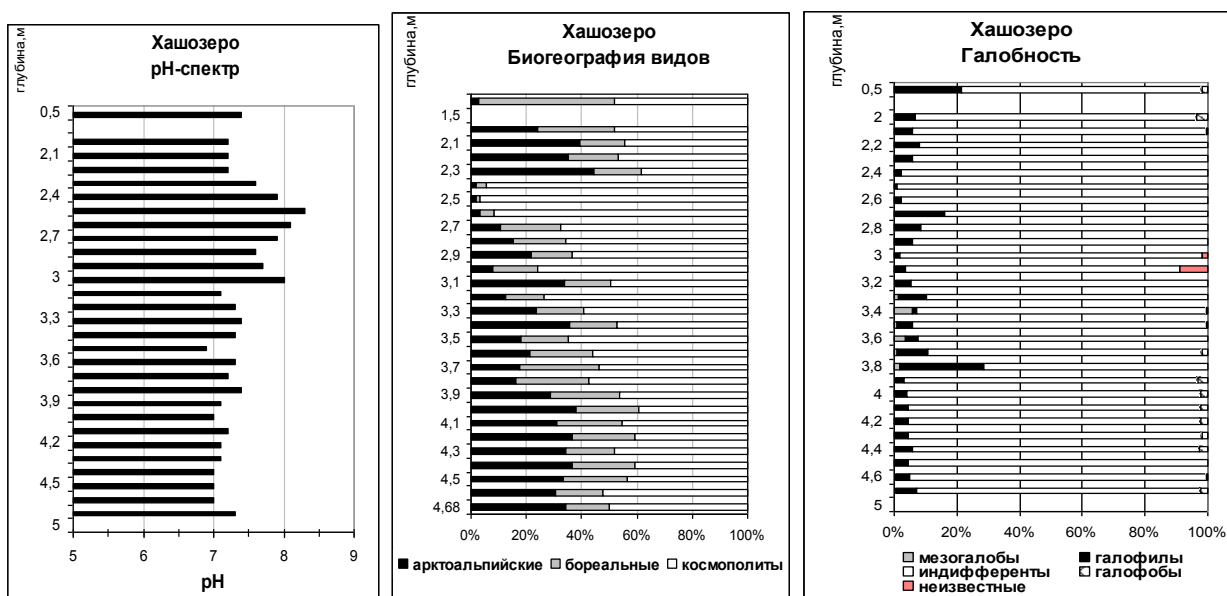


Рис. 3. Эколого-географические характеристики и pH спектр донных и поверхностных осадков оз. Хашозеро

V этап - субатлантический период (SA) (2500 - до наших дней). В озерах накапливались богатые органикой сапропели. Комплекс диатомей обоих экосистем представлен видами, характерными для малых водоемов, в которых наблюдается повышение уровней. Несмотря на доминирование прежних форм (табл.1, 2), в донных осадках обоих озер возрастает содержание планктонных: в Турастамозере – *Cyclotella comta*; в Хашозере - *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *Cyclotella comta*. Вероятно, в это время в бывший залив - Хашозеро проникали воды Онежского озера, уровень которого по данным Г.А. Елиной и др., 1999 колебался в пределах 37-33-32 м. Следовательно, урез воды Хашозера был выше современного на 1 м. Кроме этого, для обоих озер необходимо отметить увеличение видового разнообразия диатомовой флоры вследствие увлажнения климата, усиления поверхностного стока и поступления в водоемы биогенных веществ.

Современное состояние озер можно оценить по составу диатомовой флоры. В современных поверхностных отложениях обоих озер возрастает доля бореальных видов: в Турастамозере – с 28 до 53.8%; в Хашозере – с 27.8 до 48.8%, что может указывать на похолодание климата, в то время как показатели минерализации воды и pH в них различаются. Результаты диатомового анализа показывают, что в настоящее время в Турастамозере происходит снижение pH с 7.3 до 6.8 и минерализации воды, водоем закисляется. В Хашозере наблюдается обратный процесс: минерализация возрастает, о чем свидетельствует рост галофилов с 6.6 до 20.6%, pH незначительно повышается – с 7.2 до 7.4.

Дальнейшее развитие озер в условиях антропогенной нагрузки приведет к полному заполнению котловин органическим веществом, последующим их зарастанием и превращением в болота. Эволюцию водных экосистем можно было бы продлить путем очистки от сапропеля и использования его в народном хозяйстве.

Выводы

Территория Заонежья освободилась ото льда приблизительно 11200 лет назад (Демидов, 2006). После отступления ледника она была занята водами Онежского приледникового озера. В голоцене, при общей тенденции к снижению, уровень Онежского озера неоднократно колебался в зависимости от климатических, тектонических и эрозионных процессов, проходивших на его водосборе. Количество осадков изменялось от 600 до 350 мм/год (± 100 -250 мм/год) (Елина и др., 1999) и могло вызвать колебания уровня в пределах 3-х метров. В результате исследований выявлено, что эволюция изученных озер практически синхронна и связана с глобальными климатическими изменениями и колебанием уровня Онежского озера, а незначительные различия являются результатом региональных геолого-геоморфологических и топо-эдафических факторов. Значительный рост доли бореальных видов в общем составе флоры свидетельствует о тенденции похолодания климата.

Литература

1. Девятова Э.И. Природная среда и ее изменения в голоцене (побережье севера и центра Онежского озера). Петрозаводск: Карелия, 1986. 110 с.
2. Елина Г.А., Лукашов А.Д., Филимонова Л.В., Кузнецов О.Л. Сукцессии палеорастительности позднеледникового-голоцена на Заонежском полуострове и зависимости их от уровней Онежского озера // Ботанический журнал, 1999. № 6. С. 32-52.
3. Демидов И.Н., Лаврова Н.Б., Шелехова Т.С., Васько О.В. К вопросу о колебаниях Онежского озера в голоцене // Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии. Минск. БГУ, 2003. С. 151-152.
4. Демидов И.Н. Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.8. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. С. 134-142.
5. Демидов И.Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. С. 171-182.
6. Renberg, I., Hellberg, T. The pH history of Lakes in Southwestern Sweden, as calculated from subfossil diatom flora of the sediments // Ambio, 1982. V. 11, № 1. P. 30-33.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	Стр. 5
Секция 1	
ПРИРОДНАЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ДИНАМИКА ТУНДРОВЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Мязин В.А., Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ.....	9
Назарова Л.Е. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В КАРЕЛИИ В КОНЦЕ XX - НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ.....	13
Наквасина Е.Н., Голубева Л.В. ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ КАРГОПОЛЬСКОЙ СУШИ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	16
Нувано В.Н., Рузанов В.Т. ПРИРОДНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОЛЕНЕВОДСТВА НА ЧУКОТКЕ.....	19
Петров Н.В., Туюнен А.В. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЛЕСНОГО ПОКРОВА СЕВЕРО-ЗАПАДА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ).....	23
Подола Е.С., Василевская Н.В. РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ <i>SORBUS</i> <i>GORODKOVII</i> POJARK В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ПОПУЛЯЦИИ Г. СЕВЕРОМОРСКА).....	26
Предтеченская О.О. АГАРИКОИДНЫЕ МАКОМИЦЕТЫ НП «ВОДЛОЗЕРСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ).....	30
Пугачев А.А. ЭЛЕМЕНТЫ КОНЦЕПЦИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	34
Пугачев А.А., Станченко Г.В. ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ТУНДРОЛЕСЬЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ.....	36
Редькина В.В. ВОДОРОСЛИ ПОЧВ ПО ГРАДИЕНТУ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ ВЫБРОСАМИ КАНДАЛАКШСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА.....	39
Руоколайнен А.В. СТРУКТУРА БИОТЫ АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПОСЛЕРУБОЧНОЙ СУКЦЕССИИ.....	43
Сазонова Т.А., Софронова И.Н., Новичонок Е.В., Придача В.Б. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ.....	47
Сорокин Н.Д., Гродницкая И.Д., Евграфова С.Ю., Сырцов С.Н., Александров Д.Е. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОБНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ КРИОЛИТОЗОНЫ СИБИРИ.....	50

Сорокина О.А. СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ СЕРЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ.....	55
Ставрова Н.И., Горшков В.В., Катютин П.Н. СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ НА РАЗНОМ УДАЛЕНИИ ОТ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)	59
Стороженко В.Г. ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ ГРИБЫ В ГЕНЕЗИСЕ ДЕВСТВЕННЫХ ЕЛЬНИКОВ ТАЙГИ.....	63
Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИЧКОВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	68
Сушук А.А., Матвеева Е.М. СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ.....	72
Тажикенова Н.А., Цветков В.Ф. ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСОВ БАСЕЙНА Р. СОЯНЫ.....	76
Таскаева А.А. ФАУНА И НАСЕЛЕНИЕ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA) ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ХИБИН И УРАЛА.....	82
Толстоконева Е.Н. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ КАМЧАТКИ.....	84
Урбанавичюс Г.П. БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ, ВКЛЮЧАЕМЫХ В НОВОЕ ИЗДАНИЕ КРАСНОЙ КНИГИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	86
Фокина Н.В., Мязин В.А., Губкина Т.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОРБЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ МОДИФИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО ОПЫТА	90
Фомин Д.С., Зубкова Т.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОРФЯНО-ПОДЗОЛОВ В ЕЛОВЫХ И СОСНОВЫХ ЛЕСАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	93
Химич Ю.Р. НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОТЫ АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ ГОРОДА АПАТИТЫ.....	95
Цветков В.Ф., Семенов Б.А. К ПРОБЛЕМАМ ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО И УРАЛЬСКОГО СЕКТОРОВ.....	98
Яковлева Е.В., Габов Д.Н. БИОАККУМУЛЯЦИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РАСТЕНИЯХ НИЖНЕГО ЯРУСА ЮЖНОЙ КУСТАРНИКОВОЙ ТУНДРЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	102
Derome, K., Merilä, P., Lindroos, A.-J., Nieminen, T, M., Salemaa, M., Rautio, P., Ukonmaanaho, L. COPPER AND NICKEL POLLUTION IN A SUBARCTIC FOREST IN NORTHERNMOST FINLAND	105

Kauhanen, H.O. **DELAYED REGENERATION OF WIND DAMAGED PINE FORESTS IN EASTERN FINNISH LAPLAND**

Секция 2

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ
ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА 106

Андрианов В.А. **СТРАТЕГИЯ ОСВОЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА СЕВЕРНЫХ РЕК РОССИИ** 110

Базова М.М. **ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД И АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**..... 113

Барышев А.А. **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАКРОЗООБЕНТОСА ПОРОГОВЫХ УЧАСТКОВ РЕК КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ**..... 116

Бульон В.В. **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВЕРНЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. КРИВОГО, СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)**..... 120

Валькова С.А. **СОСТАВ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФИРОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ВЗВЕСЬЮ**..... 123

Вандыш О.И., Черепанов А.А. **ЗООПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ОЗЕРА КУЭТСЬЯРВИ В МНОГОЛЕТНЕМ РЯДУ ИССЛЕДОВАНИЙ**..... 128

Галахина Н.Е., Лозовик П.А. **ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КОСТОМУКШСКОГО ГОКА**..... 133

Георгиев А.П. **ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЫБ СЕМЕЙСТВА ОКУНЕВЫХ (*PERCIDAE*) В СЕВЕРНОЙ (КАРЕЛЬСКОЙ) ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ АСПЕКТЕ**..... 136

Георгиев А.П., Черепанова Н.С. **РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБ СЕМЕЙСТВА (*CYPRINIDAE*) КАРПОВЫЕ В СЕВЕРНОЙ (КАРЕЛЬСКОЙ) ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА**..... 140

Горбачева Е.А. **БИОТЕСТИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОКЛЕТОЧНОЙ ВОДОРОСЛИ *PHAEODASTYLUM TRICORNUTUM***..... 144

Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ИМАНДРА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**..... 149

Демиденко Н.А. **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГУБЕ ДОЛГАЯ-ВОСТОЧНАЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕВЕРНОЙ ПЭС**..... 157

Денисов Д.Б. **ВОДОРОСЛЕВЫЕ СООБЩЕСТВА В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВО ВОД**

КОЛЬСКОГО СЕВЕРА.....	
Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Здоровеннова Г.Э. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО ЛЕТА 2010 ГОДА.....	161 164
Захаров А.Б., Рафиков Р.Р. РЫБНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ВОСПРОИЗВОДСТВО В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.....	168
Зотин А.А. ВЛИЯНИЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ МОЛЕВОГО ЛЕСОСПЛАВА НА СЕВЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ	170
Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Кучко Я.А. МОНИТОРИНГ ИХТИОФАУНЫ ОЗЕРА КЕНТО (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ).....	174
Калениченко В.М., Курбанова Ф.Г., Шумкова М.В. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ».....	
Комулайнен С.Ф., Сластина Ю.Л. СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЬГОЦЕНОЗОВ ОЗЕР РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ГУМИФИКАЦИИ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА).....	178
Королева И.М., Кашулин Н.А., Терентьев П.М., Зубова Е.М. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ (<i>COREGONUS ALBULA</i> L.) В ВОДОЕМАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	183 186
Краснова Е.Д., Воронов Д.А. ОСВЕЩЕННОСТЬ В РАЗНЫХ СЛОЯХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ.....	190
Круглова А.Н. ЗООПЛАНКТОН РЕК КАНДАЛАКШСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ.....	
Лукина Ю.Н., Лукин А.А., Беличева Л.А. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПАТОГЕНЕЗА РЫБ В ВОДОЕМАХ ПАЛЕАРКТИКИ.....	193
Мусатова М.В., Ефремова Т.А., Лозовик П.А., Сабылина А.В., Рыжаков А.В. АВТОХТОННОЕ И АЛЛОХТОННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ И В ЕГО СОСТАВЕ УГЛЕВОДЫ И ЛИПИДЫ.....	197 201
Никulina В.Н. ФИТОПЛАНКТОН ОЗЕРА КРИВОГО (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ) ПО МНОГОЛЕТНИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ.....	205
Пальшин Н.И., Ефремова Т.В. СВЯЗЬ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ С ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРОЙ ВОДОСБОРОВ	209
Петухов В.А. НЕМАТОДЫ КАК ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ ПРИБРЕЖНОГО МЕЙОБЕНТОСА НЕКОТОРЫХ ОЗЕР КАРЕЛИИ.....	212
Плотицына Н.Ф., Жилин А.Ю. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ЛОСОСЕВЫХ РЕК БАСЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ).....	215
Рафиков Р.Р. ОСОБЕННОСТИ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОГО	

ВОДОЕМА В БАССЕЙНЕ Р. ПЕЧОРА.....	
Сидорова А.И., Калинкина Н.М. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ВСЕЛЕНЦА <i>GMELINOIDES FASCIATUS</i> STEBBING (AMPHIRODA) НА ЛИТОРАЛИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА.....	219 220
Слуковский З.И., Полякова Т.Н. ГЕОЭКОЛОГИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА).....	224
Сярки М.Т. ФЕНОЛОГИЯ ПЛАНКТОНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА.....	228
Теканова Е.В., Сярки М.Т. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОГО ЦИКЛА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ.....	231
Терентьев П.М., Кашулин Н.А., Зубова Е.М., Королева И.М. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЫБНОЙ ЧАСТИ СООБЩЕСТВ МАЛЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	233
Тимофеева В.В. ОСОБЕННОСТИ ФЛОРЫ МАКРОФИТОВ ОЗЕРА ТАЛАЯ ЛАМБА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ).....	
Трошков В.А., Таптыгин М.Ю., Македонская И.Ю., Чернова В.Г., Климовский Н.В. МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ БЕЛОГО МОРЯ (2001-2013 гг.)	237 239
Фролова Л.А., Нигаматзянова Г.Р., Веттерих С., Ширмайстер Л. СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА РЯДА ОЗЕР БАССЕЙНА Р. КОЛЫМЫ НИЖНЕКОЛЫМСКОГО УЛУСА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)	243
Чекрыжева Т.А., Рыжков Л.П. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗ. СВЯТОЗЕРО ПО ФИТОПЛАНКТОНУ	246
Чернова В.Г., Климовский Н.В., Петракова И.В. РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ЯНДОВОЙ ГУБЫ БЕЛОГО МОРЯ	250
Шаров А.Н., Холодкевич С.В. БИОИНДИКАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ ПРЕСНОВОДНЫХ И МОРСКИХ АКВАТОРИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ.....	
Шелехова Т.С. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАОНЕЖЬЯ ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (КАРЕЛИЯ, РОССИЯ).....	

CONTENT

	Page
FOREWORD.....	7
Session 1	
NATURAL AND ANTHROPOGENIC DYNAMICS OF TUNDRA AND FOREST ECOSYSTEMS, CONSERVATION OF BIODIVERSITY. PRESENT-DAY APPROACHES AND TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL CONSERVATION	
Myazin V.A., Evdokimova G.A., Mozgova N.P. CARBON DIOXIDE EMISSIONS AS A SOIL STATUS FACTOR UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC LOAD	9
Nazarova L.E. AIR TEMPERATURE IN KARELIA BY THE CLOSE OF THE XXTH AND IN THE BEGINNING OF THE XXIST CENTURIES.....	13
Nakvasina E.N., Golubeva L.V. TRANSFORMATION OF FALLOW LANDS OF THE KARGOPOL LAND (THE ARKHANGELSK REGION).....	16
Nuvano V.N., Ruzanov V.T. NATURAL AND SOCIAL CONDITIONS FOR REINDEER HERDING ON THE CHUKCHI PENINSULA	19
Petrov N.V., Tuyunen A.V. CANGE PATTERN OF THE FOREST COVER STRUCTURE IN THE NORTH-WEST OF TAIGA ZONE OF RUSSIA (BY THE EXAMPLE OF THE KARELIA REPUBLIC)	23
Podola E.S., Vasilevskaya N.V. REPRODUCTIVE BIOLOGY OF <i>SORBUS GORODKOVII</i> POJARK UNDER CONDITIONS OF AN ARCTIC CITY (BY THE EXAMPLE OF THE POPULATION IN SEVEROMORSK)	26
Predtechenskaya O.O. AGARICOID MACOMYCETAE IN NP VODLOZERSKIY (THE REPUBLIC OF KARELIA)	30
Pugachev A.A. ELEMENTS OF THE SOIL MANAGEMENT CONCEPT IN THE MAGADAN REGION	34
Pugachev A.A., Stanchenko G.V. PECULIARITIES OF SOIL FORMATION IN TUNDRA FORESTS OF THE FAR NORTH-EAST OF RUSSIA	36
Redkina V.V. SOIL ALGAE ALONG THE AIR-BORNE INDUSTRIAL POLLUTION GRADIENT FROM THE KANDALAKSHA ALUMINIUM PLANT	39
Ruokolainen A.V. STRUCTURE OF BIOTA OF APHYLLOPHOROID FUNGI ON EARLY STAGES OF AFTER-CUTTING SUCCESSION	43
Sazonova T.A., Sofronova I.N., Novichonok E.V., Pridacha V.B. WATER REGIME OF WOODY PLANTS IN THE EUROPEAN NORTH-WEST OF RUSSIA	47
Sorokin N.D., Grodnitskaya I.D., Evgrafova S.Yu., Syrtsov S.N., Aleksandrov D.E. STRUCTURAL-FUNCTIONAL PROPERTIES OF MICROBAL COMPLEXES OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS IN THE SIBERIAN CRYOLITHIC ZONE	50
Sorokina O.A. SUCCESSION OF PLANTS AND HUMUS CONTENT CHANGES IN ANTHROPOGENICALLY AFFECTED GREY SOILS OF MIDDLE SIBERIA	55

Stavrova N.I., Gorshkov V.V., Katyutin P.N. STRUCTURE OF COENOPOPOPULATIONS OF CHIEF FOREST-FORMING SPECIES IN NORTHERN-TAIGA DARK CONIFEROUS FORESTS AT VARIOUS DISTANCES FROM COPPER-NICKEL ..SMELTER (THE KOLA PENINSULA)	59
Storozhenko V.G. WOOD-DESTROYING FUNGI IN GENESIS OF VIRGIN SPRUCE TAIGA FORESTS	63
Sukhareva T.A., Isaeva L.G. STATE ASSESSMENT OF BERRY DWARF SHRUBS IN THE IMPACT AREA OF COPPER NICKEL SMELTERS OF THE MURMANSK REGION	68
Sushchuk A.A., Matveeva E.M. COMMUNITIES OF SOIL NEMATODA IN TUNDRA ECOSYSTEMS. IMPACT OF THE TECHNOGENIC TRANSFORMATION.....	72
Tazhikenova N.A., Tsvetkov V.F. PECULIARITIES OF THE LANDSCAPE-ENVIRONMENTAL ORGANIZATION OF FORESTS IN THE SOYANA RIVER BASIN	76
Taskaeva A.A. FAUNA AND POPULATION OF COLLEMBOLA IN ECOSYSTEMS OF THE HKIBINY MOUNTAINS AND THE URALS	79
Tolstokoneva E.N. ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF KAMCHATKA SOILS	82
Urbanavichyus G.P. BIOGEOGRAPHICAL REVIEW OF THE LICHEN SPECIES INCLUDED INTO THE NEW EDITION OF THE RED BOOK OF THE MURMANSK REGION	84
Fokina N.V., Myazin V.A., Gubkina T.G. STUDIES OF SOIL DECONTAMINATION FROM OIL BASED ON SORBENTS OF VARIOUS MODIFICATIONS IN LABORATORY EXPERIMENTS	86
Fomin D.S., Zubkova T.A. CHANGE PATTERN OF PEAT-PODZOL SOILS IN SPRUCE AND PINE FORESTS OF THE ARKHANGELSK REGION	90
Khimich Yu.R. SOME CONCLUSIONS FROM THE STUDIES OF APHYLLOPHOROID FUNGI BIOTA IN THE CITY OF APAITY	93
Tsvetkov V.F., Semenov B.A. THE ISSUE OF TUNDRA FORESTS OF THE EASTERN-EUROPE AND URAL SECTORS	95
Yakovleva E.V., Gabov D.N. BIOACCUMULATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN PLANTS OF THE LOWER STORY OF SOUTHERN DWARF-SHRUB TUNDRA UNDER AFFECTED BY COAL-MINING INDUSTRY	98
Derome K., Merilä P., Lindroos A.-J., Nieminen T.M., Salemaa M., Rautio P., Ukonmaanaho L. COPPER AND NICKEL POLLUTION IN A SUBARCTIC FOREST IN NORTHERNMOST FINLAND	102
Kauhanen H.O. DELAYED REGENERATION OF WIND DAMAGED PINE FORESTS IN EASTERN FINNISH LAPLAND	105

Session 2	106
CURRENT TRENDS IN WATER ECOSYSTEMS OF THE NORTH	
Andrianov V.A. UTILIZATION STRATEGY FOR NORTHERN RIVERS OF RUSSIA	110
Bazova M.M. WATER MIGRATION OF ELEMENTS IN NATURAL WATERS OF THE KOLA NORTH SUBJECT TO THE ROCK PROPERTIES AND AIR-BORNE INDUSTRIAL POLLUTION	113
Baryshev A.A. QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF MACROZOOBENTHOS OF RIVER RAPIDS ALONG THE KANDALAKSHA COAST OF THE WHITE SEA	116
Buljon V.V. IMPACT OF CLIMATE CONDITIONS ON BIOPRODUCTIVITY OF NORTHERN LAKES (BY THE EXAMPLE OF LAKE KRIVOYE, THE NORTHERN KARELIA)	120
Valkova S.A. COMPOSITION AND STRUCTURE OF MACROZOOBENTHIC COMMUNITIES UNDER CONDITIONS OF EUTROPHICATION AND POLLUTION BY MINERAL SUSPENSION	123
Vandysh O.I., Cherepanov A.A. ZOOPLANKTON COMMUNITY OF LAKE KUETSJARVI UNDER LONG-TERM STUDIES	128
Galakhina N.E., Lozovik P.A. FORMING OF CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATERS IN THE IMPACT AREA OF THE KOSTOMUKSHA MINING AND METALLURGICAL PLANT	133
Georgiev A.P. DESCRIPTION OF BIOLOGICAL INDICES OF PERCHES <i>PERCIDAE</i> IN THE NORTHERN (KARELIAN) PART OF LAKE LADOGA IN THE CONTEXT OF FISHERY	136
Georgiev A.P., Cherepanova N.S. DESCRIPTION OF BIOLOGICAL INDICES OF CARPS <i>CYPRINIDAE</i> IN THE NORTHERN (KARELIAN) PART OF LAKE LADOGA IN THE CONTEXT OF FISHERY	140
Gorbacheva E.A. BIOTESTING OF GROUND SEDIMENTS IN THE BARENT SEA USING UNICELLULAR ALGA <i>PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM</i>.....	144
Dauvalter V.A., Kashulin N.A. CHEMICAL COMPOSITION OF GROUND SEDIMENTS IN LAKE IMANDRA IN THE IMPACT ZONE OF MINING ENTERPRISES	149
Demidenko N.A. STUDIES OF HYDROMETHEOROLOGICAL CONDITIONS IN DOLGAYA-VOSTOCHNAYA BAY OF THE BARENTS SEA FOR PROJECTING THE NORTHERN TIDAL HYDROELECTRIC STATION	153
Denisov D.B. ALGAE COMMUNITIES FOR WATER QUALITY ASSESSMENT IN THE KOLA NORTH	157
Efremova T.V., Palshin N.I., Zdorovenнова G.E. CHANGES OF WATER TEMPERATURE AND OXYGEN CONTENT IN THE LAKES OF KARELIA UNDER CONDITIONS OF HOT SUMER OF 2010	161

.....	
Zakharov A.B., Rafikov R.R. FISH RESOURCES AND THEIR REPRODUCTION IN THE WATER BODIES OF THE KOMI REPUBLIC	164
Zotin A.A. IMPACT OF TERMINATION OF LOOSE FLOATING ON NORTHERN ECOSYSTEMS	168
Ilmast N.V., Sterligova O.P., Kuchko Ya.A. MONITORING OF ICHTHYOFAUNA OF LAKE KENTO (THE REPUBLIC OF KARELIA)	170
Kalenichenko V.M., Kurbanova F.G., Shumakova M.V. HYDROCHEMICAL DESCRIPTION OF WATER OBJECTS IN KIVACH RESERVE	174
Komulainen S.F., Slastina Yu.L. STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF ALGOCENOSES IN THE LAKES WITH VARIOUS HUMIFICATION DEGREES (BY THE EXAMPLE OF THE WATER BODIES OF PETROZAVODSK)	178
Koroleva I.M., Kashulin N.A., Terentjev P.M., Zubova E.M. SPACE-TIME VARIABILITY OF BIOLOGICAL PROPERTIES OF <i>COREGONUS ALBULA</i> L IN THE WATER BODIES OF THE MURMANSK REGION	183
Krasnova E.D., Voronov D.A. LIGHTING CONDITIONS IN DIFFERENT LAYERS OF MEROMICTIC LAKES ALONG THE THE WHITE SEA COAST	186
Kruglova A.N. ZOOPLANKTON OF THE RIVERS OF THE KANDALAKSHA COAST OF THE WITE SEA	190
Lukina Yu. N., Lukin A.A., Belicheva L.A. STRUCTURAL AND FUNCTIONAL BASIS OF FISH PATHOGENESIS IN THE WATER BODIES OF THE PALEARCTIC	193
Musatova M.V., Yefremova T.A., Lozovik P.A., Sabylina A.V., Ryzhakov A.V. AUTOCHTHONOUS AND ALLOCHTHONOUS ORGANIC MATTER IN NATURAL WATERS OF KARELIA AND CARBOHYDRATES AND LIPIDS IN ITS STRUCTURE	197
Nikulina V.N. PHYTOPLANKTON OF LAKE KRIVOJE (THE NORTHERN KARELIA) IN LONG-TERM STUDIES	201
Palshin N.I., Yefremova T.V. CORRRELATION OF HYDROOPTIC WATER PROPERTIES THE LAKES OF KARELIA WITH THE LANDSCAPE STRUCTURE OF CATCHMENT AREAS	205
Petukhov V.A. NEMATODA AS BASIC COMPONENT OF COASTAL MEIOBENTHOS IN SOME OF THE KARELIAN LAKES	209
Plotitsyna N.F., Zhilin A.Yu. POLLUTANTS IN THE WATERS OF SALMON RIVERS OF THE WHITE SEA BASIN (THE KOLA PENINSULA)	212
Rafikov R.R. PECULIARITIES OF THE FISH POPULATION OF AN INDUSTRIAL WATER BODY IN THE PECHORA RIVER BASIN	215
Sidorova A.I., Kalinkina N.M. SPATAL DISTRIBUTION OF THE POPULATION OF <i>GMELINOIDES FASCIATUS</i> STEBBING (AMPHIPODA) ON THE LITORAL AREA OF THE PETROZAVODSK BAY OF LAKE ONEGA	219
	220

Slukovskiy Z.I., Polyakova T.N. GEOECOLOGY OF GROUND SEDIMENTS IN SMALL RIVERS OF URBAN TERRITORIES (BY THE EXAMPLE OF PETROZAVODSK).....	224
Syarki M.T. PHENOLOGY OF PLANKTON IN LAKE ONEGA	
Tekanova E.V., Syarki M.T. REGULARITIES OF SEASONAL PRIMARY PRODUCTION CYCLE IN LAKE ONEGA	228
Terentjev P.M., Kashulin N.A., Zubova E.M., Koroleva I.M. STATE ASSESSMENT OF FISH COMMUNITY OF SMALL LAKES IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE MURMANSK REGION	231
Timofeeva V.V. MACROPHYTE FLORA OF LAKE TALAYA LAMBA (THE REPUBLIC OF KARELIA)	233
Troshkov V.A., Tapytgin M.Yu., Makedonskaya I.Yu., Chernova V.G., Klimovskiy N.V. LONG TERM ECOSYSTEM MONITORING IN THE WHITE SEA (2001-2013).....	237
Frolova L.A., Nigamatzyanova G.R., Vetterikh S., Shirmaister L. STRUCTUREAL-FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF ZOOPLANKTON IN SOME LAKES OF THE RIVER KOLYMY BASIN IN THE NIZHNIJ KOLYMA SETTLEMENT (NORTH-EASTERN YAKUTIA)	239
Chekryzheva T.A., Ryzhkov L.P. ENVIRONMENTAL STATUS OF LAKE SVYATOZERO BASED ON PHYTOPLANKTON STUDIES	243
Chernova V.G., Klimovskiy N.V., Petrakova I.V. RESULTS OF SEASONAL CHANGES IN POLUTTANT CONCENTRATIONS IN YANDOVA BAY OF THE WHITE SEA	246
Sharov A.N., Kholodkevich S.V. ECOSYSTEM BIOINDICATION OF FRESHWATER AND MARINE WATER AREAS BASED ON FUNCTIONAL STATE ASSESSMENT OF MUSSELS	250
Shelekhova T.S. HYSTORY OF DEVELOPMENT AND CURRENT STATE OF WATER ECOSYSTEMS OF ONEGA REGIONBASED ON DIATOMS ANALYSIS OF GROUND SEDIMENTS (KARELIA, RUSSIA)	