



Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

№ 2, 2008

Учредитель журнала ООО Издательский дом «Камертон»
Генеральный директор ООО ИД «Камертон»
профессор Б.И. Кочуров

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Т.Я. Ашихмина, д.т.н., профессор, зав. кафедрой химии Вятского государственного гуманитарного университета, зав. лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Зам. главного редактора

В.В. Гутенёв, д.т.н., профессор Российской академии государственной службы при Президенте РФ, лауреат Государственной премии РФ

Зам. главного редактора

А.И. Таскаев, к.б.н., зам. председателя Президиума Коми НЦ УрО РАН, директор Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Зам. главного редактора

И.Г. Широких, д.б.н., зав. лабораторией генетики ГУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого РАСХН

Ответственный секретарь

С.Ю. Огородникова, к.б.н., научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Журнал издаётся при поддержке
ОАО «Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт «Кировпроект»,
ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии,
Института биологии Коми НЦ УрО РАН,
Вятского государственного гуманитарного университета

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия
Свидетельство о регистрации ПФ № ФС 77-29059

Подписной индекс **82027** в каталоге
Агентства «Роспечать»

Зарубежная подписка оформляется через фирмы-партнёры
ЗАО «МК-ПЕРИОДИКА» по адресу: 129110, г. Москва,
ул. Гиляровского, 39, ЗАО «МК-Периодика».
Тел. (495) 281-91-37; 281-97-63. Факс (495) 281-37-98
E-mail: info@periodicals.ru http://www.periodicals.ru

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners
of JSC «MK-Periodica» in your country or to JSC
«MK-Periodica» directly. Address: Russia, 129110 Moscow, 39,
Gilyarovsky St., JSC «MK-Periodica»

Журнал поступает в Государственную думу Федерального собрания, Правительство РФ, аппарат администрации субъектов Федерации, ряд управлений Министерства обороны РФ и в другие государственные службы, министерства и ведомства

Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны. Редакция не несёт ответственности за достоверность информации, содержащейся в рекламных объявлениях

Подготовлен к печати в издательстве ООО «О-Краткое»

610020 г. Киров, ул. Советская, 51а
Тел./факс (8332) 36-61-44. E-mail: okrat@okrat.ru
Оригинал-макет, дизайн – Татьяна Коршунова
Фото на обложке – Татьяна Коршунова, Евгений Дрогов
Перевод – Ирина Кондакова
Выпускающий редактор – Мария Зелаева
Главный редактор издательства «О-Краткое» Евгений Дрогов

Подписано в печать 07.05.2008 Формат 60x84¹/₁₆. Печать офс.
Бумага офс. Усл.п.л. 12,5. Тираж 1150 экз. Заказ № 2857.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных материалов в Куменском филиале
ОАО «Кировская областная типография»
613400, Кировская обл., п. Кумены, ул. Лесная, 4

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННЫХ СОВЕТОВ

Н.П. Лавёров

председатель межведомственной комиссии при Совете безопасности РФ, вице-президент РАН, академик РАН

ПРЕЗИДИУМ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

В.А. Грачёв

д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН, председатель комитета Госдумы РФ по экологии

В.И. Холстов

д.х.н., заместитель руководителя Федерального агентства по промышленности

В.Н. Чупис

д.ф.-м.н., директор ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии

В.Г. Ильницкий

к.с.н., директор ОАО «Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт «Кировпроект»

К.Б. Пуликовский

руководитель Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

В.А. Алексеев

д.т.н., профессор Ижевского государственного университета

В.А. Антонов

к.т.н., заместитель начальника экологической безопасности ВС РФ, член-корреспондент Академии геополитических проблем, профессор Академии военных наук

С.И. Барановский

д.т.н., профессор, академик РЭА, зам. председателя общественного совета Росатом, президент РЭК

Г.А. Баталова

д.с.-х.н., член-корреспондент РАСХН, ГУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого

Л.И. Домрачева

д.б.н., профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии

Г.П. Дудин

д.б.н., профессор, проректор по науке Вятской государственной сельскохозяйственной академии

И.А. Жуйкова

к.г.н., доцент Вятского государственного гуманитарного университета

Л.Л. Журавлёва

д.т.н., заместитель директора ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии

Г.М. Зенова

д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

В.И. Измалков

д.т.н., профессор Военной академии Генштаба РХБЗ

Г.Я. Кантор

к.т.н., научный сотрудник лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Б.И. Кочуров

д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института географии РАН

Г.Г. Кузяхметов

д.б.н., профессор Башкирского государственного университета

В.И. Курилов

д.ю.н., профессор, ректор Дальневосточного государственного университета

В.З. Латыпова

д.х.н., член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, профессор Казанского государственного университета имени В.И. Ульянова-Ленина

В.Н. Летов

д.м.н., профессор Российской медицинской академии последипломного образования

Ли Юй

Министерства здравоохранения России профессор, директор Института микологии Цилинского аграрного университета, иностранный член РАСХН (КНР)

В.А. Малинников

д.т.н., профессор Московского государственного университета геодезии и картографии

А.Г. Назаров

д.б.н., директор Экологического центра (ИИЕТ РАН), председатель отделения проблем изучения биосферы РАЕН

Ю.Г. Пузаченко

д.г.н., профессор Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова

В.П. Савиных

д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор Московского государственного университета геодезии и картографии

В.А. Сысуев

д.т.н., академик РАСХН, директор ГУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого

В.И. Теличенко

д.т.н., профессор Академии РААСН, ректор Московского государственного строительного университета

Т.А. Трифонова

д.б.н., профессор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

А.И. Юнак

к.ф.-м.наук, генерал-лейтенант экологической безопасности Вооружённых сил МО РФ

В.Т. Юнгблюд

д.и.н., проректор по научной работе Вятского государственного гуманитарного университета

О.В. Яковенко

к.ф.н., заместитель начальника отдела экологии Правительства Российской Федерации

По вопросам размещения рекламы и публикации статей обращаться:

610002, г. Киров, ул. Свободы, 122, тел./факс: 8 (8332) 37-02-77

E-mail: ecolab@vshu.kirov.ru; ecolab2@gmail.com

119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

Тел./факс: (495) 129-28-31. E-mail: info@ecoregion.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

- А.А. Широких* Совместная эволюция растений и микроорганизмов 4
А.К. Мартусевич, О.Б. Жданова Экологический аспект феномена микроорганизм-ассоциированного кристаллогенеза 15

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ

- Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, Т.Я. Ашихмина, С.Ю. Огородникова, А.С. Олькова, А.И. Фокина* Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах 23
А.В. Садов, О.Б. Нанолов Основные принципы типизации экологических ситуаций 29

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- С.А. Буймова, В.В. Костров* Изменение качества родниковых вод в городах Иваново и Кохма Ивановской области 38

ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД И ОБЪЕКТОВ

- В.Н. Чупис, Л.Л. Журавлёва, В.А. Журнов, И.Н. Ларин, Е.А. Луцкай, Н.В. Емельянова, Е.В. Ильина, Д.Е. Иванов* Оценка качества воды водоёма-охладителя Балаковской атомной электростанции методами биомониторинга 43

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

- А.У. Исаева, А.А. Ешибаев, А.К. Саданов, Л.А. Акынова* Влияние различных фракций нефти на морфометрические параметры растений 51

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- В.Н. Летов* «Теневые» факторы Чернобыльской катастрофы 55

СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- М.И. Струк* Трансформация пространственной структуры расселения населения территории Беларуси и её экологические последствия 59

ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- С.Ю. Маракулина, С.В. Дёгтева* Изменение экологических условий, растительности и почв при восстановительных сукцессиях на суходольных лугах Кировской области 64
А.В. Кузьмин, Е.Ю. Полоскова, О.М. Распопов, Л.И. Кузьмина, О.А. Гончарова Состояние сосновых древостоев в условиях распределённого влияния осадков 74

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- Н.Б. Седова, Е.Ю. Кочемасова* Ретроспективный анализ социально-экономического развития и структуры природопользования Европейского Севера России 80
Ф.М. Хабибуллина, И.А. Лиханова, Т.А. Творожникова, И.З. Ибатуллина Микробиота органогенного слоя почв послерубочных листовых насаждений средней тайги 86

НОВОСТИ, КОММЕНТАРИИ БИБЛИОГРАФИЯ

- РОСТЕХНАДЗОР** 92

- Л.И. Домрачева* Новая монография о микроскопических грибах 95

ХРОНИКА

- Т.Я. Ашихмина* «Общественный форум-диалог «Атомная энергия, общество, безопасность» 97
С.Г. Скугорева «III-я молодёжная научно-практическая конференция «Экология родного края: проблемы и пути их решения» 98

- Правила для авторов** 99

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS of ECOLOGY	<i>A.A. Shirokikh</i> Joint Evolution of Plants and Microorganisms 4 <i>A.K. Martusevich, O.B. Zhdanova</i> Ecological Aspect of the Phenomenon of Microorganism-associated Crystallogenesis 15
METHODOLOGY And METHODS of RESEARCH. MODELS And FORECASTS	<i>L.I. Domracheva, L.V. Kondakova, T.Y. Ashikhmina, S.Y. Ogorodnikova, A.S. Olkova, A.I. Phockina</i> Application of Tetrazole-topographic Method in Defining Dehydrogenizing Activity of Cyanobacteria in Polluted Environments 23 <i>A.V. Sadov, O.B. Napolov</i> The Main Principles of Ecological Situations Classification 29
MONITORING OF ANTHROPOGENICALLY DAMAGED TERRITORIES	<i>S.A. Bujmova, V.V. Kostrov</i> Changes in Spring Water Quality in the Towns of Ivanovo and Kokhma of Ivanovo Region 38
CHEMISTRY of NATURAL ENVIRONMENT And OBJECTS	<i>V.N. Chupis, L.L. Zhuravljova, V.A. Zhirnov, I.N. Larin, E.A. Lushchai, N.V. Yemeljanova, E.V. Iljina, D.E. Ivanov</i> Estimation of Water Quality in the Cooling-reservoir of Balakovo Atomic Electric Power Station by Means of Biomonitoring Method 43
ECOTOXICOLOGY	<i>A.U. Isajeva, A.A. Eshibajev, A.K. Sadanov, L.A. Akinova</i> Influence of Different Oil Fractions on Plants' Morphometric Parameters 51
ECOLOGICAL RISK And ECOLOGICAL SAFETY	<i>V.N. Letov</i> «Shadow» Factors of Chernobyl Catastrophe 55
SOCIAL ECOLOGY	<i>M.I. Strook</i> Spacial Structure Transformation of Population Allocation in Belarus and its Ecological Consequences 59
POPULATION ECOLOGY	<i>S.Y. Marakulina, S.V. Djogteva</i> Change in Ecological Environment, Vegetation and Soils in Restorative Successions of Dry Meadows in Kirov region 64 <i>A.V. Kuzmin, E.Y. Poloskova, O.M. Raspopov, L.I. Kuzmina, O.A. Goncharova</i> The State of Pine Stand under the Distributed Influence of Precipitations 74
PROBLEMS of NATURE MANAGEMENT	<i>N.B. Sedova, E.Y. Kochemasova</i> Retrospective Analysis of Social-Economic Development and Structure of Nature Management in the North of European Russia 80 <i>F.M. Habibullina, I.A. Lihanova, T.A. Tvorozhnikova, I.Z. Ibatullina</i> Microbiota of Organogenic Soil Layer in After-Felling Deciduous Plantings of Middle Taiga 86
NEWS, COMMENTS	RUSSIA ENGINEERING SUPERVISION 92
BIBLIOGRAPHY	<i>L.I. Domracheva</i> New Monograph on Microscopic Fungi 95
CHRONICLE	<i>T.Y. Ashikhmina</i> Public Forum-Dialogue «Atomic Energy, Society, Safety» 97 <i>S.G. Skoogoreva</i> The Third Youth Scientific-Practical Conference «Native Place Ecology: Problems and Ways of their Solving» 98
	Authors Regulations 99

Совместная эволюция растений и микроорганизмов

© 2008. А.А. Широких

ГУ Зональный НИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого РАСХН

В обзоре рассмотрены эволюционные аспекты симбиоза микроорганизмов с растениями. Обсуждаются современное состояние и перспективы дальнейших исследований симбиотических взаимоотношений микроорганизмов и растений и использование их в биотехнологии растений.

The survey deals with evolutionary aspects of microorganisms and plants symbiosis. The up-to-date state and further prospects of investigation of microorganisms-and-plants symbiotic interaction, as well as their use in plant biotechnology is discussed.

Начальные этапы коэволюции растений и микроорганизмов. Формирование первых сообществ

Появление на Земле первых прокариотных организмов, как закономерный результат эволюции органических молекул, обусловило развитие различных взаимодействий их друг с другом и абиогенной средой обитания. Эти взаимодействия явились толчком к возникновению биотического круговорота химических элементов, лежащего в основе функционирования биосферы. Крупный вклад в теорию эволюции биосферы внес академик А.М. Уголев [1, 2]. Согласно предложенному им подходу, биосферу следует рассматривать как трофосферу, состоящую из разнообразных трофоценозов, сосуществующих в виде цепей или сетей (блоков), обеспечивающих круговорот вещества и энергии. Организмы, входящие в трофоценозы, сочетаются по определённым закономерностям – парагенетическим связям, в которых значение имеет не их родство, а функциональное место в круговороте веществ. В связи с этим эволюция видов лимитирована «экологическими лицензиями» в пределах экосистем (трофоценозов) и ограничена рамками последних. Иными словами, авто- и гетеротрофы в пределах трофоценозов обречены на взаимную параллельную коэволюцию. При трофоценотическом подходе микроорганизмы-гетеротрофы следует рассматривать как необходимый и равноправный с фотосинтезирующими растениями компонент биосферы.

Первые живые клетки были анаэробными гетеротрофами, использовавшими в качестве строительного материала и топливного сырья растворённые в море органические соединения. По мере роста и размножения этих

первых клеток запасы органических соединений в древних морях постепенно истощались. В таких условиях выжить могли лишь те клетки, которые приобрели способность использовать в качестве строительного материала простейшие соединения, в частности, двуокись углерода, а в качестве источника энергии – солнечный свет.

Первыми автотрофными фотосинтезирующими клетками, выделявшими кислород, были цианобактерии. До их появления кислорода в атмосфере не было вообще. Ультрафиолетовые лучи легко проходили через атмосферу и достигали поверхности Земли. Жизнь была ограничена мелководьем. Цианобактерии стали основным ядром древних сообществ микроорганизмов, в основе которых лежали трофические отношения. В палеонтологической летописи Земли сохранилось не много fossilized остатков древних цианобактерий. Ископаемые остатки цианобактериальных сообществ, называемых строматолитами, обнаруживаются в сланцах серии Фиг-Три (Южная Африка), в геологических отложениях Варравуна (Австралия). Возраст этих ископаемых остатков составляет 3,1–3,5 млрд. лет. Эти древние прокариотные сообщества, процветавшие в докембрии во внутриконтинентальных водоёмах, сформировали первую биосферу с устойчивым круговоротом биогенных элементов [3]. Современные циано-бактериальные сообщества (циано-бактериальные маты) мало изменились в течение истории Земли, и поэтому их можно рассматривать как реликтовые. Реликтовые прокариотные сообщества полноценны и устойчивы, что подтверждается временем их существования в геологической истории.

Циано-бактериальные маты представляют собой морфологически оформленные со-

общества разнородных организмов. Тесные взаимодействия и контакт трофических групп микроорганизмов в циано-бактериальных матах позволяет рассматривать их как место возникновения первых симбиотических взаимоотношений между организмами. В этих сообществах, как и в современных симбиотических системах, высока вероятность горизонтального генетического обмена между партнёрами. Экология циано-бактериальных сообществ подробно освещена в работах Г.А. Заварзина с сотрудниками [4 – 6]. Авторы рассматривают эти сообщества как центры происхождения наземной граммотрицательной микрофлоры. В этих работах показано, что граммотрицательные бактерии, большинство которых в современной классификации объединены в класс *Proteobacteria*, составляют окружение центрального ядра из цианобактерий и разлагающих их некромассу организмов.

Возникновение симбиотических связей в древних циано-бактериальных сообществах привело к новому направлению эволюции – «организм → консорция → симбиоз → организм», обусловило возникновение ряда новых форм жизни и новых типов экологических взаимоотношений. Например, большую популярность приобрела в настоящее время теория симбиогенного происхождения эукариотической клетки. Сторонники «теории серийных симбиозов» [7 – 10] полагают, что эукариотическая клетка возникла в результате интеграции организмов, близких к археям, с различными бактериями, которые дали начало митохондриям (α -протеобактерии) и пластидам (цианобактерии). Предпосылкой для возникновения внутриклеточных симбиозов, может являться сохранившийся у некоторых современных одноклеточных организмов голозойный тип питания. Древние жгутиконосцы с голозойным типом питания захватывали цианобактерий как добычу. Однако, в силу стечения благоприятных обстоятельств, цианобактериям удавалось не только сохраниться внутри клеток хозяина в неповреждённом виде, но, вступив в симбиотические отношения, превратиться в органеллы – цианеллы (цианопласты). Примером подобного эндосимбиоза являются хлоропласты жгутиконосцев (*Cyanophora paradoxa*). Клетки эндосимбионта, цианобактерии из рода *Chroococcus*, под влиянием симбиотического образа жизни несколько изменяются. Это выражается главным образом в редукции клеточной стенки: вместо четырёхслойной она становится двухслойной. Цианобактерии

принимают на себя функции хлоропластов, но ими не становятся, в пользу чего свидетельствует существенная разница в организации цианелл и пластид. Цианеллы характеризуются концентрическими тилакоидами, муреиновой клеточной стенкой, отсутствием хлорофилла *b* [11]. Деление цианелл, как и свободноживущих цианобактерий, осуществляется путём перетяжки пополам, оно автономно и не приурочено к периоду размножения клетки-хозяина. В лабораторных условиях в специально подобранной питательной среде цианеллы ведут себя как самостоятельные организмы – они успешно растут и размножаются. В цианеллах обнаружено около 70 генов, отсутствующих в пластидах высших растений [12], а для общих генов выявлена архаичная структура, позволившая поместить цианеллы в основание филогенетического древа пластид [13, 14].

На своих ранних этапах симбиогенная эволюция эукариот была частично обратимой. Приобретённые органеллы могли элиминироваться без утраты хозяином жизнеспособности. Примером такой обратимости может являться одноклеточная водоросль *Euglena*, которая при гетеротрофном питании может полностью утрачивать пластиды, сохраняя способность к нормальному развитию [15].

Появление в результате симбиогенной эволюции клеток эукариотных водорослей на протяжении геологической истории привело к постепенному заселению ими множества различных, в том числе и наземных, местообитаний. Существенную роль в распространении эукариотных водорослей играли их взаимодействия с прокариотными организмами. В основе таких взаимодействий лежат трофические связи, обусловленные экскрецией водорослями внеклеточных метаболитов. Вокруг клеток водорослей формируется специфическая экониша, определяемая в гидробиологии термином «фикосфера». Предполагается, что экскреция водорослями органических соединений возникла в ходе эволюции и была в значительной мере направлена на установление симбиотических отношений между водорослями и гетеротрофными микроорганизмами [16, 17]. В составе экзометаболических водорослей преобладают углеводы, органические кислоты, азотсодержащие вещества и липиды. В морских и пресноводных водоёмах 10–40% общей первичной продукции фитопланктона выделяется в среду и ассимилируется гетеротрофными организмами. Одним из самых распространённых экзометаболических

водорослей является гликолевая кислота. Например, бактерии-спутники, изолированные из культуры *Chlorella vulgaris*, утилизируют только гликолат, являющийся регулятором роста водорослей [19]. Удаляя избытки гликолевой кислоты, бактерии способствовали развитию альгобактериального сообщества в целом.

Взаимодействие водорослей и бактерий определяется также обменом витаминами и фитогормонами, стимуляцией процесса азотфиксации у цианобактерий бактериями-спутниками [20]. В модельных системах с лабораторными культурами водорослей и азотфиксирующих бактерий было показано усиление азотфиксирующей активности ассоциации и замедление процессов старения водоросли [21, 22]. В ассоциации *Chlamydomonas reinhardtii* и *Rhizobium leguminosarum* водоросль полностью сохраняла хлорофилл, а аксеничная культура желтела и лизировалась на 30 сутки. Возможно, что бактерии разлагают аутоингибиторы роста водорослей, накапливающиеся в стационарной фазе их роста [16].

Бактериальный компонент в альгобактериальных сообществах представлен в основном граммотрицательными бактериями. Такая структура бактериального компонента определяется образованием водорослями антибиотических и других ингибирующих веществ, которые избирательно подавляют рост грамположительных бактерий [23]. Бактерицидную активность водорослей связывают также с выделением ими в среду свободных жирных кислот [24] и хлорофиллидов – предшественников синтеза хлорофилла [25]. По мнению Т.Г. Добровольской [23], ингибирующее воздействие водорослей именно на грамположительные бактерии связано с тем, что многие из них обладают гидролитическими экзоферментами и являются нежелательными компонентами сообщества. В водных экосистемах деструкторами биомассы водорослей являются граммотрицательные бактерии [26 – 28]. Появление грамположительных бактерий, участвующих в деструкции биомассы водорослей, отмечают в пограничном биотопе – прибрежной зоне морей [29].

Выход растений на сушу

Важнейшим событием в эволюции биосферы и всех наземных экосистем, произошедшим в ордовике-силуре, является выход растений на сушу. Поскольку функционирование любой экосистемы определяется взаимоотношениями

автотрофного блока (продуценты) с микробным сообществом (редуценты), то заселение суши высшими растениями могло произойти только при условии, что на суше уже действовала система микробной деградации биомассы [30]. Продуктивность растительных сообществ определяется не столько скоростью фотосинтеза органического вещества, сколько интенсивностью деструкции растительных остатков. Таким образом, освоение суши растениями происходило совместно с микроорганизмами, одни из которых являлись симбиотрофными компонентами растительных симбиозов и ассоциаций, а другие выступали в роли редуцентов растительной некромы.

Одними из первых поселенцев суши, вероятно, были водоросли. Они и сейчас являются пионерами при заселении нарушенных почв, вулканических выбросов, выходов скальных пород, техногенных отвалов, выработанных торфяников и других субстратов, где начинается почвообразовательный процесс. Массовое разрастание водорослей на поверхности почвы или «цветение» ведёт к формированию специфической экониши, которая была названа Б.В. Громовым (1956) «альгосферой». Формирование альгоценозов на вновь осваиваемых субстратах и техногенно нарушенных биоценозах, начинается заносимыми с пылью зелёными водорослями и проходит этапы аэрофитона, эпилитофитона и примитивного эдафона [31]. Закономерностям развития «цветения» почвы и вопросам взаимоотношений почвенных водорослей с бактериями, актиномицетами и грибами посвящены обзоры и монографии [32 – 35]. Некоторые микробиологические аспекты формирования альгобактериальных ассоциаций изложены в работах автора [36 – 40].

В наземных альгобактериальных сообществах сохраняется ярусная структура (но не таксономический состав ассоциантов), как и в альго-бактериальных матах [41, 42]. Вследствие этого в «цветущей» почве формируется специфический бактериальный комплекс, резко отличающийся по составу от почвенного микробного комплекса. В альго-бактериальных ассоциациях, как и в ризосфере высших растений, доминируют протеобактерии родов: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Methylobacterium*, *Caulobacter*. Из водорослевых разрастаний с выработанных торфяников нам удалось изолировать штаммы *Methylobacterium mesophilicum*, которые способствовали регенерации растений из каллусных культур на среде без фитогормонов [43].

В отличие от циано-бактериальных матов, в альгосфере обнаружены представители грамположительных прокариот – стрептомицеты. В результате исследований, проведённых Г.М. Зеновой с сотрудниками [34], была обнаружена способность стрептомицетов вступать в симбиоз с зелёными водорослями с образованием лишайникоподобного таллома, который был назван автором «актинолишайником». Такие симбиозы складываются обычно в местах, где начинается первичный почвообразовательный процесс. Возможно, что актиномицеты, образовавшие симбиоз с водорослями, сыграли существенную роль в коэволюции автотрофов и гетеротрофов и в образовании первичных примитивных почв.

Анализ прокариотного компонента альгосферы позволяет считать, что уже первые наземные водорослевые ассоциации объединяли в себе черты ризосферы и филлопланы будущих высших растений [44, 45].

Особое значение в освоении суши растениями придаётся мутуалистическим отношениям между организмами. Самым ярким примером являются лишайники, получившие в результате объединения гриба с водорослью своеобразную морфологию, физиологию и образ жизни. Образцы наиболее древнего и полно описанного цианолишайника, которому дано родовое название *Winfrenatia*, обнаружены в Райниевых чертах девона Шотландии [46].

Есть гипотезы, что огромная группа морских водорослей багрянок – морские лишайники, у которых древние аскомицетоподобные грибы приобрели в качестве внутриклеточных симбионтов цианобактерии. На роль древнего представителя таких организмов выдвигают широко распространённые в раннем девоне растения рода *Prototaxites*. Виды *Prototaxites* относили к бурым водорослям [47] и обычно рассматривали как одних из первопоселенцев суши – связующее звено между водорослями и высшими сосудистыми растениями. Изучив микроскопическое строение таллома *Prototaxites* более детально, чем это было сделано ранее, Ф.М. Хуберт [48, 49] пришёл к выводу, что этот организм представляет собой многолетний спорофор гомобазидиомицета с сапротрофным способом питания и развитым наземным мицелием. Современная симбиогенная гипотеза о природе представителей рода *Prototaxites*, заключается в том, что данный организм, помимо сапротрофного питания, обладает также фотосинтетическими функциями [50] и имеет лишайниковую природу. Эта гипотеза отражает клю-

чевое значение процесса коэволюции грибов и растений в освоении суши и их дальнейшей совместной эволюционной судьбе.

Мутуалистические ассоциации грибов с водорослями – лишайники возникали в ходе эволюции много раз [44]. Если в отложениях перми, триаса и карбона лишайники не обнаружены, то в третичном периоде обнаруживаются фоссилизированные остатки лишайников хорошей сохранности [51]. В лишайнике присутствует и третий компонент симбиоза – бактерии. В результате микробиологических исследований из талломов лишайников были изолированы целлюлозолитические (род *Cellvibrio*) и азотфиксирующие бактерии (роды *Azotobacter* и *Beijerinckia*) [52, 23]. Целлюлозолитические и азотфиксирующие бактерии обычно находятся в ассоциациях, в основе которых лежат синтрофные взаимоотношения. Поэтому обнаружение в талломах лишайников этих ассоциаций позволяет говорить о лишайнике как сложном синтрофном микробном ценозе, являющимся продуктом симбиогенной эволюции. Лишайники, осваивая новую эконишу – сушу, положили начало почвообразовательному процессу. Наземное реликтовое сообщество, практически полностью лишённое высших растений, сейчас можно наблюдать в Антарктиде – континенте лишайников.

Выход растений на сушу и формирование первых наземных растительных сообществ в девоне осуществился благодаря симбиозу грибов и предковых форм сосудистых растений. Полагают, что мицелий симбиотических грибов-оомицетов дал начало сосудам. Произошло усложнение организации растений и их экологической пластичности через согласование путей метаболизма кобионтов – автотрофов и гетеротрофов. Можно говорить о качественно новых образованиях, своего рода двойных организмах – микофитах, которые освоили сушу и обеспечили стабилизацию первых наземных растительных сообществ. За период в 50 млн. лет сложилась исключительно разнообразная наземная растительность, и девонские растения за сравнительно короткий срок приобрели сложную организацию. Вопросы совместной эволюции высших растений и грибов хорошо освещены в книге И.В. Каратыгина «Коэволюция грибов и растений» [53]. По мнению автора, в бедных минеральными солями субстратах ордовика и силура, где многие биогенные элементы находились в минимуме, осмотротрофные грибы в растениях без корневой системы играли роль поставщиков

и распределителей дефицитных элементов (в основном фосфора). Таким образом, расцвет биоразнообразия сосудистых растений в девоне и последующая стабилизация первых, хрупких и непрочных наземных экосистем обязаны симбиозу мико- и фитобионтов.

Микориза и формирование наземных фитоценозов

Первые арбускулярные эндомикоризы найдены в тканях подземных частей древнейших наземных растений (*Rhynia*, *Asteroxylon*, *Horneophyton*) из Райниевых черт в Шотландии [54]. Последующие авторы неоднократно подчёркивали сходство этих ископаемых грибов с современными эндомикоризными грибами рода *Glomus* [55 – 57]. Роду ископаемого возбудителя эндомикоризы дано название *Glomites* [58]. При арбускулярной эндомикоризе грибной мицелий располагается в межклеточном пространстве корня и образует в его клетках трофические органы – сильно разветвленные выросты – арбускулы. Отсюда и название этого типа микоризы. Наличие арбускул и у видов рода *Glomites* свидетельствует о том, что эндомикориза активно функционировала в раннем девоне и имела широкое распространение. Эти грибы уже обладали набором сигнальных механизмов, давшим им возможность длительно сосуществовать с фотобионтами [51]. Сейчас микоризы обнаружены у 90% наземных растений [59].

У растений, имеющих на корнях микоризу, улучшается корневое питание, поскольку увеличивается объём почвы, охватываемой всасывающей поверхностью. Радиус грибной гифы на два порядка меньше радиуса корневого волоска, поэтому поверхность корня на единицу объёма (или веса) в 100 раз меньше поверхности гифы, т. е. для продукции одинаковой всасывающей зоны растению требуется в 100 раз больше материала, чем грибу [60]. Возникла способность к межклеточной регуляции развития микроорганизмов в кортексе корня, к образованию внутриклеточных симбиотических структур, а также к усвоению хитиноподобных метаболитов микросимбионта.

Эктотрофная микориза – эволюционно более молодая форма симбиоза, формирование которой вызывается агариковыми базидиальными грибами, получила первоначальное развитие в триасе одновременно с голосеменными [51]. Заражение клеток грибами вызвало эволюцию защитных механизмов растений и привело к формированию лигни-

на – трёхмерного сложного полимера ароматических спиртов, второго по распространению в природе (после целлюлозы) полимера. В свою очередь, у грибов возникли ферментативные системы, разлагающие лигнин. Продукты разложения лигнина – гуминовые соединения являются основой почвенного гумуса. Таким образом, эктотрофная микориза вносит свой вклад в почвообразовательные процессы [60].

Эктотрофная микориза оказывает влияние на эволюцию растительных сообществ. В книге Дж. Харли и С. Смит [61] для оценки характера отношений между организмами в экосистемах предложена концепция «социального комплекса организмов». Центральным звеном этой концепции является новое представление о роли микоризы в экосистемах. В растительных сообществах растения многих видов разных возрастов и различных вегетационных слоёв оказываются взаимосвязанными посредством мицелия микоризных грибов, по которому минеральные вещества и углеводы способны перераспределяться в пределах сообщества от одних растений к другим. Микориза в таком сообществе выступает как некий интегрирующий механизм, определяющий его физиологическую целостность. В этой ситуации микориза, участвуя в перераспределении биогенных элементов, оказывает определённое воздействие на конкурентные отношения между растениями в сообществе. Успех в этой конкуренции в большей степени зависит от эффективности связей растений с микоризными грибами, чем от отношения растений между собой и, следовательно, обеспечивает эволюцию видов в направлении укрепления симбиотических связей с микосимбионтом.

Микоризные грибы взаимодействуют с широким спектром почвенных прокариотических организмов, образуя специфическую эконишу «микоризосферу» [62]. Взаимоотношения микоризных грибов с бактериями могут быть самыми разнообразными – от конкуренции до мутуализма. Анализ этих связей приводится в обзорах: Р. Линдерман [63]; А. Фиттер и Дж. Гарбай [64]. Микоризные грибы оказывают влияние на характер взаимоотношений с фитонематодами, фитопатогенными грибами, бактериями. Особое значение имеет симбиоз микоризных грибов с азотфиксирующими бактериями. Эндомикоризные грибы бобовых растений стимулируют фиксацию азота, осуществляемую клубеньковыми бактериями р. *Rhizobium* [65, 66].

С поверхности спор микоризных грибов рода *Glomus* изолируются азотфиксирующие бактерии *Azospirillum* [67]. Микоризация растений позволяет повысить численность азоспирилл в ризоплане в 10–100 раз [68].

Кроме грибов микоризообразователей, в тканях растений присутствуют эндофитные грибы. Эндофиты – это организмы, живущие внутри растений, но не вызывающие симптомов заболеваний и находящиеся с хозяином в мутуалистических отношениях. Эндофиты усиливают устойчивость растений к различным биотическим и абиотическим стрессам, что повышает их конкурентоспособность и даёт преимущество в борьбе за выживание [69]. Эндофитные грибы могут вызывать половую стерилизацию растения-хозяина, что вынуждает их размножаться вегетативно и ведёт к формированию клональной структуры популяции [70].

Растения как среда обитания микроорганизмов

Земная поверхность является более гетерогенной средой обитания, чем вода. Поэтому выход растений на сушу обусловил дифференциацию растительных организмов на различные по своему назначению органы и ткани. В процессе эволюционного развития у растений сформировались корни, стебли, листья, цветки, почки, семена, плоды. Эти органы растений представляют для микроорганизмов специфические экониши, которые пространственно значительно удалены друг от друга. Для обозначения этих экониш были предложены специфические термины. Филлосфера и филлоплана – надземные части растений и непосредственно поверхность листьев, ризосфера и ризоплана – зона вокруг корней и их поверхность, геммисфера – почки растений, спермосфера – семена. Освоение этих экониш бактериями происходило путём поселения на поверхности различных органов растений и внедрения непосредственно в растительные ткани. Анализ таксономического состава бактерий в различных эконишах, формируемых растениями, подробно изложен в книге Т.Г. Добровольской [23]. Автор отмечает, что большинство видов протеобактерий перешло вместе с растениями из водных в наземные экосистемы. В растительных сообществах они представлены различными экологическими группами: эккрисотрофы, факультативные и облигатные эндосимбионты, фитопатогены. Большинство этих бактерий являются актив-

ными фиксаторами азота – diaзотрофами [71]. Наиболее интересной в практическом отношении группой протеобактерий являются бактерии, получившие название PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), которые стимулируют рост и развитие растений [72].

Экологические ниши, предоставляемые растениями, также колонизировались и грамположительными бактериями, которые, попадая с растительным опадом в почву, участвуют в процессах его разложения. Большинство грамположительных бактерий являются одновременно обитателями ризосферы и почвы (*Arthrobacter*, *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Promicromonospora*, *Cellulomonas*) [23]. Грамположительные бактерии доминируют в фитосфере растений, произрастающих в аридном климате, поскольку они способны выживать в условиях повышенной инсоляции и высушивания.

Рассмотрим основные особенности ризосферы, ризопланы и филлопланы как среды обитания, в которых взаимоотношения микроорганизмов и растений строятся на основе трофических связей. В ризосфере корни как сами по себе являются источником органического углерода, так и источником экссудатов, выделяемых молодыми тканями вблизи корневых чехликов [73 – 76]. Корневой опад является производным корней: отмирающие клетки, секреты, лизаты и слизи. Они содержат различные органические и неорганические вещества в гораздо большем количестве, чем в листьях. Корнями может быть экссудировано около 25% или даже больше органического вещества от фиксированного углерода, и поэтому уровень бактериальной популяции в ризосфере в 10–1000 раз больше, чем в окружающей почве [75 – 77]. Результаты отдельного определения корневого и ризомикробного дыхания показали, что только около 40% ризосферного CO₂ составляет корневое дыхание, а около 60% – дыхание ризосферных микроорганизмов, разлагающих корневые выделения [78]. Ризосфера, по меньшей мере, должна рассматриваться как энергетически богатая среда, в которой многие бактериальные клетки запасают резерв в виде полибетагидрооксибутирата [79, 80]. Дистальная часть корня покрыта «муцигелем», имеющим растительное и микробное происхождение [81], который является веществом, сохраняющим влагу и резервные питательные вещества. Микробы активно колонизируют муцигель, но после развития на поверхности корня бактерии могут десорбироваться, что позволяет им заселять новые участки корня. Электрон-

но-микроскопическими исследованиями было показано, что после десорбции на поверхности корня остаются слизистые отпечатки, указывающие бывшее место прикрепления бактерий [82]. Несмотря на неравномерное распределение питательных веществ, в ризоплане были обнаружены десятки мест прикрепления микробных клеток [74].

В отличие от ризосферы и ризопланы, филлоплана является для микроорганизмов менее стабильной средой обитания. Обычные питательные вещества эндогенного и экзогенного происхождения в филлоплане, по сравнению с ризосферой, менее разнообразны химически и имеют большую амплитуду колебаний своих концентраций [74, 83]. В исследованиях с использованием изотопа ^{14}C показано, что в листовых экссудатах содержится менее 1% синтезированного углерода [84]. Главными факторами вариации очагов питательных веществ в филлоплане являются спорадичность событий и локальное выделение, ассоциированное с гидатодами или трещинами в кутикуле, которые связаны с состоянием погоды или ранениями растений.

Для филлопланы, находящейся под лучами солнца, характерны пигментированные формы бактерий, устойчивые к УФ-радиации и высушиванию. Одними из постоянных обитателей филлосферы являются розовоокрашенные факультативные метилотрофные бактерии (РОФМ) [85, 86]. Широкое распространение метилотрофов в филлосфере обусловлено функционированием в растительных сообществах метанольного цикла, поскольку метанол – естественный продукт метаболизма растений [87]. Сравнительно высокая плотность метиловых бактерий на единицу листовой поверхности (до 600 КОЕ/см²) свидетельствует об образовании ими своеобразного катаболического экрана, препятствующего поступлению в атмосферу C_1 – продуктов метаболизма растений, прежде всего метанола.

Бактерии на поверхности листьев располагаются вокруг устьиц и трещин в кутикуле, образуя своеобразные агрегаты. Распределение бактерий по поверхности листьев носит ярко выраженный микроразнообразный характер. Наряду с участками, полностью свободными от клеток, можно встретить зоны, заселённые как единичными клетками, так и микроколониями чистых культур и смешанными скоплениями, имеющими сложную организацию, получившими название «биоплёнки» [88]. В свете новой парадигмы, микроорганизмы как компоненты совместно эволюционирующих систем,

особенно прокариоты, формируют ассоциации с другими микробными клетками, которые позволяют найти защиту от вредных воздействий среды. Таким образом, микробная колонизация филлопланы, вариабельна и довольно редка. Тем не менее, на некоторых участках филлопланы может поддерживаться высокая плотность микробных популяций.

Заселение микроорганизмами растительных поверхностей, как специфических экониш, имеет определённое значение для хода эволюции растительных сообществ. Во-первых, на корнях и листьях растений, растущих в контролируемых и полевых условиях, был продемонстрирован горизонтальный перенос генов [89, 90]. Растительная поверхность представляет значительные возможности для переноса ключевых генов, оказывающих влияние на микробные признаки (вирулентность, устойчивость к антибиотикам). Во-вторых, вероятно агрегаты помогают выживать микроорганизмам и растениям, защищая индивидуальные клетки от высыхания, особенно если клетки находятся в матриксе [91, 92]. Группирование может так же способствовать устойчивости бактерий к антибиотикам, используемым в сельском хозяйстве. Наконец, локализация клеточных микробных пакетов на растительной поверхности может способствовать координации коллективных действий группы через клеточные сигналы. Например, через использование репортёрных генных конструкций [93].

Совместная эволюция бактерий и растений привела не только к освоению растительных экониш, но и формированию взаимовыгодных для растений и микроорганизмов симбиотических, а также и антагонистических связей, которые обусловили появление фитопатогенных микроорганизмов. Все современные симбиотические и ассоциативные системы являются результатом совместной эволюции микроорганизмов и растений. На первом этапе развития этих систем микросимбионты выступали как паразитирующие организмы. Поэтому не всегда просто распознать тип взаимодействия растения и микроорганизма [94, 95]. Например, «полезные» симбионты могут быть не всегда полезными, а предположительно вредные патогены могут некоторое время совершенно безвредно существовать на листьях эпифитно или эндофитно и проявить себя только в патогенной фазе [96 – 98]. Например, агробактерии, являясь типичными обитателями почвы, могут существовать не только в виде патогена, но и ассоциативного партнёра [99].

За пределами внимания исследователей до последнего времени оставались микроорганизмы, колонизирующие внешние и внутренние органы растений, но не образующие каких-либо специальных структур (клубеньки, арбускулы). Эти микроорганизмы живут в условиях ассоциации с растениями, формируя своеобразную микробную экосистему. В настоящее время известно много примеров положительного влияния микробов, живущих в ассоциации с растениями. Эти взаимовыгодные, но морфологически не очень очерченные отношения, получили название ассоциативного симбиоза, а микроорганизмы, живущие в ассоциации, – ассоциативными. Большинство ассоциативных бактерий (особенно ризосферных) относятся к группе PGPR, например, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*. Они являются факультативными, малоспециализированными эктосимбионтами растений. Развитие симбиоза этих бактерий с растениями является многостадийным процессом, который включает: преинфекционные взаимодействия, инфицирование хозяина и онтогенез системы, функционирование симбиоза (метаболическая интеграция партнёров), и завершается выходом бактерий из симбиотической фазы жизненного цикла. Бактерии, обладающие свойствами PGPR, взаимодействуют с растениями путём использования тех же клеточных продуктов и функций, что и для адаптации к условиям почвы: поверхностные полисахариды важны для адгезии на корнях, сидерофоры и антибиотики – для исключения конкурирующих организмов из ризосферы, фиксация азота – для снабжения растений азотом. У PGPR имеются разнообразные пути метаболизма фитогормонов, включая синтез ауксинов, цитокининов и гиббереллинов, а также деградацию предшественников этилена, благодаря чему эти бактерии стимулируют рост корней и экскрецию ими С-соединений [100 – 102].

Заключение

Таким образом, эволюция растений представляется как совместная эволюция микробно-растительных сообществ (биоценозов), в которых взаимная адаптация организмов основана на передаче между ними питательных веществ и энергии. Эволюция таких сообществ шла в направлении от усиления взаимной адаптации партнёров на основе пространственных и трофических связей до совместной регуляции взаимодействующих генов и интеграции геномов партнёров. В результате такой эволюции выработалась особая (инте-

ративная) стратегия адаптации – симбиоз, которая принципиально отличается от индивидуальных адаптаций, обусловленных морфофизиологическими или поведенческими реакциями свободноживущих организмов. По степени зависимости от хозяина выделяют [102] три формы симбиоза: а) факультативный – симбиоз осуществляется благодаря тем же генам и функциям микроорганизмов, что и для адаптации к внешней среде; б) экологически облигатный – колонизация хозяина с использованием функций/генов, не используемых вне симбиоза (симбиоз является адаптивно значимой стадией жизненного цикла); в) генетически облигатный – хозяин является единственно возможной средой обитания, а автономное существование микросимбионта не возможно в связи с утратой генов, кодирующих обязательные функции.

Эволюция биоценоза (экологическая сукцессия) является первым этапом развития сообществ. В ходе её изменяется состав сообщества, его тип и характер трофических связей, заселяются новые экониши, но степень интегрированности компонентов системы остаётся прежней. В результате биоценоз превращается в климаксную экосистему, в которой все экониши заполнены. Второй, принципиально новый, этап эволюции – это эволюция симбиотических отношений. В отличие от эволюции биоценоза, она основывается на повышении интегрированности партнёров, усилении их взаимной зависимости, что в итоге может приводить к преобразованию надорганизменной системы в единый организм (эукариотическая клетка, лишайники). Необходимо отметить, что эти два этапа эволюции не следовали друг за другом, а проходили параллельно.

Изучение феномена симбиотических взаимоотношений микроорганизмов и растений, сложившихся в ходе их совместной эволюции, позволит существенно расширить представления о механизмах формирования надорганизменных систем, а также наметить пути их направленного улучшения. Современные методы биотехнологии и геной инженерии, основанные на знаниях молекулярных механизмов формирования симбиозов, открывают широкие перспективы для направленного конструирования и селекции новых микробно-растительных систем с заранее заданными полезными свойствами. Для существенно го повышения эффективности микробно-растительных взаимодействий необходимо сделать объектом селекционной работы симбио-

тическую систему как единое целое. Повышенная активность симбиоза с микроорганизмами у дикорастущих форм растений, а также совместный контроль партнёрами эффективности симбиоза были показаны при изучении как бобовых, так и не бобовых культур [103]. Это говорит о возможности разработки универсальной стратегии селекции растений, которая позволит создавать принципиально новые сорта, способные полностью развиваться не только за счёт использования агрохимикатов, но и благодаря взаимодействию с симбиотическими микроорганизмами.

Глобальное загрязнение окружающей среды затронуло все сферы обитания живых организмов. Растительно-микробные ассоциации и симбиозы в силу взаимовыгодного сосуществования партнёров имеют большие преимущества при выживании в неблагоприятных условиях окружающей среды. При этом их выживание обусловлено не только повышением толерантности к ксенобиотикам, но активным удалением токсикантов из сферы обитания [104]. Это свойство нашло практическое применение для восстановления загрязнённых объектов в виде технологий фиторемедиации, основанных на эффективности ризосферных процессов. Основной особенностью использования в биоремедиации микробно-растительных систем является их универсальность, т. е. возможность их применения для очистки природной среды от самых различных загрязнителей. Способность микроорганизмов положительно влиять на очистку почв с помощью растений определяется синтезом биологически активных веществ, улучшением минерального питания растений, их защитой от фитопатогенов. Исследования роли микробно-растительных ассоциаций и симбиозов в процессах деградации поллютантов и создание на их основе новых биотехнологий очистки окружающей среды представляют огромный интерес, поскольку, затрагивают такие серьёзные вопросы, как миграция загрязнителей по пищевым цепям, проблема качества продуктов питания, медицинские и санитарно-эпидемиологические аспекты.

Литература

1. Уголев А.М. Эволюция пищеварения и принципы эволюции функций: элементы современного полифункционализма. Л., 1985. 544 с.
2. Уголев А.М. Трофологические проблемы биосферы // В.И. Вернадский и современная наука. Л., 1988. С. 19-22.

3. Заварзин Г.А. Становление биосферы // Микробиология. 1997. Т. 66, № 6. С. 725-734.
4. Заварзин Г.А. Протеобактерии: Экологический принцип в систематике прокариот // Природа. 1990. № 5. С. 8-17.
5. Заварзин Г.А. Эпиконтинентальные содовые водоёмы как предполагаемые реликтовые биотопы формирования наземной биоты // Микробиология. 1993. Т. 62, № 5. С.789-800.
6. Заварзин Г.А., Жилина Т.Н., Кевбрин В.В. Алкалофильное микробное сообщество и его функциональное разнообразие // Микробиология. 1999. Т. 68, № 5. С. 579-599.
7. Margulis L. Origin of eukaryotic cells. New Haven: Yale Univ. Press. 1970. 349 p.
8. Margulis L. Archaeal-eubacterial mergers in the origin of Eukaryota: phylogenetic classification of life // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1996. V. 93. P. 1071-1076.
9. Sogin M.L. Early evolution and origin of eukaryotes // Curr. Opin. Genet. Devel. 1991. V. 1. P. 457-563.
10. Zerges W. Does complexity constrain organelle evolution? // Trends in Plant Sci. 2002. V. 7. № 4. P. 175-182.
11. Kurgens P. Structure and phylogeny of *Cyanophora* species // Symbiosis: Mechanisms and Model Systems / Ed. Seckbach J. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ. P. 259-272.
12. Loffelhardt W., Bohnert H.J. The cyanelle (muroplast) of *Cyanophora paradoxa*: a paradigm for endosymbiotic organelle evolution // Symbiosis: Mechanisms and Model Systems / Ed. Seckbach J. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ. P. 113-130.
13. Martin W., Stoebe B., Goremykin V., Hansmann S., Hasegawa M., Kawallik K.V. Gene transfer to the nucleus and the evolution of chloroplasts // Nature. 1998. V. 393. № 6681. P. 162-165.
14. Martin W., Rujan T., Richly E., Hansen A., Cornelsen S., Lins T., Leister D., Stoebe B., Hasegawa M., Penny D. Evolutionary analysis of *Arabidopsis*, cyanobacterial and chloroplast genomes reveals plasmid phylogeny and thousands of cyanobacterial genes in the nucleus // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002. V. 99. № 19. P. 12246-12251.
15. Krajcovic J., Ebringer L., Schwartzbach S.D. Reversion of endosymbiosis? The case of bleaching in *Euglena* // Symbiosis: Mechanisms and Model Systems / Ed. Seckbach J. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ. P. 187-206.
16. Вольберг М.М. Взаимодействие популяций микроводорослей и бактерий в модельной системе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1988. 26 с.
17. Глаголева О.Б. Экофизиология почвенных альгобактериальных ассоциаций: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1991. 27 с.
18. Hellebust J.A. Extracellular product: Algal physiology and biochemistry // Botany Monogr. 1974. V. 10. P. 838-864.

19. Chrost R.J., Siuda W. Some factors affecting the heterotrophic activity of bacteria in lake // *Acta Microbiol. Polon.* 1978. V. 27, № 2. P. 129-136.
20. Зенова Г.М., Штина Э.А., Дедыш С.Н. и др. Экологические связи водорослей в биоценозах // *Микробиология.* 1995. Т. 64, № 2. С. 149-164.
21. Nicolov N.N., Kostova K.P., Vaklinova St.G. Relationship of symbiosis between unicellular green algae and nitrogen fixation bacteria // *Endocytobiol.* 1983. V. 2. P. 623-630.
22. Dryanovska O.A., Zakova N.S. Combined cultivation of *Rhizobium leguminosarum* with *Chlamidomonas reinhardi* // Докл. Болгарской АН. 1985. Т. 38, № 10. С. 1383-1385.
23. Добровольская Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 282 с.
24. Таутс М.И. Фенольные соединения бактериальной культуры хлореллы и некоторая их характеристика // *Физиология растений.* 1983. Т. 30, № 2. С. 332-340.
25. Максимова И.В., Сидорова О.А. Светозависимый антибактериальный эффект водорослей и его экологическое значение // *Гидробиол. журн.* 1986. Т. 22, № 6. С. 3-11.
26. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. М.: Наука, 1977. 264 с.
27. Мишустина И.Е. Экологический аспект в изучении таксономического положения морских микроорганизмов // *Успехи микробиологии.* М.: Наука, 1978. Т. 13. С. 106-116.
28. Михайлов В.В., Кузнецова Т.А., Еляков Г.Б. Морские микроорганизмы и их вторичные биологически активные метаболиты. Владивосток: Дальнаука, 1999. 131 с.
29. Кондратьева Л.М., Тен Хак Мун А. Микробное население штормовых выбросов макрофитов // *Морская микробиология.* Владивосток: Изд-во Дальневосточ. ун-та, 1995. С. 88-96.
30. Заварзин Г.А. Особенности эволюции прокариот // *Эволюция и биоценотические кризисы.* М.: Наука, 1987. С. 144-158.
31. Штина Э.А. Динамика развития водорослей в техногенно нарушенных землях / *Биодинамика почв.* III Всесоюз. Симпоз. Таллин, 1988. С. 7.
32. Зенова Г.М. Актиномицеты в биогеоценозах // *Почвенные микроорганизмы как компоненты биогеоценоза.* 1984. М.: Наука, С.162-170.
33. Зенова Г.М., Звягинцев Д.Г. Актиномицеты в наземных экосистемах // *Журн. общ. биологии.* 1994. Т. 55, № 2. С. 198-210.
34. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. М.: Геос, 2001. 257 с.
35. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2005. 336 с.
36. Широких А.А. Микрофлора и биологическая активность выработанных торфяников в процессе их рекультивации: Дис. ...канд. биол. наук. Минск: ИМ АН БССР, 1990. 153 с.
37. Широких А.А. Комплекс эпифитно-сапротрофных бактерий выработанного торфяника в условиях естественного зарастания / *Луга на болотах: Сб. науч. тр. КЛОС. Киров, 1993. С. 53-60.*
38. Широких А.А. Бактерии – спутники почвенных водорослей. / *На торфяных почвах: Сб. науч. тр. КЛОС. Киров, 1993. С. 84-88.*
39. Широких А.А., Широких И.Г., Полянская Л.М. Профильное распределение численности и биомассы микроорганизмов в дерново-подзолистых почвах Кировской области // *Почвоведение.* 2001. № 7. С. 845-851.
40. Широких И.Г., Широких А.А. Микробные сообщества кислых почв Кировской области. Киров, 2004. 328 с.
41. Дедыш С.Н. Специфика микробного комплекса напочвенных разрастаний водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1990. 24 с.
42. Дедыш С.Н., Зенова Г.М., Добровольская Т.Г., Грачёва Т.А. Структура альгоценозов, формирующихся в период «цветения» почвы // *Альгология.* 1992. Т. 2, № 2. С. 63-69.
43. Широких А.А., Широких И.Г., Шуплецова О.Н. Ассоциативные мегилобактерии и их влияние на растение in vitro // *Вестник РАСХН,* 2005. № 6. С. 74-77.
44. Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В. Растения как центры формирования бактериальных сообществ // *Журн. общ. биологии.* 1993. Т. 54, № 2. С. 183-199.
45. Широких И.Г., Широких А.А. Микробно-растительные взаимодействия в фитоценозах // *Мат. науч. сессии Росс. Акад. Естественных наук.* Киров, 2004. С. 215-217.
46. Taylor T.N., Hass H., Kerp H. A cyanolichen from the Lower Devonian Rhynie Chert // *Amer. J. Bot.* 1997. V. 84. № 7. P. 992-1004.
47. Мейен С.В. Основы палеоботаники. М., 1987. 404 с.
48. Hueber F.M. Rotted wood-alga-fungus: history and life of *Prototaxites* // *Abstr. XVI Intern. Bot. Congr.* 1999. P. 2844.
49. Hueber F.M. Rotted wood-alga-fungus: history and life of *Prototaxites* Dawson 1859 // *Rev. Paleobot. Palynol.* 2001. V. 116. P. 123-158.
50. Selosse M.A. *Prototaxites*: a 400 myr old giant fossil, a saprophytic holobasidiomycete, or lichen? // *Mycol. Res.* 2002. V. 106. Pt 6. P. 642-644.
51. Каратыгин И.В. Грибы как компоненты экосистем прошлого // *Бот. журн.* 2005. Т. 90, № 9. С. 1297-1318.
52. Новогрудский Д.М. Лишайники и целлюлозоразрушающие микроорганизмы // *Микробиология.* 1949. Т. 18, № 6. С. 519-524.
53. Каратыгин И.В. Коэволюция грибов и растений. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 116 с.
54. Kidston R., Lang W.H. On old red Sandstoneplants showings structure from the Rhynie chert bed (Aberdeenshire). Part 5 // *Trans. Roy. Soc. Edinburgh.* 1921. V. 52. P. 855-902.

55. Pirozynski K.A., Dalpe Y. Geological history of the Glomaceae with particular reference to mycorrhizal symbiosis // *Symbiosis*. 1989. V. 7. P. 1-36.
56. Taylor T.N. Fungal associations in the terrestrial palaeoecosystems // *TREE*. 1990. V. 5. № 1. P. 21-25.
57. Simon L. Phylogeny of the *Glomales* – deciphering the past to understand the present // *New Phytologist*. 1993. V. 133, № 1. P. 95-101.
58. Taylor T.N., Hass H., Remy W., Kerp H. The oldest fossil lichen // *Nature*. 1995. V. 378. № 6554. P. 244.
59. Генетика развития растений / Л.А. Лутова, Н.А. Проворов, О.Н. Тиходеев И.А. Тихонович. СПб.: Наука, 2000. С. 344-384.
60. Дьяков Ю.Т. Грибы и растения // *Природа*, 2003. № 5. С. 73-78.
61. Harley J.L., Smith S.E. Mycorrhizal symbioses. London – N.Y., 1983. 484 p.
62. Rambelli A. The rhizosphere of mycorrhizae // *Ectomycorrhizae* / Eds. G.L. Marks, T.T. Koslowski. N.Y.: Academy Press, 1973. P. 299-343.
63. Linderman R.G. Mycorrhizal interactions with the Rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect // *Phytopathology*. 1988. V. 78, № 3. P. 366-371.
64. Fitter A.H., Garbaye J. Interaction between mycorrhizal fungi and other soil organisms // *Plant and Soil*. 1994. V. 159, № 1. P. 123-132.
65. Проворов Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А. Сравнительная генетика и эволюционная морфология симбиозов растений с микробами-азотфиксаторами и эндомикоризными грибами // *Журн. общ. биол.* 2002. Т. 63, № 6. С.451-472.
66. Daft M.J., Clelland D.M., Gardner I.C. Symbiosis with endomycorrhizas and nitrogen-fixing organisms // *Proc. Roy. Soc. Edinburg. Sect. B*. 1985. V. 85, № 3-4. P. 283-298.
67. Tilak K.V., Li C.Y., Ho I. Occurrence of nitrogen-fixing *Azospirillum* in vesicular arbuscular mycorrhizal fungi // *Plant and Soil*. 1989. V. 116, № 2. P. 286-288.
68. Ключников А.А., Кожевин П.А. Динамика популяции *Pseudomonas fluorescens* и *Azospirillum brasilense* при формировании везикулярно-азбускалярной микорризы // *Микробиология*. 1990. Т. 59, № 4. С. 651-655.
69. Благовещенская Е.Ю., Дьяков Ю.Т. Эндофитные грибы злаков // *Микология и фитопатология*. 2005. Т. 39, № 3. С. 1-15.
70. White J.F., jr. Endophyte-host association in grasses. IX. A proposal concerning origin and evolution // *Mycologia*. 1988. V. 80. P. 442-446.
71. John H.A., Robin F.H. The Ecology and Biogeography of Microorganisms on Plant Surfaces // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2000. V. 38. P. 145-180.
72. Bashan Y., Holguin G. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB// *Soil Biol. Biochem.* 1998. V. 30, № 8/9. P. 1225-1228.
73. Bowen G.D., Rovira A.D. The rhizosphere: the hidden half of the hidden half. // *Plant Roots: The Hidden Half* / Ed. by Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi. 1991. 29. P. 641-669. New York: Dekker. 948 p.
74. Waisel Y., Eshel A., Kafkafi U. *Plant Roots: The Hidden Half*. New York: Dekker. 1996. 1002 p.
75. McCully M.E. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999. V. 50. P. 695-718.
76. Olsson S., Persson P. The composition of bacterial populations in soil fractions differing in their degree of adherence to barley roots. // *Appl. Soil Ecol.* 1999. V. 12. P. 205-215.
77. Кожевин П.А. Микробные популяции в природе. М.: Изд-во МГУ, 1989. 175 с.
78. Кузьяков Я.В., Ларионова А.А. Вклад ризомикробного и корневого дыхания в эмиссию CO₂ из почвы (обзор) // *Почвоведение*. 2006. № 7. С. 842-854.
79. Maloney P.E., van Bruggen A.H.C., Hu S. Bacterial community structure in relation to the carbon environments in lettuce and tomato rhizospheres and in bulk soil. // *Microb. Ecol.* 1997. V. 34. P. 109-117.
80. Semenov A.M., van Bruggen A.H.C., Zelenev V.V. Moving waves of bacterial populations and total organic carbon along roots of wheat. // *Microb. Ecol.* 1999. 37. P. 116-128.
81. Foster R.C., Rovira A.D., Cock T.W. *Ultrastructure of the Root-Soil Interface*. St Paul, MN: Am. Phytopathol. Soc., 1983. P. 8-9.
82. Гузев В.С., Куличевская И.С., Звягинцев Д.Г. Сканирующая электронная микроскопия при изучении взаимодействия микроорганизмов с растениями // *Микроорганизмы как компоненты биогеоценоза*. М.: Наука, 1984. С. 92-107.
83. Mechaber W.L., Marshall D.B., Mechaber R.A., Jobe R.T., Chew F.S. Mapping leaf surface landscapes. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1996. V. 93. P. 4600-4603.
84. Frossard R., Fokkema N.J., Tietma T. Influence of *Sporobolomyces roseus* and *Cladosporium clado-sporioideas* on leaching of ¹⁴C-labelled assimilates from wheat leaves. // *Trans. Br. Mycol. Soc.* 1983. V. 80. P. 289-296.
85. Романовская В.А., Столяр С.М., Малащенко Ю.Р. Распространение бактерий рода METHYLOBACTERIUM в различных экосистемах Украины // *Микробиол. журн.* 1996. Т. 58, № 3. С. 3-10.
86. Austin B., Goodfellow M. *Pseudomonas mesophilica*, a new species of pink bacteria isolated from leaf surfaces // *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 1979. V. 29. № 1. P. 373-378.
87. Fall R. Cycling of methanol between plants, methylotrophs and the atmosphere // *Microbial growth on C1 compounds* / Eds. Lidstrom M.E., Tabita F.R. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1996. P. 343-350.
88. Заварзин Г.А. Микробная география // *Журн. общ. биол.* 1994. Т. 55. № 1. С. 5-12.

89. Kroer N., Barkay t., Sorensen S., Weber D. Effect of root exudates and bacterial metabolic activity on conjugal gene transfer in the rhizosphere of marsh plant. // FEMS Microbiol. Ecol., 1998. V. 25. P. 375-384.
90. Normander B., Christensen B.B., Molin S., Kroer N. Effect of bacterial distribution and activity on conjugal gene transfer on the phylloplane of the bush bean (*Phaseolus vulgaris*). Appl. Environ. Microbiol., 1998. V. 64. P. 1902-1909.
91. Denny T.P. Involvement of bacterial polysaccharides in plant pathogenesis. // Annu. Rev. Phytopathol., 1995. V. 33, P. 173-197.
92. Reinhold-Hurek B., Hurek T. Life in grasses: diazotrophic endophytes // Trends Microbiol., 1998. № 6. P. 139-144.
93. Costerton J.W., Lewandowski Z., Caldwell D.E., Korber D.R., Lappin-Scott H.M. Microbial biofilms. // Annu. Rev. Microbiol., 1995. № 49. P. 711-745.
94. Pawlowski K., Bisseling T. Rhizobial and actinorhizobial symbioses: What are the shared features? // Plant Cell, 1996. V. 8. P. 1899-1913.
95. Preston G.M., Haubold B., Rainey P.B. Bacterial genomics and adaptation to life on plants: implications for the evolution of pathogenicity and symbiosis // Curr. Opin. Microbiol., 1998. 1. P. 589-597.
96. Dangel J.L. Bacterial Pathogenesis of Plants and Animals. 1994. Berlin: Springer-Verlag. 343 p.
97. Douglas A.E. Symbiotic interactions. Oxford N.Y.; Toronto: Oxford Univ. Press, 1994. 148 p.
98. Beattie G.A., Lindow S.E. Bacterial colonization of leaves: a spectrum of strategies // Phytopathology, 1999. V. 89. P. 353-359.
99. Чумаков М.И. Оценка эффективности ассоциативного взаимодействия *Agrobacterium radiobacter* 5Д-1 с пшеницей // Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями. М.: Наука, 2005. С. 160-179.
100. Costacurta A., Vanderleyden J. Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria // Crit. Rev. Microbiol., 1995. V. 21, № 8. P. 1-8.
101. Bloumberg G., Lugtenberg B.J.J. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria // Curr. Opin. Plant Biol., 2001. V. 4. P. 343-350.
102. Проворов Н.А. Молекулярные основы симбиогенной эволюции: от свободноживущих бактерий к оргanelлам // Журн. общ. биол. 2005. Т. 66, № 5. С. 371-388.
103. Tikhanovich I.A., Kozhemyakov A.P., Provorov N.A. et al. Genetic potential of plants for improving the beneficial microbe interaction // Biological Fixation of Nitrogen for Ecology and Sustainable Agriculture. Berlin; Heidelberg, 1997. P. 191-194.
104. Назаров А.В., Иларионов С.А. Потенциал использования микробно-растительного взаимодействия для биоремедиации // Биотехнология, 2005. № 5. С. 54-62.

УДК 542.65:576.8.093

Экологический аспект феномена микроорганизм-ассоциированного кристаллогенеза

© 2008. А. К. Мартусевич¹, О. Б. Жданова²

¹Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии

²Вятская государственная сельскохозяйственная академия

Наряду с уже установленным фактом кристаллообразования как производной исходных растворов солей и органических соединений совершенно неизученной проблемой является гипотетическая роль микроорганизмов как инициаторов кристаллогенеза. Статья включает данные об участии в кристаллогенезе бактерий, вирусов, грибов. Современное состояние этой проблемы позволяет сделать вывод о том, что медико-биологическая значимость микробной инициации кристаллогенеза практически не описана.

The fact of crystallogenesis initiation by means of salt connections and organic connections has already been stated. But the hypothetic role of microorganisms in crystallogenesis initiation has not been studied. The article includes the data dealing with bacteria, viruses, fungi participation in crystallogenesis. Modern state of the problem shows that medicine-biological importance of microbial crystallogenesis initiation has not yet been scrutinized.

Значение кристаллографии, как науки, вытекает из чрезвычайной распространенности кристаллического состояния вещества. Так как с кристаллами приходится иметь дело практически во всех сферах человечес-

кой деятельности, то развитие почти каждой отрасли народного хозяйства выдвигает целый ряд важных кристаллографических задач. Сюда относится, прежде всего, задача получения высококачественных кристалли-

ческих материалов, необходимых для удовлетворения потребностей новой и новейшей техники. Искусственные алмазы, кварц, рубин, многочисленные полупроводники, люминесцентные кристаллы и др. уже широко используются в обрабатывающей и оптической промышленности, в радиоэлектронике и компьютерах, в космических исследованиях и ультразвуковой технике. Однако бурное развитие науки и техники требует всё новых видов кристаллических материалов, в том числе металлов и сплавов, обладающих теми или иными нужными свойствами [1]. Решение этой проблемы требует тщательного изучения процессов образования, роста и разрушения кристаллов, а также исследования кристаллических структур, в геометрии которых кроется одна из основных причин физических и химических особенностей кристаллов [2, 3].

К вопросу о микробной инициации кристаллогенеза

Наблюдая регулярные фигуры при кристаллизации соли из водного раствора, ещё И. Ньютон предположил, что в растворах до кристаллизации существует значительная упорядоченность молекул соли. Исследования последних лет подтвердили этот факт для многих веществ и их состояний. Эти упорядоченные микровключения, химически или структурно соответствующие фазам, образующимся в матрице при фазовых переходах (ФП), часто и являются зародышами новых фаз [4]. Многочисленные эксперименты показывают, что ФП между различными структурами ускоряются внешней деформацией или напряжениями от деформации несоответствия структур (ДНС) на границах фаз (например, ДНС порождает пластически деформированный слой на границе плёнка – подложка при эпитаксии, который изменяет структуру пленки или её вязкость, способствует конформационным перестройкам молекул на границе кристалл-органическое вещество. Решающее влияние деформации матрицы (вязкости для жидкости) вокруг зародышей новой фазы при ФП подтверждает строгая корреляция параметров фаз для разных веществ. Механические воздействия на систему фаз всегда порождают рост одних фаз за счёт других, вплоть до создания химических соединений при их взаимном проникновении (механическое сплавление, акустохимия). Корреляция параметров дефор-

мации разных веществ в масштабах наблюдения от атомного до макроскопического позволяет применить хорошо изученные закономерности микро- и макродеформации к структурным (конформационным) изменениям в масштабах групп атомов, макромолекул и фрагментов клеток.

Наряду с уже установленным фактом кристаллообразования как производной исходных растворов солей и органических соединений, слабо изученной проблемой является гипотетическая роль микроорганизмов как инициаторов кристаллогенеза. В отдельных работах была показана способность магнетотактических бактерий к активации кристаллообразования по типу полиморфных одиночных кристаллов вблизи их и даже внутриклеточно. В работах [5 – 8] впервые описан дендритный кристаллогенез (фигуры типа «розеток») вокруг бактерий родов *Providencia* и *Morganella* в дне язвы желудка. Эти немногочисленные факты, а также сообщения о паразитарном кристаллогенезе [9 – 12] косвенно указывают на способность метаболитов бактерий выступать в качестве активаторов или ингибиторов кристаллообразования. Приведённые выше данные позволяют рассчитывать на возможность индикации присутствия микроорганизмов на различных поверхностях по их специфической метаболит-обусловленной трансформации результатов кристаллообразования смылов с тестируемых образцов [13].

Особым аспектом проблемы биокристаллизации, ассоциированной с микроорганизмами, является возможность последних способствовать не только кумуляции металлов в кристаллической форме, но и обуславливать кристаллогенез органических соединений. Преимущественно этот феномен касается белковых макромолекул. Так, группой исследователей Санкт-Петербургского института ядерной физики была показана способность ДНК бактерий в определённых условиях (в частности, повышенного радиационного фона) окружать себя особым белком RecA, обеспечивающим радиорезистентность прокариотической клетки [14, 15]. Данное явление, по мнению авторов, имеет защитно-приспособительное значение, т. к., с одной стороны, обеспечивает механическую (сохранение нативной конформации), химическую (связывание и поддержание химической структуры) и биологическую (обеспечение функционирования генома) протекцию генетического материала микроорганиз-

ма от повреждающего действия радиации, а, с другой стороны, предохраняет ДНК от первично носящей репаративный характер гиперрекомбинации, которая может необратимо изменить генетическую информацию и привести к гибели микроорганизма.

Способность бактерий к метаболическому влиянию на характер кристаллообразования может быть объяснена с позиций биохимии микроорганизмов. В частности, определённую роль в этом процессе играет микробиологический синтез структурных элементов или продуктов метаболизма микроорганизмов за счёт присущих микробной клетке ферментных систем. Большинство продуктов микробиологического синтеза обладают физиологической активностью.

За счёт высокой активности специфических энзиматических систем микроорганизмы оказываются способными осуществлять ряд реакций на молекуле органического соединения, не меняя его основной структуры. Наиболее изучены реакции на молекулах стероидных соединений. В строго определённых положениях осуществляются реакции дегидрирования, дезацетилирования и гидроксирования, в результате чего меняется физиологическая активность исходного стероидного соединения. Благодаря подбору соответствующих микроорганизмов – носителей специфических ферментных систем – метод микробиологической трансформации получает значительное распространение [16, 17].

Дополнительным доказательством метаболической активности микроорганизмов в отношении инициации или ингибирования кристаллообразования являются работы в области растениеводства. Показано, что одним из основных звеньев патогенеза некоторых бактериальных заболеваний растений служит кристаллогенез. В частности, к примерам подобного явления относится эпифитная бактерия *Pseudomonas syringae*, способная развиваться в весенний период на почках, листьях и цветах фруктовых деревьев. Клетки бактерии служат центрами кристаллизации льда при заморозках, что вызывает ожоги и пятнистость. В свою очередь, образование льда приводит к механическому разрушению клеток растения, проникновению в них бактерий и развитию заболевания. Продемонстрировано, что в отсутствие данного вида псевдомонад ожоги не образуются [18]. Кроме того, дальнейшие исследования по получению мутационных форм *P. syringae* позволили получить варианты бактерий, не

образующие кристаллов льда. В пособии [19] рассматриваются возможности практического применения данных результатов: предлагается использование мутантных форм псевдомонад путем опрыскивания их гомогенатами фруктовых деревьев при угрозе заморозков. Бактерии заселяют растение и препятствуют появлению на нем других форм микроорганизма, а, следовательно, и развитию заболевания.

Микроорганизмы – бактерии, плесени, микроскопические водоросли, обитающие в почве, пресноводных водоемах и морской воде, обладают максимальными возможностями по извлечению металлов из окружающей среды. Плесневые грибы аспергиллы содержат до 0,3% меди – в 30000 раз больше, чем в окружающей среде. Многие бактерии в больших количествах накапливают уран: пресноводная микроводоросль хлорелла – до 0,4% сухой массы, актиномицеты – до 4,5%, денитрифицирующие бактерии – 14%, а специально отобранные культуры дрожжей или псевдомонад – до 50%.

Механизмы накопления металлов микробными клетками всё ещё очень мало изучены, и исследователи, работающие в этой области, то и дело наталкиваются на совершенно новые факты. Недавно группа канадских учёных опубликовала очень интересные данные о бактерии *Bacillus subtilis*. При выращивании этой бактерии в растворе хлористого золота на ее стенках образуются микрокристаллы чистого металлического золота. Выяснилось, что накопление металла происходит в два этапа. Сначала катионы Au^{3+} , находящиеся в растворе, взаимодействуют с отрицательно заряженными группами макромолекул, входящих в состав клеточной стенки бактерии. При этом возникают своеобразные ядра кристаллизации, на которых затем быстро осаждаются металлы из раствора. Кроме золота, сенная палочка может извлекать из раствора ещё около 40 металлов [20].

Золото и большинство других металлов, которые накапливают в своих клетках микроорганизмы, относят к группе «тяжёлых». Проникая в живые клетки, они нарушают их жизнедеятельность: инактивируют ферменты, вызывают разрывы в цепях нуклеиновых кислот и т. д. Металлы могут сорбироваться на клетках микроорганизмов именно потому, что они токсичны и поэтому требуют нейтрализации. Установлено, что токсическое действие тяжёлых металлов реализуется лишь в их ионизированной форме. При связывании

металлы лишаются токсических свойств, что отчасти напоминает механизм самозащиты, выработанный некоторыми морскими водорослями, которые способны обезвреживать токсичные соединения мышьяка, связывая их с промежуточными продуктами фотосинтеза и откладывая в клеточных мембранах в виде безвредных производных. В данном случае имеет место подобная ситуация: металл, концентрирующийся в клеточной стенке микроорганизма в кристаллическом виде или в виде плохо растворимых соединений, не оказывает токсического действия на него.

По-видимому, это не единственная причина накопления металлов. Отложения металла могут являться результатом метаболизма самих бактерий. Примером могут выступать железо- и марганцеокисляющие микроорганизмы. Для их нормального функционирования необходимым условием представляется наличие в среде готовых органических веществ, которые в естественных условиях часто представлены металл-органическими комплексами. В подобных соединениях металл, с позиции бактерии, оказывается балластным веществом (образно говоря, «косточка в вишне»), в связи с чем бактерия откладывает его на своей клеточной стенке.

Металл не всегда является для микроорганизмов ненужным балластом. Некоторые металлы необходимы микробам постоянно или на определенных этапах развития. Так, известный азотфиксирующий микроорганизм – азотобактер нуждается в железе, без которого не может функционировать принципиально важный для его жизнедеятельности железосодержащий фермент нитрогеназа. Металлы могут входить в состав различных внутриклеточных транспортных систем, поддерживать определенный ионный состав клеток. Во всех случаях способность накапливать металл оказывается для микроорганизма полезным свойством.

Металлы могут играть важную роль и в экологических взаимоотношениях микроорганизмов. Примером может служить обитающая в Атлантике, у берегов Флориды, цианобактерия *Gomphosphaeria aponia*. Для своей жизнедеятельности она нуждается в железе, которое запасает в резерв, откладывая в виде гидроокисей на своей клеточной оболочке. Такая способность даёт ей преимущество перед живущей в тех же водах нитчатой водорослью *Gymnodinium breve*, которая также нуждается в железе, но накапливать его впрямь не может. Поэтому размножение цианобактерий приводит к массовой гибели их конкурентов.

Совершенно особую роль играет способность к накоплению металла в экологии недавно обнаруженной группы пресноводных бактерий, обладающих свойством магнетотаксиса – движения вдоль силовых линий магнитного поля. Эти бактерии содержат цепочки магнетосом – скоплений магнетита, диаметром до 500 ангстрем, которые, как магнитная стрелка, ориентируют бактерию в пространстве и определяют направление её передвижения в воде. Вследствие того, что силовые линии земного магнитного поля ориентированы не строго горизонтально, а наклонены под тем или иным углом (так называемое «магнитное наклонение»), бактерия, стремясь плыть к северу, в северном полушарии «зарывается» в толщу воды, где, по-видимому, находит оптимальные условия для своего развития. Подобные же бактерии, обнаруженные в южном полушарии, передвигаются в сторону не северного, а южного полюса.

Микроорганизмы, накапливающие железо и марганец, играют важную роль в почвообразовательных и геохимических процессах, участвуя в образовании скоплений железо-марганцевых конкреций на дне океанов, широкая промышленная разработка которых, как ожидают, может начаться уже в ближайшее время.

Накопление микроорганизмами металлов иногда может представлять для различных звеньев экологических систем и большую опасность. В особенности это касается накопления радиоизотопов и некоторых алкилированных соединений металлов, представляющих собой крайне ядовитые вещества [21].

Влияние метаболитов *Escherichia coli* на характер кристаллообразования органических соединений был продемонстрирован в отношении основного фуксина. В процессе работы над оптимизацией среды для культивирования питательных сред для грамотрицательных бактерий было показано, что при разложении лактозы до альдегида и кислоты происходит освобождение фуксина из фуксин-сульфитного комплекса, усиливающее красное окрашивание колоний. У кишечной палочки эта реакция очень выражена и сопровождается кристаллизацией фуксина, что проявляется зеленоватым металлическим блеском (фуксиновый глянец) колоний. В этом случае микроорганизмы выступают в качестве инициаторов кристаллообразования.

Роль микробной инициации кристаллогенеза в нанотехнологии

Способность микроорганизмов оказывать влияние на процесс кристаллообразования имеет большое значение в биотехнологии для создания новых материалов. Микроорганизмы способны не только вырабатывать различные нужные для современных технологий вещества, но и сами могут служить важными компонентами новых материалов.

В частности, описаны возможности использования микроорганизмов для сборки кристаллов в сложные геометрические структуры или в качестве живой матрицы для роста кристаллов. Новые способы управления ростом кристаллов вызвали значительный интерес среди материаловедов, так как была чётко подтверждена теснейшая связь между структурой материала и его свойствами. Размеры некоторых микроорганизмов, например, вирусов, не превышают нескольких десятков нанометров в длину. До сих пор не удаётся получить однородные синтетические частицы таких размеров. Микроорганизмы же достаточно доступны, имеют одинаковый размер, и приёмы работы с ними относительно просты. Как правило, для жизнеобеспечения микроорганизмов требуются умеренные температура, давление и кислотность среды. Поэтому микробы – идеальные кандидаты для разработки новых экологически чистых технологий, взамен прежних процессов, где часто применяются высокие температуры, давление и агрессивные среды.

Многие микроорганизмы вырабатывают неорганические вещества. Одноклеточные диатомовые водоросли производят кремнезём, состав которого соответствует обычному стеклу. Другие микроорганизмы способны образовывать из оксидов железа микроскопические магнитные частицы. Некоторые микроорганизмы способны усваивать соединения металлов и затем в процессе биосинтеза накапливать металл в виде структур со строгой пространственной конфигурацией.

В 1999 г. была опубликована статья группы исследователей из Университета города Уппсала (Швеция), в которой описан биосинтез кристаллов солей серебра бактериями *Pseudomonas stutzeri* штамма AG259. Этот вид бактерий обитает на месторождениях серебряных руд. В процессе метаболизма между цитоплазматической мембраной и клеточной стенкой бактерий, в основном, у полюсов клетки, образуются кристаллы солей серебра

размером до 200 нм. Было показано, что бактерии способны образовывать не менее трёх различных типов кристаллов с чёткой пространственной структурой. Предполагалось, что, изменяя условия культивирования бактерий, можно будет синтезировать кристаллы с заданными параметрами. Возможность получать микрокристаллы серебра размером несколько нанометров чрезвычайно важна для микроэлектроники. Искусственное получение подобных микрокристаллов отличается малой производительностью при высоких затратах.

Необычные способности микроорганизмов можно усилить методами генной инженерии. В 2000 г. группа исследователей из Копенгагенского университета опубликовала данные о регуляторном воздействии белков на процесс роста кристаллов. Было показано, что на поверхности клеток генетически модифицированной бактерии *Escherichia coli* вырабатываются белки, способные связываться с частицами золота. По меньшей мере три таких белка, выделенных из клеток *E. coli*, ускоряли кристаллизацию золота из раствора и определяли морфологию полученных кристаллов. Группа датских ученых работает над изучением бактериальных генов, ответственных за выработку белков, которые способны связываться с поверхностью различных неорганических материалов. В 2002 г. исследователи сообщили, что им удалось выделить из генетически модифицированной *E. coli* и изучить аминокислотный состав и структуру ряда белков, которые способны избирательно соединяться с определёнными гранями кристалла цеолита (неорганическое соединение алюминия и кремния, его пористые кристаллы используют в качестве фильтров и катализаторов). В настоящее время эта группа изучает генетически модифицированные штаммы *E. coli* в поисках белков, которые способны связываться с другими неорганическими соединениями, например, со слюдой. Такие белки могут стать полезными инструментами при создании новых материалов для полупроводниковых технологий, химического катализа и т. д.

Рядом работ показано, что центрами и/или инициаторами кристаллизации могут являться не только бактерии, но и грибы, вирусы, включая бактериофаги [22].

Достаточно перспективным, но малоизученным направлением представляется использование в нанотехнологии вирусов. Их применение может открыть новые подходы к направленному синтезу материалов.

Поскольку структуры белковых оболочек многих вирусов хорошо изучены даже на атомном уровне, они могут стать исключительно полезным инструментом для конструирования наноструктур.

В 2002–2003 гг. группой исследователей из Калифорнийского научно-исследовательского института был опубликован ряд сообщений о создании генетически модифицированного вируса мозаики коровьего горошка. Белковая оболочка вируса содержит остатки серосодержащих аминокислот, к которым впоследствии присоединяются частицы золота и флуоресцентные красители. Учёные предполагают использовать подобные конструкции как строительный материал для построения электрических схем или новых материалов. В настоящий момент в этой лаборатории ведётся работа ещё над несколькими видами вирусов. Руководитель исследования специально подчёркивает, что ни один из этих вирусов не способен инфицировать человека.

До настоящего времени не удалось синтезировать однородные стержнеобразные полимерные частицы размером с вирус, способные объединяться в структуры наподобие жидких кристаллов и при этом свободно перемещаться в растворе. Чтобы индуцировать процесс самоорганизации вирусных частиц, группа исследователей из Университета Брандейс (США) создаёт методами генной инженерии вирусы с частицами определённой длины. Затем суспензию вирусов смешивают с полимерными шариками и исследуют полученные структуры.

Сейчас уже используется технология самосборки для того, чтобы воздействовать на структуру создаваемых материалов вплоть до нанометрового уровня. Так, группа учёных под руководством А. М. Belcher использует частицы вируса, покрытые различными неорганическими материалами. Обработанные таким образом вирусы собираются в сложные пространственные структуры, которые представляют потенциальную ценность для создания оптических, магнитных и электронных устройств. В 2002 г. эта группа осуществила генетическую модификацию бактериофагов таким образом, чтобы на поверхности их белковой оболочки находились пептиды, способные связывать сульфид цинка или сульфид кадмия [21, 22]. При достаточно высокой концентрации частиц бактериофага в растворе они самостоятельно организовывались в структуру, в которой полупровод-

никовые кристаллы располагались по одной линии. Иными методами крайне трудно добиться такого расположения полупроводниковых материалов. Описанный метод позволяет организовывать вирусы в миниатюрные провода.

С помощью генной инженерии исследователи стремятся добиться того, чтобы вирус мог создавать оболочку из полупроводникового материала по всей длине образующейся цепочки, а на концах вирусной частицы находились определённые химические группы. Предполагается, что эти химические группы будут служить своеобразными «разъёмами», с помощью которых можно будет соединять покрытые полупроводниковым слоем вирусы в определённые структуры на плоскости. Таким путём можно будет создавать своего рода полупроводниковые схемы. Планируется найти способ объединять такие схемы в простейшие электронные устройства, размером на порядок меньше, чем обычные электронные чипы.

Вирусы, имеющие определённые химические группы на каждом конце, можно использовать и другим образом. Можно добиться, чтобы с одним концом вируса связывался магнитный материал, а с другим – какое-либо токсичное вещество. Теоретически такие конструкции можно будет применять для удаления токсичных примесей из раствора с помощью магнитного поля.

Группа учёных из Университета штата Монтана сосредоточила свои усилия на другом аспекте биологии вирусов. Белковую оболочку вируса можно модифицировать (химическим путём либо методами генной инженерии) с таким расчётом, чтобы к ней присоединялись частицы определённого вещества. Можно добиться управляемого «включения» и «выключения» связывающих механизмов, при этом частицы вещества будут попадать внутрь или выходить наружу.

Такие модифицированные вирусные оболочки могут служить для сборки новых материалов. Группа учёных под руководством М. Young ставит своей целью создание магнитных устройств для хранения информации путем включения в белковые структуры вирусов кристаллов магнетита или иного магнитного материала. Исследователям удалось выделить из бактерий и архебактерий белковые структуры, сходные с пространственной структурой молекулы ферритина – белка, который является резервным источником железа в клетках млекопитаю-

щих. Чередую белковые структуры вирусов и ферритиноподобные структуры, исследователи стремятся создать двумерные системы, которые можно будет использовать в магнитных устройствах для хранения информации.

Хотя с точки зрения создания экологически чистых производств достаточно умеренные условия жизнедеятельности микроорганизмов являются преимуществом, они могут стать препятствием для применения таких организмов в жёстких условиях многих современных производственных процессов [21, 23]. М. Young предлагает преодолеть эти препятствия двумя способами. Его сотрудники собирают образцы термофильных организмов в горячих источниках Йеллоустоунского Национального парка, а также подвергают белковые оболочки вирусов химической модификации, после чего вирусы становятся более устойчивыми к температуре и кислотности среды. На данный момент этой группе удалось выделить или создать искусственно белковые структуры, которые переносят интервал рН от 1 (сильнокислая среда) до 11 (сильнощелочная). Некоторые из этих структур выдерживают температуры более 100°C. После таких успехов можно ожидать, что микроорганизмы будут применяться для синтеза материалов в различных областях техники.

Предложен ещё один подход к созданию высокотехнологичных материалов: к наночастицам присоединяется одноцепочечная ДНК, которая может связываться с комплементарной последовательностью другой молекулы ДНК. Таким образом можно объединять наночастицы в двух- и трехмерные структуры, которые также могут быть полезны при конструировании электронных устройств.

Естественными «живыми матрицами» для создания материалов с заданными нано- и микрохарактеристиками являются грибы. Грибные гифы отличаются постоянством диаметра, а их толщина индивидуальна для каждого вида гриба. Исследователям из США удалось покрыть тонким слоем золота гифы. Для этого споры гриба *Aspergillus niger* культивировали в присутствии частиц золота размером 13 нм. Частицы оседали на поверхности гиф. К частицам золота были присоединены фрагменты одноцепочечной ДНК, что позволяло присоединять другие микроскопические объекты, на поверхности которых находились комплементарные фрагменты ДНК. Аналогичные манипуляции были произведены с другими видами грибов, которые

образуют гифы различного размера. Таким образом, можно конструировать достаточно сложные структуры из наночастиц.

Возможно также покрывать микроорганизмы слоем частиц, например, магнитного или полупроводникового материала. Было предложено также покрывать гифы слоем катализатора, что позволит обеспечить большую площадь контакта с катализатором для проведения химических реакций. С помощью грибов можно создавать материалы заданной наноструктуры для применения в оптике и электронике.

По-видимому, взаимосвязь между материаловедением и микробиологией будет еще более тесной. Применение микроорганизмов может существенно упростить разработку новых материалов, так как именно микроскопическое строение материала в конечном счете определяет его свойства [24 – 26].

Литература

1. Волчецкий А. Л., Рувинова Л. Г., Спасенников Б. А. и др. Кристаллизация и кристаллография: микробиологические аспекты. Архангельск, 1999. 374 с.
2. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1978. 512 с.
3. Мартюшев Л. М., Селезнев В. Д., Скопинов С. А. Изучение роста скелетного кристалла в двумерной среде с фазовым расслоением с помощью метода диффузных потоков // Письма в журнал технической физики. 1996. Т. 22. № 16. С. 12-17.
4. Кисель В. П. Микродеформация молекулярных и клеточных структур – механизм влияния терапевтических и сверхмалых доз физико-химических воздействий на биологические ткани // Сб. науч. тр. «Нетрадиционные ресурсы, инновационные технологии и продукты». М.: РАЕН, 2003. Вып. 10. С. 210-216.
5. Мартусевич А. К., Колеватых Е. П. Внутри- и межсистемные метаболические трансформации кристаллообразования биосубстратов у пациентов с Нр-ассоциированными заболеваниями // Альманах клинической медицины. 2006. Т. XIV. С. 54-58.
6. Мартусевич А. К., Колеватых Е. П., Камакин Н. Ф. Диагностическая и патогенетическая ценность изучения морфологии биосубстратов при хеликобактериозе // Клиническая лабораторная диагностика. 2006. № 9. С. 54-55.
7. Мартусевич А. К., Колеватых Е. П., Кошкин А. Н. Тезиокристаллоскопическая диагностика язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки в зависимости от степени контаминированности слизистой *Helicobacter pylori* // Terra medica nova. Лабораторная диагностика. 2004. № 3. С. 13-15.

8. Мартусевич А. К., Зимин Ю. В. Биохимическое обоснование феномена микроорганизм-ассоциированного кристаллогенеза // II-я Регион. конф. «Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем (Крестовские чтения)»: Тез. докл. Иваново, 2007. С. 90.
9. Мартусевич А. К., Жданова О. Б., Успенский А. В., Написанова Л. А., Вирбалене Р. Классическая кристаллоскопия в диагностике трихинеллеза мышей // Науч. конф. «Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями»: Матер. докл. Москва, 2006. С. 233-235.
10. Мартусевич А. К., Жданова О. Б., Янченко В. А. Патогенетическое значение изучения кристаллообразования биологических жидкостей при альвеококкозе // Анналы хирургической гепатологии. 2006. Т. 11. № 3. С. 50-51.
11. Жданова О.Б., Мартусевич А.К., Распутин П.Г. Кристаллогенез биосред животных // 4-ая Межд. научн. конф. «Современные вопросы ветеринарной гомеопатии»: Матер. докл. М, 2006. С. 30-31.
12. Жданова О.Б. Паразитозы плотоядных патогенез и диагностика. Автореф. ... дисс. докт. биол. наук. Москва, 2007. 43 с.
13. Каркищенко Н. Н. Основы биомоделирования. М.: Изд-во ВПК, 2004. 608 с.
14. Namsaraev E., Baitin D., Bakhlanova I. et al. Biochemical basis of hyper-recombination activity of *Pseudomonas aeruginosa* RecA protein in *Escherichia coli* cells // *Mol. Microbiol.* 1998. V. 27, № 4. P. 727-738.
15. Lanzov V. A. Hyper-recombination in *Escherichia coli* with and without SOS response. // In: *Recent research development in DNA repair and mutagenesis* / Eds. M. Ruiz-Rubio, E. Flexandre-Duran, T. Roldan-Arjona. Kerala: Research Signpost, 2002. P. 24-38.
16. Рапис Е. Г. Белок и жизнь. Самоорганизация, самосборка и симметрия наноструктурных супрамолекулярных плёнок белка. М.: МИЛТА – ПКП ГИТ, 2003. 368 с.
17. Романов Ю. А. Теория биологических систем и проблема их временной организации // *Проблемы хронобиологии.* 1992. № 3-4. С. 105-123.
18. Дятлова К. Д. Микробные препараты в растениеводстве // *Соросовский образовательный журнал.* 2001. Т. 7. № 5. С. 17-22.
19. Громов Б. В., Павленко Г. В. Экология бактерий: Учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 248 с.
20. *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications* / Eds. Edelstein A. S., Kamarata R. C. Bristol: Institute of Physics. 1996. 596 p.
21. Корого А. А. Введение в биоминералогия. СПб.: Недра, 1992. 280 с.
22. Klaus T., Joerger R., Olsson E. et al. Silver-based crystalline nanoparticles, microbially fabricated // *PNAS.* 1999. № 2
23. Юшкин Н. П., Гаврилюк М. В., Голубев Е. А. Синтез, взаимодействие и коэволюция живого и минерального миров: абиогенные и углеводородные кристаллы как модели протобиологических систем. Концепция кристаллизации жизни // *Информ. бюллетень РФФИ.* 1996. Т. 4. С. 393.
24. Мартусевич А. К., Жданова О. Б., Колеватых Е. П. К вопросу о микроорганизм-иницированной кристаллизации // *Международная молодежная конф. «Экология-2007»:* Матер. докл. Архангельск, 2007. С. 312-314.
25. Мартусевич А. К., Зимин Ю. В. Биохимическое обоснование феномена микроорганизм-ассоциированного кристаллогенеза // II-ая Региональная конференция молодых ученых «Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем (Крестовские чтения)»: Тез. докл. Иваново, 2007. С. 90.
26. Мартусевич А. К. Кибернетические подходы к интерпретации результатов кристаллогенеза биологических жидкостей организма человека и животных: возможности практического использования двоичного кодирования и многоплоскостного моделирования // *Вестник РГМУ.* 2006. № 2. С. 398-399.

Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах

© 2008. Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, Т.Я. Ашихмина,
С.Ю. Огородникова, А. С. Олькова, А.И. Фокина

Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ

Доказана возможность использования четырёх штаммов цианобактерий (ЦБ) *Nostoc paludosum*, *Nostoc linckia*, *Nostoc muscorum*, *Microchaeta tenera* в качестве тест-организмов на загрязнение субстратов различными поллютантами. Критерием чувствительности цианобактерий является жизнеспособность клеток, которая определяется по образованию в них кристаллов формазана после обработки цианобактериальной суспензии ТТХ. Показано, что уровень устойчивости ЦБ к токсиканту зависит от титра используемой культуры.

The possibility of using strains of the four cyanobacteria *Nostoc paludosum*, *Nostoc linckia*, *Nostoc muscorum*, *Nostoc tenera* as test-organisms indicating substrates' contamination with different pollutants is proved. The cyanobacteria sensitivity criterion consists in cell vitality that is shown by phormasan crystallogenesis after treating cyanobacteria suspension with TTCh. It is shown that level of CB resistance to a toxicant depends on the titre of the culture used.

При биологическом мониторинге оценка степени загрязнения окружающей среды базируется на реакции организмов различных систематических уровней. При этом индикаторами внешнего воздействия могут быть как анатомо-морфологические, так и физиолого-биохимические показатели. Достоинства и недостатки методов биоиндикации и биотестирования неоднократно обсуждались [1 – 5]. Тем не менее, все используемые в биоиндикации биосистемы не обеспечивают в полной мере проведения экспресс-анализов на определение степени химического загрязнения окружающей среды.

Актуальность проблемы обостряется, в частности, тем, что в России уже пущены в строй или в ближайшее время в разных её регионах начнут действовать особо опасные в экологическом плане предприятия – объекты по уничтожению химического оружия. Потенциально они могут стать источником попадания в окружающую среду тяжёлых металлов (ТМ), соединений мышьяка, серы, фтор-, хлор-, фосфорорганических соединений и других поллютантов.

Цель нашей работы – проверить возможность использования цианобактерий (ЦБ) в качестве организмов-биотестеров на воздействие ксенобиотиков различной химической природы.

Среди фототрофных микроорганизмов эукариотные зелёные водоросли *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda* входят в перечень организмов, включённых в гостируемые методики, связанные с определением уровня загрязнения окружающей среды. В то же вре-

мя, на наш взгляд, эти водоросли не относятся к идеальным представителям организмов-биотестеров. Среди их недостатков в этом плане можно перечислить следующие: хлорелла, например, является одним из наиболее устойчивых в экологическом плане микрорототрофов, выдерживая значительный уровень загрязнения почвы и воды нитратами, ТМ, микотоксинами. Именно представители данного вида одними из первых поселяются на техногенных пустошах, вулканическом пепле и последними в ходе сукцессий выбиваются из фототрофных сообществ при действии загрязняющих веществ [6, 7]. Сценедесмус – организм, имеющий сравнительно узкий ареал, капризный в культивировании и кажется совсем случайным объектом, взятым для биотестирования.

Среди фототрофных микроорганизмов цианобактерии (прокариотные синезелёные водоросли=цианопрокариоты) занимают особое место. Именно они обладают наивысшим биотическим потенциалом, в массе развиваясь и в почве и в воде. Среди них встречаются как особо стойкие, так и наиболее чувствительные к внешним воздействиям штаммы. Их сравнительно легко выделить в альгологически чистую культуру из окружающей среды, так как многие виды фактически являются монодоминантными культурами при «цветении» воды и почвы. С ними проще работать, чем с другими прокариотами вследствие естественной окраски и более крупных размеров, и проще, чем с водорослями, так как они не имеют целлюлозной клеточной стенки и обладают гораздо большим разнообразием путей метаболизма.

В данной работе использовали штаммы цианобактерий из коллекции фототрофных микроорганизмов кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии Вятской ГСХА. Среди цианобактерий, используемых в данном исследовании, было 3 вида ностока и один вид микрохеты. Приводим краткую характеристику видов, согласно определителю М.М. Голлербаха и др. [8].

Nostoc paludosum Kütz., №18. Колонии микроскопические, мелкие или едва заметные простым глазом, до 0,5 мм в поперечнике, слизистые, без крепкого перидерма, синезелёной или желтоватой окраски. Трихомы рыхлолежащие, бледносинезелёные, (2,5) 3,0–3,5 (4,0–4,5) мкм ширины. Клетки бочонкообразные, реже эллипсоидные 4,6 мкм ширины. Споры эллипсоидные, реже – почти шаровидные, 4,0–4,5 (6) мкм ширины и 6–8 (9) мкм длины, с гладкой бесцветной или слегка коричневой оболочкой.

Данный штамм изолирован Г.Н. Перминовой из дерново-подзолистой почвы на целинном участке опытного поля ВГСХА.

Nostoc linckia (Roth.) Born. et Flah. №271. Колонии сначала шаровидные, потом неправильно распростёртые, слизистые, синевато-зелёной, грязно-зелёной или коричневой окраски. Влагалища бесцветные, ясно заметные только на периферии колоний. Трихомы сильно извитые, густо переплетающиеся, бледно синезелёные, 3,5–4 (4,7) мкм в ширину. Клетки бочонкообразные, длина их равна, несколько меньше или больше ширины, 6–7 мкм ширины и 7–8 мкм длины, с гладкой коричневой или, очень редко, бесцветной оболочкой.

Выделение штамма в чистую культуру провела А.Л. Ковина из дерново-подзолистой почвы Учхоза ВГСХА.

Nostoc muscorum (Ag.) №13. Колонии сначала шаровидные, потом плоско распростёртые, 2–5 см в поперечнике. Влагалища хорошо заметны только на периферии, жёлтокоричневые. Трихомы тесно переплетающиеся, 3–4 (5) мкм ширины. Клетки коротко бочонкообразные или цилиндрические, иногда длина их до 2 раз превышает ширину. Гетероцисты почти шаровидные, 6–7 мкм в диаметре. Споры удлинённые, 4–8 мкм ширины и 8–12 мкм длины, с гладкой жёлтой оболочкой.

Оригинатор вида – А.Н. Третьякова. Штамм выделен из чернозёмов Курской области.

Microchaete tenera Thur №265. Нити различно изогнуты, 6–8 мкм ширины и до 1 мм длиной, одиночные или соединённые в небольшие группы. Влагалища гомогенные, тонкие, бесцветные. Трихомы 4–6 мкм ширины. Клет-

ки у основания нитей прямоугольно-цилиндрические, без перетяжек у поперечных перегородок, на вершинах нитей сильно укорачивающиеся, более или менее бочонкообразные, перешнурованные у поперечных перегородок. Гетероцисты базальные и интеркалярные, такой же ширины, как и прилежащие к ним вегетативные клетки. Споры цилиндрические, 6–7,5 мкм ширины и 13–17 мкм длиной, с коричневой оболочкой, одиночные или по две рядом.

Вид выделен А.Л. Ковиной из паркового газона г. Кирова.

В музейной культуре цианобактерии подерживаются в пробирках на агаризованной среде Громова №6 без азота. Для экспериментальной работы, как правило, их культивируют в люминостатах при 8–10-часовом дополнительном освещении в конических колбах Эрленмейера объёмом 500 мл на жидкой безазотистой среде Громова №6. Доказано, что высшая жизненная активность ЦБ характерна для 4–8-недельных культур. В этот период популяции ЦБ находятся на логарифмической (экспоненциальной) фазе развития, имеют минимальную численность отмерших клеток, в среде ещё не накапливаются метаболиты, вызывающие аутоингибирование культуры. Использование безазотистой среды обусловлено тем, что все испытываемые штаммы ЦБ являются азотфиксаторами и не нуждаются для своей жизни в связанных соединениях азота.

Для определения уровня токсического воздействия на ЦБ ксенобиотиков мы применяли модификацию тетразолю-топографического метода определения дегидрогеназной активности живых клеток. При этом в качестве субстрата использованы бесцветные соли тетразолия, в частности, 2,3,5-трифенилтетразолий хлорид (ТТХ), который, акцентируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в 2,3,5-трифенилформаза (ТФФ), имеющий красную или малиновую окраску [9].

При количественном определении дегидрогеназной активности, например, почвенной вытяжки, количество формаза измеряют колориметрически. В случае выявления жизнеспособности семян подсчитывают процент окрашенных зародышей. В свое время жизнеспособность клеток ЦБ при выращивании их на средах с антибиотиками определяли под микроскопом по наличию в клетках малиновых кристаллов формаза [10].

Именно эту методику мы положили в основу нашей работы по установлению уровня токсичности сред с помощью ЦБ, внося существенные дополнения и изменения, связанные с пред-

варительной подготовкой культур, унификацией микроскопических измерений, определением титра клеток, при котором культура наиболее чувствительна к токсиканту и т. п.

Наша методика включала следующие этапы работы:

1. Подготовительный этап сводился к наращиванию необходимой биомассы ЦБ путём внесения инокулята в стерильную питательную среду с последующей экспозицией в люминистате.

2. Для работы с токсикантами образующуюся биоплёнку ЦБ разбивали на гомогенизаторе Homogenizer type 302 (9000 оборотов в минуту), так как в жидкой среде все испытанные штаммы по мере роста приобретают текстуру в виде псевдоткани, состоящей из переплетенных трихомов и нитей. Работа с ненарушенной биоплёнкой очень затруднена, так как доступ токсикантов к отдельным клеткам неравномерный, и при микроскопировании мазков невозможен просмотр препарата в одной плоскости. Мы выбрали такой режим гомогенизации, при котором разрушалась перидерма трихомов, достигался выход отдельных нитей, но не повреждались отдельные клетки.

3. В приготовленной суспензии подсчитывали титр клеток и в случае необходимости разбавляли дистиллированной водой до нужной концентрации.

4. Полученную однородную суспензию подвергали центрифугированию на центрифуге High speed centrifuge type 310 в том объёме культуры, который в дальнейшем использовался для закладки одного варианта опыта.

5. Среда, в которой выращивали ЦБ, сливалась после центрифугирования, и концентрат клеток помещали в испытуемый токсикант, в ту ёмкость (колбы или пенициллиновые пузырьки), в которых проводили дальнейшую экспозицию с токсикантом.

6. Экспозиция культур на свету продолжалась в течение 19–20 часов, затем несколько раз проводили отмывку культуры ЦБ от токсиканта путём центрифугирования или дистиллированной водой, или средой Громова в зависимости от цели опыта.

7. В оставшуюся после промывания массу цианей добавляли 0,075% раствор ТТХ и выдерживали 3 часа.

8. Готовили мазки на предметных стёклах (3-кратная повторность из каждого варианта) и с помощью иммерсионного микроскопа просчитывали не менее 500 клеток в каждой повторности, дифференцируя клетки с ярко-красными кристаллами формаза в внутри

(считая их жизнеспособными с выраженной дегидрогеназной активностью) и клетки без кристаллов (считая их неактивными и нежизнеспособными).

В ходе эксперимента на токсичность в водном растворе испытывали соли свинца (Pb), мышьяка (As) и метилфосфоновой кислоты (МФК).

Результаты и обсуждение

Влияние свинца на жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum*

В данном опыте токсикант (ацетат свинца) вносился непосредственно в среду Громова, в которой популяция отмывалась после центрифугирования. Выбранные концентрации соответствовали 100, 1000, 100000 и 200000 ПДК (30, 300, 30000, 60000 мг/л) по свинцу для водной среды. В ходе экспозиции культуры в течение 20 часов уже визуальный осмотр контрольных и опытных колб показал резкое различие в окраске растворов. Так, в контрольном варианте и при 100 ПДК окраска была ярко-красной, 1000 ПДК – розовой, 100000 ПДК – бледно-розовой и при 200000 – окраска полностью отсутствовала. Данные внешнего осмотра полностью соответствуют результатам микроскопического исследования, которые приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, повышение концентрации Pb приводит к резкому снижению дегидрогеназной активности клеток. Замена при отмывании и экспозиции питательной среды Громова дистиллированной водой понижала устойчивость клеток к токсиканту (табл. 2).

Сравнение результатов, приведённых в табл. 1 и 2, показывает, что клетки популяции ЦБ в том случае, когда экспозиция происходит не в питательной среде, а в дистиллированной воде, более чувствительны к действию токсиканта. Поэтому при диагностике загрязнения природных сред (почвенной вытяжки, воды) желательно использовать воду для отмывания при центрифугировании и экспозиции выбранного титра клеток. Данный показатель (титр клеток) также играет существенную роль в чувствительности клеток к токсиканту, что было выявлено при действии одной и той же концентрации свинца на популяцию *N. paludosum* с разным титром (табл. 3).

Плотность популяции служит существенным фактором, обеспечивающим её устойчивость во внешней среде. Это может быть связано с экссудацией слизистых метаболитов, которые являются одним из механизмов удер-

Таблица 1

Влияние свинца на жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum* (%) при экспозиции в среде Громова

Вариант	Клетки с кристаллами	Клетки без кристаллов
Контроль	98,09±0,62	1,90
100 ПДК	95,79±0,91	4,21
1000 ПДК	82,08±7,05	17,92
100000 ПДК	5,99±1,9	94,01
200000 ПДК	3,35±1,9	96,65

Таблица 2

Влияние свинца на жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum* (%) при экспозиции в дистиллированной воде

Вариант	Клетки с кристаллами	Клетки без кристаллов
Контроль	91,47±1,5	8,54
100 ПДК	88,2±3,16	11,8
1000 ПДК	18,45±4,59	81,55
10000 ПДК	17,07±6,74	82,92
50000 ПДК	11,12±1,6	88,87
100000 ПДК	4,93±0,34	95,06

жания и обезвреживания токсикантов. Поэтому в целях повышения чувствительности популяции ЦБ в качестве организмов-биотестов необходимо дополнительно к экспозиции в воде использовать существенные разбавления гомогенизированной популяции не менее, чем в 100 раз, добиваясь плотности клеток в пределах 1–2 млн./мл.

Влияние мышьяка на жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum*

В данной серии опытов в качестве токсиканта использовался хлорид мышьяка. Соединения мышьяка являются продуктами разложения таких видов химического оружия, как люизит и двойные иприт-люизитные смеси, потенциально могут оказаться в почве в ходе эксплуатации объектов хранения и уничтожения химического оружия. Выявлена тенденция снижения жизнеспособности клеток по мере увеличения концентрации мышьяка (табл. 4).

При концентрации As 0,1 мг/мл клетки ЦБ полностью утрачивают дегидрогеназную активность. Таким образом, *N. paludosum* может быть использован в качестве тест-организма на наличие данного поллютанта в окружающей среде.

Влияние метилфосфоновой кислоты (МФК) на жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum*

МФК является одним из продуктов разложения химического оружия, содержащего фосфорорганические компоненты. Опыты, проведенные с данной культурой ЦБ при экспозиции клеток с токсикантом в среде Громова и дистиллированной воде, выявили такую же тенденцию, как и по свинцу: жизнеспособность клеток существенно выше с использованием питательной среды и, наоборот, повышается процент нежизнеспособных клеток при их экспозиции с токсикантом в воде (табл. 5).

Таблица 3

Влияние титра клеток *Nostoc paludosum* на выживаемость (%) в растворе ацетата свинца (100 ПДК Pb)

Титр клеток/мл	Клетки с кристаллами	Клетки без кристаллов
2,21·10 ⁸	88,2±3,16	11,8
2,21·10 ⁷	44,55±2,1	55,44
4,42·10 ⁶	21,6±3,7	78,37
2,21·10 ⁶	11,17±0,18	88,83

Таблица 4

Влияние мышьяка на жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum* (%)

Вариант (As, мг/мл)	Клетки с кристаллами	Клетки без кристаллов
Контроль (вода дистиллированная)	93,93±93	6,07
10 ⁻⁴	94,59±2,05	5,41
10 ⁻³	95,43±4,8	4,57
10 ⁻²	25,48±7,31	74,52
10 ⁻¹	0	100

На выживаемость клеток в растворе МФК оказывает влияние и титр клеток, а именно: устойчивость популяции понижается с понижением плотности клеток (табл. 6).

Влияние МФК на жизнеспособность различных видов цианобактерий

Следующая серия опытов была связана с выявлением наиболее чувствительных видов цианобактерий к МФК. Характеристика испытуемых штаммов приведена выше. Результаты тетразолюно-топографического метода определения жизнеспособности клеток представлены в таблице 7.

Исходя из полученных результатов, шкала толерантности испытанных видов колеблется в пределах 20% выживаемости. К МФК наиболее чувствительным видом оказалась *M. tenera*, а наиболее стойким – *N. paludosum*. Два других вида ностока занимают место между этими полюсами и обладают практически одинаковой стойкостью к МФК.

Таким образом, любой из 4-х штаммов ЦБ может быть использован в биотестирова-

нии с применением тетразолюно-топографического метода [11, 12].

В частности, данный метод применили для биотестирования проб снеговой воды и почвенных вытяжек, отобранных в точках экологического мониторинга вблизи объекта уничтожения химоружия «Марадыковский» Кировской области. Программа экологического мониторинга ОУХО включает 155 точек контроля и мониторинга, из них 53 входят в санитарно-защитную зону объекта на территории радиусом 2 км. Результаты биотестирования приведены в таблице 8.

Сравнение полученных данных по культуре ЦБ с результатами биотестирования по гостированным методикам с использованием дафний, инфузорий и хлореллы показало большую чувствительность цианобактерий. При цианобактериальном анализе отмечена слабая токсичность снеговой воды и почвенной вытяжки в трех точках (34, 37, 40), тогда как биотесты с «официальными» организмами выявили умеренную токсичность снеговой воды в точках 34 и 40 только

Таблица 5

Влияние МФК на гибель клеток *Nostoc paludosum* (%) при экспозиции в среде Громова и воде

Вариант (МФК, моль/л)	Среда Громова	Дистиллированная вода
Контроль	0,96	24,8
10 ⁻⁴	1,61	30,6
10 ⁻³	90,03	97,6
10 ⁻²	100	100

Таблица 6

Влияние титра *Nostoc paludosum* на выживаемость (%) популяции в растворе МФК с концентрацией 1·10⁻⁴ моль/л

Титр <i>N. paludosum</i> , кл./мл	Жизнеспособные клетки	Нежизнеспособные клетки
2,21·10 ⁸	98,39±1,29	1,61
2,21·10 ⁷	91,7±2,14	7,15
4,42·10 ⁶	88,41±3,17	11,59
2,21·10 ⁶	70,04±16,4	29,96

Таблица 7

Влияние МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) на жизнеспособность (%) клеток различных видов цианобактерий

Вид цианобактерий	Клетки с кристаллами	Клетки без кристаллов
<i>Nostoc paludosum</i>	91,56±2,07	8,44
<i>Nostoc linckia</i>	79,27±2,54	20,73
<i>Nostoc muscorum</i>	78,65±12,4	21,35
<i>Microchaete tenera</i>	70,5±6,0	29,50

Таблица 8

Жизнеспособность клеток *Nostoc paludosum* (%) в тестируемых объектах

Объект	Клетки с кристаллами	Клетки без кристаллов
Дистиллированная вода	83,86±1,73	16,14
Снеговая вода		
Точка 34	49,23±4,24	50,77
Точка 37	59,25±1,63	40,75
Точка 40	77,01±3,48	22,99
Почвенная вытяжка		
Точка 17	73,17±3,42	26,83
Точка 18	78,7±8,79	21,3
Точка 27	82,17±3,37	17,83
Точка 40	64,67±1,43	35,33

по реакции инфузорий и полную нечувствительность хлореллы и дафний. Следовательно, ЦБ могут быть существенным дополнением к сертифицированным методикам при биотестировании объектов окружающей среды на различные виды загрязнений. Мы считаем, что предложенный нами тетразольно-топографический метод определения дегидрогеназной активности в клетках цианобактерий может успешно функционировать в системе биологического мониторинга окружающей среды.

Литература

1. Шуберт Р. (ред.) Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. М.: Мир, 1988. 350 с.
2. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1985. 158 с.
3. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров, 2002. 544 с.
4. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с. (Коми НЦ УрО РАН).
5. Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Калинин А.А., Вараксина А.И., Огородникова С.Ю. Эколого-аналитический мониторинг антропогенно-нарушенных территорий // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета, 2006. №14. С.153-169.
6. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
7. Домрачева Л.И., Панкратова Е.М., Перминова Г.Н. Оценка биологического состояния почвы по её «цветению» // Почвоведение, 1992. №11. С.71-80.
8. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР, Выпуск 2. М.: Советская наука, 1953. 652 с.
9. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
10. Калинин А.А. Цианобактерии как возможные компоненты диазотрофных микробных ассоциаций и их влияние на растения: Автореф. дис. ... канд биол. наук. М., 1995. 23 с.
11. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Фокина А.И., Пегушина О.А. Альго-цианобактериальные комплексы в диагностике состояния почвы, загрязнённой свинцом и метилфосфоновой кислотой // Современные проблемы загрязнения почв: Матер. II междунар. науч. конф. Москва, 2007. Т. 2. С. 341-343.
12. Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю. Метилфосфоновая кислота как регулятор биологических процессов в экологических системах: действие на микроорганизмы, ферментативную активность почв и высшие растения // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 78-87.

Основные принципы типизации экологических ситуаций

© 2008. А.В. Садов¹, О.Б. Наполов²¹Московский государственный университет геодезии и картографии,²Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий

В данной работе рассмотрена типизация экологических ситуаций на примере Северо-Западного региона России, которая включает глобальные экологические ситуации: изменение климата, разрушение озонового слоя, загрязнение Мирового океана, истощение природных ресурсов.

The article presents ecological situations typology by the example of the North-Western region of Russia. It includes global ecological situations such as climate changes, ozone layer destruction, world ocean contamination, natural resources exhaustion.

Задачи экологических исследований заключаются в количественной и качественной оценке всех компонентов окружающей среды, которые могут быть изменены под воздействием техногенной деятельности и оказывать отрицательное влияние на условия жизнедеятельности живых организмов и антропосферы в целом.

При взаимодействии техногенеза и природной среды возникают различные экологические ситуации.

В общем виде экологическая ситуация представляет собой степень благополучия (неблагополучия) состояния окружающей среды, определяющей условия жизнедеятельности людей и комфортности их проживания. При выделении экологических ситуаций возможен индивидуальный и типологический подходы. При индивидуальном подходе производится более яркое изучение всех конкретных ситуаций и связанных с ними изменений компонентов окружающей среды.

При типологическом подходе часто приходится отказываться от многих индивидуальных особенностей и ограничиваться только изучением некоторых общих особенностей и закономерностей, свойственных группе сходных экологических ситуаций, объединённых по общим признакам.

Типологический подход к изучению экологических ситуаций представляет особый интерес, т. к. он позволяет разрабатывать методики экологических исследований применительно к группе объектов, создающих экологические ситуации на значительной территории, что обеспечивает рекомендациям известную универсальность и повышает их практическую ценность.

При типизации экологических ситуаций, с нашей точки зрения, отправным пунктом является оценка масштабов возможных последствий техногенной деятельности. По этому критерию экологические ситуации можно разделить на: глобальные, межнациональные, национальные, зональные, региональные, локальные.

Последствия глобальных экологических ситуаций охватывают всю геосферу. Межнациональные экологические ситуации создаются при трансграничном переносе загрязняющих веществ из одной страны в другую. Последствия национальных экологических ситуаций ограничиваются территорией одного государства. Зональные экологические ситуации локализованы в границах ландшафтно-климатических зон. Региональные – в границах региона. Локальные возникают внутри региона, в непосредственной близости от источника техногенного воздействия. Дальнейшая классификация создаваемых экологических ситуаций может быть осуществлена на основе выделения различных источников воздействия – теплоэнергетики, транспорта, металлургического производства, горно-химического производства и т. д., которые определяют состав загрязняющих веществ и объёмы выбросов, сбросов и отходов. При этом необходимо учитывать размещение экологически опасных производств и возможные ущербы. Таким образом, можно выделить определённый набор типовых экологических ситуаций и предложить разработку классификатора экологических проблем и их ранжирование.

В данной работе рассмотрена типизация экологических ситуаций применительно к Северо-Западному региону России.

Глобальные экологические ситуации обуславливают угрозу существованию человеческой цивилизации и официально признаны на высшем международном уровне большинством государств мира.

К ним относятся: изменение климата, разрушение озонового слоя, загрязнение Мирового океана, истощение природных ресурсов, сокращение биоразнообразия.

Изменение климата. За последние 100 лет среднемировая температура возросла на 0,6°C (в Европе примерно на 1,2°C), причём десятилетие (1990–2000 гг.) оказалось самым тёплым за последние 150 лет.

Межправительственная группа ООН по изменению климата, изучив вопрос о причинах изменения климата за 50 лет, заявила, что это изменение невозможно объяснить чем-либо, кроме антропогенной эмиссии парниковых газов. Ежегодные выбросы этих газов всё ещё увеличиваются. Эмиссия углекислого газа от сжигания угля, нефти и природного газа вносит самый весомый вклад в развитие парникового эффекта по сравнению с другими источниками. Уровень изменения концентрации углекислого газа в атмосфере показан на рисунке 1.

Согласно последнему сообщению Межправительственной группы ООН по изменению климата можно ожидать дальнейшее глобальное повышение температуры на 1,4–5,8°C к 2100 году.

Северные области могут испытывать более заметное нагревание, чем другие территории. Зимние температуры, как ожидают, должны повыситься особенно быстро.

В большинстве частей Скандинавии нагревание, вероятно, будет сопровождаться более обильными осадками. Однако, в глобальном потеплении этот регион может найти свои плюсы. Если средняя температура повысится на 1°C, то в южных областях на-

ступят условия, преобладающие сегодня в центральной Германии. Это должно повысить урожайность в сельском хозяйстве и благоприятно сказаться на лесной промышленности.

На протяжении последнего столетия уровень морей поднялся на 0,1–0,2 м. Прогнозируется, что к 2010 г. уровень поднимется ещё на 0,1–0,9 м. В последнем столетии уровень осадков в мире вырос примерно на 2%, при этом в Северной Европе и на северо-западе Российской Федерации влажность увеличилась на 10–40% и прогнозируется рост ещё на 1–2% за каждые 10 лет. Среднемировая и среднеевропейская температура растёт, уровень моря увеличивается, ледники тают, и меняется частота экстремальных погодных явлений. Ожидается, что изменения климата будут иметь широкие последствия, в том числе увеличится опасность наводнений и влияние на природные экосистемы, биологическое разнообразие, здоровье людей и водные ресурсы, а также на такие сектора экономики как лесоводство, сельское хозяйство, туризм и страхование.

Изменениям климата посвящена рамочная конвенция ООН об изменении климата, а Киотский протокол поставил для промышленно развитых стран обязательные цели по снижению выбросов парниковых газов. Протокол является первым шагом в направлении более существенных глобальных сокращений выбросов (примерно на 50% к середине XXI века), которые необходимы для достижения долгосрочных целей обеспечения экологически безопасной концентрации атмосферных парниковых газов. Большинство стран, в том числе Россия, ратифицировали этот протокол.

Многие страны приняли национальные программы, которые сконцентрированы на снижении выбросов парниковых газов. Однако даже незамедлительно большое сокращение выбросов не предотвратит некоторые климатические изменения, а также экологическое и экономическое воздействие, т. к. существует значительная задержка во времени между снижением выбросов и стабилизацией концентрации парниковых газов. Поэтому меры в различных социальных и экономических секторах следует приспособить к последствиям изменения климата помимо принятия мер по ограничению выбросов.

Некоторые страны добились определённых успехов в снижении выбросов в рамках осуществления целей Киотского протокола, многие

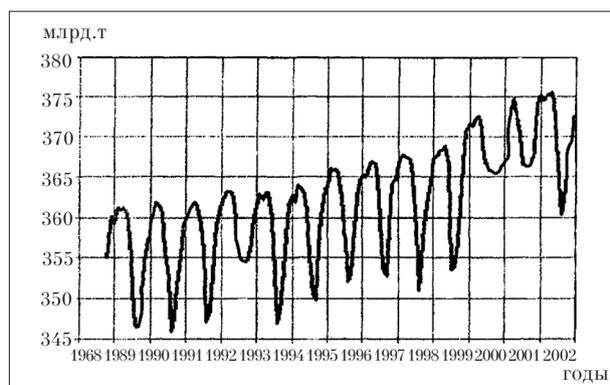


Рис. 1. Уровень изменения углекислого газа в атмосфере

улучшения достигнуты в результате разовых изменений. Однако потребуются дальнейшие меры по отношению ко всем экономическим секторам для выполнения национальных обязательств по Киотскому протоколу.

Разрушение озонового слоя. Озоновый слой в стратосфере очень разрежен, но он является важным элементом земной атмосферы: защищает людей, животных и растения от вредного коротковолнового ультрафиолетового (УФ) излучения. Кроме того, озон является парниковым газом, причём озоновый эффект потепления связан с озоном, находящимся в тропосфере.

Озон образуется в верхней стратосфере в результате взаимодействия коротковолнового солнечного УФ излучения и кислорода. Он разрушается (диссоциирует) в ходе реакций с определёнными соединениями (озоноразрушающими веществами) при УФ излучении с несколько большей длиной волны. Динамическое равновесие между образованием и разрушением озонового слоя определяет концентрацию и общее количество озона в стратосфере или «толщину» озонового слоя. Антропогенные выбросы озоноразрушающих веществ, содержащих хлор и бром, нарушают это равновесие. Один атом хлора или брома до его удаления из атмосферы может разрушить тысячи молекул озона.

Толщина озонового слоя над Европой существенно уменьшилась с начала 80-х годов и продолжает снижаться на 4–5% каждые десять лет.

Сильное истощение озона стратосферы, наблюдаемое в полярных районах, вызвано сочетанием антропогенных выбросов озоноразрушающих веществ, устойчивых циркуляционных процессов, очень низких температур и солнечного излучения. Соединения, вызывающие существенное истощение озона, включают хлор-, фторуглероды, четырёххлористый углерод, метилхлороформ, гидрохлорфторуглероды, гидробромфторуглероды и метилбромид. Они применяются в качестве растворителей, хладагентов, пенообразователей, обезжиривающих средств, пестицидов (метилбромид), средств огнетушения. Степень влияния озоноразрушающего вещества на озоновый слой (озоноразрушающий потенциал) зависит от его химических свойств. Другие факторы, оказывающие воздействие на озоновый слой, включают природные выбросы, крупные вулканические извержения, климатические изменения и парниковые газы – метан и оксид азота. Падению

мощности озонового слоя атмосферы способствует и повышенное потребление кислорода, которое оказалось столь большим, что его концентрация в атмосфере поддерживается только за счёт трансграничного переноса. Расчёты показывают, что в 2000 г. суммарный расход кислорода на планете достиг 210–230 млрд. т., тогда как зелёные растения производят его примерно 240 млрд. т.

Загрязнение Мирового океана связано, в основном, с двумя факторами.

- 1) Поступление в Мировой океан загрязнителей в количестве, превышающем способность морской среды к самоочищению. В результате накопления загрязнителей нарушаются естественные процессы в Мировом океане.
- 2) Прямое или косвенное поступление веществ или энергии в морскую среду, включая прибрежные устьевые районы, что приводит к вредным последствиям для живых организмов и к опасности для здоровья человека, препятствует развитию всей морской биоты, ухудшает качество морской воды и вредит всем сторонам человеческой деятельности (по определению ЮНЕСКО).

Истощение природных ресурсов. В результате интенсивной и не всегда рациональной хозяйственной деятельности на мировом уровне происходит истощение минерально-сырьевых, земельных, водных ресурсов, животного и растительного мира.

Сокращение биоразнообразия. Сокращение связано с исчезновением биологических видов, постоянно обитающих на территории, из-за загрязнения окружающей среды, прямого истребления, коллекционирования и торговли образцами видов биологической природы, приобретающим глобальный размах.

Участники Саммита в Йоханнесбурге (ЮАР) пришли к соглашению достичь в 2010 г. существенного снижения текущей утраты биологического разнообразия, в том числе и в северо-западном регионе РФ.

На биологическое разнообразие отрицательно влияют кардинальные изменения в землепользовании, масштабные воздействия загрязнителей воздуха и вод, такие как эвтрофикация и вторжение инвазивных видов, причём результаты в значительной степени зависят от биолого-географического и культурного контекстов. Последствия изменений климата, оставаясь всё ещё трудно предсказуемыми, вероятно, ведут к изменениям распространения видов, их физиологии и миг-

рационального поведения. В связи с этим можно ожидать функциональной реакции экосистем на подобные изменения.

Главные угрозы биологическому разнообразию в Северо-Западном регионе РФ связаны с:

- изменением климата, которое может изменить условия жизнедеятельности растительных сообществ;
- истощением озонового слоя;
- интенсивными лесоразработками;
- наличием промышленных и сельскохозяйственных предприятий;
- подкислением пресных вод.

Межнациональные экологические ситуации связаны с негативными последствиями хозяйственной деятельности за пределами Скандинавских стран, которые непосредственно угрожают экологической безопасности рассматриваемого северо-западного региона. К ним относятся трансграничные переносы, осуществляемые воздушными и водными путями.

Основными источниками воздействия в рассматриваемом регионе являются:

- хлорорганические пестициды и их метаболиты от сельскохозяйственной деятельности;
- промышленные химикаты, полихлорвинилы, антропогенные природные продукты горения и термических процессов, например, хлорированные диоксиды, фураны и полициклические ароматические углеводороды;
- радиоактивное загрязнение, обусловленное тремя основными причинами: испытанием ядерного оружия в атмосфере 1950–1980 гг., сбросами радиоактивных поллютантов от заводов по переработке ядерного топлива расположенных в Европе (например, Селлафилда), которые достигли пиковых значений в середине 70-х годов и выбросами радиоактивных соединений при Чернобыльской аварии;
- соединения серы и азота промышленного происхождения, которые вызывают формирование кислотных дождей;
- соединения тяжёлых металлов.

В Северо-Западном регионе РФ сходятся основные атмосферные потоки, речные и морские течения, которые обуславливают дальний перенос загрязняющих веществ на значительные расстояния и внутри региона, ввиду чего он представляет собой потенциальное место для их накопления. Самые раз-

нообразные процессы выводят эти загрязняющие вещества из атмосферы, океанов и рек, делая их доступными для растений и животных. Пищевые цепи служат главными биологическими аккумуляторами избирательного поглощения, усвоения и переноса, а иногда и концентрирования контаминантов арктическими растениями и животными, многие из которых впоследствии употребляются жителями региона.

Сильные воздушные потоки, направленные на север в зимний период, переносят загрязняющие вещества, например, соединения серы, азота и радионуклиды из низких широт в Арктику. Климатические особенности создают условия для селективного накопления этих веществ в регионе.

Северные реки являются важным путём в переносе загрязняющих веществ в регионе, часто связывая его с экстремальными паводками, вызванными ледоставом и таянием снега. Процессы седиментации играют важную роль в осаждении взвешенных частиц в эстуариях, дельтах и прибрежных Арктических шельфах. Речной перенос является источником местного и регионального распространения радионуклидов, некоторых тяжёлых металлов и нефти.

Океанические воды являются важным резервуаром хранения и средой перемещения водорастворимых загрязняющих веществ. Морские льды могут играть важную роль в переносе этих веществ и других контаминантов из прибрежных отложений в зимний период, а также атмосферных осадений с последующим их перераспределением во время таяния льда.

Дальний морской перенос радионуклидов с мест сбора в средних широтах в предшествующие годы обусловил их аккумуляцию в арктических донных отложениях. Утечки радионуклидов из хранилищ отработанного топлива и морских мест захоронения обычно остаются локальными, хотя ранее сброшенные в арктические моря низкоактивные жидкие отходы распространялись более широко.

Для окраинных морей России источником экологического риска является Норвежско-Нордкапское течение, выносящее загрязнители в Баренцево море из Северного и Норвежского морей, где находится один из крупнейших в Евразии очагов хозяйственной деятельности. Северное море уже свыше 150 лет используется как крупномасштабная свалка отходов наиболее развитыми европей-

скими государствами. В послевоенные годы море активно «осваивается» ядерной энергетикой (радиоактивные отходы в него сбрасывают Франция и Великобритания) и морскими нефтегазопромыслами. Благодаря Гольфстриму широкий спектр загрязнений, бытовых отходов, а также радионуклидов прослеживается до Карского моря.

В то же время исследования показали, что 60% от общей активности радиоактивных веществ, поступающих в Баренцево море, обеспечивает трансграничный перенос радиоактивных отходов, сбрасываемых радиохимическими заводами в Великобритании и Франции.

Сочетание процесса переноса на дальние расстояния, климатических условий, а также физических, химических и биологических показателей (свойств) приводит к накоплению некоторых загрязняющих веществ в традиционных кормах и продуктах питания, а уровень их часто бывает выше, чем в пищевых продуктах вне Арктики.

В Северо-Западном регионе РФ особо актуальна проблема кислых выпадений в связи с широким распространением здесь таких геологических пород, как: граниты, гранитоиды, особенно в северо-западных областях России, Скандинавии, северо-востоке Канады и США.

Один из примеров трансграничного переноса воздушными массами потоков серы показан на рисунке 2.

Как видно, кислотообразующие соединения (диоксиды серы, азота) переносятся с потоками воздуха на большие расстояния, пересекая межгосударственные границы. Это означает, что кислотные дожди являются серьёзной экологической проблемой. Шведы, норвежцы и финны обеспокоены переносом кислотных осадков из Германии и Великобритании, а россияне – переносом из Польши и Чехии. Перенос кислотных дождей контролируется направлением воздушных потоков.

Это обстоятельство вынудило принять Международную конвенцию о трансграничном загрязнении воздуха и ограничении выбросов вредных веществ в атмосферу, которое было ратифицировано большинством стран мира (Киотское соглашение). В 2004 г. это соглашение было ратифицировано Россией. США ратифицировать его отказались.

Следует отметить, что трансграничный перенос загрязняющих веществ (в том числе тяжёлых металлов, органических соединений и других поллютантов) происходит и в водной среде морей, озёр и рек.

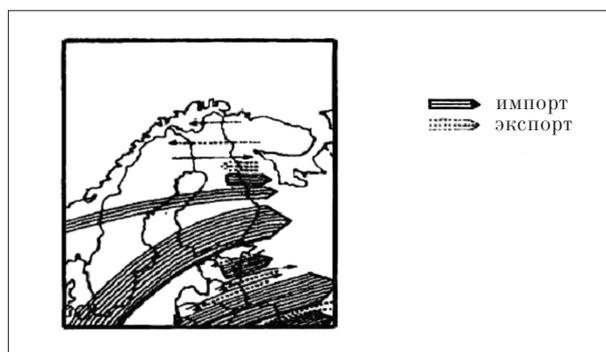


Рис. 2. Трансграничные потоки серы, выбрасываемые в атмосферу на территории скандинавских стран и северо-восточной европейской территории России

Национальные экологические ситуации антропоферы являются основой национальной экологической безопасности страны.

Национальные экологические ситуации стран рассматриваемого региона определяются: природными условиями, экономическим развитием, характером хозяйственного освоения территории, величиной техногенных нагрузок на неё и социально-демографическими факторами.

Экологические ситуации, связанные с природными условиями, зависят от геолого-геоморфологического строения, зональных климатических особенностей, ландшафтной дифференциации территории, её природно-ресурсного и экологического потенциала.

Экономика и характер хозяйственного освоения территории определяют особенности техногенных воздействий (механических, тепловых, химических, электромагнитных, шумовых, радиационных и др.) на природные экосистемы и их ответную реакцию на эти воздействия.

Социально-демографические условия (численность, плотность, квалификация, уклад, уровень жизни населения и др.) существенно влияют на состояние окружающей среды и экологическую безопасность. При прочих равных условиях один и тот же вид техногенного воздействия может иметь более серьёзные экологические последствия на территориях с большой плотностью населения, и само воздействие населения на природу в этих регионах оказывается более значительным.

Основными национальными экологическими ситуациями государств изучаемого региона являются:

- загрязнение атмосферы (химическое, механическое, тепловое, шумовое, электромагнитное и др.);
- истощение и загрязнение вод суши;
- загрязнение прибрежных морских вод;
- нарушение режима стока (строитель-

- ство водохранилищ, подтопление, заболачивание, осушение, орошение и др.);
- нарушение гидрохимического режима вод суши;
- обезлесивание (перерубы лесов);
- деградация лесных массивов (смена пород, гари, вредители и др.);
- деградация естественных кормовых угодий (лугов и пастбищ);
- истощение рыбных ресурсов;
- истощение промысловой наземной фауны;
- истощение промысловой флоры;
- понижение естественного плодородия почв (дегумификация), ускоренная эрозия почв и дефляция почв (иссушение и развеивание);
- вторичное засоление почв;
- загрязнение почв (химическое);
- разрушение берегов (ускоренная абразия);
- техногенно обусловленная интенсификация карстовых процессов;
- нарушение мерзлотного режима почвогрунтов;
- комплексное нарушение и истощение недр (при горных разработках добычи нефти и другого минерального сырья);
- утрата продуктивных земель (отчуждение сельскохозяйственных и лесных земель под застройку, водохранилища и т. п.);
- снижение и потеря природно-рекреационных качеств ландшафта;
- нарушение режима особо охраняемых природных территорий (заповедников, заказников, памятников природы и др.);
- радиоактивное загрязнение территории.

Зональные экологические ситуации антропоферы. Ряд экологических ситуаций связан со спецификой природных зон и зональных типов ландшафтов стран севера. Эти государства относятся к арктической зоне, тундровым, лесотундровым, таёжным и подтаёжным ландшафтам, частично в южной части территории захватывают зоны широколиственных лесов.

Для ландшафтов арктической зоны, отличающихся слабым протеканием геохимических процессов и невысоким природно-ресурсным потенциалом естественных ландшафтов, мощная техногенная нагрузка, которая требуется при промышленном освоении этих территорий, оказывается, особенно опасна. Она порождает глубокие противоречия между природны-

ми и техногенными процессами и способствует возникновению весьма острых экологических проблем.

Огромную опасность для природных ландшафтов и их возобновляемых ресурсов представляют нефтяное и радиационное загрязнение, которые связаны с ареалами нефтедобычи и испытательными полигонами.

Тундровые и лесотундровые ландшафты, с характерным для них наличием многолетнемерзлых грунтов и низкой биологической продуктивностью, подвергаются быстрому разрушению в результате геологоразведки, добычи минерального сырья, строительства дорог, газо- и нефтепроводов, а также слишком интенсивного выпаса оленьих стад и нерегулируемого охотничьего промысла. Загрязнение речных вод пагубно влияет на воспроизводство рыбных ресурсов, а прокладка коммуникаций создает препятствие для свободной миграции оленей. Таким образом, происходит истощение жизненно важных естественных ресурсов, воспроизводимых в этих природных зонах.

Таёжные и подтаёжные ландшафты значительно более устойчивы к антропогенным воздействиям. Специфика экологических проблем во многом определяется здесь кислой реакцией природных вод и почв. Наиболее острая экологическая проблема – обезлесивание и деградация лесов, возникающие в результате интенсивных рубок, которые ведутся вдоль линий дорог и по сплавным рекам, часто намного превышая естественный прирост древесины, присущий тому или иному типу зонального ландшафта, а также загрязнения водоемов. Это сопровождается снижением общей биопродуктивности территории, нарушением её гидрологического режима, в том числе расширением процесса заболачивания, а также нарушением почвенного покрова, загрязнением рек и утратой местобитаний многих животных. Из-за повышенной кислотности почв природных ландшафтов для таёжной зоны особенно опасно выпадение кислотных дождей. Их причиной служат выбросы промышленных предприятий, содержащие сернистые и азотистые соединения, которые разносятся воздушными потоками на значительные расстояния. В результате, несмотря на очаговый характер индустриального освоения и внешнюю сохранность облика таёжных ландшафтов, зона тайги уже претерпевает существенные внутренние изменения.

Зональные типы ландшафтов широколиственных лесов отличаются достаточно высокой продуктивностью и значительной устойчивостью, но тем не менее, и они уже утратили многие полезные свойства в результате давнего и очень интенсивного хозяйственного освоения. Наиболее острые экологические ситуации в этой зоне связаны с процессами урбанизации (утрата продуктивных земель в ходе их отчуждения под строительство) и интенсификацией земледелия, превышающей природные возможности территории. Сведение лесов, ускоренная эрозия почв, утрата гумуса, химическое загрязнение и нарушение баланса питательных веществ в почве подрывают процесс воспроизводства главного элемента в естественном потенциале этой природной зоны – высокоплодородия почв.

Региональные экологические ситуации связаны с тремя группами факторов: региональными особенностями геологического строения; распространением многолетнемерзлых пород и сосредоточением крупных предприятий изучаемой территории.

Как отмечено выше, регион расположен в пределах Балтийского кристаллического щита, который является областью длительного поднятия и размыва. Щит сложен преимущественно прочными породами с кристаллизированными связями. Фундамент имеет блоковое строение. Слагающие его горные породы образуют несколько структурных этажей, сложнодислоцированы и высокометаморфизированы. Среди них преобладают гнейсы, граниты, кристаллические сланцы, кварциты, слагающие формации докембрийского возраста. Прочность этих пород в ненарушенном состоянии вполне достаточна для возведения любого сооружения. Основными факторами, снижающими прочность массивов, являются интенсивная тектоническая трещиноватость и выветрелость пород. Характерно широкое развитие региональных разрывных нарушений, меридионального, широтного северо-восточного и северо-западного простирания, обычно образующих строго ориентированные зоны трещиноватых пород мощностью от нескольких сотен до тысячи и более метров.

На отдельных частях территории местами наблюдается повышенный гамма-фон (до 32 мкР/час), приуроченный к распространению гранитов, особенно в зонах их повышенной трещиноватости.

Осадочный чехол распространён спорадически. Представлен осадочными и вулка-

ногенными породами разного возраста – от палеозоя до кайнозоя, залегающими спокойно и часто заполняющими депрессии. Зоны разломов, как правило, повышено обводнены, являются путями фильтрации подземных вод и эманации радона. Очаги повышенной эманации радона расположены на северо-западе Кольского полуострова, а также на юге и юго-западе Республики Карелия.

При строительстве и эксплуатации сооружений наибольшие осложнения приурочены к зонам разломов. Здесь наиболее вероятны обрушения откосов карьеров и котлованов, вывалы горных пород в шахтах и тоннелях, повышенные водопритоки, а также скопления радона в воздухе жилых помещений.

Зона многолетнемерзлых пород захватывает северную часть Скандинавского полуострова. На крайнем его севере расположена зона сплошного распространения мерзлых пород, южнее она сменяется зоной прерывистого, а еще дальше к югу – зоной островного распространения мерзлых толщ. Большая часть негативных последствий техногенного воздействия в зонах многолетнемерзлых пород связана с нарушением естественного теплообмена в ландшафтах, в результате чего резко изменяются условия поверхностного и подземного стоков, свойства грунтов, что вызывает просадку оснований и подтопление сооружений, ползучесть оттаявших грунтовых масс, приводящих к деформациям зданий и сооружений.

Региональные экологические ситуации возникают также на территории крупных городских агломераций, промышленных металлургических, химических, лесопромышленных, горнопромышленных и перерабатывающих комплексов и захватывают значительные площади регионов, на территории которых они расположены. Характерной особенностью региональных экологических проблем является наличие большого количества «точечных» объектов, что приводит к эффекту суммации воздействия и нарушению антропосфер на региональном уровне.

Конкурирующие в сфере использования региональных антропосфер отрасли хозяйства наносят ущерб друг другу тем сильнее, чем значительнее они изменяют совместно эксплуатируемый экологический компонент (энергия, вода, атмосфера, почвы, растения, организмы) или всю систему (комплекс) в целом. При этом разрушение естественной среды обитания ради получения экономической выгоды чревато дальнейшим ухудшением условий жизнедеятельности на территории.

Примером образования региональных экологических ситуаций может служить крупная промышленная зона, вытянутая полосой по направлению Мурманск – Оленегорск – Мончегорск – Апатиты – Канда-лакша. Её воздушный бассейн существенно загрязняется также выбросами промышленных предприятий, котельных, автотранспорта. В промышленных узлах на 1 км² в течение суток выпадает от 1 до 9 кг распылённых тяжёлых металлов, в том числе цветных; ещё больше выпадает серы, пыли; осадки существенно подкислены (рН = 4,0–4,5).

Техногенное воздействие на севере вызывает не только глубокое точечное разрушение антропосфер, но и широкое площадное нарушение, значительно большее, чем в южных зонах. Нарушение функций антропосфер Севера даже при слабых загрязнениях и неспособность самоочищаться обуславливаются их низкой биологической продуктивностью.

Локальные экологические ситуации возникают в городских индустриальных центрах (промузлах).

Несмотря на сравнительно небольшие площади ареалов, занимаемые городами и промышленными узлами (около 3,5% площади региона), они оказывают чрезвычайно сильное воздействие на состояние окружающей среды и выступают своеобразными «ядрами» формирования более обширных ареалов с острыми экологическими ситуациями.

Обобщённая характеристика экологического состояния ряда промышленных центров России приведена по материалам М.П. Ратановой [3]. Она выделяет 4 типа промузлов по характеру их воздействия на природную среду и по общей экологической опасности: I тип оказывает очень сильное, комплексное воздействие на окружающую среду; II тип оказывает сильное воздействие преимущественно на воздух; III тип оказывает среднее воздействие преимущественно на воду; IV тип оказывает слабое воздействие преимущественно на геолого-геоморфологическую основу ландшафтов.

Внутри каждого типа выделяются 4 группы промузлов, различающиеся по силе такого воздействия:

1-я группа промузлов в каждом типе характеризуется самым сильным влиянием на природные комплексы и чрезвычайно высокой экологической опасностью. Объём вредных выбросов в атмосферу в этих промузлах составляет более 1000 т/сут., а объём сточных вод превышает 2000 м³/сут. Для этих

промузлов типично отравление атмосферы оксидами углерода, азота, серосодержащих соединений, разнородной пылью, углеводородами, соединениями I и II класса опасности. Наблюдается эффект суммации нескольких сочетаний вредных веществ. В эту группу вошли крупные промцентры, оказывающие комплексное воздействие на природную среду (I тип). Сюда относятся промышленные центры с разноотраслевой структурой промышленности, сильно развитым автомобильным транспортом, крупными тепловыми электроцентралями.

2-я группа включает промузлы, имеющие, преимущественно, комплексное и достаточно сильное воздействие на среду. В эту группу вошли узлы с численностью населения до 1 млн. человек, специализирующиеся на производстве продуктов органического синтеза, цветной и чёрной металлургии, машиностроения и целлюлозно-бумажной промышленности. Размеры их выбросов в атмосферу от 500 до 1000 т/сут., объём сточных вод от 1000 до 2000 м³/сут. Среди промузлов этой группы имеются и узлы II типа с преимущественным влиянием на воздушный бассейн.

3-я группа промузлов имеет среднее воздействие на окружающую среду. Этот тип представлен узлами преимущественного воздействия на водные ресурсы. К ним относятся небольшое число промузлов с ведущей текстильной или целлюлозно-бумажной отраслью с сульфатным способом производства. В стоках предприятий текстильной промышленности наиболее опасны отходы красителей. В узлах этой группы объёмы выбросов в воздух составляет 200–500 т/сут., а сброс сточных вод – 500–1000 м³/сут.

4-я группа промузлов включает промцентры, которые имеют относительно слабое воздействие на среду и характеризуются выбросами в атмосферу менее 200 т/сут., и сбросом сточных вод менее 500 м³/сут.

IV тип промузлов целиком входит в состав тех ареалов, для которых в качестве лидирующей природоохранной проблемы указано комплексное нарушение земель при горных разработках. Это промышленные узлы, изменяющие, преимущественно, поверхность и литогенную основу природного ландшафта. Влияние горных работ сказывается на площадях, в десятки раз превышающих площадь горных отводов. Здесь образуются антропогенные формы рельефа (терриконы, карьеры и т. п.), нарушается водный баланс территории, возможно сильное пылевое загряз-

нение. Особенности изменения отдельных природных компонентов и масштабы экологического влияния этих промузлов зависят от вида минерального ресурса и способа его добычи.

При оценке экологической ситуации на конкретной территории необходимо учитывать весь комплекс экологических проблем - глобального, международного, национального, зонального, регионального и локального уровней. Приоритетность решения экологических проблем зависит от политических, государственных, экономических, социальных, отраслевых интересов и местных нужд. Во всех случаях при решении экологических проблем должны превалировать жизнь, здоровье, комфортность проживания населения, качество жизни и экологическая безопасность.

Литература

1. Огородников Б. Концы в воду. Радиоактивные отходы у берегов Новой Земли // Евразия. 1996. № 5-6. С. 33-35.
2. Охрана окружающей среды в Мурманской области / Госкомстат РФ по статистике. Мурманский областной комитет гос. статистики. Мурманск, 2002. 38 с.
3. Ратанова М.П. Рациональное природопользование и охрана окружающей среды. Москва: Мнемозина, 1998.
4. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотеза) // Россия молодая. 1994. С. 185-200.
5. Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. ВНИИ Океанология. СПб, 2002. 958 с.
6. Садов А.В. Современные достижения аэрокосмических методов в гидрогеологии и инженерной геологии М.: Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов Министерства геологии СССР, 1990. 63 с.
7. Социально-экономические показатели регионов Северо-Западного федерального округа России в 1995–2001 гг. Статистический сборник. Госкомстат Респ. Карелия, 2002.
8. Тишков А.А. Экологическая реставрация нарушенных экосистем Севера. М.: Российская академия образования, Институт географии РАН, 1996. 112 с.
9. Федоренко Н.П., Реймерс Н.Ф. Природные ресурсы: системная классификация, учет и общие принципы управления / Системные исследования природы. М.: Мысль, 1977. С. 179-195.
10. Финляндия. Географический очерк. М., 1953.
11. Формирование политики природопользования (зарубежный опыт) / Под ред. М.М. Циканова, и др. М.: ЗАО «Информдинамио», 2000. 180 с.
12. Пискудо Ю.В. Многоликая Скандинавия. М., 1975.

Изменение качества родниковых вод в городах Иваново и Кохма Ивановской области

© 2008. С.А. Буймова, В.В. Костров

Ивановский государственный химико-технологический университет

Проведена оценка уровня загрязнения трёх родников, расположенных на урбанизированных территориях (в г. Иваново и г. Кохма) и используемых в питьевых целях, а также водопроводной воды г. Иваново по химическим и микробиологическим показателям. Выявлены приоритетные поллютанты, присутствующие в родниковой воде. Исследована динамика качества родниковых вод во времени, а также выявлена взаимосвязь состава родниковой воды и места расположения контролируемых источников.

The degree of chemical and microbiological contamination of three drinking water springs situated in urbanized territories (in towns Ivanovo and Kokhma) as well as of running water in Ivanovo is evaluated. The priority pollutants in spring water are found out. The dynamic change of spring water quality in course of time as well as the dependence of spring water structure on the tested spring's dislocation is investigated.

В настоящее время всё большую остроту приобретает проблема пресной воды. В связи с глобальным загрязнением поверхностных вод централизованное водоснабжение в значительной степени ориентируется на подземные воды. Так, в России более 60% городов использует для водоснабжения подземные источники, а в странах Западной Европы – более 90% [1 – 3]. В связи с этим большой популярностью у населения Земли в настоящее время пользуется родниковая вода из-за её доступности, т. е. вода из мест естественной разгрузки грунтовых вод. Однако в условиях растущей техногенной нагрузки на окружающую среду подземные воды подвергаются всё большему загрязнению и истощению, поэтому качество родниковых вод, как правило, неизвестно.

Цель настоящей работы:

- 1) оценка уровня загрязнения родников, расположенных на урбанизированных территориях и используемых в питьевых целях;
- 2) исследование динамики качества родниковых вод во времени;
- 3) выявление возможных причин загрязнения родников.

Для анализа были отобраны пробы воды из трёх родников, расположенных в районе водосбора р. Волги, на территории городов Иваново и Кохма. Источники № 1 и № 2 (гг. Иваново и Кохма, соответственно) находятся на урбанизированной территории, в зоне повышенного антропогенного влияния, а родник № 3 (парк отдыха «Харинка») – в рекреационной зоне с пониженной антропогенной нагрузкой.

Пробы воды отбирались ежемесячно в течение 3,5 лет (2003 г. – I полугодие 2006 г.), при этом регистрировались температура воды, температура окружающего воздуха и расход воды из источника [4]. Одновременно с пробами родниковых вод анализировалась вода из системы водопровода г. Иваново.

Каждый из отобранных образцов воды был проанализирован по 44 показателям качества (на соответствие гигиеническим нормативам содержания веществ в питьевой воде [5, 6]), а именно: органолептическим (запах, привкус, цветность, мутность), микробиологическим (общее микробное число), обобщённым (рН, перманганатная окисляемость, жёсткость, общая минерализация, синтетические поверхностно-активные вещества), а также на содержание органических и неорганических веществ.

Для определения вышеперечисленных показателей использовались различные стандартные методы химического и физико-химического анализа [7 – 10], в т. ч. титриметрический, фотометрический, газожидкостной хроматографический, а также атомно-абсорбционная спектроскопия.

Результаты исследований

Наблюдения выявили, что **органолептические показатели** качества родниковой воды из источников № 1 и № 3 оставались одинаковыми на протяжении всего времени исследования. Пробы воды были прозрачными, бесцветными, без осадка, не имели запаха и вкуса. Родниковая вода из источника № 2 тоже была прозрачной, бесцветной, не имела запа-

ха и вкуса. Однако при отстаивании в ней образовывался осадок. При этом водопроводная вода г. Иваново имела желтоватый оттенок, неприятный запах и при отстаивании в ней формировался осадок.

Необходимо отметить, что почти на протяжении всего времени исследования в родниковой воде наблюдалось повышенное значение величины перманганатной окисляемости (ХПК), которая характеризует суммарное содержание окисляющихся органических и неорганических веществ (рис. 1).

В среднем, за весь период исследований, значения перманганатной окисляемости (ХПК) составляли: для воды из родника № 1 – 1,7 N; № 2 – 1,1 N; № 3 – 1,0 N, т. е. содержание различных загрязняющих веществ было значительно выше (примерно в 1,7 раз) в воде из источника № 1, по сравнению с родниками № 2 и № 3.

Бактериологический анализ проб родниковой воды показал (рис. 2), что вода из исследуемых источников не соответствует санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию общего микробного числа (ОМЧ).

При этом в воде из родника № 1 были обнаружены бактерии группы кишечной палочки (*E. coli*) и термотолерантные колиформные бактерии, которые указывают на недавно попавшее в воду фекальное загрязнение.

В среднем, за весь период исследований значения ОМЧ значительно превышали норму, установленную для питьевой воды, и составляли: для воды из родника № 1 – 4,2 N; № 2 – 4,0 N и № 3 – 7,6 N. Кроме того, для источников № 1 и № 2, расположенных в г. Иваново и г. Кохма, величины ОМЧ находились примерно на одном уровне, однако зна-

чение ОМЧ для воды из родника № 3 (находящегося в парке «Харинка» г. Иваново), было значительно выше (почти в 2 раза). Это может быть связано с биохимическими процессами окисления, происходящими в результате гниения опавшей листвы и хвои, находящейся на территории лесного массива. Кроме того, в период таяния снега различные микроорганизмы могут поступать в родниковые воды вместе с талыми водами путём инфильтрации.

В родниковой воде была определена величина **общей минерализации** (сухого остатка), которая характеризует содержание нелетучих растворённых веществ (главным образом минеральных) и органических веществ, температура кипения которых превышает 105–110 °С (рис. 3).

В среднем, за весь период исследований значения общей минерализации составляли: для воды из родников № 1 и № 2 – около 1,0 N, а из родника № 3 – 0,3 N, т. е. суммарное количество растворённых в воде трудно летучих органических и неорганических веществ было значительно ниже (примерно в 3,3 раза) в воде из источника № 3, расположенного в зоне пониженной антропогенной нагрузки (парке отдыха «Харинка»), по сравнению с родниками № 1 и № 2, находящимися в г. Иваново и г. Кохма. Это может быть связано с тем, что водосбор данного родника осуществляется с территории лесного массива, который поглощает минеральные компоненты.

Нужно отметить, что в большинстве случаев для всех исследованных родников прослеживалась сезонная зависимость изменения выше перечисленных показателей (рис. 1 – 3), а именно: рост наблюдался в марте, июне – июле, сентябре – октябре.

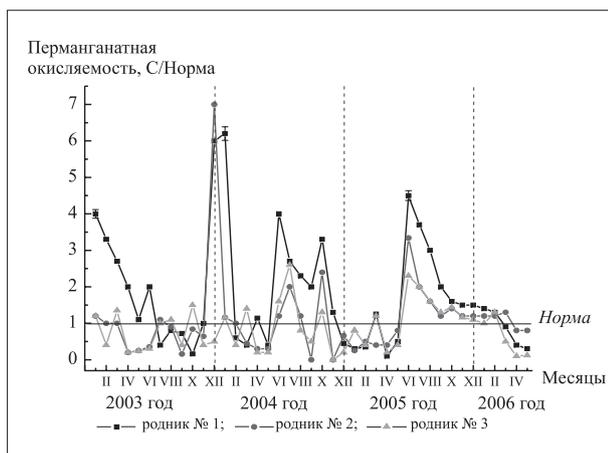


Рис. 1. Динамика ХПК для родников, расположенных на территории г. Иваново (№ 1 и № 3) и г. Кохма (№ 2), за период исследований 2003 г. – I полугодие 2006 г.

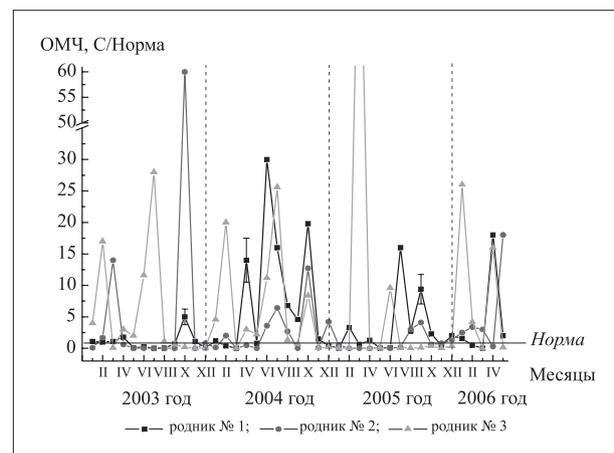


Рис. 2. Динамика общего микробного числа (ОМЧ) для родников, расположенных на территории г. Иваново (№ 1 и № 3) и г. Кохма (№ 2), за период исследований 2003 г. – I полугодие 2006 г.

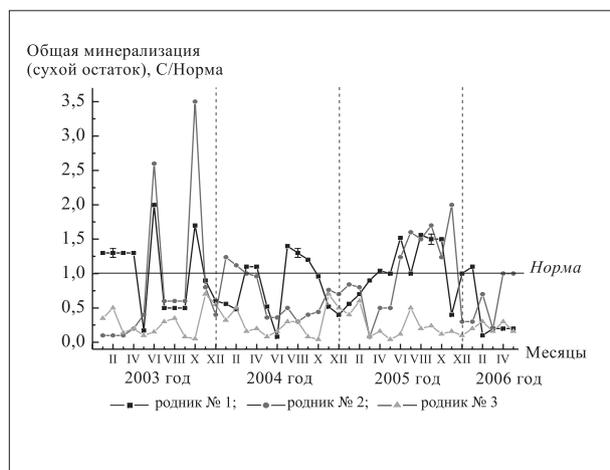


Рис. 3. Динамика общей минерализации для родников, расположенных на территории г. Иваново (№ 1 и № 3) и г. Кохма (№ 2), за период исследований 2003 г. – I полугодие 2006 г.

Кроме того, в родниковой воде из источника № 1 почти на протяжении всего времени исследования отмечались повышенные значения **общей жёсткости**, которая обусловлена присутствием растворимых и малорастворимых минеральных солей, главным образом Са и Mg (в основном HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^-), при этом сезонной зависимости изменения данного показателя не прослеживалось. В свою очередь, для воды из родника № 2 (г. Кохма) величина общей жёсткости находилась на уровне нормативного значения, а суммарное содержание солей кальция и магния в воде из источника № 3 (парк «Харинка» г. Иваново), было значительно ниже (примерно в 2,0 раза) нормы. В среднем, за весь период исследований значения составляли: для родниковой воды из источника № 1 – 1,4 N; № 2 – 1,0 N, № 3 – 0,7 N.

Изменение величины общей жёсткости, в какой-то степени, аналогично изменению значения общей минерализации. Но поскольку вклад жёсткости в суммарную величину общей минерализации может быть ниже, то в воде родников, где наблюдаются превышения нормативного значения по величине жёсткости, общая минерализация не всегда превышает рекомендуемое СанПиН 2.1.4.1074-01 [6] значение.

Наблюдения показали, что в родниковой воде присутствовали и **синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ)**. Источником поступления СПАВ являются хозяйственно-бытовые сточные воды, содержащие синтетические моющие средства. Нужно отметить, что для всех исследованных родников максимальные значения СПАВ были отмечены в 2005 г., причём рост наблюдался

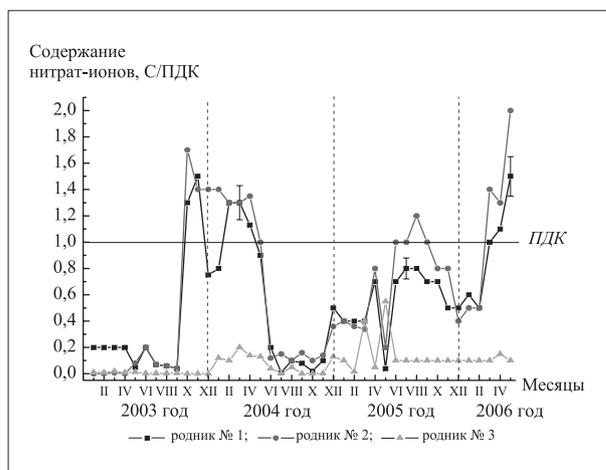


Рис. 4. Динамика содержания NO_3^- для родников, расположенных на территории г. Иваново (№ 1 и № 3) и г. Кохма (№ 2), за период исследований 2003 г. – I полугодие 2006 г.

в марте, а снижение – в декабре. При этом концентрация СПАВ была значительно ниже (примерно в 2,0 раза в воде из источника, расположенного в зоне пониженной антропогенной нагрузки (парке отдыха «Харинка»), что в очередной раз доказывает очищающую способность лесного массива от различных загрязняющих веществ. В среднем, за весь период исследований содержание СПАВ было значительно ниже нормативной величины.

Кроме выше перечисленных показателей качества, в родниковой воде было определено содержание нитрат-ионов (NO_3^-). Отметим, что в 2003–2006 гг. для воды из трёх исследованных родников не прослеживалось сезонной динамики содержания NO_3^- (рис. 4).

За весь период исследований содержание NO_3^- ионов в источниках, расположенных в зоне повышенного антропогенного влияния (гг. Иваново и Кохма) находилось примерно на одном уровне (0,6–0,7 ПДК), однако в воде из родника, находящегося в зоне пониженной нагрузки, содержание NO_3^- было значительно ниже (рис. 4).

Повышенное содержание NO_3^- в родниковой воде может быть связано как с природным, так и антропогенным фактором. Большинство минеральных удобрений содержат в своем составе нитраты, которые при избыточном или нерациональном внесении в почву могут приводить к загрязнению природных вод. Повышенное содержание NO_3^- в воде может служить индикатором загрязнения в результате распространения фекальных (бытовые сточные воды), либо химических загрязнений (сельскохозяйственных, промыш-

ленных и т. д.). Кроме того, на урбанизированных территориях источником поступления NO_3^- может быть конденсация NO_x от выхлопных газов автомобилей, а также стоки с дорог, в состав которых входят антигололёдные соединения.

Кроме выше перечисленных показателей, в родниковой воде было определено содержание таких металлов, как $\text{Fe}_{\text{общ}}$, $\text{Mn}_{\text{общ}}$ и Pb^{2+} . Отметим, что в некоторых случаях для воды из родников № 1 и № 2 наблюдалось аналогичное сезонное изменение содержания $\text{Fe}_{\text{общ}}$. В среднем, за весь период исследований содержание $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в родниковой воде из всех источников находилось примерно на одном уровне (0,3–0,4 ПДК) и значительно ниже ПДК.

Следует отметить, что за период исследований (2003 г. – I полугодие 2006 г.) для воды из родников, расположенных в городах, прослеживалась сезонная динамика содержания $\text{Mn}_{\text{общ}}$ (рис. 5). Однако для воды из родника, находящегося в парке «Харинка», сезонной зависимости не выявлено, при этом для всех трёх исследованных родников в 2006 г. увеличение концентрации $\text{Mn}_{\text{общ}}$ было отмечено в апреле и мае (рис. 5).

Повышенная концентрация $\text{Mn}_{\text{общ}}$ в родниковой воде может быть связана с высоким природным содержанием этого металла в природных поверхностных и подземных водах Центрального региона России, включая и Ивановскую область.

Химический анализ проб родниковой воды показал, что содержание ионов Pb^{2+} во всех исследованных источниках было значительно ниже ПДК за весь период наблюдений, однако в феврале и марте 2006 г. наблюдался рост данного показателя. Максимальная концентрация ионов Pb^{2+} была обнаружена в родниковой воде г. Кохмы, а минимальная – в парке «Харинка» г. Иваново, при этом превышения ПДК составляли от 6,3 до 1,2 раза, соответственно.

Соединения Pb имеют глобальное распространение и обнаруживаются даже в самых отдалённых и неподверженных антропогенному воздействию местах земного шара. Источником загрязнения ионами Pb^{2+} по-прежнему остаются выхлопные газы автомобилей.

Таким образом, в исследованных источниках были обнаружены превышения по следующим показателям качества:

- для родниковой воды из источников, подверженных антропогенному воздействию (№ 1, 2), – по величине ХПК, общей жёсткости и минерализации, содержанию СПАВ, NO_3^- , метал-

лов (Na^+ , Pb^{2+} и $\text{Mn}_{\text{общ}}$), а также количеству микроорганизмов, присутствующих в воде;

- для родниковой воды из источника № 3 – по величине ХПК, общей жёсткости, содержанию металлов (Pb^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и $\text{Mn}_{\text{общ}}$), а также бактериологическим показателям (ОМЧ).

Присутствие в родниковой воде выше перечисленных загрязняющих веществ, и особенно высокие значения ХПК и ОМЧ, указывает на слабую защищённость этих вод от загрязнения, связанного, в первую очередь, с антропогенной деятельностью человека.

Нужно отметить, что употребление питьевой воды, в которой наблюдается постоянное превышение ПДК по целому ряду веществ, может стать причиной возникновения различных соматических заболеваний, либо вызывать генетические нарушения у следующих поколений.

Кроме родниковой воды из трёх источников, расположенных на урбанизированной территории в г. Иваново и г. Кохма, для сравнительной оценки качества питьевой воды были отобраны и проанализированы пробы воды из системы водопровода г. Иваново. Химический анализ показал, что водопроводная вода не соответствовала требованиям Сан-ПиН 2.1.4.1074-01 [5] по органолептическим показателям, а также величине $\text{ХПК}_{\text{KMnO}_4}$, которая превышала нормативное значение в 1,2 раза, в то время как в родниковой воде наблюдались превышения ПДК по целому ряду компонентов. Поэтому водопроводная вода г. Иваново является менее опасной (по основным контролируемым показателям качества) при её пероральном употреблении, по сравнению с родниковой.

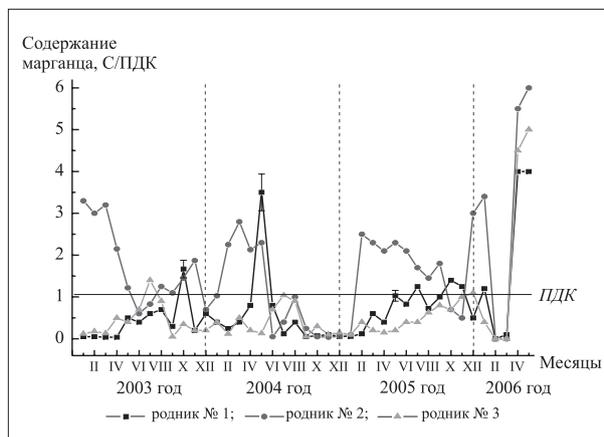


Рис. 5. Динамика содержания $\text{Mn}_{\text{общ}}$ для родников, расположенных на территории г. Иваново (№ 1 и № 3) и г. Кохма (№ 2), за период исследований 2003 г. – I полугодие 2006 г.

Таким образом, в ходе исследовательской работы была проведена подробная оценка качества воды из родников, расположенных на урбанизированной территории (в городах Иваново и Кохма); отмечено наличие различного рода загрязняющих веществ; выявлены приоритетные поллютанты, присутствующие в родниковой воде; установлена зависимость влияния окружающей среды на содержание ряда компонентов в пробах родниковых вод; проведена сравнительная оценка качества родниковой и водопроводной воды г. Иваново.

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) химический и микробиологический анализ проб родниковой воды показывает, что вода большинства исследованных родников не соответствуют санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию целого ряда веществ;
- 2) показано, что наиболее загрязнённой является вода из родников, расположенных на урбанизированных территориях, а именно в зонах повышенной антропогенной нагрузки (в городах – вблизи автотрасс и неорганизованных мест хранения бытовых отходов);
- 3) выявлено, что изменение содержания загрязняющих веществ в родниковых водах за исследуемый период (2003 г. – I полугодие 2006 г.) имеет тенденцию к увеличению, при этом наибольшее количество поллютантов и их максимальные концентрации отмечены в холодный (марте), тёплый (июне, июле, сентябре) и переходный (октябре) периоды года;

- 4) установлено, что родниковая вода отражает наличие даже незначительных загрязнений окружающей среды и, наряду с поверхностными водами, её можно использовать в качестве индикатора состояния окружающей среды в месте расположения источника.

Литература

1. Шварц А.А. Экологическая гидрогеология. СПб: Изд-во С.-Перербургского ун-та, 1996. 60 с.
2. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: энциклопедический справочник М.: Протектор, 1995. 624 с.
3. Скворцов Л.С. и др. Состояние и перспективы улучшения питьевого водоснабжения в РФ // Экология и промышленность России. 1996. № 9. С. 42- 43.
4. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб.
5. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
6. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников.
7. ГОСТ 4151-72. Вода питьевая. Метод определения общей жесткости.
8. ГОСТ 18826-73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов.
9. ГОСТ Р 51209-98. Вода питьевая. Методы определения содержания хлорорганических пестицидов газожидкостной хроматографией.
10. ПНД Ф 14.1:2.22-95. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов железа, кадмия, свинца, цинка и хрома в пробах природных и сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии.

Оценка качества воды водоёма-охладителя Балаковской атомной электростанции методами биомониторинга

© 2008. В.Н. Чупис, Л.Л.Журавлёва, В.А. Жирнов, И.Н. Ларин, Е.А. Луцкая, Н.В.Емельянова, Е.В. Ильина, Д.Е.Иванов
Институт промышленной экологии

В статье приведены результаты биотестирования качества воды водоёма-охладителя Балаковской АЭС. Изучено влияние проб воды на интенсивность биолюминесценции бактерий, смертность дафний и рост хлореллы. Кроме этого, изучена стабильность развития популяций бокоплавов водоёма-охладителя и акватории реки Волги. При биотестировании на дафниях пробы не оказывали острого токсического действия. При биотестировании проб на бактериях обнаружена острая токсичность у шести проб воды водоёма-охладителя. При биотестировании проб из водоёма-охладителя на хлорелле средняя степень токсичности выявлена у двух проб. Анализ характера морфологической изменчивости глаз бокоплавов показал, что данный тип изменчивости является флуктуирующей асимметрией. Установлено, что между температурой воды и стабильностью развития бокоплавов существует прямая зависимость. В пределах нормы реакции бокоплавов повышение температуры уменьшает уровень флуктуирующей асимметрии в популяции, т. е. стабильность онтогенеза возрастает. Обнаруженную в нашем исследовании большую жизнеспособность дафний и бокоплавов по сравнению с бактериями и хлореллой, по-видимому, можно объяснить негативным влиянием на одноклеточные организмы высокой концентрации солей водоёма-охладителя Балаковской АЭС.

The article contains the results of water biotesting in the cooling-reservoir of Balakovo NPS. The influence of water-samples on bio-luminescence, daphnia death-rate, and chlorella growth is investigated. The stability of amphipods population development in the cooling-reservoir and within the Volga water surface is considered. In the process of bio-testing the samples did not produce acute toxic effect on daphnia, while six cooling-reservoir water samples had acute toxic impact on bacteria. During biotesting the influence of the cooling-reservoir samples on chlorella average toxicity degree of two samples was found out. The analysis of morphological changeability of amphipods' eyes showed that this type of changeability represents fluctuational asymmetry. It is stated that development stability of amphipods directly depends on water temperature. Within the norm of amphipods' reaction the increase of temperature causes decrease of population fluctuational asymmetry, i.e. increase of ontogenesis stability. The reason of the fact that daphnia and amphipods are more viable as compared with bacteria and chlorella may consist in the negative influence of high salt concentration in the Balakovo NPS cooling-reservoir water.

Введение

Атомная электростанция является опасным промышленным объектом, требующим пристального внимания экологических служб. Поэтому в настоящей работе нами была проведена оценка методами биотестирования и биоиндикации качества воды водоёма-охладителя Балаковской АЭС в Саратовской области. (См. цветную вкладку).

Работа всех тепловых и атомных электростанций основана на одном принципе. Электроэнергия вырабатывается при передаче тепла от нагретого в реакторе пара к «холодильнику» – окружающей среде. При этом большая часть энергии топлива как отходы производства рассеивается в окружающей среде. В качестве наиболее доступного и удобного теплоносителя используется вода. Существует два основных способа водоснабжения станций.

При использовании закрытого способа нагретая вода для охлаждения поступает в

башню-градирню. Водоём-охладитель при этом не используется, но на крупных станциях такой метод охлаждения невыгоден.

В открытом способе в качестве холодильника используется водоём-охладитель. В этом случае схема водоснабжения может быть «прямоточной», когда вода проходит охлаждающие агрегаты станции только один раз. Этот способ обычно реализуется на крупных реках или водохранилищах. Водозабор находится выше по течению от водосброса. При «оборотной» схеме вода сбрасывается в замкнутый водоём-охладитель, водосброс по возможности отдаляется от водозабора, и в агрегаты станции поступает охлаждённая вода.

Электростанции забирают из водоёмов массы воды и сбрасывают их обратно подогретыми на 8–12°C. Средний расход охлаждающей воды на 1000 МВт получаемой энергии составляет для ТЭС 30 м³/с, а для АЭС – 50 м³/с. С точки зрения расхода воды атомные электростанции менее экономичны, чем тепловые [1].

Эксплуатация водоёмов-охладителей сопровождается подогревом воды и усилением испарения с поверхности водоёмов, что приводит к изменению микроклимата прилегающей территории. В водоёме-охладителе усиливается циркуляция и перемешивание воды за счёт течений от водосброса и забора станции. Существуют и другие побочные влияния на водоём-охладитель со стороны электростанции. В водоём-охладитель могут поступать стоки с промышленной площадки станции, из цеха химической водоочистки, загрязнённые нефтепродуктами, тяжёлыми металлами, бытовыми загрязнениями [2]. Поэтому исследование качества воды в водоёмах-охладителях представляет особый интерес, как с химической, так и биологической точки зрения.

Методы биологического тестирования и индикации значительно дешевле и чувствительнее химических методов анализа. С их помощью можно оценить синергическое действие токсиантов и биологические эффекты сверхмалых концентраций.

Для оценки качества воды нами использовалась система биотестов, в которой тест-объектами являлись люминесцентные бактерии, дафнии, бокоплав и хлорелла.

Объекты и методы исследования

Качество исследуемой воды определялось по изменению интенсивности биолюминесценции бактерий (тест-система «Эколюм») [3]. Острое токсическое действие растворов исследовалось по гашению их биолюминесценции бактерий за 30-ти минутный период экспозиции.

Влияние на рост водоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) изучалось по методике [4]. Методика основана на регистрации различий в оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и тестируемых проб, в которых эти вещества присутствуют. Критерием токсичности воды являлось снижение на 20% (подавление роста) или увеличение на 30% (стимуляция роста) величины оптической плотности культуры водоросли, выращенной в течение 22 часов на тестируемом растворе, в сравнении с её ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде.

Качество проб воды определяли по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus). Оценивали острое токсическое действие на дафний, критерием которого является гибель 50% и более тест-объектов за 96 часов [5].

Сбор бокоплавов проводился по общепринятым гидробиологическим методикам на мелководьях (до 1 м) в верхней зоне Волгоградского водохранилища и водоёме-охладителе Балаковской АЭС (БАЭС). На станциях 1–6 было взято 20 выборок и на станциях 1 и 3–5 – 10 выборок (рис. 1, табл. 1), в общей сложности исследовано 2462 особи бокоплавов. Для определения плотности популяций бокоплавов отбирались количественные пробы. Пробы фиксировали 70% спиртом. Определение видов проводили по «Атласу беспозвоночных» [6], «Определителю пресноводных беспозвоночных» [7].

Было обнаружено 10 видов бокоплавов: *Chaetogammarus warpachowskyi*, *Chaeto-*

Таблица 1

Описание мест отбора проб

№	Станции	Температура воды, °С		Тип грунта	Плотность популяций бокоплавов (ранговые значения)
		Июнь	Май		
1.	Река Балаковка, приток р. Волги, у городского водозабора	22,0	5,0	Мелкий, заиленный щебень	II
2.	Река Волга ниже БАЭС и г. Балаково	22,5	–	Песок	III
3.	Река Волга выше БАЭС и г. Балаково, мелководный прогреваемый залив	25,5	0,5	Мелкий песок	V
4.	Холодноводный канал пруда-охладителя	28,5	13,3	Песок	IV
5.	Холодноводный канал пруда-охладителя	28,6	12,6	Щебень	VI
6.	Тепловодный канал	31,5	–	Песок	I

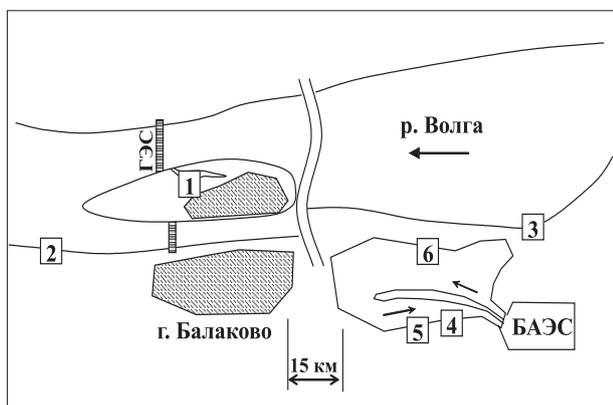


Рис. 1. Схема расположения мест (1 – 6) отбора бокоплавов для биоиндикации

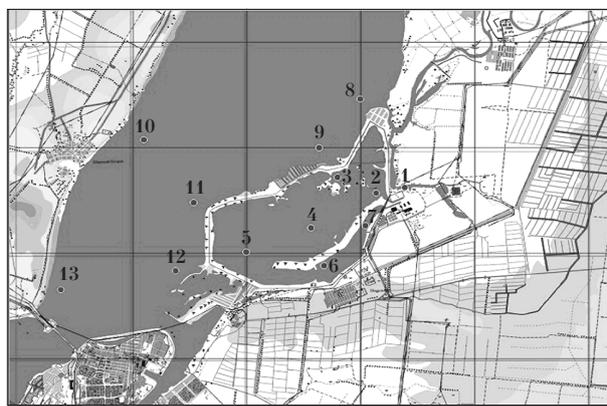


Рис. 2. Схема расположения точек отбора проб воды для биотестирования

gammarus ischnus, *Micruropus wohli*, *Dikergammarus caspius*, *Dikergammarus villosus bispinosus*, *Dikergammarus haemobaphes*, *Stenogammarus dzjubani*, *Pontogammarus robustoides*, *Pontogammarus sarsi*, *Iphigenella schablensis*.

При обработке проб у животных отмечались отклонения от нормальной морфологии глаз, пигментные пятна на месте обломанных конечностей и повреждения кутикулы, укороченные конечности как результат незаконченной регенерации. Уровень флуктуирующей асимметрии измеряли с использованием двух дублирующих методов: по доле асимметричных особей в выборке, а также по частоте проявления нарушений развития глаз (отношения количества глаз, ненормальной для данного вида формы или развития, к общему числу глаз в выборке). Различия между выборками при этом определялись в соответствии с реальным объемом выборки.

Для определения природы изменчивости использовались критерии В.М. Захарова (1987) [8]. Ненаправленность различий между сторонами определялись по Б.Л. Астаурову (1927) [9] с использованием ϕ критерия Фишера и подтверждалось по z критерию знаков. Взаимосвязь проявления признака на правой и левой сторонах тела оценивалось по коэффициенту корреляции Фехнера (r_{ϕ}). Для подтверждения случайности сочетания проявлений признака на разных сторонах тела применялся «вероятностный подход». Достоверность различий между разными выборками по доле особей с морфологическими нарушениями при попарном сравнении проверялся по ϕ критерию Фишера.

Статистическая обработка выполнена с использованием пакетов программ Excel 2000, Matcad 2000 Pro, Statistic 6.0.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Результаты биотестирования проб воды на люминесцентных бактериях, хлорелле и дафниях.

Карта-схема водоёма-охладителя Балаковской АЭС с указанием точек отбора проб для биотестирования воды приводится на рисунке 2.

При биотестировании проб (№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 16) на бактериях обнаружена острая токсичность у шести проб воды № 2, 3, 4, 5, 6, 7 водоёма-охладителя (табл. 2). Острая токсичность отсутствует у проб № 1, 8, 9, 11, 12, 16. Точка № 1 находится в районе насосной станции подпитки водоёма-охладителя АЭС, а точки № 8, 9, 11, 12, 16 находятся в акватории реки Волги и вода там чище, чем в других местах отбора проб (рис. 2).

Кроме этого, проведено биотестирование семи проб из водоёма-охладителя (№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) на культуре хлореллы (*Chlorella vulgaris*). Установлено, что пробы № 1, 2, 6, 7 – слаботоксичны, № 4, 5 – среднетоксичны и № 3 – сильнотоксичная (табл. 3).

При биотестировании на дафниях пробы не оказывали острого токсического действия (табл. 4). Однако имелась тенденция большей смертности дафний в пробах из водоёма-охладителя (точки № 2, 3, 4, 5, 6, 7) по сравнению с пробами из акватории реки Волги (8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16).

Таким образом, результаты биотестирования (табл. 2–4) показали, что при определении токсичности воды из водоёма-охладителя наиболее чувствительными тест-объектами являлись люминесцентные бактерии и хлорелла (табл. 2, 3; точки 2–7). В то же время, вода в этих же точках не оказала токсического влияния на дафнии (табл. 4).

Результаты биотестирования проб воды (тест-система «Эколюм»)

№ точек	Степень разбавления тестируемых вод, %	Индекс токсичности (Т)	Группа токсичности
1	100	0	Проба не токсична
2	100	65,91	Проба сильно токсична
3	100	78,38	Проба сильно токсична
4	100	58,07	Проба сильно токсична
5	100	86,28	Проба сильно токсична
6	100	78,65	Проба сильно токсична
7	100	88,38	Проба сильно токсична
8	100	0	Проба не токсична
9	100	0	Проба не токсична
11	100	0	Проба не токсична
12	100	0	Проба не токсична
16	100	0	Проба не токсична

Примечание. Группы токсичности: 1) не токсичная – $T < 20$; 2) токсичная $20 < T < 50$; 3) сильно токсичная – $T > 50$

2. Результаты изучения изменений флуктуирующей асимметрии у бокоплавов.

Статистически значимых различий уровня флуктуирующей асимметрии между выборками, взятыми весной, обнаружено не было. Это, возможно, связано с их небольшим объёмом, и с большей однородностью условий среды внутри водоёма. Между более объёмными летними пробами отмечен ряд статистически значимых различий (табл. 5). Флуктуирующая асимметрия считается показателем стабильности развития, неспецифически возрастающим при любом стрессовом воздействии на организм. Уровень этого показателя в популяциях, расположенных на экологической и географической периферии ареала вида, обычно выше, нежели в центральных и благополучных популяциях. В географически удаленных друг от друга популяциях уровень флуктуирующей асимметрии может значительно отличаться в силу ряда причин: центрального или периферического положения популяции в пределах ареала, климатических особенностей и т. д. Отбор проб проводился на станциях, располагающихся на относительно небольшом удалении друг от друга (около 15 км, см. рис. 1), что позволило избежать влияния на результат различий между географически удаленными популяциями. Поэтому можно утверждать, что все различия стабильности развития между особями из разных популяций наблюдались в силу локального действия экологических факторов. Различия уровня флуктуирующей асимметрии в разных популяциях могут также объясняться различ-

ной плотностью животных в них. Между ними обычно отмечается положительная зависимость [8].

У бокоплавов (*Ch. warpachowskyi*) наименьший уровень флуктуирующей асимметрии отмечен на станциях с максимальной и минимальной плотностью популяции. (см. табл. 5). Наибольшее же количество асимметричных особей обнаружено со средними значениями численности. Соответствие между плотностью популяции и уровнем флуктуирующей асимметрии хорошо прослеживается у бокоплавов (*P. robustoides*), противоположная картина наблюдается у бокоплавов (*St. dzjubani*). Если бы фактор численности оказывал существенное влияние на стабильность развития бокоплавов, то следовало бы ожидать какой-либо взаимосвязи между ними. Однако четкой зависимости между этими популяционными показателями не наблюдается, т. е. фактор численности невозможно отнести к определяющим и влияние его на развитие бокоплавов незначительное.

Нами был зарегистрирован низкий уровень флуктуирующей асимметрии в популяциях бокоплавов, обитающих в водоёме-охладителе, по сравнению с волжскими популяциями.

В силу специфики водоёма-охладителя в него постоянно поступают избыточные количества тепла. В результате его гидрологические и гидрохимические характеристики сильно отличаются от фоновых значений в прилежащих водоёмах. Следствием постоянного испарения с поверхности считается избыточное содержание минеральных солей

в нем. Температура держится в среднем на 10°С выше, чем в водоёмах с естественным температурным режимом. Столь значительная разница в условиях обитания существенно сказывается на развитии организмов. Избыточная солёность накладывает отпечаток на существование бокоплавов в водоёме-охладителе БАЭС. Большинство обитающих в нём видов бокоплавов – эвригалитные виды, относительно недавно совершившие экспансию в пресные водоёмы. Они нашли для своего развития в водоёме-охладителе более благоприятные условия.

Их развитие в водоёме статистически значительно стабильнее, чем в пресной воде р.Волги. Однако не все достоверные различия в уровне флуктуирующей асимметрии между выборками объясняет эта гипотеза. Так, в пределах водоёма-охладителя содержание солей на разных станциях не имеет существенных отличий, но стабильность развития в выборках с разных станций значительно различается.

Все статистически достоверные случаи различия уровня флуктуирующей асимметрии отмечены между выборками со станций

Таблица 3

Результаты экотоксикологических исследований проб воды с использованием тест-объекта *Chlorella vulgaris*

№ точек	Концентрация тестируемых вод, %	Результаты анализа (оптическая плотность)	Процентное отклонение от контроля	Оценка качества исследованной среды
1	100	0,203	34	Слаботоксична
	33	0,363	-17	
	11	0,330	-7	
	3,7	0,314	-2	
	1,2	0,324	-5	
2	100	0,159	27	Слаботоксична
	33	0,190	14	
	11	0,196	9	
	3,7	0,190	14	
	1,2	0,191	11	
3	100	0,057	70	Сильнотоксична
	33	0,076	60	
	11	0,077	60	
	3,7	0,085	56	
	1,2	0,159	17	
4	100	0,051	79	Среднетоксична
	33	0,175	28	
	11	0,267	10	
	3,7	0,251	4	
	1,2	0,257	6	
5	100	0,058	79	Среднетоксична
	33	0,200	27	
	11	0,242	11	
	3,7	0,230	15	
	1,2	0,269	1	
6	100	0,077	68	Слаботоксична
	33	0,235	3	
	11	0,245	-1	
	3,7	0,236	3	
	1,2	0,264	-9	
7	100	0,035	87	Слаботоксична
	33	0,222	15	
	11	0,265	2	
	3,7	0,260	0	
	1,2	0,265	2	

Примечание: (-) – активация роста *Chlorella vulgaris* по сравнению с контролем

Таблица 4

Результаты экотоксикологических исследований с применением *Daphnia magna*

№ пробы	Концентрация тестируемых вод, %	Результаты анализа (смертность, %)	Оценка тестируемой пробы
1	100	7	Не оказывает острое токсическое действие
	30	4	
	1	0	
2	100	10	Не оказывает острое токсическое действие
	30	7	
	1	0	
3	100	0	Не оказывает острое токсическое действие
	30	0	
	1	0	
4	100	10	Не оказывает острое токсическое действие
	30	7	
	1	0	
5	100	0	Не оказывает острое токсическое действие
	30	0	
	1	0	
6	100	7	Не оказывает острое токсическое действие
	30	4	
	1	0	
7	100	13	Не оказывает острое токсическое действие
	30	9,3	
	1	0	
8	100	0	Не оказывает острое токсическое действие
	30	0	
	1	0	
9	100	0	Не оказывает острое токсическое действие
	30	0	
	1	0	

с различной температурой. При этом уровень стабильности развития бокоплавов значимо выше на участках водоёмов с более высокой температурой. Этот феномен можно объяснить генезисом фауны бокоплавов Волжского бассейна. Большинство исследованных нами видов относятся к понто-каспийской фауне и имеют температурный оптимум выше, чем у древнепресноводных видов. Следует отметить, что в жаркие летние месяцы эти ракообразные отсутствовали в непосредственной близости от водосброса БАЭС, где температура воды достигала 37–40 °С. Этот феномен связан с их высокой оксифильностью. Летом бокоплавов находили оптимальные условия для своего развития на значительном удалении от БАЭС при температуре воды не более 32 °С.

Для многих видов животных обнаружены циклические сезонные изменения уровня флуктуирующей асимметрии в популяциях [9], обычно связанные с различием стабильности развития особей разных генераций. Подобное явление обнаружено нами

у большинства исследованных видов. Уровень флуктуирующей асимметрии в летних выборках выше, чем в весенних (табл. 5).

Радиационная обстановка в г. Балаково и районе БАЭС соответствует уровню естественных фоновых значений для европейской части страны и уровню, который был до строительства станции и составляет от 8 до 15 мкР/ч [10].

Связь стабильности развития бокоплавов с температурным режимом водоемов и другими факторами среды может оказаться перспективной для экологических и биомониторинговых исследований. В дальнейшем представляется перспективным выяснение последовательности экспансии видов понто-каспийской фауны на север в межледниковые периоды. На основании таких данных можно прогнозировать трансформацию таксоценозов бокоплавов как естественных водоемов в условиях многолетних климатических изменений, так и техногенных при изменении режима их эксплуатации.

Анализ характера морфологической изменчивости глаз бокоплавов показал, что

Таблица 5

Различие уровня флуктуирующей асимметрии в выборках особей весенней и летней генераций

Вид	№ станции	Количество особей в выборке	Частота асимметричных особей, %	Частота проявления признака, %
<i>Ch. ischnus</i>	5	8	37,5	31,3
		31	16,1	8,1
<i>Ch. warpachowskyi</i>	4	231	23,8	17,7
		121	18,2	11,6
<i>D. villosus</i>	5	138	10,1	7,6
		44	2,3	1,1
<i>P. robustoides</i>	1	17	5,9	5,9
		60	6,7	4,2
<i>P. sarsi</i>	3	54	18,5	13,9
		20	5,0	2,5
<i>St. dzjubani</i>	3	69	8,7	6,5
		24	8,3	4,2
<i>M. wohli</i>	4	441	8,6	6,8
		374	13,6	9,4
	4	112	13,4	8,9
		31	9,7	4,8

Примечание: весенняя (над чертой) и летняя (под чертой) генерации

Таблица 6

Гидрохимический состав воды водоёма-охладителя БАЭС (мг/л)

Место	pH	Жёсткость воды, мг экв/дм ³			SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂ ²⁻
		Общая	Mg ²⁺	Ca ²⁺						
Холодноводный канал	8,15	6,87	2,97	3,90	270,00	161,17	0,09	0,72	0,39	0,54
Тепловодный канал	8,18	7,17	3,18	4,20	271,33	161,90	0,08	0,72	0,40	0,75
Водоём-охладитель	8,42	6,63	3,37	3,27	212,67	165,17	0,24	0,96	–	0,67
р. Волга выше БАЭС	8,08	3,18	2,13	1,05	69,43	24,33	0,06	0,44	–	–
р. Волга ниже БАЭС	8,03	3,52	2,13	1,04	72,63	25,00	0,16	0,64	–	–

Место	O ₂	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺	Соле-содержание	Нефте-продукты
Холодноводный канал	10,80	172,33	6,80	0,12	0,01	932,13	0,04
Тепловодный канал	10,80	170,67	6,83	0,11	0,01	941,77	0,04
Водоём-охладитель	11,60	151,50	7,07	0,25	0,02	832,00	0,04
р. Волга выше БАЭС	12,42	19,23	2,87	0,25	0,01	304,30	0,53
р. Волга ниже БАЭС	10,57	21,00	2,83	0,21	0,06	303,57	0,53

данный тип изменчивости является флуктуирующей асимметрией. Установлено, что между температурой воды и стабильностью развития бокоплавов существует прямая зависимость. В пределах нормы реакции бокоплавов повышение температуры уменьшает уровень флуктуирующей асимметрии в популяции, т. е. стабильность онтогенеза возрастает.

Содержание солей в водоёме-охладителе Балаковской АЭС почти в три раза выше, чем в реке Волге (табл. 6). Высокая концентрация солей в воде может оказывать негативное влияние на одноклеточные организмы. По-видимому, этим можно объяснить обнаруженную в нашем исследовании большую жизнеспособность дафний и бокоплавов по сравнению с бактериями и хлореллой.

Литература

1. Балаковская АЭС. Оценка воздействия на окружающую среду. 1991. 495 с.
2. Гидробиология водоёмов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. / Киев.: Наук. думка, 1991. 192с.
3. ПНД ФТ 14.1:2:3:4. 11-04/ 16.1:2:3:3.8-04. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм».
4. ФР 1.39.2004.01143. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris beiger*).
5. ФР 1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний.
6. Гресе И.И. Бокоплавов. Фауна Украины. Т. 26. Высшие ракообразные. Вып. 5. Киев: Наукова Думка, 1985. 171 с
7. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л., 1977. 510 с.
8. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). М.: Наука, 1987. 216 с.
9. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
10. www.balaes.ru

Влияние различных фракций нефти на морфометрические параметры растений

© 2008. А.У. Исаева, А.А. Ешибаев, А.К. Саданов, Л.А. Акынова
НИИ промышленной экологии и биотехнологии,
Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова

В данной статье приведены результаты исследований по изучению влияния различных фракции нефти на рост и развитие растений. Установлено, что реакция растений на нефтяное загрязнение почвы неоднозначна и зависит как от характера и концентрации загрязняющего агента, так и от таксономической принадлежности растения.

The article presents the investigation results of how different oil fractions influence plant growth and development. It is stated that plants reaction on oil contamination of soil is multi-valued and it depends on the character and concentrations of the pollutant as well as on the taxonomic characteristics of the plant.

Казахстан входит в число основных нефтедобывающих стран мира, и проблема загрязнения окружающей среды растёт прямопропорционально с ростом нефтедобычи и нефтепереработки. Увеличение темпов добычи и переработки нефти делает актуальным усовершенствование методов рекультивации нефтезагрязнённых почв. Биологические методы имеют неоспоримые преимущества, что обусловлено их высокой эффективностью и экологической безопасностью. Поэтому в последнее время они составляют предмет повышенного интереса как у исследователей данной проблемы, так и у промышленных предприятий. В основу принципов разработки методов биорекультивации загрязнённых систем положено использование биопотенциала местной экосистемы.

Отрицательное влияние нефти на растения связано с ухудшением газовоздушного и водного режимов почвы и прямого токсического воздействия её составляющих [1]. На нефтезагрязнённых территориях отмечается изменение видового состава растительного сообщества. Как отмечают многие авторы, виды-доминанты растений для каждой климатической зоны разные или встречаются в различных сочетаниях. Растения-доминанты являются индикаторами степени и сроков нефтезагрязнений. Для южного региона Казахстана А.У. Исаевой выделен адаптированный видовой состав фитоценоза для различных концентраций нефтезагрязнений и определены 12 видов растений, способных прорасти в условиях загрязнения почвы дизельным топливом [2]. Джубатыровой С.С. и Альжановой Б. на месте аварий Карачаганакского месторождения исследовано влияние глубины загрязне-

ния почвы нефтью на самовосстановление растительного покрова [3]. В результате загрязнений почвы на глубину больше чем 30 см, ранее доминирующие растения (полынь, ковыль и многолетние злаковые травы) сменились на представителей рудеральной флоры.

Биоиндикация степени загрязнения почвы нефтью и её токсичности для растений является основой биорекультивационных мероприятий. Исследованиями ряда авторов установлено, что высшие сосудистые растения являются хорошими индикаторами нефтезагрязнённых территорий, при этом в качестве основных показателей выделяют мозаичность и степень проективного покрытия растительностью нефтезагрязнённой почвы [4]. Одной из причин гибели растений является прямое токсическое действие составляющих нефти [5].

Растения разных видов в различные фазы развития отличаются по чувствительности к токсическому действию компонентов нефтепродуктов. В этой связи, целью наших исследований являлось изучение устойчивости видов растений к действию различных фракций нефти.

При изучении влияния различных концентраций светлых фракций нефтепродуктов на рост и развитие растений было установлено, что бензин марки АИ-80 в концентрации выше 0,1% снижает степень прорастания семян на 80,0%. Бензин марки АИ-92 в концентрации 0,1% ингибирует прорастание семян на 60,0%, в концентрации 0,2% – на 80,0%, увеличение концентрации до 0,3% приводит к гибели всех высаженных семян.

Бензин марки АИ-96 в концентрации 0,1% и выше вызывает тотальную гибель вы-

саженных семян. Повышение концентрации бензина до 0,5%, независимо от марки, приводит к гибели всех семян.

При изучении влияния различных марок бензина на развитие люцерны посевной было установлено, что бензин марки АИ-80 в концентрации 0,05% снижает энергию роста семян на 70,0%, в концентрации 0,1% – на 65%, в концентрации 0,2% – на 50,0%. Бензины марок АИ-85, 92, 96 оказывают более токсичное действие на развитие семян (рис. 1).

При изучении влияния бензина различных марок на представителей семейства Крестоцветных было установлено, что независимо от марки бензина, концентрация его выше 0,01% вызывает полную гибель семян кресс-салата, наиболее часто используемого в биоиндикации фитотест-объекта. Изучение реакции редьки посевной показало, что бензин марки АИ-80 в концентрации 0,05% снижает всхожесть семян на 50,0%, увеличение концентрации бензина до 0,1% приводит к гибели 70,0% семян, дальнейшее повышение содержания бензина до 0,2% в почве приводит к полной гибели семян. Бензины марок АИ-85, 92 и 96 оказывают более токсичное действие. Несмотря на то, что при концентрации 0,1% и 0,2% семена прорастают – проростки слабые, быстро желтеют и погибают на 5–6 сутки, корневая система слаборазвитая, придаточные корни малочисленны.

При изучении влияния ксилола, бензола и толуола на прорастание и развитие семян овса было установлено, что ксилол и бензол в концентрации 0,1% оказывают ингибирующее действие на всхожесть семян, при таком загрязнении субстрата прорастает только 28,5% и 30,0% семян соответственно. Длина корней снижается в 2,5–3,0 раза в обоих случаях. Гибель всех семян

отмечена в вариантах с концентрацией ксилола и бензола 0,2%. В опытах с внесением толуола в почву, было выявлено, что летальное действие данного нефтепродукта проявляется в концентрации 0,4%. В вариантах с содержанием в почве толуола в концентрациях 0,05; 0,1; 0,2; 0,3% всхожесть семян снижается по мере увеличения содержания нефтепродукта с 52,0% до 15,0%.

Результаты исследований по влиянию ксилола, бензола и толуола на прорастание и развитие фасоли показали, что 0,1%-я концентрация ксилола вызывает гибель семян растений. 0,05% концентрация задерживает развитие придаточных корней и формирования новых листьев. При этом, если в контрольном варианте высота растений достигала 37 см, а длина корней – 22 см, то в варианте с 0,05%-м содержанием толуола в среде высота растений уменьшилась до 30 см, а длина корней – до 12 см. Аналогичные результаты получены и в варианте с бензолом. В опытах с использованием толуола летальное действие выявлено в варианте с внесением в субстрат 0,2% нефтепродукта, морфологические изменения у растений проявляются по мере увеличения концентрации нефтепродукта в субстрате (рис. 2).

Схожая картина наблюдается и при изучении реакции люцерны посевной на нефтепродукты (рис. 3). В вариантах с 0,05% содержанием нефтепродуктов проростки появляются дружно, имеют ярко-зелёный цвет, однако по мере увеличения концентрации наблюдается отставание в сроках появления всходов. При концентрации 0,2% ксилола и бензола в среде проростки на 4–5 сутки после появления желтеют и гибнут. Изучение реакции представителей семейства Крестоцветные на загрязнение субстрата ксилолом, толуолом и бензолом, показало, что данные нефтепродукты вызывают гибель семян кресс-салата уже в концентрации 0,05%. Редька оказалась более устойчивой к действию толуола, семена дали всходы даже при 0,3%-й концентрации. Наиболее токсичным для редьки оказался ксилол, который в концентрации 0,05% подавил всхожесть семян на 80,0%. Бензол вызвал гибель семян при концентрации 0,2%.

При изучении реакции растений на загрязнение среды обитания дизельным топливом (ДТ), было установлено, что концентрации 1 и 2% ДТ оказывает стимулирующее влияние на развитие анализируемых признаков всех опытных растений. При дальнейшем увеличении концентрации наблюдается ингибирование прорастания семян и развития растений, а 7 и 10% концентрация ДТ вызывает гибель у семян гречишных растений. Результаты

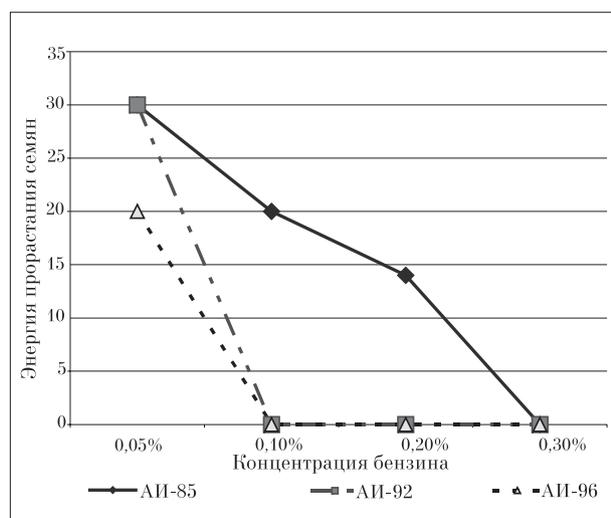


Рис. 1. Влияние различных марок бензина на всхожесть семян редьки посевной (%)

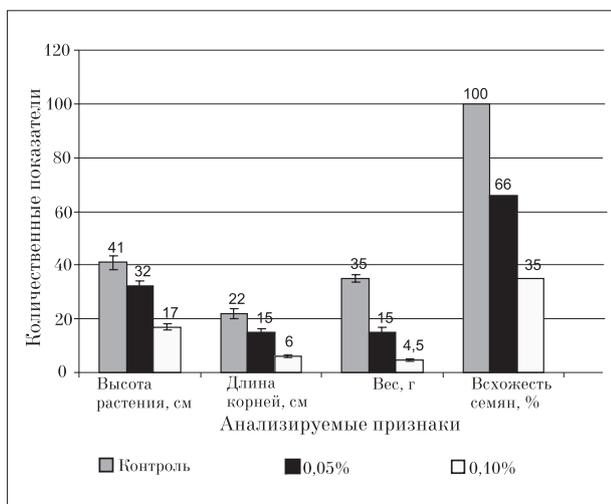


Рис. 2. Изменение морфологических признаков фасоли под действием различных концентраций толуола

морфологического анализа растений показали, что самым показательным биоиндикационным признаком загрязнения среды обитания ДТ может послужить длина стебля. У свинороя пальчатого и мятлика однолетнего 1%-е загрязнение среды ДТ вызывает увеличение высоты стебля на 8,0% и 16,9% соответственно. Увеличение концентрации ДТ до 2% также оказывает стимулирующее действие на этот параметр, при таком загрязнении отмечено увеличение длины стебля на 1,6% у свинороя пальчатого и на 14,8% у мятлика однолетнего. Однако дальнейшее увеличение концентрации ДТ в почве до 3% и более приводит к резкому снижению показателей длины стебля, достигая максимума при 7%-м загрязнении, когда отмечена минимальная длина стебля у свинороя пальчатого (8,0 см) и у мятлика однолетнего (4,1 см), что в 3,1 и в 4,6 меньше соответственно, чем в контроле. Длина корней и длина листьев также могут послужить биоиндикационными признаками, так как кривые изменения этих параметров в зависимости от степени загрязнения почвы имеют аналогичный характер. Такой признак, как количество пар листьев, на наш взгляд, несет меньше информации как биоиндикационный признак. В то же время, нужно отметить, что при увеличении концентрации ДТ в почве более 5% приводит к снижению листообразования у злаковых.

Результаты исследования показали, что реакция бобовых растений на загрязнение среды ДТ также определяется морфологическими изменениями таких признаков, как длина стебля и корня. 1%-я концентрация ДТ оказывает стимулирующее влияние на развитие этих признаков. Дальнейшее увеличение concentra-

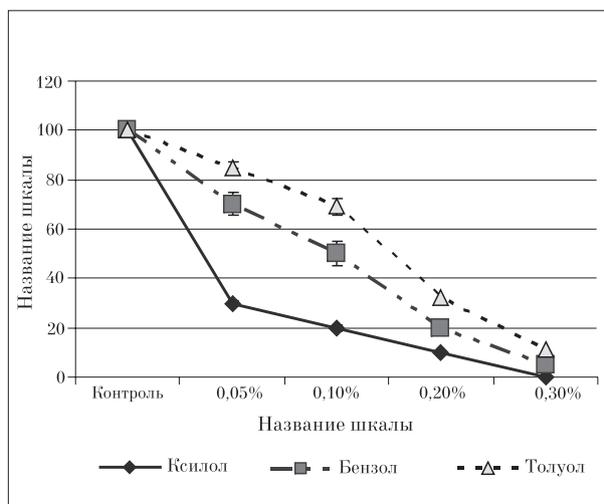


Рис. 3. Реакция люцерны посевной на ксилол, толуол и бензол

ции ДТ подавляет развитие растения. При этом резкое снижение длины стебля у люцерны посевной и клевера лугового на 41,6% и 25,7%, соответственно, отмечается при 3%-м содержании ДТ в субстрате.

При изучении влияния ДТ на рост и развитие представителей семейства Гречишные было проанализировано два признака – длина стебля и длина корней, так как данные растения имеют длительный период развития. Несмотря на это, можно отметить, что и у представителей данного семейства анализируемые признаки можно отнести к биоиндикационным. Результатами экспериментов установлено, что увеличение длины стебля и корней происходит при 1%-ном содержании ДТ в среде. Пороговой концентрацией, при которой изменения, относительно контроля, незначительны, является 2%-ая концентрация. При увеличении ДТ до 3%, происходит резкое уменьшение длины листьев и корней, достигая минимума при 7%-м загрязнении. При 7%-м загрязнении длина стебля и корней у горца птичьего в 12,0 и 23,0 раза меньше, чем в контроле, у цвеля конского в 13,0 и 17,5, соответственно.

Изучение влияния мазута на вегетацию опытных растений показало, что данный нефтепродукт вызывает массовое ингибирование прорастания семян уже при 5%-й концентрации. 3%-я концентрация оказалась ингибирующей для прорастания семян гречишных и бобовых, а сроки прорастания семян, по сравнению с контролем, были сдвинуты на 4–6 суток. 1%-е содержание мазута в субстрате оказывает слабое стимулирующее действие на все опытные растения.

К высокой концентрации мазута оказались толерантными свинороя пальчатый и люцерна

посевная. При сравнении данных по влиянию нефти, дизельного топлива и мазута на основные морфологические признаки растений, можно отметить, что по степени влияния нефтепродукта на растения, они располагаются в ряду: нефть – дизельное топливо – мазут.

При изучении влияния мазута на изменения в содержании фенольных соединений (ФС) растений было установлено, что с повышением концентрации мазута в почве влияние его на количественное содержание фенольных соединений растений увеличивается (рис. 4). Установлено, что у свиного пальчатого количество ФС менее изменено, чем у горца птичьего и люцерны посевной. При концентрации мазута в субстрате 2,4% количество ФС снижается на 16,8%, при увеличении содержания мазута вдвое происходит дальнейшее снижение количества ФС до 50,6% от контроля. У горца птичьего отмечено самое сильное снижение количества ФС, при концентрациях мазута 2,4% и 4,8% содержание ФС было снижено на 90,4% и 93,4% соответственно. При аналогичных условиях загрязнения субстрата у люцерны посевной содержание ФС снизилось на 88,8% и 94,4% соответственно.

При изучении качественного состава ФС у контрольных образцов растений, было выявлено, что у свиного пальчатого они представлены гликозидами, 4 классами флавонолов, 1 классом флавонов, 3 классами халконов, 4 классами фенилкарбоновых кислот, у люцерны посевной – гликозидами, 2 классами флавонолов, 2–3 классами флавонов, 1–2 классами халконов, 2–3 классами ауранов, 2 классами фенилкарбоновых кислот. Изучение каче-

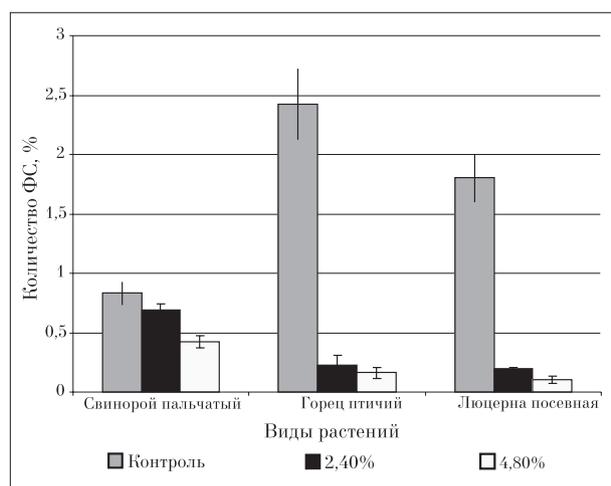


Рис. 4. Влияние различных концентраций мазута на количественное содержание фенольных соединений в растениях

ственного состава опытных растений показало, что у свиного пальчатого в составе ФС отсутствует только одна фенолкарбоновая кислота, в то время как у люцерны посевной полностью исчезают аураны и флавоны.

Таким образом, установлено, что реакция растений на нефтяное загрязнение почвы неоднозначна и зависит как от характера и концентрации загрязняющего агента, так и от таксономической принадлежности растения. При этом выявлено, что тёмные фракции нефтепродуктов в концентрации до 1,0–2,0% оказывают стимулирующее влияние на развитие морфологических признаков всех видов анализируемых растений. Индикационным признаком растений к воздействию дизельного топлива является длина стебля, которая резко уменьшается при концентрации 3% и выше. Повышение концентрации мазута в почве до 2,4% снижает количество фенольных соединений в растениях до 90%.

Постепенное повышение концентрации нефтепродуктов приводит к ингибированию развития растений, а в дальнейшем – к гибели. Устойчивость к повышенному содержанию кумольской нефти в почве проявили свиной пальчатый и тростник южный. Светлые фракции нефтепродуктов, в противоположность тёмным, оказывают остро токсическое действие на все виды растений. Выявлено, что из ряда: бензин различных марок, ксилол, толуол, бензол наиболее токсичными оказались бензин марки АИ-96 и ксилол. Установлено, что под влиянием нефтепродуктов происходят изменения биохимических показателей в фитомассе растений, основные изменения происходят в количественном и качественном содержании фенольных соединений.

Литература

1. Левина Э.Н. Общая токсикология металлов. М., 1972. С. 215-225.
2. Джубатурова С.С. Суерьяев Р.Х. Экологическая оценка тёмно-каштановых почв Карачаганакского нефтегазового комплекса в связи с техногенезом // Сб. тр. региональной науч.-практ. конф молодых учёных. Шымкент. 2003.
3. Исаева А.У. Фитоценоз нефтезагрязненной техногенной экосистемы // Поиск. 2002. № 3. С.131-135.
5. Киреева Н. А, Мифтахова А. М. Кузяхметов Г. Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения // Вестник Башкирского университета. 2001. № 1, С. 32-34.

«Теневые» факторы Чернобыльской катастрофы

© 2008. В.Н. Летов

ГОУ ДПО Российская медицинская академия последипломного образования МЗ РФ

Рассмотрены последствия ядерного взрыва 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС и воздействие радиоизотопов плутония на заболеваемость населения, проживающего на окружающей территории. Изучена также роль психо-социального стресса как фактора, потенцирующего заболеваемость населения при технологических катастрофах.

The article deals with the consequences of nuclear explosion of the 4-th power generating unit in Chernobyl NPS and the influence of plutonium radioisotops on morbidity of the population that lives in the vicinity. The role of psycho-social stress as a factor potentiating population morbidity in conditions of technological catastrophes is considered.

*«Крылья, как цепи, держат нас у неба!»
М. А. Астуриас, «Легенды Гватемалы», 1972*

Введение

По мнению президента антиядерного общества России М.Я. Лемешева, «атомная энергетика – незаконнорожденная дочь ядерной физики» [1]. Едва ли это утверждение отражает мнение научных кругов России начала XX столетия. В самом его начале В.И. Вернадский восторженно писал о тех источниках неисчерпаемой энергии, которые открывают перед человеком исследования глубины атома. Вся передовая физическая мысль того времени была захвачена идеей изучения строения атома, что, в конечном счёте, привело к потрясающим открытиям, которые завершились созданием атомного реактора. Но была тяжелейшая Вторая Мировая война, и это обстоятельство диктовало стратегию научных исследований и их практическое приложение: главной целью являлось создание абсолютно нового оружия. Наиболее привлекательным в этом вопросе было получение делящихся материалов для создания ядерного оружия при одновременном получении энергии в едином процессе производства – уникальный пример технологии двойного назначения. Вопрос о ядерной энергетике как таковой вообще не рассматривался. Так, в начале 50-х годов, на вопрос о строительстве атомных реакторов для получения электроэнергии, И.В. Курчатов ответил, что это станет возможным после изучения проблемы лет через тридцать. Энергетические реакторы, в том числе и чернобыльский реактор (РБМК), конструктивно были предназначены для получения плутония. На неизведанном пути атомной отрасли всё было «на ощупь», а то что при этом, как снежный

ком, нарастает проблема радиоактивных отходов (РАО) вообще мало задумывались. Вопросы радиационной безопасности и здоровье людей, занятых в производстве делящихся материалов для военных нужд (главным образом, плутония) и населения не занимали воображение руководителей государств. Глубокий анализ истории вопроса изложен в работе А.Н. Митюнина [2]. Проблемы не электро-энергетики, а, скорее политики, заставили великие державы направить усилия на разработку и строительство энергетических реакторов. По меткому выражению академика П.Л. Капицы, энергетические реакторы – «атомные бомбы, дающие электричество!». В правомерности этого высказывания пришлось убедиться в 1986 году.

Последствия катастрофы на ЧАЭС

Несмотря на то, что в задачу статьи не входит анализ катастрофы на ЧАЭС, её, к сожалению, придётся коснуться. С 26-го апреля 1986 года прошло уже более 20-ти лет, и можно относительно спокойно посмотреть на плоды развития «мирного атома». Насколько известно, на ликвидацию последствий взрыва 4-го блока ЧАЭС в 1986 году было мобилизовано около 600 тыс. человек, в том числе 340 тыс. военнослужащих. В основном, это были мужчины, средний возраст которых составлял 33 года [3]. Хотя по другим данным, их количество приближалось к 800 тысячам. Существует мнение [2], что на проведение всех работ было бы достаточно 30–50 тыс. человек. Следствием вполне понятной в тех условиях всеобщей паники явилось переоблучение

огромного количества участников работ по «ликвидации последствий аварии» (ЛПА) при низкой эффективности проводимых мероприятий [2]. По данным Российского государственного медико-дозиметрического регистра (РГМДР), в который включены сведения о 190 тыс. ЛПА, средняя доза внешнего облучения для них составляла 12 сГр. Более 44% из них получили дозы от 10 до 25 сГр [4]. Основной массой пострадавших было население в зоне непосредственно расположенной вокруг ЧАЭС [5]. В зоне распыления взорвавшегося 4-го блока реактора оказались порядка 5 тысяч населённых пунктов и около 5 млн. населения, по некоторым данным – от 9 до 16 млн. человек. Дозы облучения ЛПА-военнослужащих в 1986–87 гг. колебались от 63 до 110 мГр [4]. Вместе с тем, имеются данные о существенно более высоких дозах внешнего облучения участников ЛПА [2].

Острые лучевые поражения были отмечены у 600 человек, из которых у 134 была диагностирована острая лучевая болезнь. Из них 28 пострадавших спасти не удалось. Согласно Российскому медико-эпидемиологическому регистру дозы облучения от 10 до 20 бэр были отмечены у 0,16%, дозы свыше 20 бэр были отмечены у 0,02% участников ликвидации последствий аварии (ЛПА) [5]. Для подавляющего количества пострадавшего населения, оказавшегося в Регистре на тот момент – 515280 человек – доза внешнего облучения была менее 10 бэр. Эта доза формировалась в течение длительного времени: до года и более. Ожидаемым эффектом при столь низких дозах облучения могли быть вероятностные (стохастические) поражения, эффект которых не зависит от дозы облучения и которые характеризуются, в основном, возникновением злокачественных опухолей. По данным [6] средняя доза внешнего облучения для ЛПА составляла 10,5 сГр. По данным дозиметрических измерений в Японии, жертвы атомной бомбардировки получили средние дозы 100 сГр. Результаты анализа здоровья пострадавших показали, что в обеих трагедиях частота онкологической заболеваемости не отличались от таковой для необлученного населения. В данной ситуации возникает вполне логичный вопрос: почему при различиях поглощенных доз на порядок и в 10^{15} раз – в мощностях доз результаты при анализе ожидаемого возникновения радиационно индуцированных злокачественных опухолей оказались одинаковы? Они ничем не отличались от спонтанной частоты возникновения злокачествен-

ных опухолей в когорте необлученного населения Японии и, соответственно, России. В то же время многоплановый анализ состояния здоровья ЛПА и значительной части населения [4] указывает на его неблагополучие «по соматоневрологическому статусу, поведенческим реакциям, отказу от активной трудовой деятельности, высокой частоте инвалидности в работоспособном возрасте, готовности к суициду, психическим расстройствам».

Среди факторов радиационной и нерадиационной природы, оказывающих влияние на здоровье населения в зоне катастрофы, особое место занимает вопрос о массе выброшенного в атмосферу содержимого активной зоны. До взрыва там находилось около 200 тонн урана, в том числе около 3 тонн ^{235}U [7]. Выброс радионуклидов из активной зоны 4-го блока РБМК происходил в виде мелкодисперсного топлива. В августе 1986 года на конференции МАГАТЭ академик В.А. Легасов сообщил, что из реактора было выброшено $3 \pm 1,5\%$ топлива. В то время интегральный радиоактивный выброс скромно оценивали в 50 млн. Ки с погрешностью $\pm 50\%$. Вместе с тем, на Чернобыльском Форуме [6] величину суммарного выброса уже оценили в $14 \cdot 10^{18}$ Бк, что соответствовало 380 млн. Ки. Но специалисты РНЦ «Курчатовский институт» установили, что шахта реактора 4-го блока пуста [7]. **Развитие неконтролируемых процессов в атомном реакторе привело к достижению в отдельных участках активной зоны температуры до 40.000°C и давления порядка 2.000 атмосфер. Это указывало на то, что в 4-ом блоке ЧАЭС произошел ядерный взрыв, вследствие которого из шахты реактора было выброшено порядка 90% топлива, что соответствовало 9 млрд. Ки (!).** Все радионуклиды активной зоны были выброшены на большую высоту и рассеяны на огромных территориях Северного полушария. Специалисты в Швеции уже 28 апреля 1986 года определили радионуклидный состав выпадений и экспериментально доказали наличие в нем «горячих частиц» и трансурановых элементов [8]. В долгосрочной перспективе среди гамма-излучающих радионуклидов основным источником излучения оказывается ^{137}Cs , активность которого с учётом $1/2 T$ равным 30-ти годам снизится на порядок, но он будет играть ведущую роль в формировании дозы гамма-излучения в окружающей среде. Среди бета-излучателей с $1/2 T$ в 29 лет оказывается ^{90}Sr . Для α -излучателей непосредственно после аварии

на первом месте был ^{242}Cm с $1/2 T$ 162 дня. По мере распада этого изотопа на первое место выходят изотопы плутония: ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Pu . Короткий $1/2 T$ ^{241}Pu (14,4 года) приводит к накоплению ^{241}Am , также α -излучателя [5]. В пределах 10 лет его активность оказывается выше суммарной активности указанных изотопов плутония. Чем младше возраст пострадавших, тем более высоки накопленные дозы плутония в организме человека (МКРЗ, 63). Особенно интенсивно плутоний накапливается в перибронхиальных и медиастинальных лимфоузлах, в которых формируются наиболее высокие дозы локального облучения. Период выведения элемента из организма человека составляет 20, из костной ткани – 50 лет. Поэтому радиационно-индуцированные плутонием опухоли возникают в поздние сроки после его поступления в организм.

На сегодняшний день самая острая проблема атомной отрасли – радиоактивные отходы (РАО), в которых наиболее опасным является плутоний. Его удельная активность равна $22,57 \cdot 10^8$ Бк/1г. Этот элемент обладает высокой радиотоксичностью, и его поступление в ткани организма опасно не только токсическим, но, прежде всего, радиотоксическим воздействием на клетки. Для человека предельно допустимым уровнем ^{239}Pu является доза 0,26 мкг в виде оксида. Он токсичнее ^{235}U в $460 \cdot 10^3$ раз. Необходимо учитывать одно важное обстоятельство: для реакторного плутония весовые значения предельно допустимых уровней токсичности в 8–10 раз ниже [1]. В то же время, если токсичность ^{238}U принять за 1,0, то по токсичности группа трансурановых элементов располагается в следующем порядке: $^{235}\text{U} = 1,6$; $^{239}\text{Pu} = 5 \cdot 10^4$; $^{241}\text{Am} = 3,2 \cdot 10^6$; $^{90}\text{Sr} = 4,4 \cdot 10^6$ и $^{226}\text{Ra} = 3 \cdot 10^7$. Плутоний оказывается не самым радиотоксичным элементом [7]. Среди трансурановых элементов наиболее токсичен ^{237}Np (0,01 кБк/г). Поэтому рассмотрение вопроса зависимости между радиотоксическим эффектом трансурановых элементов и неадекватно высокой заболеваемостью и высокой и ранней инвалидизацией населения на территориях, загрязнённых выбросом ядерного горючего из 4-го блока [9], неизбежно затрагивает проблему оценки объёма выброса ядерного горючего из шахты 4-го блока и чрезвычайно высокую токсичность плутония. Если сейчас ясно, что объём выброса радионуклидов из активной зоны 4-го блока ЧАЭС был занижен в 180 раз, то это часть ответа на вопрос об одной из при-

чин несоответствия между измеренными и «реконструированными» дозами облучения и медицинскими последствиями катастрофы. Это могут быть последствия радиотоксического действия плутония, рассеянного на территориях вокруг зоны катастрофы на ЧАЭС.

После Второй мировой войны ядерными реакторами мира было наработано около 1200 тонн плутония. По оценкам Комитета по окружающей среде ООН около 3,9 тонны суммы изотопов ^{239}Pu и ^{240}Pu выпало на земную поверхность [7]. Если принять, что при катастрофе на ЧАЭС в атмосферу могли поступить из 200 тонн невыгоревшего ядерного горючего 1,2% плутония [7], то количественно это составит 2,4 тонны. В сумме с 3,9 тонн – это 6,3 тонны плутония в биосфере. Но это достаточно ориентировочная цифра. Если принять количество населения Земли в 6,5 млрд. человек, то на каждого из нас, в самом лучшем случае, придется около 6,0 мкг плутония (при его токсичности в дозе 0,26 мкг). Но только в случае его равномерного распределения. В условиях реальных событий в Чернобыле 2,4 тонны плутония выпали примерно на 600 тысяч человек. При самых грубых расчётах нужно будет признать выпадение на каждого жителя вокруг ЧАЭС и ликвидаторов по 24 мкг плутония. По сути, эта величина почти в 4000 раз превышает токсическую дозу элемента для человека. Поэтому можно ожидать, что последствия катастрофы могут оказаться намного тяжелее и вытекать совсем не из тех мизерных доз облучения, которые оценивали ретроспективно.

Возникает вполне естественный вопрос о целесообразности поисков особого эффекта «малых доз» облучения и разработки «экзотических» теорий об их высокой биологической эффективности при столь высоком уровне концентрации плутония в биосфере на прилегающих к ЧАЭС территориях. Вместе с тем, почему тяжесть заболеваний среди проживающих на загрязнённых плутонием территориях необходимо увязывать с дозой облучения, а не с уровнем трансуранов в элементах биосферы и их токсическим эффектами?

Кроме оценки значимой роли плутония, как причины тяжёлых последствий катастрофы на ЧАЭС для здоровья ЛПА и населения, необходимо рассмотреть ещё один аспект проблемы, не нашедший должного внимания при реабилитации участников черномыльских событий.

**Психо-соматическая составляющая
в медицинских последствиях
катастрофы на ЧАЭС**

Для 515280 человек в РГМДР доза внешнего облучения была менее 10 бэр. Эти дозы формировались в течение достаточно длительного времени: до года и более. Для столь низких доз должны быть характерны стохастические (вероятностные) эффекты облучения, основными из которых является возникновение радиационно индуцированных опухолей. Последующие наблюдения за этим контингентом не подтвердили ожидаемого увеличения онкологической заболеваемости по сравнению с таковой для остального населения страны [10]. Доза облучения за счёт радиоактивного выброса Чернобыльской катастрофы за 70 лет, как показывают расчёты в работе [5], составит, например, для жителя Центральной Европы 1 мЗв, Болгарии – 2,3 мЗв, что не превысит 1% средней дозы (180 мЗв) за счёт природных источников за те же 70 лет жизни

Облучение населения в Японии носило характер мгновенного (10^{-4} сек.) воздействия при абсолютной неосведомлённости жертв о характере поражающего фактора и его последствиях. Динамика развития Чернобыльской катастрофы была совершенно иной. Все события происходили в течение длительного времени на фоне сильнейшего социально-психологического стресса, вызванного воздействием на психику ЛПА и населения всех типов СМИ. Основным стрессовым фактором был постоянно нагнетаемый страх. По-видимому, чем ниже доза облучения, тем выше относительная роль и значение нейро-психологического стресса.

Обширные исследования здоровья ЛПА и населения из Чернобыльской зоны [9] изобилуют данными о его крайне неблагоприятном состоянии. Наиболее заметное место в структуре заболеваемости среди ЛПА занимают болезни нервной системы, далее – болезни органов дыхания и болезни желудочно-кишечного тракта [5]. В первую очередь, это связано с изменениями личности и нарушениями социальной адаптации, конфликтности с преобладанием астенического синдрома и различных вегетативных расстройств, снижением либидо и потенции, неустойчивости АД. Обычными оказываются интроверсия и «уход в болезнь», снижение трудовых и социальных интересов. Характерно ипохондрическое состояние и снижение уровня личности. Пренебрежение оценкой стрессовой составляющей

катастрофы, вне сомнения, имело самые негативные последствия.

Малые дозы облучения (10 и менее сГр), получаемые значительным числом участников ЛПА и населением в течение длительного времени, происходили на фоне утраты привычного уклада жизни, потери имущества, работы, профессии и экономического статуса. Продолжительное воздействие стрессового фактора привело к истощению всех защитных механизмов и сменилось состоянием дистресса, нарушениями иммунитета, разрушением системы гомеостаза, появлением немотивированных жалоб на здоровье. Необходимо указать, что характер изменений состояния здоровья и жалобы у пострадавших при крупных землетрясениях [11], наводнениях [12], войнах [13] носят во многом сходный психо-эмоциональный характер, не связанный напрямую с действующим фактором. Поэтому в диагностике и лечении заболеваний пострадавших, реабилитации жертв таких событий должны быть универсальные принципы, равно как и законодательная база, не связанная напрямую с действием конкретного поражающего фактора.

Литература

1. Лемешев М.Я. // Пока не поздно. М., 1991. 238 с.
2. Митюнин А.Н. Атомный шрафбат// Атомная стратегия XXI века. 2005. С. 21-24.
3. Тараканов Н.Д. Чернобыльские записки, или раздумья о нравственности. М.: Воениздат. 1989. 141 с.
4. Гуськова А.К. // Медицина труда и промышленная экология. 2004. № 3. 11 с.
5. Яворовски З.// Мед. радиология и радиационная безопасность. 1999. № 1. С.19-30.
6. Гуськова А.К. // Бюллетень по атомной энергии. 2001. № 3-4. С. 38-41.
7. Кудрявцев Е.Г // Плутоний: разнообразие подходов и мнений. 1995. 13 с.
http://wsyachina.narod.ru/technology/plutoni_2.html
8. Глуценко А.И. и соавт.// ИИЕиЕ РАН. Годовая научная конференция. 2006. С. 493-497.
9. Бурлакова Е.Б., Назаров А.Г. // Глобальные проблемы безопасности современной энергетики. К 20-летию катастрофы на ЧАЭС. 2006. С. 262-268.
10. Булдаков Л.А. // Бюллетень по атомной энергии. 2001. № 1. С. 36-38.
11. Bland S.// Psychosom. Med. 1996. V. 58.1. P.18-24.
12. Verger P. // Rev.Epidemiol.Sant Publique. 2000. 48 Suppl. 2. 2 S. P. 44-53.
13. Hollbrook J. a. all. // J.Trauma. 2002. V. 53, № 5. P. 882-888.

Трансформация пространственной структуры расселения населения территории Беларуси и её экологические последствия

© 2008. М.И. Струк

Институт проблем использования природных ресурсов и экологии
Национальной академии наук Беларуси

Рассмотрены особенности изменений в характере и пространственной структуре расселения населения на территории Беларуси с использованием представления об его эволюционном развитии. Выявлены тенденции к усилению контрастности в размещении населения. Приведены приоритетные направления природоохранной деятельности для пригородных районов, где происходит рост концентрации населения и периферийных районов, где имеет место его сокращение.

Peculiarities of changes in population distribution on the territory of Belarus according to the conception of its evolutionary development are considered. There were found some tendencies of contrast increase in the population allocation. Priorities in environmental activity for both the suburban regions where the increase of population takes place and outlying regions with decreasing population are shown.

Население, наряду с производством, относится к числу основных факторов, определяющих нагрузки на природную среду. От численности и размещения населения зависит уровень использования природных ресурсов, выбросы и сбросы загрязняющих веществ, образование отходов и др.

Соответственно, планируя природоохранную деятельность для какого-либо региона, следует учитывать присущие ему особенности пространственного распределения населения. При этом недостаточно ограничиваться лишь констатацией существующего положения, нужно принимать во внимание и тенденции развития системы расселения. Последнее особенно важно для выбора превентивных мер, обеспечивающих предупреждение возникновения проблемных экологических ситуаций.

К настоящему времени подобного рода вопросы не получили должного отражения в экологических исследованиях. Вместе с тем осуществляемое в последние годы внедрение в национальные программы социально-экономического развития идей устойчивого развития, предусматривающих переориентацию экологической политики с принципа исправления на принцип профилактики экологических проблем, объективно повышает их актуальность.

Указанная переориентация намечена и для Беларуси. Данное требование зафиксировано, в частности, в принятой в 1997 г. и обновленной в 2004 г. Национальной стратегии устойчивого развития страны [1, 2].

Целью исследования выступило обоснование региональной специфики природоох-

ранной деятельности для Беларуси, исходя из особенностей развития системы расселения страны. Чтобы её достичь, потребовалось последовательно решить задачи по выявлению тенденций изменения характера и пространственной структуры расселения на территории Беларуси, установлению связанных с ними изменений в пространственном распределении нагрузок на природную среду и выбору оптимизационных мер.

Изменения в характере расселения. Выявление тенденций изменения в характере расселения на территории страны, очевидно, должно опираться на его ретроспективный анализ. Вместе с тем для продолжения их на будущее одного такого анализа недостаточно, он должен быть дополнен также прогнозной гипотезой о дальнейшем развитии изучаемого явления [3].

В качестве подобной гипотезы по отношению к региональному расселению может быть принято представление об его эволюционном развитии. В соответствии с данным представлением, расселение в пределах той или иной страны следует рассматривать как направленный процесс, развитие которого осуществляется путем последовательного перехода от одной эволюционной стадии к другой.

Для этапа индустриального развития общества характерно формирование агломерированных форм расселения при ускоренном росте населения в ядрах этих форм и депопуляции межагломерационных пространств (стадия классической урбанизации) [4]. При переходе к постиндустриальному развитию

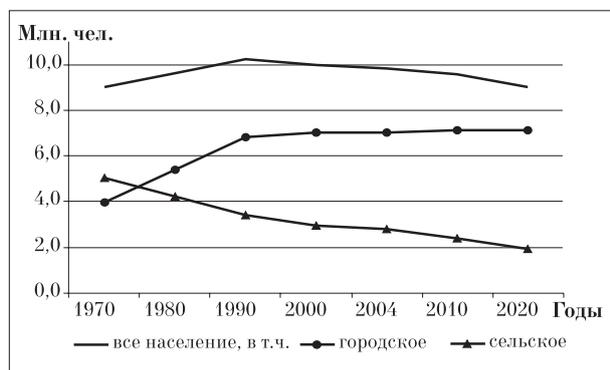


Рис. 1. Динамика и прогноз численности населения Беларуси за период 1970–2020 гг.

происходит территориальное расширение агломерированных форм при ускоренном росте населения в их периферийных зонах (стадия субурбанизации). Затем наблюдается деконцентрация населения, сопровождаемая «заполнением» межагломерационных пространств, ускоренным развитием малых населённых мест и стагнацией исторических ядер-центров расселения (стадия эксурбанизации). Наконец, отмечается стабилизация численности населения крупных городов, их обновлённое развитие (стадия реурбанизации).

Используя приведённую эволюционную шкалу и установив положение на ней исследуемой системы расселения, можно прогнозировать направление дальнейшей трансформации последней. Место системы расселения Беларуси в данной шкале определялось путём сопоставления численных значений, характеризующих динамику городского и сельского населения страны, с отличительными для каждой стадии признаками. Рассматривался период с 1970 г. по 2004 г. с подразделением его на десятилетние временные интервалы.

В течение рассматриваемого периода произошли существенные изменения в динамике общего количества населения. До девяно-

стых годов имело место его поступательное увеличение, которое затем сменилось устойчивым снижением (рис. 1). Подобное снижение прогнозируется и на будущее [5].

Уменьшение общей численности населения происходило за счёт сельских жителей. Городское население последовательно увеличивалось. Однако кривая его динамики свидетельствует о произошедшем в девяностые годы переломе в темпах роста городского населения. Они снизились со среднегодовой величины в 3,6% в период 1970–1990 гг. до 0,2% в период 1990–2004 гг.

В распределении городского населения по городам различной величины до 1990 г. прослеживаются изменения в сторону увеличения степени его концентрации в крупных и крупнейших городах. Их доля в городском населении Беларуси возросла с 31% в 1970 г. до 50% в 1990 г. и затем практически стабилизировалась (табл. 1). Доля малых городов, наоборот, за указанный период снизилась с 36 до 26% и продолжала уменьшаться.

Приведённые изменения в динамике населения Беларуси свидетельствуют о том, что до 90-х годов развитие системы расселения страны, сопровождавшееся ростом концентрации населения в крупных и крупнейших городах и его уменьшением в сельской местности, соответствовало эволюционной стадии классической урбанизации. На смену ей, согласно эволюционной концепции, должна прийти стадия субурбанизации, которая характеризуется активным заселением пригородной территории.

Начальным этапом развития субурбанизации выступает интенсификация жилой застройки пригородной территории [6]. Затем сюда начинает перемещаться население, и формируются места приложения труда.

Чтобы определить проявление субурбанизации в Беларуси, рассматривалась динамика

Таблица 1

Динамика распределения городского населения Беларуси по городам различной величины за 1970–2004 гг.

Величина городов по численности населения, тыс. чел.	Городское население, %		
	1970 г.	1990 г.	2004 г.
Малые (до 50)	36	26	24
Средние (50-100)	7	11	10
Большие (100-250)	26	13	16
Крупные (250-500)	7	19	25
Крупнейшие (500-1000)	24	7	—
Свыше 1000	—	24	25

ка застройки и заселённости районов, прилегающих к крупным городам. В результате установлено существенное повышение темпов застройки их территории после 1990 г., которое, например, для Минского района составило 1,8 раза [7]. В то же самое время заметных изменений в численности населения этих районов не произошло, что свидетельствует о том, что данная эволюционная стадия расселения находится в стране только в начале развития.

Соответственно, на ближайшие годы основное содержание изменения системы расселения Беларуси, очевидно, составит активизация процессов субурбанизации. Подтверждением этому служит не только направленность эволюционного развития расселения, но и принимаемые в Генеральных планах городов решения по размещению на пригородной территории части городского населения. Так, согласно Генеральному плану Минска, на перспективу до 2030 г. в прилегающем к городу административном районе намечается разместить около 200 тыс. чел. [8], что в 1,3 больше нынешнего количества проживающего здесь населения.

Изменения пространственной структуры расселения. Наряду с изменениями в характере расселения происходят изменения его пространственной структуры. Для выявления последних применительно к системе расселения Беларуси использовался метод, основанный на расчётах индекса территориальной концентрации населения [9] и пост-

роении соответствующих картосхем. Упомянутый индекс рассчитывается по доле, которую в общей площади страны занимают, соответственно, наиболее плотно населённые части её территории, в пределах которых проживают 50% всех жителей, территории со средней плотностью населения, где проживают 25% жителей и территории с низкой плотностью населения, на которых проживают оставшиеся 25% жителей.

Территориальными единицами исследования выступили административные районы с населением, включающим совместно городских и сельских жителей. Выполненные расчёты динамики индекса свидетельствуют о том, что доля территории, с наивысшей для Беларуси плотностью населения, где проживает половина жителей страны, за промежуток времени с 1970 г. по 2004 г. уменьшилась более чем в 2 раза – с 24 до 11%. И, наоборот, доля районов с минимальной плотностью населения, где проживает 25% всех жителей страны, увеличилась в 1,4 раза – с 45 до 64%.

Приведённые значения динамики индекса территориальной концентрации населения свидетельствуют об усилении контрастности его размещения по территории страны. Первоначально, в 1970 г., в зону с наивысшей плотностью населения входили как районы, которые имели в своём составе крупные и большие города, так и районы со средними и даже малыми городами (рис. 2). Высокая плотность населения в последних была свя-

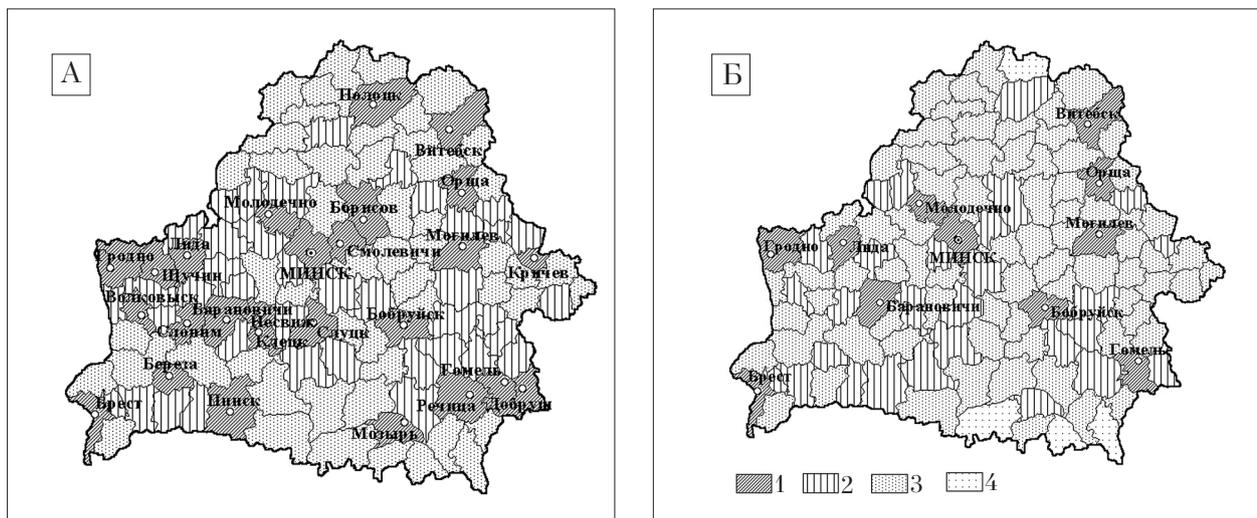


Рис. 2. Распределение населения Беларуси по районам с его различной плотностью по состоянию на 1.01. 1970 г. (А) и на 1.01. 2004 г. (Б)

Примечание: 1 – районы с наивысшей плотностью населения, где проживает 50% жителей страны; 2 – районы со средней плотностью населения, где проживает 25% жителей страны; 3 – районы с наименьшей плотностью населения, где проживает 25% жителей страны, из них: 4 – районы с плотностью населения, не превышающей 10 чел./км²

зана с большим количеством проживающих в их пределах сельских жителей, которые выступали в то время значимым для пространственного распределения населения фактором.

Постепенно, по мере уменьшения численности сельских жителей, их роль в размещении населения снижалась. В 2004 г. в перечень районов с наивысшей плотностью населения вошли только те из них, которые имеют в своем составе самые большие в Беларуси города. И наоборот, районы с минимальной плотностью населения располагаются на периферии по отношению к ним, главным образом вдоль государственной границы или границ областей. Тем самым величина города со временем стала решающим фактором, определяющим распределение населения по территории страны.

К 2004 г., в отличие от 1970 г., на территории Беларуси появилась группа районов с очень низкой плотностью населения, не превышающей 10 чел/км². Принимая во внимание прогнозируемое дальнейшее сокращение численности населения, особенно сельского, а также развитие процессов субурбанизации, на будущее можно ожидать сохранения сложившейся тенденции к росту контрастности в размещении населения на территории страны, с увеличением заселённости районов, примыкающих к крупным городам и депопуляцией периферийных сельских районов.

Экологические последствия изменений в расселении. Приведённые изменения численности населения, характера и пространственной структуры расселения на территории Беларуси дают основания для оценки изменений в нагрузках на природную среду и должны учитываться при выработке региональных особенностей природоохранной деятельности. Наиболее значимые экологические последствия связаны со следующими изменениями в расселении:

- 1) Происходящее в течение последних десяти лет и прогнозируемое на будущее сокращение численности населения Беларуси объективно создаёт предпосылки для уменьшения нагрузок, обусловленных данным фактором, на природную среду страны в целом.
- 2) Повышение контрастности в размещении населения по территории страны, с увеличением его концентрации в районах с крупными городами, с одной стороны, и уменьшением численности населения периферийных районов, с

другой, служит причиной аналогичных изменений в пространственном распределении нагрузок на среду.

Соответственно, для каждой из этих групп районов выделяются различные приоритеты природоохранной деятельности.

Для районов с крупными городами, где развиваются процессы субурбанизации и увеличивается концентрация населения, основное значение имеют меры, направленные не столько на снижение нагрузок на природную среду, сколько на их оптимальное распределение по территории. Связано это с тем, что реализация первых из них может оказаться неосуществимой на практике, поскольку они не согласуются с объективным ходом развития расселения.

Ожидаемый рост интенсивности природопользования на прилегающих к городам территориях, в связи с увеличением здесь численности населения, вряд ли возможен без того, чтобы предотвратить полностью нарушения элементов их природного каркаса – лесных, речных, луговых, болотных систем. В связи с этим, для сохранения экологического потенциала данных территорий на нынешнем этапе их развития особую актуальность приобретает задача сохранения тех природных комплексов, которые имеют наиболее важное природоохранное значение.

Тем самым на передний план в области охраны окружающей среды для пригородных территорий выходит такая мера, как проведение их эколого-функционального зонирования с введением различных режимов природопользования для разных их частей и приданием статуса охраняемых природным комплексам, играющим ключевую роль в сохранении здесь экологического равновесия.

Для районов с низкой плотностью населения, где происходит дальнейшее сокращение его численности, можно прогнозировать снижение нагрузок на природную среду. Из-за ограниченности трудовых ресурсов в их пределах должно уменьшиться хозяйственное использование природно-ресурсного потенциала. Именно здесь в первую очередь будут складываться предпосылки для вывода из оборота малопродуктивных, сложных для обработки и удалённых от населённых пунктов сельскохозяйственных угодий, что приведёт к увеличению общей площади, занимаемой естественными природными комплексами.

Вместе с тем снижение интенсивности хозяйственного использования данных райо-

нов не должно сказаться негативно на их экономическом развитии и уровне жизни местного населения. Одним из перспективных направлений деятельности по предотвращению подобной ситуации может стать дополнение традиционной для этих районов сельскохозяйственной специализации активным развитием экологического туризма. В этом случае высокая степень сохранности природных комплексов здесь выступит как фактор, способствующий такому развитию.

Литература

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь. Мн., 1997.
2. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. Мн.: Юнипак, 2004. 202 с.

3. Рабочая книга по прогнозированию. М.: Мысль, 1982. 430 с.

4. Артоболевский С.С., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И. Цикличность и стадийность как естественные компоненты в территориальном развитии // География и проблемы регионального развития. М., 1989. С. 42-54.

5. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / Под ред. В.Ф. Логина. Мн.: Минсктиппроект, 2004. 180 с.

6. Управление развитием крупных городов. Л.: Наука, 1985. 224 с.

7. Струк М.И. Субурбанизация и охрана природы пригородной территории // Природные ресурсы. 2002. № 2. С. 87-96.

8. Колонтай А. Новый Генеральный план развития г. Минска // Архитектура и строительство. 2003. № 1. С. 7-32.

9. Урланис Б.Ц. Теория статистики. М.: Статистика, 1962. 320 с.

Изменение экологических условий, растительности и почв при восстановительных сукцессиях на суходольных лугах Кировской области

© 2008. С.Ю. Маракулина, С.В. Дёгтева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Рассматриваются особенности трансформации основных компонентов биогеоценозов в процессе восстановления лесного сообщества на месте суходольного луга. Установлено, что в однородном по условиям экотопе, где представлен сукцессионный ряд фитоценозов, биотопические условия неодинаковы. Изменение в процессе сукцессии экологических параметров, вызванное сменой эдификаторов, сопряжено с трансформацией характеристик нижних ярусов растительных сообществ (видового богатства и насыщенности, соотношения жизненных форм и экологических групп видов, общего проективного покрытия, общей биомассы надземной части, ценотической роли отдельных видов), строения и химического состава верхних (органогенных) горизонтов почв.

The peculiarities of transformation of biogeocoenoses basic components in the process of forest community restoration in the place of adry meadow are considered. It is stated that in an environmentally homogeneous ecotope with a successive raw of phytocoenoses the biotope conditions are not similar. Change of ecological parameters in course of succession caused by change of edificators is connected with transformation of lower layers plant communities' characteristics (species diversification and saturation, the life forms and ecological species correlation, general project surface, biomass of the above ground part, coenoses role of definite species), structure and chemical composition of the upper soil horizons.

Кировская область – регион Нечернозёмной зоны России, где наряду с промышленностью традиционно развивалось сельскохозяйственное производство. Значительную часть территории здесь занимают пахотные земли и угодья, используемые как сенокосы и пастбища [1]. Площади естественных лугов, формирующихся в долинах и поймах рек, невелики. Сообщества травянистых многолетников на водораздельных пространствах имеют в основном вторичное антропогенное происхождение, образовались после целенаправленной расчистки леса или реже – на месте заброшенных пашен. В последние десятилетия вследствие экономического кризиса, произошедшего в масштабах страны, тенденция забрасывания сельскохозяйственных угодий проявляется в области наиболее отчётливо. На заброшенных землях начинаются процессы восстановительных сукцессий: на пашнях происходит становление сообществ: сначала одно- и малолетних, а затем многолетних травянистых растений, луга и пастбища при снятии режима сельскохозяйственного использования начинают постепенно зарастать кустарниками, а затем и лиственными деревьями. Комплексное изучение изменений, происходящих в ходе сукцессий в растительных сообществах и почвах, позволяет раскрыть механизмы устойчивого функционирования биогеоценозов и их динамики, прогнозировать сценарии развития растительного покрова при различной степени антропогенного пресса.

Нами была поставлена задача выявить особенности трансформации основных компонентов биогеоценозов в процессе восстановления лесного сообщества на месте суходольного луга.

Материал и методика

В подзоне средней тайги Кировской области (окрестности с. Синегорье Нагорского района) был подобран однородный по условиям экотоп, расположенный на участке пологого водораздела с легкосуглинистыми почвами, в котором был представлен сукцессионный ряд фитоценозов, включающий зарастающий суходольный луг на залежи и лесные сообщества разного возраста. На модельном участке 9–10 лет назад располагалась пашня, граничащая с лесом. Спустя три года после забрасывания пахотного участка, здесь сформировалось сообщество травянистых растений, которое начали использовать для сенокосения. В настоящее время в травостое доминирует *Agrostis tenuis*. Участок используют нерегулярно, преимущественно для целей выпаса, он начал зарастать кустарниками и лиственными деревьями, распространяющимися от стены леса – молодого берёзняка из *Betula pubescens* III–IV классов возраста. По мере удаления от луга полоса берёзового леса сменяется спелым елово-берёзовым насаждением.

Материал был собран в одни и те же сроки (август) в течение трёх полевых сезонов (2005–2007 гг.). От центра травянистого фитоценоза заложили профиль по направлению к спелому лесному сообществу. Помимо луга, молодого березняка и елово-берёзового насаждения на профиле визуальнo, по изменению параметров травяного покрова и древостоя, выделили ещё несколько экотонных зон. Часть луга, которая испытывает наибольшее влияние лесного сообщества, находясь в полосе его тени, рассматривали как «предопушечную» зону. За ней следует опушечная зона. По высоте и сомкнутости древесных растений с учётом различий в составе и сложении древесного яруса и травостоя её подразделили на «наружную» и «внутреннюю» опушку (рисунок).

При описании зон учитывали следующие параметры биогеоценозов:

Древостой. Отмечали видовой состав, сомкнутость полога, максимальные и минимальные значения высоты и диаметра стволов деревьев. Для определения возраста насаждения отбирали керны (по одному для каждой из главенствующих древесных пород). При этом выбирали наиболее крупные по диаметру, без грибковых поражений деревья.

Подрост и подлесок. Фиксировали сомкнутость крон, видовой состав и среднюю высоту у деревьев и кустарников.

Наиболее детально изучали травяной и травяно-кустарничковый покров. Для выявления видового состава, определения общего проективного покрытия (ОПП) и проективного покрытия (ПП) отдельных видов использовали метод мелких учётных площадок. Внутри каждой из зон параллельно друг другу закладывали линейные трансекты длиной по 50 м, каждая из которых представляла собой серию мелких площадок размером 0,1 м². С учётом трудоёмкости метода на трансекте описывали одну площадку через три пропущенных. В итоге в каждой из зон получены фактические данные с одинакового числа площадок, равного 39. Для фиксирования учётной площадки использовали складную рамку с разборной сеткой, образуемой двумя спицами [2]. На мелких площадках отмечали также высоту растений и фенофазу. В каждой зоне учитывали продуктивность надземной биомассы нижних ярусов. Для этого срезали укосы с площадок 0,1 м² в трёхкратной повторности. Пробы разбирали по видам, высушивали, взвешивали и рассчитывали средние значения показателей. На основании данных о проективном покрытии и встреча-

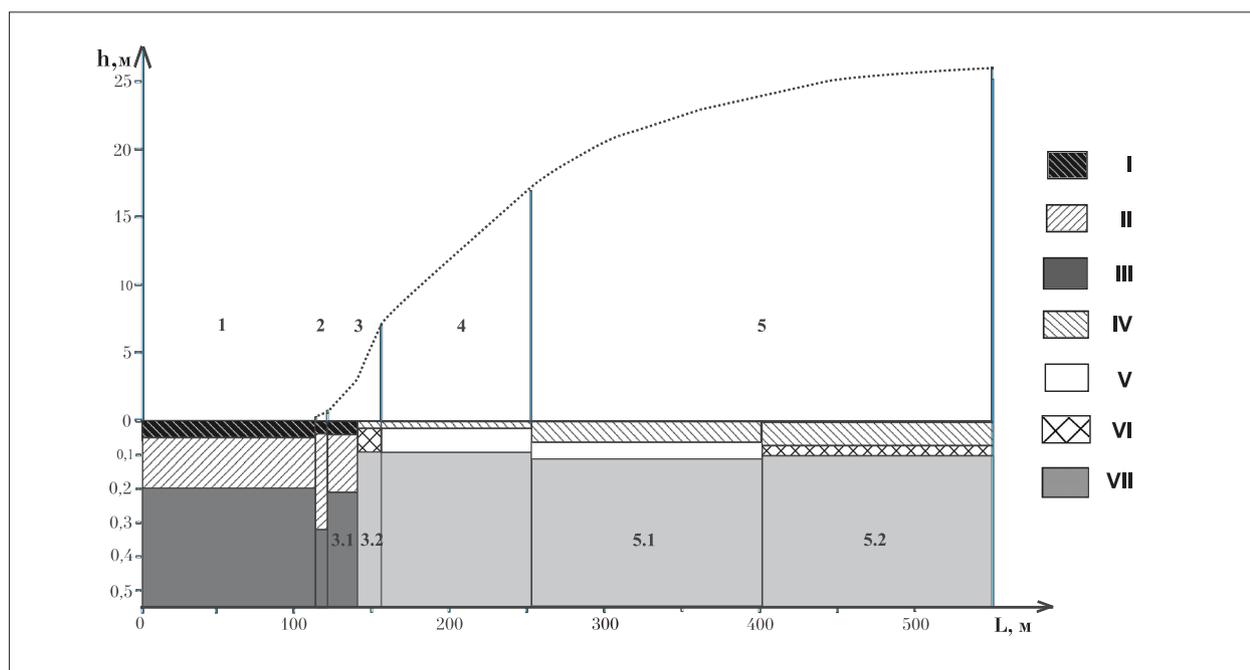


Рис. Схема модельного профиля «Луг – спелое лесное сообщество»

Условные обозначения. По вертикали (ось h) – высота и глубина, по горизонтали (ось L) – длина зон профиля. Почвенные горизонты: I – Ад (дернина), II – АдА₁ (аккумулятивно-гумусовый), III – АВ (переходный между аккумулятивно-гумусовым и иллювиальным), IV – А₀ (лесная подстилка), V – А₁ (аккумулятивно-гумусовый), VI – А₀А₁ (лесная подстилка с содержанием аккумулятивного гумуса), VII – В (иллювиальный горизонт).

Примечание: 1 – луговая зона, 2 – «предопушечная» зона, 3 – опушка (3.1 – «наружная» опушка, 3.2 – «внутренняя» опушка), 4 – молодой березняк, 5 – спелый елово-берёзовый лес (5.1 – парцелла берёзы, 5.2 – парцелла ели).

Таблица 1

Таксационные показатели насаждений в фитоценозах различных зон модельного профиля

Зона	Таксационный показатель								
	Сомкнутость крон	Вид	Доля по составу (единицы по составу)	Высота стволов, м		Диаметр стволов, см		Возраст (лет)	
				min	max	min	max	min	max
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	< 0,1	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	10	0,2	0,4	0,4	0,6	1	3
3.1	до 0,1	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	10	0,5	3	0,5	1,3	2	5
3.2	0,4	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	4	3,5	6	1	4	9	10
		<i>Betula pendula Roth</i>	6	3	5	1	3	6	7
		<i>Picea x fennica (Regel) Kom.</i>	+	0,3	0,5	1	1,5	3	4
		<i>Populus tremula L.</i>	+	0,8	1,5	1	1,2	3	4
4	0,7 – 0,8	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	6	13	17	9	12	30	32
		<i>Betula pendula Roth</i>	2	10	15	7	10	28	30
		<i>Picea x fennica (Regel) Kom.</i>	2	10	12	8	9	36	38
5	0,8	<i>Betula pubescens Ehrh.</i>	5	20	26	25	30	58	60
		<i>Betula pendula Roth</i>	2	18	23	20	25	50	55
		<i>Picea x fennica (Regel) Kom.</i>	3	20	25	25	28	80	90

Примечание: здесь и далее (–) – вид отсутствует. Здесь и в таблицах 2-8 зоны: 1 – луговая зона, 2 – «предопушечная» зона, 3 – опушка (3.1 – «наружная» опушка, 3.2 – «внутренняя» опушка), 4 – молодой березняк, 5 – спелый елово-берёзовый лес (5.1 – парцелла берёзы, 5.2 – парцелла ели).

емости видов на мелких учётных площадках выполнили расчёт показателя коэффициента участия (КУ), отражающего их ценотическую роль в сообществе [2].

Моховой покров. На мелких площадках регистрировали видовой состав.

Почва. В каждой из зон сделаны почвенные прикопки на глубину 20–50 см, описана морфология выделенных верхних горизонтов. Из каждого горизонта отобрали образцы для анализа.

Для оценки важнейших экологических параметров в различных зонах модельного

профиля были использованы экологические шкалы. Влажность и общее богатство почв оценивали в шкалах Л.Г. Раменского [3], режим освещённости, кислотность почв – в шкалах Д.Н. Цыганова [4].

Результаты и обсуждение

Как уже было отмечено, на исследованном профиле визуально выделяется несколько закономерно сменяющих друг друга зон. Детальная характеристика их растительности приведена в таблицах 1 – 3.

Исходя из предположения о том, что древесные растения поселяются на лугу постепенно, а также зная ширину зон и размах возраста деревьев в их пределах, можно вычислить скорость зарастания (экспансии). Расчёты показали, что наибольшая скорость экспансии (0,4 м/год) характерна для зоны «наружной» опушки, наименьшая – 0,07 м/год, отмечена в зоне молодого березняка (рисунок). Вертикальный профиль, построенный по высоте деревьев, имеет ступенчатый характер с возрастными разрывами в 6–30 лет. Эти данные свидетельствуют о том, что на модельном участке, начиная с периода Второй мировой войны, происходило постепенное сокращение площади сельскохозяйственных угодий. Сразу после полного забрасывания пашни 10 лет назад начались процессы формирования сообщества травянистых

Таблица 2

Характеристика подлеска фитоценозов различных зон модельного профиля

Зона	Сомкнутость крон	Видовой состав подлеска	Высота (м)	
			min	max
1	–	–	–	–
2	< 0,1	<i>Salix phylicifolia L.</i>	0,2	0,8
3.1	до 0,2	<i>Salix phylicifolia L.</i> , <i>Salix starkeana Willd.</i> , <i>Salix cinerea L.</i>	0,2	1,2
3.2	0,2 - 0,3	<i>Salix phylicifolia L.</i> , <i>Salix starkeana Willd.</i> , <i>Salix cinerea L.</i>	0,3	1,4
4	до 0,1	<i>Sorbus aucuparia L.</i> , <i>Rubus idaeus L.</i> , <i>Juniperus communis L.</i>	0,3	1,6
5	0,1-0,2	<i>Sorbus aucuparia L.</i> , <i>Ribes nigrum L.</i> , <i>Rubus idaeus L.</i> , <i>Rosa acicularis Lindl.</i> , <i>Frangula alnus Mill.</i>	0,3	4

Таблица 3

Значение коэффициентов участия травяно-кустарничкового покрова в сообществах модельного профиля (по данным наблюдений 2005 г.)

Вид	Зона				
	1	2	3	4	5
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	76,5	61,0	47,6	35,0	4,2
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv.	27,9	9,1	24,9	10,2	5,6
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	4,6	5,3	14,6	22,0	27,1
<i>Stellaria graminea</i> L.	4,7	—	—	—	—
<i>Pimpinella saxifraga</i> L.	3,0	—	—	—	—
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	1,3	—	—	—	—
<i>Trifolium pratense</i> L.	1,0	—	—	—	—
<i>Rumex acetosella</i> L.	0,6	—	—	—	—
<i>Plantago lanceolata</i> L.	0,2	—	—	—	—
<i>Galeopsis speciosa</i> Mill.	0,2	—	—	—	—
<i>Rumex confertus</i> Willd.	0,03	—	—	—	—
<i>Alchemilla conglobata</i> Lindb.	2,7	3,4	—	—	—
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	5,5	2,7	—	—	—
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	15,8	2,1	—	—	—
<i>Galium mollugo</i> L.	7,1	1,2	—	—	—
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	1,0	3,7	—	—	—
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	0,9	1,6	—	—	—
<i>Euphrasia fennica</i> Kihlm.	—	0,4	0,3	—	—
<i>Luzula multiflora</i> (Ehrh.) Lej.	—	0,6	0,2	—	—
<i>Juncus filiformis</i> L.	—	—	4,2	—	—
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	—	—	3,8	—	—
<i>Alchemilla acutiloba</i> Opiz.	—	—	3,5	—	—
<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	—	—	3,5	—	—
<i>Melampyrum pratense</i> L.	—	—	0,3	—	—
<i>Rhinanthus minor</i> L.	1,8	0,7	0,3	—	—
<i>Omalotheca sylvatica</i> (L.) Sch. Bip.	5,8	1,9	0,2	—	—
<i>Centaurea phrygia</i> L.	4,0	0,5	0,1	—	—
<i>Cerastium holosteoides</i> Fries	0,8	0,6	0,1	—	—
<i>Hypericum maculatum</i> Crantz	23,4	1,0	—	0,9	2,6
<i>Campanula patula</i> L.	2,4	0,4	—	0,9	—
<i>Pilosella onegensis</i> Norrl.	—	1,6	—	0,8	—
<i>Carex pallescens</i> L.	6,3	12,1	0,2	4,8	—
<i>Achillea millefolium</i> L.	31,1	33,7	9,1	—	—
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	9,9	16,0	4,1	—	—
<i>Phleum pratense</i> L.	10,8	13,6	3,2	—	—
<i>Prunella vulgaris</i> L.	31,6	21,3	2,0	—	—
<i>Ranunculus acris</i> L.	7,1	34,5	1,2	—	—
<i>Amoria hybrida</i> (L.) C.Presl.	1,3	28,1	1,1	—	—
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	22,7	25,3	1,1	—	—
<i>Vicia cracca</i> L.	1,8	—	6,2	—	—

Вид	Зона				
	1	2	3	4	5
<i>Carex leporina</i> L.	0,4	0,6	4,1	—	—
<i>Rumex acetosa</i> L.	—	0,6	—	1,5	—
<i>Galium uliginosum</i> L.	—	—	0,4	2,7	4,9
<i>Angelica sylvestris</i> L.	—	—	0,2	0,3	1,5
<i>Ajuga reptans</i> L.	—	—	—	17,4	13,5
<i>Oxalis acetosella</i> L.	—	—	—	14,1	9,9
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	—	—	—	10,0	4,0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	—	—	—	4,0	2,4
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P.Fuchs	—	—	—	3,0	1,5
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	—	—	—	1,8	1,0
<i>Hieracium subpellucidum</i> Norrl.	—	—	—	1,2	0,7
<i>Veronica officinalis</i> L.	—	—	—	11,0	10,7
<i>Fragaria vesca</i> L.	—	—	—	9,8	9,9
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt	—	—	—	7,8	30,9
<i>Trientalis europaea</i> L.	—	—	—	10,5	26,0
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	—	—	—	3,8	25,7
<i>Rubus saxatilis</i> L.	—	—	—	0,5	22,3
<i>Stellaria holostea</i> L.	—	—	—	10,8	11,8
<i>Melampyrum sylvaticum</i> L.	—	—	—	2,8	10,3
<i>Melica nutans</i> L.	—	—	—	1,8	2,1
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	—	—	—	0,2	0,4
<i>Viola canina</i> L.	—	—	—	6,2	—
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	—	—	—	4,2	—
<i>Solidago virgaurea</i> L.	—	—	—	2,7	—
<i>Trollius europaeus</i> L.	—	—	—	1,1	—
<i>Ranunculus auricomus</i> L.	—	—	—	0,6	—
<i>Paris quadrifolia</i> L.	—	—	—	0,6	—
<i>Asarum europaeum</i> L.	—	—	—	—	11,3
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	—	—	—	—	1,5
<i>Linnaea borealis</i> L.	—	—	—	—	5,1
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	—	—	—	—	0,1
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	—	—	—	—	1,6
<i>Mentha arvensis</i> L.	—	—	—	—	0,03
<i>Myosotis cespitosa</i> K.F.Schultz	—	—	—	—	0,2
<i>Myosotis palustris</i> (L.) L.	—	—	—	—	0,04
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	—	—	—	—	0,8
<i>Pyrola minor</i> L.	—	—	—	—	0,3
<i>Ranunculus repens</i> L.	—	—	—	—	2,7
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	—	—	—	—	4,3

Примечание: значения КУ умножены на 100

Таблица 4
Расчетные баллы экологических факторов для зон модельного профиля

Экологический фактор	Зона				
	1	2	3	4	5
Увлажнение	65	67	72	71	75
Общее богатство и засоленность	11	10	10	8	8
Освещенность	3	3	3	4	5
Кислотность	7	6	6	6	6

растений и экспансии деревьев и кустарников. В связи с отсутствием регулярного выкашивания в настоящее время продолжается активное зарастание луга древесными растениями.

Оценка важнейших экологических параметров, выполненная нами с использованием экологических шкал, свидетельствует о том, что в разных зонах модельного профиля, заложенного в однородном экотопе, они не остаются неизменными (табл. 4). Это обусловлено разной средообразующей способностью растений. Наиболее стабильным оказался фактор кислотности почв. Эти косвенные данные подтверждают результаты анализа образцов почв (табл. 5). Почвы как лесных, так и лугового сообществ кислые, однако в первых подкисление выражено в большей степени. Мало меняется вдоль профиля показатель увлажнения почв. Несмотря на то, что прослеживается тенденция к некоторому увеличению значений этого параметра в направлении от луга к спелому лесному сообществу, рассчитанные значения лежат в группе ступеней, характеризующих влажно-луговой режим увлажнения. Более выражены градиенты изменения освещенности и общего богатства почв. Уменьшение освещенности проявляется в лесных сообществах и становится более выраженным с возрастом насаждения. Снижение общего богатства почв происходит от луга к «предопушечной» и опушечной зонам, а далее к лесным сообществам (табл. 4).

Изменение экологических условий приводит к смене соотношения жизненных форм растений. По численности во всех зонах преобладают травы, однако в лесных сообществах закономерно возрастает доля древесных растений. Среди трав во всех фитоценозах преобладают длинно- и короткокорневищные. При этом по мере удаления от луга снижается участие рыхлокустовых и увеличивается доля куртинообразующих травянистых многолетников (табл. 6).

Однонаправленно с изменением экологического режима меняется и соотношение

экологических групп видов. На участке луг – опушечная зона наиболее заметно участие в формировании растительных сообществ светолюбивых растений, входящих в состав кустарниковой, разреженнолесной и полевой свит (табл. 7). В лесных сообществах преобладают виды, приспособленные к обитанию в условиях затенения (представители светолесной, густосветлосной и тенисто-лесной свит). От луга к молодому березняку снижается доля видов, требовательных к общему богатству почв, – эутрофов и эумезотрофов. В спелом лесном сообществе уменьшается и доля видов-мезотрофов, характерных для небогатых почв. Здесь же отмечается максимальное участие растений-олигомезотрофов, которые способны произрастать на бедных почвах (табл. 7). Эти тенденции отражают градиент содержания в верхних горизонтах почв под растительными сообществами разных зон элементов-биогенов (табл. 5). В литературе [5] имеются данные о том, что рассчитанные с использованием экологических шкал показатели общего богатства и кислотности почв коррелируют друг с другом. Результаты, полученные нами, подтверждают справедливость этого утверждения. Почвы луговой, «предопушечной» и опушечной зон, характеризующиеся наибольшим общим богатством, оказались несколько менее кислыми, поэтому доля видов-ацидофилов в растительных сообществах этой части профиля ниже, чем в лесных сообществах (табл. 7). Как было показано выше, согласно данным, полученным в экологических шкалах, режим увлажнения вдоль модельного профиля меняется незначительно. Соотношение экологических групп, выделяемых по фактору влажности, также варьирует мало (табл. 7). Абсолютно преобладают мезофиты.

Важнейший параметр, характеризующий любое биотическое сообщество и биогеоценоз, – его биологическое разнообразие. Всего в пределах исследованного профиля зарегистрировано 82 вида травянистых растений, 3 – кустарничков, 1 – полукустарничков, 10 – кустарников, 4 – деревьев, 7 – мхов. Анализ изменения уровня видового богатства показывает, что оно возрастает в направлении от луга к лесу за счет увеличения разнообразия жизненных форм. При этом наблюдается снижение средней видовой насыщенности с 12 до 9 видов на 0,1 м² (табл. 8). Вдоль профиля меняются значения показателя общего проективного покрытия (ОПП). От луга к «внутренней»

Таблица 5
Агрохимическая характеристика почв различных зон профиля

Зона	Горизонт	Глубина залегания (см)	pH (водн.)	Химические показатели					(С общ.), %	(N общ.), %
				P ₂ O ₅ (обм.), мг/кг	K ₂ O (обм.), мг/кг	Ca (обм.), моль/100г почвы	Mg (обм.), моль/100г почвы			
1	Ад	0-6	5,2	28,1±5,61	147,7±14,76	2,6±0,23	0,7±0,07	2,6±0,41	0,2±0,07	
	АдА	6-16	5,4	10,9±2,18	74,8±11,22	1,5±0,14	0,3±0,04	0,7±0,18	0,1±0,03	
	АдВ	16-50	5,1	5,5±1,11	68,7±10,31	1,7±0,16	0,6±0,06	0,4±0,11	0,04±0,01	
2	Ад	0-5	4,9	47,4±7,11	176,2±17,62	2,7±0,24	0,9±0,09	3,9±0,64	0,3±0,14	
	АдА	5-32	5,1	12,1±2,43	51,2±7,68	1,2±0,12	0,4±0,04	1±0,25	0,1±0,03	
	АдВ	32-50	5,2	8,9±1,76	49,2±7,38	1,1±0,13	0,4±0,04	0,4±0,09	0,1±0,02	
3.1	Ад	0-4	5,1	38,5±5,77	170,6±17,05	3,7±0,34	0,8±0,08	4,1±0,6	0,3±0,09	
	АдА	4-21	5,1	10,4±2,08	45,05±6,76	0,9±0,15	0,2±0,02	0,9±0,22	0,1±0,03	
	АдВ	21-40	5,1	12,5±2,54	37,3±5,60	1,2±0,11	0,4±0,04	0,2±0,06	0,04±0,01	
3.2	А ₀	0-2	6,2	237±35,55	301±30,32	10,8±0,54	2,8±0,28	4,5±0,73	0,3±0,12	
		2-3	5,4	60±9	116±17,41	3,6±0,18	1,1±0,11	1,7±0,25	0,1±0,04	
	А ₀ А ₁	3-9	5,2	20,5±4,12	83,8±12,57	1,4±0,08	0,6±0,06	0,7±0,18	0,1±0,02	
4	В	9-30	5,1	14,4±2,88	55,1±8,27	1,4±0,72	0,5±0,08	0,7±0,17	0,1±0,02	
	А ₀	0-2	5,9	257±38,55	290±29	10,5±0,53	2,8±0,28	4,9±0,7	0,3±0,09	
	А ₁	2-9	5,8	233±34,95	244±24,42	8,9±0,44	2,6±0,26	3,9±0,6	0,3±0,09	
5.1	В	9-16	5,2	40,1±6,02	78,8±11,82	2,4±0,12	0,8±0,08	1,3±0,19	0,1±0,03	
		16-25	5,3	42,5±6,38	45,9±6,89	1,3±0,07	0,5±0,08	0,7±0,18	0,1±0,02	
	А ₀	0-6	5,2	291±43,65	1104±110,42	30,3±1,52	6,4±0,6	30±3	1,4±0,22	
5.2	А ₁	6-11	4,1	203,1±30,45	58,9±8,84	0,8±0,04	0,4±0,06	1,6±0,24	0,1±0,04	
	В	11-30	4,6	72,7±10,9	34,8±5,22	0,6±0,03	0,2±0,04	1,04±0,16	0,9±0,03	
	А ₀	0-7	4,5	486±72,9	1310±131	20,5±1,03	4,6±0,46	37±4	1,5±0,23	
	А ₀ А ₁	7-10	4,3	241±36,15	490±49	6,003±0,3	2,2±0,22	15,9±1,62	0,7±0,11	
	В	10-15	4,1	116,4±17,46	83,3±12,50	0,8±0,04	0,3±0,05	1,6±0,24	0,1±0,03	
		15-50	4,6	205,3±30,75	38±5,74	0,6±0,03	0,2±0,04	0,9±0,24	0,1±0,04	

Примечание: рН водной вытяжки (потенциометрический метод), содержание обменных оснований (фосфора и калия по методу Курсанова в модификации ЦИИАО; кальция и магния методом ЦИИАО), общего углерода и азота (метод газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O)).

опушке они снижаются с 95–98 до 20%. Такое закономерное уменьшение густоты травяного покрова, скорее всего, вызвано изменением режима освещённости. Ранее показано [6], что в случаях, когда кроны деревьев, формирующих «внутреннюю» опушку, имеют высокую сомкнутость, а боковая подсветка экранируется за счёт развитой «наружной» опушки, количество света, проникающего под полог древостоя, минимально. В зоне молодого березняка в результате изреживания древесного яруса световой режим становится более благоприятным и ОПП вновь возрастает до 50–90%.

В спелом елово-берёзовом лесу травяно-кустарничковый ярус обычно достаточно развит, его покрытие составляет 60–80%. Однако в центральной части «ядра» древостоя на участках, где развиты парцеллы *Picea x fennica* или густой подлесок из *Sorbus aucuparia*, *Juniperus communis*, *Ribes nigrum*, *Rubus idaeus*, *Frangula alnus*, *Rosa acicularis* происходит уменьшение величин рассматриваемого показателя.

Определение степени сходства видового состава сообществ, выполненное с ис-

Таблица 6
Соотношение жизненных форм в фитоценозах различных зон

Жизненная форма	Зона				
	1	2	3	4	5
Древесные растения,	–	2	7	8	13
в т.ч.: деревья	–	1	4	4	4
кустарники	–	1	3	3	5
полукустарнички	–	–	–	1	3
Травы,	33	28	32	33	31
в т.ч.: короткокорневищные	9	8	9	8	5
длиннокорневищные	7	6	5	8	9
рыхлокустовые	4	5	8	2	2
плотнокустовые	2	2	3	1	2
стержнекорневые	4	3	3	–	1
каудексовые	2	–	–	–	–
кистеконовые	2	2	1	5	1
наземнотравяные	2	1	2	2	3
корнеотпрысковые	1	–	–	1	1
куртинообразующие	–	–	–	–	1
столонные	–	1	1	6	6
Мхи	1	1	3	3	3

пользованием коэффициента Сьёренсена-Чекановского [7, 8], показывает, что луг и лесные фитоценозы имеют весьма значительные различия этого параметра (табл. 9). Высокой общностью видового состава отличаются две группы сообществ. Одна из них включает луг, фитоценозы «предопушечной» и опушечной зон, вторая – молодой березняк и спелый елово-берёзовый лес. Таким образом, эдификаторная роль древесных растений в полной мере проявляется уже в молодых лиственных насаждениях, достигающих 30-летнего возраста. Ранее эта особенность уже была отмечена другими исследователями [9].

Существенные изменения в процессе сукцессии претерпевает ценоценоз отдельных видов. Проследим это на данных, полученных при обследовании фитоценозов модельного профиля в 2005 г. Наиболее широкую экологическую амплиту-

Таблица 7
Соотношение экологических групп в различных зонах модельного профиля

Экологическая группа / свита	Зона									
	1		2		3		4		5	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
<i>Фактор освещенности</i>										
Густосветло-лесная	–	–	–	–	1	3	8	24	10	26
Кустарниковая	20	61	18	60	14	47	6	18	5	13
Полянная (субсветовая)	2	6	1	3	1	3	–	–	1	3
Разреженнолесная	9	27	7	30	7	37	11	29	10	26
Светло-лесная	2	6	2	7	3	10	9	26	10	26
Тенисто-лесная	–	–	–	–	–	–	1	3	2	5
<i>Фактор общего богатства и засоленности почв</i>										
Мезотрофы	13	39	13	47	14	50	23	68	20	53
Олигомезотрофы	–	–	–	–	1	7	5	15	8	21
Эумезотрофы	14	42	11	40	9	33	6	15	7	18
Эутрофы	6	18	4	13	2	10	1	3	3	8
<i>Фактор кислотности почв</i>										
Мезоацидофильная 1-я	2	6	2	7	2	7	3	9	2	5
Мезоацидофильная 2-я	4	12	5	23	5	28	10	29	11	29
Нейтрофильная	–	–	–	–	–	–	1	3	2	5
Перацидофильная 1-я	1	3	–	–	–	–	–	–	–	–
Перацидофильная 2-я	4	12	4	13	4	14	10	29	14	37
Субалкалофильная 2-я	1	3	1	3	1	3	1	3	–	–
Субацидофильная 1-я	15	45	12	40	12	41	5	15	7	18
Субацидофильная 2-я	6	18	4	13	2	7	5	12	2	5
<i>Фактор увлажнения почв</i>										
Гигромезофит	1	3	1	7	5	27	3	9	7	18
Ксеромезофит	–	–	–	–	–	–	1	3	1	3
Мезоксерофит	9	27	5	17	2	7	2	6	5	13
Мезофит	23	70	22	77	19	67	29	82	25	66

Примечание: А - число видов, Б - доля, в %.

Характеристика нижних ярусов фитоценозов различных зон

Параметр	Зона				
	1	2	3	4	5
Общая биомасса (средняя сухая масса с ошибкой, г/м ²),	629±225,4	316±68,6	250±101,7	201±42,3	329±47,3
в т.ч.: 1. мертвая часть (ветошь + опад в лесу)	57±18,6	53±14,5	23±19,0	99±29,6	174±9,1
2. живая часть:					
2.1. сосудистые растения					
2.1.1. травы	572±206,8	262±53,3	223±79,1	87±11,4	48±1,6
2.1.2. кустарники, кустарнички	0	0	0	9±0,1	73±24,2
2.2. мхи	0	2±0,8	5±3,6	6±1,3	34±12,5
Видовое богатство	34	31	42	43	47
Видовая насыщенность (0,1 м ²)	12	11	10	10	9
Общее проективное покрытие, %	95-98	90-95	(«наружная») 80-95, («внутренняя») 20-30	50-90	60-80

ду имели 3 вида трав (*Agrostis tenuis*, *Deschampsia cespitosa*, *Veronica chamaedrys*), зарегистрированные во всех зонах. Максимальные значения коэффициента участия на большей части профиля (до зоны спелого елово-берёзового леса) отмечены для *Agrostis tenuis* (табл. 3). При этом на лугу, в «предопушечной» и опушечной зонах полевика тонкая выполняла роль доминанта, а в лесных сообществах хотя и встречалась, но уступала лидирующие позиции другим видам.

Сходную тенденцию уменьшения ценотической значимости в лесных фитоценозах вплоть до полного исчезновения из состава травяно-кустарничкового яруса демонстрировали и такие наиболее постоянные и обильные на лугу травы, как *Prunella vulgaris*, *Achillea millefolium*, *Deschampsia cespitosa*, *Hypericum maculatum*, *Anthoxanthum odoratum*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*. Ряд видов: *Stellaria graminea*, *Pimpinella saxifraga*, *Taraxacum officinale*, *Trifolium pratense* и др. (всего 8) произрастали исключительно на лугу. В «предопушечной» зоне, представляющей собой экотон, не только появились кусты ивы и деревца берёзы, но и увеличились значения КУ таких видов трав, как *Ranunculus acris*, *Amaria hybrida*, *Anthoxanthum odoratum*, *Leontodon autumnalis*, *Carex pallescens*. Полоса, располагающаяся в «тени» леса, небольшая по ширине. Возможно, этим обусловлено отсутствие здесь специфических видов. В то же время переходный характер растительности этой зоны подчеркивают

виды, зарегистрированные только здесь и на лугу (*Festuca pratensis*, *Alchemilla conglobata*, *Leucanthemum vulgare*, *Galium mollugo* и др.), а также в «предопушечной» полосе и на опушке леса (*Euphrasia fennica*, *Luzula multiflora*).

Экотонный эффект прослеживался и в опушечной зоне, где увеличилось разнообразие деревьев и кустарников, присутствовали специфические травянистые растения (*Juncus filiformis*, *Carex nigra*, *Alchemilla acutiloba*, *Scirpus sylvaticus*, *Melampyrum pratense*). При сохраняющемся доминировании *Agrostis tenuis* заметную ценотическую роль играли *Deschampsia cespitosa*, *Vicia cracca*, *Veronica chamaedrys*, которые, согласно имеющимся в литературе сведениям [10, 11], достаточно хорошо развиваются под пологом лиственных деревьев. Одновременно снизились постоянство и обилие типичных представителей лугов: *Centaurea phrygia*, *Omalotheca sylvatica*, *Cerastium holosteoides*, *Rhinanthus minor*. В лесных сообществах количественное разнообразие травянистых растений практически не изменилось, однако позиции многих светолюбивых видов, в том числе *Agrostis tenuis*, ослабели, часть из них выпала из состава травяно-кустарничкового яруса. Их место заняли опушечно-полянны (*Fragaria vesca*, *Melampyrum sylvaticum*, *Solidago virgaurea*) и теневыносливые растения, типичные [16] для широколиственных и хвойно-широколиственных лесов (*Ajuga reptans*, *Stellaria holostea*, *Melica nutans*, *Asarum europaeum*), а также сооб-

Матрица значений коэффициентов сходства Съёренсена-Чекановского для фитоценозов зон модельного профиля

Зона	«Предопушечная»	Опушечная	Молодой березняк	Спелый елово-березовый лес
Луговая	0,8	0,5	0,2	0,1
«Предопушечная»	–	0,6	0,3	0,1
Опушечная	–	–	0,2	0,2
Молодой березняк	–	–	–	0,7

ществ темнохвойной тайги (*Oxalis acetosella*, *Trientalis europaea*, *Maianthemum bifolium*, *Equisetum sylvaticum*, *Dryopteris carthusiana*, *Luzula pilosa*, *Linnaea borealis*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*). В последующие два года наблюдений выявленные тенденции не изменились.

Вдоль профиля луг – лесное сообщество меняются видовой состав, разнообразие и мощность мохового покрова. На лугу изредка встречается *Rhytidiadelphus triquertus* (Hedw.) Warnst., в «предопушечной» зоне появляется *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr. Мощность мохового покрова в этих зонах невелика и составляет около 2–3 см. В зоне опушки зарегистрированы *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr., *Calliergon cordifolium* (Hedw.) Kindb, *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, в молодом березняке и спелом елово-берёзовом лесу – *Pleurozium schreberi* (Brid) Mitt., *Climacium dendroides* (Hedw.) Web. et Mohr., *Calliergon giganteum* (Schimp.) Kindb. Мощность мохового покрова здесь увеличивается до 8 см.

Изменение видового состава и ценогической роли видов травяно-кустарничкового и мохового покрова тесно связано с параметрами биомассы надземной части этих ярусов растительных сообществ. Данные укосов (табл. 8) свидетельствуют, что общая биомасса вдоль профиля снижается в два и более (до пяти) раз. При этом в лесных сообществах значительно выше, чем на лугу и в опушечной зоне доля мёртвого органического вещества. Это связано с тем, что в лесных сообществах на поверхность почвы поступают не только отмершие части трав и кустарничков, но и опад кустарников и деревьев. Одновременно снижается доля живой биомассы травянистых растений и возрастает биомасса кустарничков и мхов.

Изменение вдоль модельного профиля луг – лесное сообщество экологических условий, продуктивности нижних ярусов сообществ, качества опада обуславливают трансформацию второй важнейшей составляющей биогеоценозов – почв. Этот процесс прослеживает-

ся в морфологическом строении почвенных профилей (рис. 1) и подтверждается результатами химического анализа почвенных образцов (табл. 5).

По мере зарастания пахотных угодий, формирования луговой экосистемы и её постепенной смены лесными экосистемами происходит преобразование органогенного слоя почвы, вследствие способности травянистых и древесных растений к преобразованию условий местообитания. На начальном этапе сукцессии окультуренный пахотный слой почвенного профиля преобразуется в дерновую луговую почву. Отличительная особенность почвы лугового сообщества – наличие хорошо дифференцированного дернового горизонта, в котором сосредоточена наибольшая часть корневых систем растений. Анализ морфологии почвенных профилей других зон показывает, что при зарастании луга лиственными деревьями происходит постепенное затухание дернового процесса. В зоне «внутренней» опушки, где сомкнутость крон молодых деревьев значительная (табл. 1), дерновый горизонт в почвенном профиле выражен очень слабо. Под тонким слоем лесной подстилки формируется переходный горизонт A_0A_1 , в верхней части которого происходит накопление элементов-биогеоценозов. В этом слое, как отмечено выше, ещё прослеживаются остаточные признаки дернового горизонта. В почве под пологом молодого березняка гумусово-аккумулятивный горизонт A_1 , характерный для профиля почв под лиственными лесами, выражен уже отчетливо. Таким образом, под лиственными молодняками I–III классов возраста на смену дерновым луговым почвам приходят лесные неоподзоленные.

Отличительная черта почвенных профилей зрелого елово-берёзового лесного сообщества – наличие более выраженной (мощностью до 7 см) подстилки, состоящей не только из отмерших частей травянистых растений, но и мхов, а также опада листьев, хвои. Нижняя часть лесной подстилки минерализованная, довольно сильно гумусированная, легко отде-

ляется от минеральной толщи. В парцеллах берёзы верхняя часть подстилки разложилась в большей степени, чем под кронами ели, что, скорее всего, обусловлено составом нижних ярусов сообщества и характером опада. Специальными исследованиями установлено [12], что опад лиственных деревьев разлагается в течение более короткого периода времени, чем хвоя ели. Под подстилкой в парцеллах берёзы VI класса возраста сохраняется горизонт A_1 , но он слабее гумусирован и содержит меньшие количества основных биогенных элементов, чем в молодом березняке III класса возраста. Мощность этого горизонта в среднем составляет 5 см. В парцеллах ели морфологическое строение органогенного слоя сходно с рассмотренным выше для почвы парцеллы берёзы. При этом четко выраженный горизонт A_1 в почвенном профиле не обособлен.

Химический анализ образцов почвы показал, что органогенные горизонты почвенных профилей при продвижении в направлении от луга к лесным сообществам демонстрируют тенденцию к подкислению. Ещё одной особенностью почв на отрезке модельного профиля «наружная опушка» – спелый берёзово-еловый лес является аккумуляция большей части элементов-биогенов в грубогумусовом слое (горизонты A_0, A_0A_1). В дерновых луговых почвах распределение элементов-биогенов по почвенному профилю более равномерное. Черты подзолообразовательного процесса, типичного для почв коренных таежных лесов, в спелом елово-берёзовом лесу не прослеживаются даже в парцеллах ели. Формирование подзолистого горизонта при восстановительной сукцессии будет происходить значительно позже, после того как в лесной экосистеме произойдут количественные изменения в структуре растительного сообщества, накоплении отмершего растительного материала определенного качества и преобразовании биологического круговорота органического вещества.

Таким образом, вдоль модельного профиля, отражающего разные стадии сукцессии при формировании лесного сообщества на месте луга, происходит изменение структуры и состава растительных сообществ (ярусного строения, видового богатства и насыщенности, соотношения жизненных форм и экологических групп видов, общего проективного покрытия и биомассы надземной части, ценотической роли отдельных видов в нижних ярусах сообществ), строения и химического состава верхних (органогенных) горизонтов почв. Основные компоненты биогеоценоза – фитоценоз и

почва приобретают строение, типичное для лесного сообщества, к моменту достижения древостоем возраста 30 лет. При этом изменения в почвенном покрове происходят медленнее, чем в растительности. Это подтверждают данные, полученные другими исследователями [12].

Авторы благодарят сотрудников аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН за помощь при проведении химических анализов почвенных образцов. Авторы признательны д.б.н. И.Б. Арчеговой за консультации при интерпретации описаний морфологического строения почвенных профилей и результатов химического анализа почвенных образцов.

Литература

1. Почвы и земельные ресурсы // О состоянии окружающей природной среды Кировской области в 2005 г. (Региональные доклады). Киров, 2006. С. 44-59.
2. Ипатов В.С. Описание фитоценоза. СПб, 1998. 151 с.
3. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л.Г. Раменский, И.А. Цаценкин, О.Н. Чижиков, Н.А. Антипин. М., 1956. 472 с.
4. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. 197 с.
5. Заугольнова Л.Б., Быховец С.С., Баринов О.Г., Барина М.А. Верификация балловых оценок местообитания по некоторым параметрам среды // Лесоведение. 1998. № 5. С. 48-58.
6. Дёгтева С.В., Ипатов В.С. Сероольшаники северо-запада РСФСР. Л., 1987. 252 с.
7. Миркин Б.М. Теоретические основы современной фитоценологии. М., 1985. 137 с.
8. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л., 1984. 288 с.
9. Лаптева Е. М., Дёгтева С. В., Таскаева А. А., Хабибулина Ф. М. Трансформация почв и растительности в процессе зарастания пойменных лугов таежной зоны // Освоение Севера и проблемы природовосстановления: Докл. V Международной конференции. Сыктывкар, 2002. С. 66-76.
10. Дёгтева С.В., Железнова Г.В., Пыстина Т.Н., Шубина Т.П. Ценотическая и флористическая структура лиственных лесов европейского Севера. СПб., 2001. 269 с.
11. Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботан. журн. 1969. Т. 54, № 7. С. 1002-1014.
12. Посттехногенные экосистемы Севера. СПб., 2002. 159 с.

Состояние сосновых древостоев в условиях распределённого влияния осадков

© 2008. А.В. Кузьмин, Е.Ю. Полоскова, О.М. Распопов, Л.И. Кузьмина, О.А. Гончарова
Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН,
Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,
ионосферы и распределения радиоволн РАН

На основе использования дендрэкологического подхода и метода построения соответствий проведена оценка влияния осадков на формирование годичных радиальных приростов. Определена структурная гетерогенная организация модельных сосновых древостоев в поле влияния данного фактора воздействия. Выявлены географические тренды восприимчивости насаждений и доказана максимальная чувствительность главного элемента притундровых лесных экосистем.

Estimation of precipitation influence on annual radial increments is carried out on the basis of dendroecological approach and method of correspondences construction. Structural heterogenic organization of model pine stands under the influence of the above mentioned factor of precipitation is determined. Geographic receptivity trends of the plantings are found out and the maximal sensitivity of the main element of pre-tundra forest ecosystems is proved.

Исследования, характеризующие влияние температуры воздуха на рост древесных пород, к настоящему времени представляют собой достаточно обширный перечень [1]. Для эффективного решения задач управления природными территориями и обеспечения экологического баланса наиболее важным направлением является идентификация влияния ведущих климатических факторов в пространственном и временном масштабах. В настоящей работе проводится анализ влияния осадков на формирование годичных радиальных приростов (ГРП) сосновых насаждений; значимость осадков рассматривается на различных временных интервалах. Существенное значение для формирования ГРП в отдельных случаях имеют годовые (суммарные и средние) величины осадков [2, 3], ряд авторов отмечает определяющее положительное влияние осадков на развитие ГРП в период вегетации, некоторыми исследователями представлен феномен существенного влияния осадков на рост главных лесообразующих пород в переходные периоды (весна, осень) [2 – 5].

Используя представленный ранее исследовательский опыт, и в соответствии с актуальностью рассматриваемой предметной области в настоящей работе формулируются следующие основные задачи:

1. Идентификация существенных временных интервалов влияния осадков на ход роста модельных древостоев для каждой породы деревьев.
2. Описание групповых эффектов реагирования элементов древостоя в поле влияния указанного фактора воздействия.

3. Определение степени восприимчивости различных географических типов лесов к воздействию осадков.

Объекты и методы

С целью решения представленных выше задач в Мурманской области, территория которой – удобный модельный объект, по меридианальному направлению выбраны три экспериментальные площади, представляющие собой географическую трансекту от континентальных лесов к притундровым протяженностью около 400 км с запада на восток (рис. 1). Рассматриваемые локальные лесные экосистемы находятся на расстоянии, не превышающем 10 км от населённых пунктов Алакуртти, Умба, Кашкаранцы, в которых ведутся метеорологических наблюдения.

Из всей совокупности пробных площадей, расположенных в южном секторе Кольского региона, выбраны древостои, имеющие максимальное сходство по основным характеристикам преобладающей породы (табл. 1). Кроме того, используемые насаждения не имеют существенных различий по форме поверхности рельефа, поскольку данный фактор достоверно влияет на структуру древостоя. Возвращаясь к таблице 1, следует отметить, что представленные средние арифметические значения основных параметров исследуемых локальных древостоев вычислены достаточно точно. Об этом свидетельствуют низкие значения стандартной ошибки, приведённые для каждой средней величины. В сравнительном аспекте по комплексу параметров, представлен-

ных в таблице 1, модельные насаждения относительно однородны, исключение составляет диаметр ствола на площади № 2.

Типологическое описание исследуемых локальных лесных массивов выглядит следующим образом.

Модельная площадь № 1. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С, тип леса – лишайниково-сфагновый. Подрост – сосна (группами), ель (группами), подлесок – берёза, ива (группами), жимолость (единично).

Модельная площадь № 2. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С, тип леса – лишайниково-вороничный. Подрост – сосна (обильно), ель (единично), подлесок – берёза (единично).

Модельная площадь № 3. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С+Е, тип леса – сфагново-вороничный. Подрост – сосна (группами обильно), ель (редко), подлесок – можжевельник (единично).

На основании представленных описаний можно сделать заключение, что выбранные модельные насаждения занимают достаточно близкие позиции по набору используемых характеристик.

Представленные ранее модельные площади с точки зрения параметрического описания характеризуются следующим образом. В пределах каждого компактного древостоя для сбора эмпирической информации использовались 30 деревьев, расположенных в непосредственной близости. Индивидуальный древесный организм главного элемента леса метрически представлен набором параметров: высота (H), диаметр ствола на высоте груди (D), класс возраста (A). Для каждого из учтённых деревьев буравом Пресслера собраны образцы древесных кернов, измерение которых с точностью до 0,01 мм проводилось с использованием автоматизированной системы телеметрического анализа [6]. Сформированный параметрический комплекс в сочетании с характеристиками модельных объектов являются достаточно точной эмпирической основой для решения поставленных исследовательских задач.

Количественный анализ исходных данных основан на применении стандартных статистических методов [7, 8]. Кроме того, для определения существенных интервалов воздействия на развитие главных лесобразующих пород использован специально разработанный алгоритм. Данный подход основан на построении интервальных соответствий между независимыми и зависимыми параметрами [9]. В результате для каждого дерева определяется временной интервал с градацией в один месяц, на про-

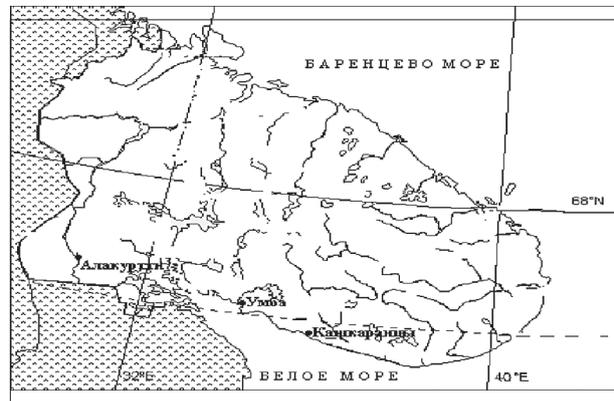


Рис. 1. Схема расположения модельных площадей

тяжении которого факторы воздействия влияют существенно на формирование размеров годичного радиального прироста. Идентификация существенных интервалов (СИ) в данном случае проводится с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). В рассмотрение включаются только значимые величины указанного коэффициента в пределах от -1 до +1, достоверность определялась на основе доверительных интервалов, не превышающих стандартный уровень 0,05.

Результаты и обсуждение

На основе использования метода идентификации существенных интервалов [1] эмпирической базы, представленной многолетними рядами ГРП и осадками определены временные отрезки, с градацией в один месяц значимого влияния осадков. Указанные существенные интервалы (СИ) вычислены для каждого дерева модельной площади.

На рисунках 2–4 ось X представляет собой годичный период, дифференцированный по месяцам, ось Y соответствует суммарному количеству существенных интервалов. В итоге для каждого месяца отмечено количество деревьев, положительно (P) и отрицательно (N) реагирующих на влияние исследуемого фактора. Полиномиальные аппроксимации используются для определения трендов.

Таблица 1

Основные характеристики главного элемента леса на модельных площадях

№ площади	Класс возраста (A)	Высота (H) ствола, м	Диаметр (D) ствола, см
1	8±0,3	12,5±0,4	21,2±1,1
2	9±1,0	14,1±0,5	29,1±1,7
3	9±0,3	12,5±0,4	20,2±1,0

Примечание: приведены средние значения и их стандартные ошибки

Средние многолетние значения осадков

№ п.л.	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12,0±1,78	9,4±2,0	9,7±1,9	10,5±1,9	11,8±2,5	18,9±3,7	23,5±4,2	21,9±3,9	20,5±3,0	17,2±2,7	15,0±1,9	12,6±1,74
2	9±1,4	7,1±1,1	7,2±1,31	7,9±1,4	10,0±2,8	14,7±2,8	15,9±3,2	23,3±4,4	20,3±3,02	18,4±3,05	13,4±1,5	10,7±1,4
3	7,2±1,2	5,7±0,8	6,8±1,12	7,4±1,34	9,3±2,2	11,8±2,2	15,1±2,7	19,7±3,14	18,1±2,65	17,8±2,87	12,4±1,67	8,2±1,20

На экспериментальной трансекте (рис. 1) наиболее западным пунктом, представляющим континентальные леса, является модельный древостой, расположенный в районе населённого пункта Алакуртти. Данный модельный объект (МО 1) в течение годового периода аккумулирует 47 СИ, из которых 21 имеют положительное значение и 26 отрицательное, количество деревьев, независимых от воздействия осадков составляет 13%.

Диаграмма количественного участия элементов древостоя в формировании годичных радиальных приростов для МО 1 представлена на рисунке 2. Рассмотрим ординированный в порядке уменьшения значимости ряд месяцев по количеству СИ прямо пропорционального действия.

$$2(4), 6(4), 10(4), 11(3), 5(2), 1(1), 4(1), 7(1), 9(1), 3(0), 8(0), 12(0) \quad [1]$$

В представленном ряду первая цифра соответствует порядковому номеру месяца, в скобках указано число существенных интервалов. Рассматривая запись первую (Д1), можно сделать заключение, что максимальное положительное воздействие осадков отмечается в периоды: февраль (19%), май – июнь (29%), октябрь – ноябрь (33%). Общая величина сгруппированных интервалов – 81%. В первом и третьем случае осадки выпадают в виде снега, а во втором –

в виде дождя. Очевидно, что в данном случае определяется преобладание снежных осадков. Сравнительный анализ с абсолютными значениями средних величин осадков (табл. 2) позволяет констатировать минимальное количество СИ (1) в период максимального количества летних осадков (июль, август).

Рассматривая полиномиальную кривую на рисунке 2, можно сделать утверждение, что выполненная аппроксимация достаточно точно описывает исходный временной ряд существенных интервалов.

Кривая, представленная на рисунке 2, включает три максимальных (февраль, июль, ноябрь) и два минимальных (апрель, сентябрь) экстремума. Тренды в пределах годового цикла выглядят следующим образом: февраль – апрель (уменьшение СИ), апрель – июнь (увеличение СИ), июнь – сентябрь (уменьшение СИ) и сентябрь – ноябрь (увеличение СИ). Таким образом, минимальная значимость прямо пропорционального действия осадков приходится на начало весны и окончание лета.

Аналогичная краткая запись (Д 2) отрицательных СИ по осадкам (О) для МО 1 имеет следующий вид.

$$2(5), 3(5), 10(4), 6(3), 9(3), 12(2), 1(1), 5(1), 8(1), 11(1), 4(0), 7(0) \quad [2]$$

В данном случае максимальное отрицательное воздействие осадков (38%) отмечается в феврале и марте. Далее следует октябрь и сентябрь (27%). В суммарном выражении данные интервалы составляют – 65%. Сопоставление полученных результатов со средними многолетними данными (табл. 2) позволяет определить, что максимальное количество отрицательных СИ совпадает с периодом минимального количества осадков (февраль, март). Полиномиальная кривая существенных интервалов обратно пропорционального действия (рис. 2N) содержит два максимальных экстремума (2-3, 9-10 месяца) и один минимальный (5-6 месяц). Соответственно, тренды можно представить следующим образом. Январь – февраль (увеличение), февраль – май (уменьшение), май – октябрь (увеличение). На основании представленных тенденций можно

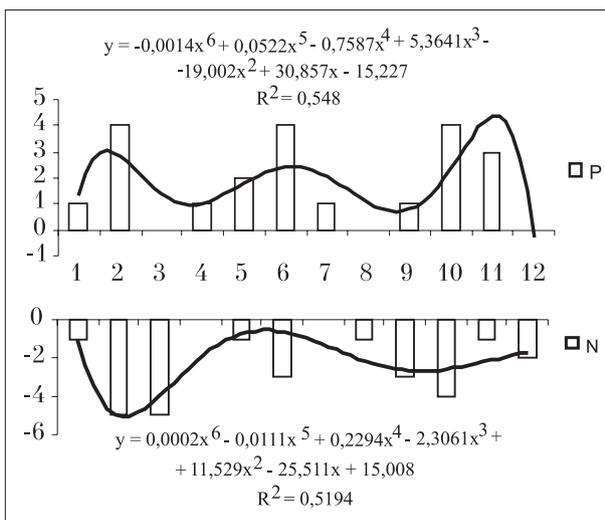


Рис. 2. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП под воздействием осадков (Алакуртти)

сделать заключение, что минимальная значимость обратно пропорционального действия осадков отмечается во второй половине весны и второй половине лета.

В завершении оценки влияния осадков на формирование ГРП в районе Алакуртти можно сделать заключение, что в первом случае суммарное влияние (от количества +СИ) указанных месяцев составляет 57%, во втором (от количества -СИ) 46%. Объединяя прилегающие по времени интервалы (по +СИ и -СИ), можно определить временные периоды максимального воздействия осадков на формирование годичных радиальных приростов, таковыми являются: сентябрь – ноябрь (34%), февраль – март (30%), май – июнь (21%). В данном случае пересчет проводился на общее количество СИ (47) для данной модельной площади. В суммарном выражении выявленные периоды составляют 85% от общего влияния осадков на формирование ГРП.

Следующим модельным объектом в восточном направлении от Алакуртти является древостой, расположенный в непосредственной близости от населенного пункта Умба (рис. 1). Общее количество существенных интервалов для МО 2 равно 47, из которых 24 – положительных и 23 – отрицательных. Количество независимых от влияния осадков деревьев составляет 23%. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП в поле влияния осадков для МО 2 представлена на рисунке 3. Как и в предыдущем случае на МО 1 рассмотрим ординированный по количеству СИ ряд (Д 3) в части прямо пропорционального воздействия (рис. 3Р).

6(7), 4(3), 5(3), 7(3), 8(2), 10(2),
12(2), 3(1), 9(1), 1(0), 2(0), 11(0) [3]

Здесь уже можно говорить о существенно ином характере проявления +СИ в течение года. В группе лидирующих месяцев сохраняется только июнь. При этом отмечается значимое увеличение СИ в данный период. Распределение существенных интервалов имеет более интегрированный характер: летние месяцы (6-8) – 50%, весенние (4-5) – 25% от количества +СИ (24). Общий вклад указанных временных интервалов равен 75%. Период действия положительных температур для района п. Умба включает май – октябрь. На данном модельном объекте отмечается явное преобладание осадков в виде дождя. Сопоставление динамики количественного участия (рис. 3Р) и абсолютных значений осадков по месяцам (табл. 2) не позволяет выявить объективной количественной значимости осадков.

Полиномиальная кривая (рис. 3Р) характеризуется одним максимальным экстремумом

(июнь) и двумя минимальными (февраль, октябрь). В данном случае тренды выглядят достаточно просто: февраль – июнь (увеличение), июнь – октябрь (уменьшение) влияния осадков на формирование ГРП, следовательно, осадки оказывают минимальное положительное воздействие зимой и осенью.

Проведем анализ кратной записи (Д 4), представляющей собой характеристику значимости СИ в отрицательной части для МО 2.

11(4), 2(3), 10(3), 3(2), 6(2), 7(2),
8(2), 9(2), 1(1), 4(1), 12(1), 5(0) [4]

Как видно из краткой записи Д4, отрицательные СИ имеют более равномерно распределенный характер. Тем не менее, представляется возможным установить следующие значимые периоды, октябрь – ноябрь (30%) и февраль – март (22%). В суммарном выражении указанные месяцы составляют 52% от общего количества существенных интервалов (23) обратно пропорционального действия на МО 2. На основе сравнительного анализа ранжированного ряда Д 4 и средних значений О (табл. 2) можно сделать заключение, что количество СИ в отрицательной части не связано с абсолютными значениями осадков по месяцам.

Используя соответствующую МО 2 полиномиальную аппроксимацию (рис. 3Н), можно установить характерные временные изменения и тренды. В данном случае отмечается два максимальных экстремума (2 и 11 месяцы) и один минимальный (4 – 5 месяцы). Тренды в течение годового цикла слагаются следующим образом. Январь – февраль (увеличение), февраль – май (уменьшение), май – ноябрь (увеличение). Следовательно, минимальная значимость обратно пропорционального влияния осадков является характерной для второй половине весны.

Относительно интегрированный характер количества СИ прямо пропорционального и обратно пропорционального действия в приложении к МО 2 отмечается для июня – июля и составляет 30% от общего количества существенных интервалов. В целом можно отметить, что для модельного древостоя, расположенного в районе населенного пункта Умба, суммарное распределение (+СИ и -СИ) имеет достаточно плавный характер.

Заключительным пунктом экспериментальной трансекты (рис. 1) в восточном направлении является модельный древостой, представляющий собой притундровые леса, расположенный в районе п. Кашкаранны (МО 3). Общее количество СИ для данного объекта составляет 56, из них положительных – 33, отрицательных – 23, доля независимых от влияния осадков деревьев в составе древостоя составляет 20%.

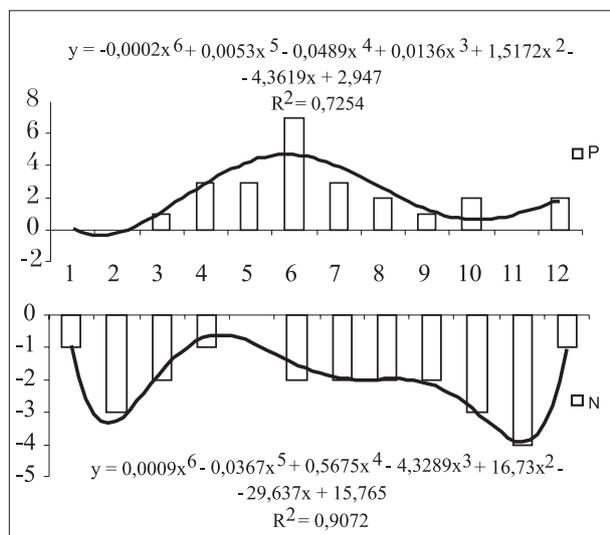


Рис. 3. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП под воздействием осадков (Умба)

По аналогии с ранее рассмотренными модельными древостоями проведём анализ динамики количественного участия элементов насаждения в формировании ГРП под воздействием осадков для МО 3 (рис. 4Р). Соответствующий ординированный ряд выглядит следующим образом в части прямо пропорционального воздействия

$$6(7), 8(7), 2(4), 9(4), 7(3), 12(3), 4(2), 1(1), 3(1), 5(1), 10(0), 11(0) \quad [5]$$

Максимальная интеграция существенных интервалов, как видно из рисунка 4Р, отмечается в летние месяцы и начало осени (6-8, 9) и составляет 64% от количества +СИ (33), в феврале 12%, в суммарном выражении 70%. В соответствии с многолетними данными летние осадки для рассматриваемого района отмечаются в период с мая по октябрь. На данном модельном объекте отмечается преобладание осадков в виде дождя. Сравнительный анализ количественного участия осадков в формировании ГРП и абсолютных значений данного параметра (табл. 2) позволяет установить устойчивые совпадения: февраль (минимум), июнь – сентябрь (максимум).

Полиномиальная кривая (рис. 4Р) количественного участия элементов древостоя включает два максимальных экстремума (февраль, июль) и два минимальных (март, ноябрь). Последовательность трендов на устойчивых временных интервалах выглядит следующим образом: февраль – апрель (уменьшение), апрель – июль (увеличение), июль – ноябрь (уменьшение). Таким образом, минимальное влияние осадков на формирование годичных радиальных приростов отмечается весной и осенью.

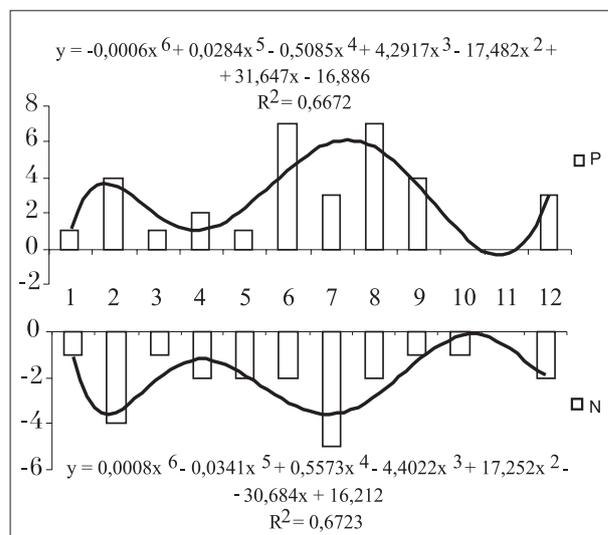


Рис. 4. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП под воздействием осадков (Кашкаранцы)

Краткая запись Д 6 обратно пропорционального влияния осадков на МО 3 имеет следующий вид.

$$7(5), 2(4), 4(2), 5(2), 6(2), 8(2), 12(2), 1(1), 3(1), 9(1), 10(1), 11(0) \quad [6]$$

Объединенные по времени периоды максимального проявления существенных интервалов имеют следующий состав: июнь – август (39%) и февраль (17%) от суммы -СИ (23%). В суммарном выражении интегрированные существенные интервалы обратно пропорционального воздействия осадков на формирование ГРП составляют 56% от общего количества отрицательных СИ. Соотношение летних и зимних осадков имеет вид 13:10, что свидетельствует о незначительном преобладании первых. Представленные периоды объединенного влияния осадков и соответствующие абсолютные величины осадков (табл. 2) как и в случае с положительными СИ, выявляют максимальные воздействия в феврале при минимальных абсолютных значениях и июне – сентябре при максимальных значениях.

Полиномиальная аппроксимация отрицательных СИ для модельного древостоя в районе Кашкаранцев (рис. 4N) практически симметрична кривой +СИ (рис. 4Р) относительно оси X, рассматривая рисунок 4N, можно обнаружить два максимальных экстремума (февраль, июль) и два минимальных (апрель, октябрь). Тренды по соответствующим временным интервалам можно представить следующим образом: февраль – апрель (уменьшение), февраль – июль (увеличение), июль – октябрь (уменьшение), октябрь – декабрь (увеличение). Таким образом, минимальная значи-

мость обратно пропорционального влияния осадков в данном случае определяется весной и осенью.

Сопоставление кратких записей Д5 и Д6 позволяет определить временные интервалы максимального совместного положительного и отрицательного влияния осадков на формирование годичных радиальных приростов. Таковыми являются: июнь – август и февраль. В указанный летний период суммарное количество существенных интервалов (+СИ и - СИ) составляет 46% от общей суммы СИ (56), установленный для данного модельного древостоя. Февраль имеет соответствующий вклад в размере 14%. В суммарном выражении выявленные периоды интеграции существенных интервалов составляют 70%.

Возвращаясь к исследуемым объектам (рис. 1), проведём сопоставление МО 1, МО 2 и МО 3 по комплексу характеристик в направлении с запада на восток по мере приближения к границе леса. Общее количество существенных интервалов в указанном ранее порядке составляет 47-47-56. В первых двух случаях (МО 1, МО 2) суммарное количество СИ превышает число модельных деревьев на 57%, в третьем (МО 3) на 87%. Следовательно, во всех модельных древостоях существуют группы деревьев с несколькими существенными интервалами реагирования на воздействие осадков. Количество независимых от влияния осадков деревьев (НД) определяется следующим набором 4-7-6 в аналогичном порядке. Исключая НД из общего числа модельных деревьев на пробной площади, и выполнив пересчет суммы СИ на количество реагирующих древесных организмов, получает следующие превышения существенных интервалов: 81%, 104%, 133%. Следовательно, можно сделать заключение, что по мере приближения к границе леса общее удельное влияние осадков на формирование годичных радиальных приростов увеличивается. Полученный результат хорошо согласуется с распределением средних многолетних величин осадков, абсолютные значения которых уменьшаются по экспериментальной трансекте в направлении с запада на восток (табл. 2).

Вклад прямо пропорционального влияния осадков в формирование годичных радиальных приростов (от общего числа СИ) для МО 1 – МО 2 – МО 3 представлен следующим рядом: 45%, 51%, 59%. В аналогичном порядке обратно пропорциональное влияние осадков характеризуется данной последовательностью удельных весов: 55%, 49%, 41%. На основании представленных двух ординаций можно сделать заключение, что по мере приближения к границе

леса положительное влияние осадков на формирование ГРП увеличивается, а отрицательное уменьшается.

Заключение

Для южной части Кольского региона максимальное общее влияние осадков, без разделения по знаку, отмечается в июне и феврале. В первом случае данный эффект можно объяснить минимальным количеством осадков в виде дождя, во втором – минимумом снежных осадков. Минимальное влияние осадков по всей экспериментальной трансекте фиксируется в январе и мае. Интересно отметить, что обобщенные минимумы непосредственно предшествуют максимумам. Данные результаты по уровню обобщения репрезентативны на уровне географического района и представляют собой теоретическую основу для разработки эффективных многоцелевых схем ведения хозяйства на лесных территориях.

Литература

1. Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Кузьмина Л.И. Структура временной детерминации роста соснового древостоя комплексом метеорологических факторов // Успехи современной биологии. 2004. Том 124. № 4. С. 390-396.
2. Пугачев П.Г. Динамика годичного прироста сосны обыкновенной в Тургайской впадине в связи с климатическими факторами // Бот. журнал. 1975. Т. 60. № 3. С. 401-412.
3. Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на рост сосны в южной Карелии // Лесоведение. 2004. № 5. С. 73-74.
4. Забуга В.Ф., Забуга Г.А. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной от факторов внешней среды в лесостепи Предбайкалья // Лесоведение. 2003. № 5. С. 73-74.
5. Шпалте Э.П. Влияние метеорологических факторов на радиальный прирост сосны в Латвийской ССР // Лесоведение. 1978. № 3. С. 11-18.
6. Кузьмин А.В., Олейник А.Г., Олейник О.В., Зотов А.И. Автоматизированная система телеметрического анализа древесных кернов // Экология. 1989. № 3. С. 79-80.
7. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
8. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
9. Кузьмин А.В., Кузьмина Л.И., Полоскова Е.Ю. Структурная организация и потенциальная устойчивость интродуцированных насаждений *Larix sibirica* Ledeb. в условиях Кольского региона // Растительные ресурсы. 2004. Т. 40. Вып. 1. С. 18-28.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 06-04-48792).

Ретроспективный анализ уровня социально-экономического развития и структуры природопользования Европейского Севера России

© 2008. Н.Б. Седова¹, Е.Ю. Кочемасова²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

²Министерство экономического развития России

Проведён ретроспективный анализ уровня социально-экономического развития и структуры природопользования Мурманской и Архангельской областей с конца XIX века и по настоящее время. Несмотря на сходство исторического развития, Мурманская область отличается более высоким уровнем развития на современном этапе.

A retrospective analysis of social-economic development and structure of nature management of Murmansk and Arkhangelsk regions since the end of 19-th century till nowadays was carried out. The regions have similar history of development, still Murmansk region is distinguished by a higher level of development as for now.

Вопросам социально-экономического развития и проблемам природопользования Европейского Севера России в настоящее время уделяют повышенное внимание в связи с освоением богатых природных ресурсов данного региона. Для поиска решений современных проблем эффективно применение ретроспективного анализа, учитывающего опыт предыдущих поколений.

Нами был проведён сопряжённый ретроспективный анализ социально-экономического развития и структуры природопользования Европейского Севера России на примере Мурманской и Архангельской областей с конца XIX века и по настоящее время. Анализ социально-экономического развития проводился по схеме, разработанной для всех регионов России, представленной на рисунке 1.

Ретроспективный анализ структуры природопользования направлен на изучение традиционных способов природопользования прошлого, эволюции социально-экономических отношений для поиска разрешения конфликтов природопользования и оптимизации его структуры. Анализ формирования структуры природопользования основан на разработанной нами структуре природопользования, представленной на рисунке 2.

В результате такого сопряжённого анализа возможно выявление взаимосвязи структуры природопользования и уровня социально-экономического развития изучаемого региона.

Российская Империя во второй половине XIX века позднее многих европейских стран и США вступила на путь реформ, направленных на формирование многоукладной экономики и капиталистических рыноч-

ных отношений, и проводила их в более сжатые сроки. В этот капиталистический период в России были осуществлены крупные социально-экономические преобразования: отменено крепостное право; проведена крестьянская реформа; осуществлён переход от крестьянской к промышленной цивилизации; создана инфраструктура рыночных отношений; начато хозяйственное освоение новых, богатых природными ресурсами, территорий.

Эти преобразования стали предпосылками к изменению структуры природопользования и на Европейском Севере в конце XIX – начале XX веков. После крестьянской реформы отмечалось увеличение миграционного движения. Запрещение вольных запашек в притаёжной полосе, увеличение налогов и распродажа лесных участков по рекам лесопромышленникам поставили крестьян-поморов в трудное положение и стимулировали их отход в Петербург, Москву и другие города, а также на лесоразработки и сплавы [3]. Государство не было заинтересовано в дальнейшем расширении крестьянского землевладения, что привело в конце XIX века к спаду в сельском хозяйстве Архангельской и Мурманской областей.

Важную роль для коренных жителей Севера (преимущественно малочисленных народов Севера – саамов, ненцев) продолжало играть традиционное природопользование, особенно на фоне кризиса в сельском хозяйстве и экономике. Под традиционным природопользованием мы понимаем исторически сложившийся тип хозяйственной деятельности, максимально адаптированный к местным условиям природной среды и составля-



Рис. 1. Схема ретроспективного анализа социально-экономического развития регионов России [1, 2]

ющий основу традиционной культуры и образа жизни населения [4]. Таким занятием для коренных народов было и оставалось оленеводство. До начала XX в. они сохраняли основные черты традиционного природопользования в своей жизнедеятельности.

Поморы же занимались преимущественно промыслами и ремеслами. Анализ исторических карт показал, что на территории Архангельской губернии в середине XIX века существовали разнообразные промыслы и ремесла: рыбный и пушной, добыча соли, дегтярный и кожевенный. Также развивались отдельные производства: деревообработка и судостроение; появлялись лесопильные, пековаренные, салотопенные, пищебумажные и свечносальные заводы [3], развивалось изготовление льняных изделий, сахарное, канатное, красильное, кирпичное, водочное производство.

Наравне с экономическими проблемами на данном историческом этапе освоения территории появились и первые экологические (природно-ресурсные) изменения. Запасы речного жемчуга были истощены, вероятно,

уже в XIX в., ресурсы пушнины – в начале XIX в., солеварение прекратилось в начале XVIII в., когда местный рынок завоевала дешёвая привозная соль. Производительность рыбных и других промыслов стала резко падать вследствие чрезмерной эксплуатации биоресурсов.

В целом до начала XX в. природопользование на Севере России носило экстенсивный характер, базовыми направлениями которого являлись оленеводство, различные промыслы, охота, рыбная ловля, ограниченные лесозаготовки, судостроение и другие производства.

По комплексной оценке уровня социально-экономического развития в капиталистический период Архангельская и Мурманская области могут быть отнесены к группе регионов с уровнем развития ниже среднероссийских значений. Торгово-промышленная бойкость областей была высокой и составляла около 340 рублей на человека (8 место среди регионов России), но показатели густоты расселения населения, количество работающих в земледелии, уровень образования ос-

тавались крайне низкими. Такой невысокий уровень развития территории связан с преобладанием традиционного и сельскохозяйственного природопользования, которые развивались в условиях сурового климата и относительно малой населённости региона, слабого развития промышленности, транспорта. Одновременно с этим наблюдалось истощение биологических ресурсов и появление первых экологических проблем.

После октябрьской революции 1917 г. и завершения гражданской войны в советский довоенный период в России, в том числе и на Севере, была установлена государственная монополия практически на все виды хозяйственной деятельности. Были ликвидированы капиталистические рыночные отношения, установлены режим централизованного планирования и директивные методы руководства. Государство установило полный контроль над развитием экономики и социальной сферы. В 1920–1930-е годы Советский Союз стал индустриальным государством благодаря проведению жесткой монополистической политики. В эти годы: была сформирована система новых производственных отношений, базирующаяся на общественной собственности на средства производства; создана новая материально-техническая база, состоящая из оснащённого современной техникой крупного

машиностроения; в хозяйственную деятельность были вовлечены все имеющиеся трудовые ресурсы, в большинстве состоящие из пришлого населения; дальнейшее развитие получили периферийные районы Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Проведение такой политики не могло не сказаться на структуре природопользования. Изменениям также предшествовало развитие транспорта, в первую очередь железной дороги, и появление новых населённых пунктов, что и предопределило новый этап в хозяйственном освоении территории.

В советский довоенный период в Архангельской и Мурманской областях структура природопользования формировалась на основе интенсивного освоения биологических и минеральных ресурсов, в результате чего в рассматриваемых регионах, наравне с уже имеющимися типами природопользования, появились новые. В первую очередь это связано с появлением крупноочагового промышленного природопользования, основу которого составили предприятия по добыче и переработке минерального сырья. В этот же период получили дальнейшее развитие и ранее существующие отрасли хозяйства, в частности, лесная, рыбная и пищевая промышленность. В это же время стали появляться новые промышленные посёлки, переросшие в дальнейшем в города, часто использовав-

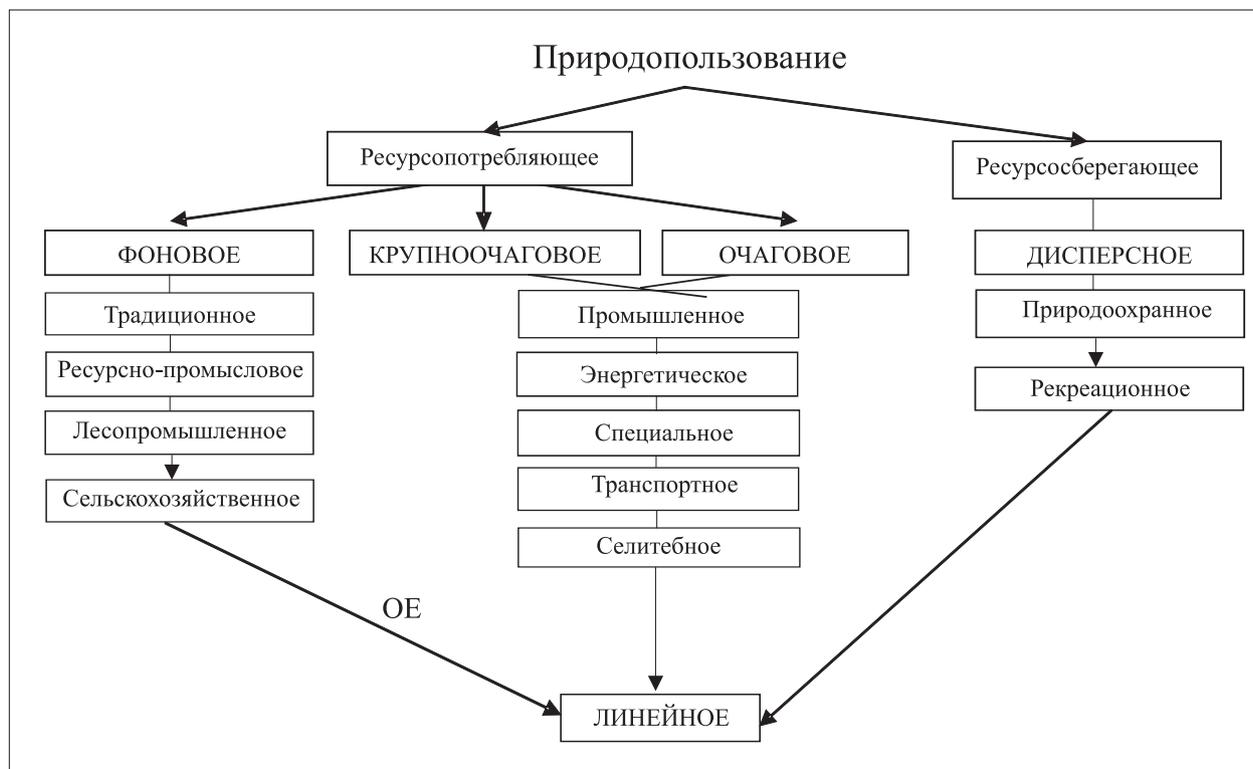


Рис. 2. Структура природопользования

шие даровую рабочую силу, не платившие за пользование ресурсами, что значительно сокращало затраты производства. Дальнейшее развитие получили и уже существовавшие посёлки и города региона. Освоение Севера проводилось методом и средствами, разработанными и широко используемыми в более южных районах страны, не адаптированных к северным условиям. Стимулировался приток рабочей силы в регион, что потребовало развития соответствующей инфраструктуры, усиливающей нагрузку на природную среду.

Получило дальнейшее развитие и сельское хозяйство в Архангельской области. Для обеспечения промышленного населения стало энергично развиваться сельское хозяйство и в Мурманской области. Там при крупных промышленных объектах появились свои хозяйства, обеспечивающие население продовольствием. Однако всё равно сохранялась необходимость завоза продовольствия.

Резкие перемены настали в жизни коренных малочисленных народов. Начавшаяся в 30-е годы коллективизация объединила саамов, коми, ненцев, русских в единые колхозы. Однако коллективизация не принесла желаемых плодов и поголовье оленей стало заметно уменьшаться. По мере ухудшения экономического положения коренные жители снова активно занялись собирательством, рыболовством и охотой.

Расширение промышленного производства, интенсивное развитие сельского хозяйства, строительство новых населённых пунктов, развитие транспортной сети способствовало повышению уровня социально-экономического развития территории в советский довоенный период. По данным комплексной оценки уровня социально-экономического развития Архангельская и Мурманская области отнесены к группе наиболее развитых регионов. Валовая продукция промышленности в этих областях составляла около 530 руб. на человека в ценах 1926–1927 г., в целом по России ее значения составляли 850 руб. на человека. Розничный товароборот государственной и кооперативной торговли в 1940 г. составил около 2000 руб. на человека, что соответствовало среднероссийским значениям. Развитие в областях крупноочагового природопользования положительно сказалось на экономическом развитии территории.

Одновременно с позитивными моментами реорганизации структуры природопользования в этот период возникают экологические проблемы, связанные с отторжени-

ем значительных площадей под различные промышленные, военные и сельскохозяйственные объекты, населённые пункты, транспортную сеть, отмечается загрязнение и деградация природной среды. Это вызвало необходимость создания сети охраняемых территорий для сохранения естественных ландшафтов и явилось основой для появления в 30-х годах ещё одного, принципиально нового типа природопользования – природоохранного. Так были организованы первые заповедники – Кандалакшский и Лапландский.

В годы Второй мировой войны и послевоенный период меняется география промышленности России. Во всех отраслях народного хозяйства вводятся новые заводы, комплексы, которые оснащаются современной техникой. Меняется система расселения населения. В результате, практически во всех российских регионах произошли изменения в социально-экономическом развитии.

В рассматриваемом регионе война 1941–1945 годов задержала экономическое развитие Архангельской и Мурманской областей: произошел спад во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства, за исключением картофелеводства в Архангельской области. В послевоенный советский период хозяйственное освоение Севера, начатое в 30-е годы, продолжилось. Преимущественное развитие получили лесная и горнодобывающая промышленность. С конца 50-х начался процесс концентрации производства.

Продолжалось создание новых посёлков и развитие недавно созданных городов. В результате на севере остались крупные лесопромышленные и горнодобывающие и перерабатывающие посёлки и сельскохозяйственные селения колхозного и совхозного типа на базе традиционных деревень и сёл. Тем не менее, в отличие от других районов государства, русские деревни Севера сохранили относительно малые размеры и очаговое размещение, так как они были «привязаны» к небольшим массивам земель, пригодным для ведения сельского хозяйства.

С 60-х годов развивается важный, принципиально новый вид природопользования – рекреационный. Развитию рекреации способствовали такие факторы, как экономический рост, повышение благосостояния населения, увеличение свободного времени у занятых в народном хозяйстве, развитие дорожной сети. К 1985 г. большинство крупных предприятий имели санатории-профилакто-

рии и базы отдыха. Было построено большинство существующих ныне баз отдыха, туристских гостиниц и других рекреационных объектов, функционировали всесоюзные туристские маршруты, были открыты горнолыжные трассы.

Следует отметить, что хотя темпы социально-экономического развития Архангельской и Мурманской областей были значительны, но тем не менее они существенно уступали развитию других развитых регионов России таких, как Свердловской, Челябинской, Кемеровской, Саратовской, Новосибирской, Омской областей, Алтайского и Красноярского краев, Татарской и Башкирской АССР. Это было связано с тем, что в послевоенный период в СССР в условиях усиления централизованного управления экономикой происходит перераспределение материально-технических и трудовых ресурсов из развитых российских регионов в наименее развитые и в другие союзные республики. В результате во многих российских регионах, которые лидировали в капиталистический и советский довоенный период, уровень социально-экономического развития понизился.

В советский послевоенный период структура природопользования и концепция освоения региона сдвинули приоритеты развития промышленности в ущерб традиционным отраслям хозяйства. Произошло выдвигание на ведущие позиции крупноочагового вида природопользования, что привело в дальнейшем к возникновению на рассматриваемой территории обширных очагов сильного загрязнения и деградации природной среды.

Современный период социально-экономического развития России связан с радикальными изменениями, вызванными переходом к рыночным отношениям. Основными направлениями социально-экономических преобразований стали:

- либерализация экономики, то есть снятие административных ограничений с цен, хозяйственных связей, внешне-экономической деятельности, развитие торговли взамен прежней распределительной системы;
- приватизация, развитие предпринимательства;
- структурная перестройка экономики, её демилитаризация, интеграция в мировое хозяйство, повышение конкурентоспособности российской продукции на внутреннем и мировом рынке;

- активная социальная политика с целью приспособления трудоспособного населения к новым условиям, социальная защита наиболее уязвимых слоев населения.

В Архангельской и Мурманской областях экономический кризис 1980-х годов усилился в 1990-х годах. Это не могло не отразиться и на структуре природопользования.

Особенностью современного этапа стало доминирование как в Мурманской, так и в Архангельской области крупноочагового вида природопользования, которое, главным образом, предопределяет геоэкологическую обстановку в регионе. Здесь крупноочаговое природопользование связано с деятельностью таких отраслей, как цветная металлургия, горнодобывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, энергетика, машиностроение, транспорт, военно-промышленный комплекс. Основным для Мурманской области являются горнодобывающий комплекс и цветная металлургия, которые в основном и формируют ВРП (38,5% от цветной металлургии и 22% от горнодобывающего комплекса), в то время как для Архангельской области – это лесная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность (52,7% ВРП) и машиностроение (12,5% ВРП), уступающие по объемам использования естественных ресурсов и стоимости производимой продукции.

Вблизи предприятий, использующих большие объемы природных ресурсов и источников поступления большого количества токсичных веществ, формируются импактные районы [5]. Как на территории Мурманской, так и Архангельской областей выделяются несколько импактных районов, среди которых наиболее крупными являются Печенга-Никельский, Мончегорский, Архангельский, которые создают здесь острую геоэкологическую обстановку.

Разрушение общественных форм собственности оленеводческих и звероводческих хозяйств, охотничьих артелей, способствующих их успешному функционированию в сложных природно-климатических условиях, привело в настоящее время к существенному подрыву социально-экономических основ выживания коренного населения региона. С подобным уничтожением традиционных видов хозяйственной деятельности подорванными оказываются и основы самобытной культуры коренного населения, разрушаются этносы.

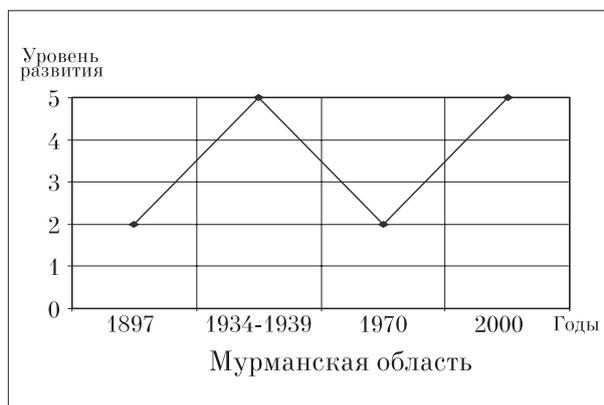


Рис. 3. Особенности динамики уровня социально-экономического развития Архангельской и Мурманской областей

Европейский Север России – регион традиционно развитого лесопользования, однако сложившееся за последние десятилетия лесопромышленное природопользование в лесах Мурманской и Архангельской областей характеризуется сравнительно невысоким качественным и количественным уровнем использования лесных ресурсов. Тем не менее, Архангельская область в настоящее время остаётся одним из ведущих лесопромышленных регионов. Общий размер действующей расчётной лесосеки в Архангельской области по первой и третьей группе составляет 20,1 млн. м³, а общий объём рубок – 8,9 млн. м³, в то время как в Мурманской области 1,5 млн. м³ и 0,6 млн. м³, соответственно.

Развивается ресурсно-промысловое природопользование. Существенно увеличился сбор дикоросов. Дикорастущие ягоды, грибы, лекарственные растения играют заметную роль в обеспечении населения северных областей ценными пищевыми продуктами и витаминами, служат сырьём для пищевой и медицинской промышленности, являются предметом экспорта.

Сельскохозяйственное природопользование значительно шире развито в Архангельской области: общая площадь сельскохозяйственных земель составляет 6,0% от общей площади, а доля сельского хозяйства в ВРП – 6,5%. Сельское хозяйство в Мурманской области носит, в основном, вспомогательный характер – площади земель, занятых этой отраслью невелики (около 0,4% от общей площади) и расположены мозаично, доля в ВРП – 0,1%. Сельское хозяйство представлено животноводством, звероводством, овощеводством, кормопроизводством, а в южных районах Архангельской области – зерноводством. В целом ситуация с сельским хозяйством в регионе такова, что происходит постоянное сокращение сельскохозяйственных угодий.

Характерной особенностью рассматриваемой территории является сравнительно развитая сеть охраняемых территорий разного ранга общей площадью 6072,26 тыс. га, в том числе 3 заповедника в Мурманской области и 1 в Архангельской, 2 национальных парка в Архангельской области, 20 заказников, 117 памятников природы, ботанический сад.

В настоящее время исследуемый регион имеет большие возможности для развития рекреационного природопользования. Здесь встречаются все четыре типа рекреации, направленные на сохранение здоровья и отдых населения: лечебная, оздоровительная, спортивная, познавательная. Предварительные оценки рекреационных ресурсов региона показали перспективность развития этого типа природопользования, который может создать разумную экономическую альтернативу промышленному природопользованию и способствовать стабилизации экологической обстановки.

Несмотря на похожую структуру природопользования на современном этапе, уровни социально-экономического развития Архангельской и Мурманской областей по данным комплексной оценки уровня развития регионов различаются. Мурманская область относится к группе регионов с наиболее высоким уровнем развития и характеризуется позитивными тенденциями в динамике этого уровня, а Архангельская область имеет средний уровень развития и, в целом, негативные тенденции в динамике уровня социально-экономического развития (рис. 3).

Такое расхождение в развитии областей характерно именно для современного этапа, до этого момента обе области развивались примерно одинаково. На современном этапе экономика Мурманской области смогла лучше адаптироваться к современным рыночным

отношениям, так как имеет необходимый потенциал: комплексную структуру хозяйства, экспортно-ориентированные отрасли (цветная металлургия, горнодобывающий комплекс), выгодное экономико-географическое положение. Архангельская область имеет менее эффективную структуру экономики, которая проявляется в чрезмерной концентрации и узкой специализации производств, падении спроса на производимую продукцию, снижении конкурентоспособности, преобладании первичного сектора экономики и нерыночных услуг. В перспективе Архангельская область может достичь уровня социально-экономического развития Мурманской области, что станет возможным благодаря разработке месторождений алмазов и углеводородного сырья.

Проведенный ретроспективный анализ показал, что существует взаимосвязь между структурой природопользования и уровнем социально-экономического развития: структура природопользования определяет уровень социально-экономического развития

региона и наоборот – социально-экономические условия влияют на структуру природопользования.

Литература

1. Орлов Б.П. Вопросы ретроспективного анализа экономического развития Сибири // Известия СО АН СССР, 1977. Вып. 3 № 14. С. 79-88.
2. Кочемасова Е.Ю. Ретроспективный анализ регионального развития в программировании социально-экономического развития регионов России. // Сб. науч. трудов молодых ученых «Региональная наука». Книга 1. М.: СОПС, 2005. С. 158-171.
3. Русский Север: Этническая история и народная культура. XII–XX века. М.: Наука, 2001. 848 с.
4. Региональное природопользование: Учебное пособие / Отв. ред. А.П.Капица. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. С. 26-29.
5. Евсеев А.В., Красовская Т.М. Закономерности формирования импактных зон в Арктике и Субарктике России // География и природные ресурсы. 1997. №4. С. 19-24.

УДК 631.466

Микробиота органогенного слоя почв послерубочных лиственных насаждений средней тайги

© 2008. Ф.М. Хабибуллина¹, И.А. Лиханова¹, Т.А. Творожникова¹, И.З. Ибатуллина²

¹Институт Биологии Коми НЦ УрО РАН

²Московский государственный университет

В статье даётся характеристика органогенных слоев почв вторичных лиственных насаждений средней тайги. Отмечено доминирование микромицетов в микробном комплексе почв. Биомасса микромицетов превышает 98% от общей биомассы микроорганизмов. В исследованных сообществах выделено 49 видов грибов.

The article describes the microbiota of organic soil layers in secondary deciduous plantings in the middle taiga zone. Micromycetes dominate in the soil microbial complex. Micromycetes biomass accounts for more than 98% of the total microorganisms biomass. In the communities under survey there were found 49 species of fungi.

Следствием интенсивного лесопользования в Республике Коми стало существенное уменьшение площадей коренных хвойных лесов на значительной части территории. В результате экзогенных сукцессий произошла смена пород; на вырубках, а также на гарях повсеместно сформировались смешанные или почти чистые насаждения лиственных пород – берёзы и осины. Анализ имеющейся к настоящему времени литературы показывает, что лиственные леса региона лишь в последние 20 лет XX века привлекли внимание учёных.

Поэтому отдельные компоненты производных насаждений, в том числе их микробный комплекс слабо изучены. Следовательно, изучение микробиоты производных сообществ на современном этапе является актуальным.

Исследования проводились на стационаре лаборатории проблем природовосстановления Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенном в Сыктывдинском районе Республики Коми. Климат района умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха +0,4°С. Средняя температура са-

мого холодного месяца (январь) – $-15,1^{\circ}\text{C}$, самого теплого (июль) – $+16,5^{\circ}\text{C}$. Общая годовая сумма осадков – от 404 до 603 мм. Согласно геоботаническому районированию, рассматриваемая территория относится к Кольско-Печорской подпровинции североευропейской таёжной провинции Евразийской таёжной области, подзоне средней тайги [1].

Объект исследования – микробиота органического слоя почв послерубочных осинника и березняка. Древостой березняка состоит из *Betula pubescens* и *B. pendula* с примесью *Pinus sylvestris* и *Picea obovata*. Сомкнутость крон – 0,7. Подлесок разреженный из *Lonicera pallasii*, *Daphne mezereum*, *Sorbus aucuparia*, *Rosa acicularis*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового покрова, где доминирует *Aegopodium podagraria* – 65-95%. Моховой покров выражен слабо. Почва слабодерновая, слабоподзоленная суглинистая. В осиннике древостой состоит из *Populus tremula* с примесью ели и сосны. Сомкнутость крон – 0,8–0,9. Подлесок разреженный из *Lonicera pallasii*, *Daphne mezereum*, *Padus avium*, *Rosa acicularis*. В травяно-кустарничковом покрове господствует *Calamagrostis arundinacea*. Моховой покров практически отсутствует. Почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая [2].

Методы исследования

Образцы почв для микробиологического анализа отбирали из верхних горизонтов почв – подстилки (AoA_1) и органического горизонта A_1 с соблюдением стерильности. Подстилки березняка и ольшаника характеризуются довольно высокой актуальной кислотностью почвенного раствора ($\text{pH}_{\text{водн}}$ в осиннике – 4,6, в березняке – 4,9), максимальным, по отношению к остальным почвенным горизонтам, содержанием элементов-биогенов (в осиннике содержание гумуса – 9,0%, гидролизуемого азота – 5,4 мг на 100 г в.с.п., в березняке 9,4 и 6,8, соответственно). В органическом горизонте березняка сохраняются практически те же значения химических показателей, в осиннике отмечено небольшое уменьшение кислотности почвенного раствора (pH 4,8), значительное уменьшение содержания гумуса – 3% и гидролизуемого азота – 3,9%.

Для анализов использовали смешанные образцы из 10 индивидуальных с каждого участка. Количество разных групп микроорганизмов определяли методом разведения по-

чвенной суспензии с последующим высевом её на агаризованные питательные среды. Численность аммонификаторов в образцах учитывали на мясо-пептонном агаре (МПА), бактерий, усваивающих минеральные формы азота – на крахмально-аммиачном агаре (КАА), сахаролитиков – на среде Чапека, целлюлозолитиков – на среде Гетчинсона (с целлюлозой на поверхности среды), олигокарбофилы – на среде Виноградского, олигонитрофилы – на среде Эшби. Повторность навесок из смешанного образца трёхкратная для каждой использованной среды. Повторность чашек Петри при посевах – трёхкратная. Идентификацию микроскопических грибов после выделения их в чистую культуру проводили по определителям для различных таксономических групп [3 – 7]. Комплексы микромицетов почв характеризовали на основе относительного обилия и встречаемости видов [8,9]. На основании величины пространственной частоты встречаемости выделяли случайные виды (частота встречаемости 1–25%), редкие (26–50%), частые (56–75%) и доминирующие (76–100%) [10].

Общее количество микроорганизмов, кроме метода посева на твёрдые питательные среды, определяли и с помощью метода люминесцентной микроскопии. Суспензии образцов наносили микропипеткой на обезжиренные предметные стёкла (0,01 мл на препарат для бактерий, 0,02 мл на препарат для грибов) и равномерно распределяли петлей на площади 4 см^2 . После полного высыхания препарат фиксировали лёгким нагреванием на пламени горелки. Для одного образца готовили 12 мазков. Препараты для подсчёта бактерий окрашивали раствором акридина оранжевого (1:10000) в течение 2–3 минут, для учёта спор и мицелия грибов – калькофлюором белым (1:10000) в течение 15 минут. Расчёт количества клеток (мицелия) на 1 г почвы проводили по формуле: $N = S_1 a n / v S_2 c$, где N – количество клеток (длина мицелия, мкм) в 1 г почвы; S_1 – площадь препарата (мкм^2); n – показатель разведения почвенной суспензии; a – среднее число клеток (длина мицелия) в поле зрения; v – объём капли, наносимой на стекло (мл); S_2 – площадь поля зрения микроскопа (мкм^2); c – навеска почвы (г) [11 – 14].

Биомассы микроорганизмов в горизонтах почв разных типов вычисляли с учётом следующих показателей. Удельная масса (плотность) микроорганизмов равна 1 г/см^3 , а содержание воды в клетках – 80%. Показатели сухой биомассы составляют для одной бакте-

риальной клетки объёмом $0,1 \text{ мкм}^3 \cdot 2 \times 10^{-14} \text{ г}$, для 1 м грибного мицелия диаметром 5 мкм – $3,9 \times 10^{-6} \text{ г}$, для 1 грибной споры диаметр 5 мкм – $1 \times 10^{-11} \text{ г}$ и для 1 м мицелия актиномицетов диаметром 0,5 мкм – $3,9 \times 10^{-8} \text{ г}$ [12,13].

Результаты и обсуждение

В березняке в органогенно-аккумулятивном слое выделено 49 видов микромицетов, относящихся к 17 родам из четырех классов, а также три формы стерильного мицелия (табл. 1). Подавляющее число видов относится к несовершенным грибам – 28 видов из 12 родов; зигомицеты представлены 12 видами родов *Absidia*, *Mucor*, *Mortierella*, *Thamnidium*, сумчатые грибы – 4 видами рода *Chaetomium*, класс *Coelomycetes* – 1 видом рода *Phoma*. В целом в почве березняка по видовому разнообразию преобладают пенициллы (14 видов). Комплекс типичных видов грибов в органогенном слое почвы березняка включает 3 доминирующих вида (в том числе 1 «вид» стерильных форм), 10 частых, 16 редких (включая 2 «вида» стерильных форм). В число доминантов входят *Mucor racemosus*, *Mortierella ramanniana* и светлоокрашенные формы стерильного мицелия *Mycelia sterilia*. Доминирование стерильных форм характерно для северных почв, в связи с утратой способности образовывать органы полового и бесполого размножения под влиянием низкой температуры [15]. Среди частых – *Mucor globosus*, *M. hiemalis*, *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium camemberti*, *Trichoderma koningii*, *T. lignorum*.

Из аккумулятивного слоя почвы осинника за весь период наблюдений было выделено 39 видов микромицетов, принадлежащих к 14 родам из 4 классов и 2 формы стерильного мицелия (табл. 1). Комплекс типичных грибов осинника включает 2 доминирующих вида, 6 частых и 20 редких. В число доминантов входят светлоокрашенные формы стерильного мицелия *Mycelia sterilia* и *Mortierella ramanniana* – эвритоппный вид, устойчивый к антропогенной нагрузке, доминирующий и в органогенном слое почвы березняка. В число часто встречающихся – *Mucor racemosus*, *Chrysosporium pannorum*, *Mortierella alpina*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium camemberti* (табл. 1). Таким образом, в почве осинника, как и березняка преобладают одни и те же классы и семейства, однако в березняке они богаче в видовом отношении.

О схожести комплексов микромицетов в двух исследованных насаждениях говорит довольно высокий коэффициент Жаккара – 63,2%. Микобиоты почв данных сообществ характеризуются чертами, свойственными северным почвенным микобиотам. Эти черты – доминирование *Mycelia sterilia* и частая встречаемость *Chrysosporium pannorum*, крайне редкая встречаемость аспергиллов.

Количество прокариотических микроорганизмов органогенных слоёв почвы березняка, согласно данным, полученным путём высева на плотные среды, в среднем составляло 52,3 млн. кл./1г.в.с.п., количество грибов – 334 тыс. КОЕ/1г.в.с.п. В осиннике аналогичные показатели были заметно меньше, где количество бактерий было 28,6 млн.кл./1г.в.с.п., микромицетов – 112 тыс. КОЕ/1г.в.с.п. С приведёнными данными согласуются результаты изучения степени разложения растительного опада: 62% – в березняке; 35% – в осиннике (опад в течение года разлагался на поверхности подстилки в капроновых мешочках). Таким образом, полученные данные показывают, что почва осинника по сравнению с почвой березняка характеризуется несколько меньшей биологической активностью.

Общее количество микроорганизмов в подстилках почв (A_0A_1) и органо-минеральных слоёв (A_0) почвы определяли также с помощью метода люминесцентной микроскопии. Как и предполагалось, их численность резко отличается от значений метода посева, вероятно, в связи с присутствием в местообитаниях значительной доли некультивируемых вообще или не растущих на используемых средах микроорганизмов. Например, количество бактерий, отмеченное в подстилке березняка, составило 2,2, осинника – 1,7 млрд. кл./г (табл. 2), что существенно выше данных, полученных посевом на твёрдые питательные среды.

Данные, приведённые в таблице 3, показывают, что в обоих сообществах максимальная биомасса в органо-аккумулятивных горизонтах отмечена у грибов, при этом соотношение мицелия и спор в березняке и осиннике составляло (в %) 98,1–98,7/1,3–1,9 и 98,0–98,2/1,8–2,0, соответственно. Биомасса бактерий, в том числе актиномицетов, составляет 1,0–1,3% от общей биомассы микроорганизмов. Основными факторами, лимитирующими активность почвенной микобиоты, являются сильноокислая реакция трудноминерализуемого субстрата и низкая теплообеспеченность

Таблица 1

Видовой состав почвенных грибов в органогенных слоях почв производных сообществ

Виды грибов	Березняк	Осинник	Виды грибов	Березняк	Осинник
Zygomycota			<i>P. camemberti</i> Thom		
<i>Absidia</i> sp.	C		<i>P. decumbens</i> Thom	P	P
<i>Mortierella alpina</i> Peyronel.	P	Ч	<i>P. implicatum</i> Biourge	C	C
<i>M. candelabrum</i> v. <i>minor</i> Grove	P	P	<i>P. jenseni</i> Zaleski		C
<i>M. humicola</i> Oudemans	P		<i>P. kursanovii</i> Chalabuda	P	P
<i>M. ramanniana</i> (Moller) Linnem.	Д	Д	<i>P. lanosum</i> Westl	C	C
<i>M. vinacea</i> Dixon-Stewart	P		<i>P. lividum</i> Westl	C	
<i>Mortierella</i> sp.	C		<i>P. luteum</i> Sopp.	C	C
<i>Mucor globosus</i> A. Fischer	Ч	Ч	<i>P. olivaceum</i> Sopp.	C	C
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	Ч	P	<i>P. pauxilli</i> Bain.	P	P
<i>M. racemosus</i> Fres.	Д	Ч	<i>P. simplicissimum</i> (Oud.) Thom		P
<i>Mucor</i> sp.	C	C	<i>P. thomii</i> Maire	P	P
<i>Thamnidium elegans</i> Link	C		<i>P. verrucosum</i> var. <i>cyclopium</i> Samson, Stolk et Hadlok	P	P
Deuteromycota			<i>Penicillium</i> sp.	C	C
<i>Acremonium</i> sp.	P	P	<i>Phoma</i> sp.	P	P
<i>Alternaria</i> sp.	C	C	<i>Sporotrichum</i> sp.	C	C
<i>Chrysosporium pannorum</i> (Link) Hugkes	Ч	Ч	<i>Trichoderma koningii</i> Oudemans	Ч	P
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fres.) de Vries		P	<i>T. lignorum</i> (Tode) Harz	Ч	
<i>Cl. epiphyllum</i> (Pers.) Martius	C		<i>T. polysporum</i> Link ex Fries		P
<i>Cl. herbarum</i> (Pers) Link ex Fries	P	P	<i>T. sympodianum</i> Kulik	C	C
<i>Fusarium</i> sp.	C	C	<i>T. viride</i> Persoon ex Fries	P	P
<i>Monilia geophila</i> Oudemans	P		<i>Trichosporiella</i> sp.		P
<i>Monocillium</i> sp.	P		<i>Verticillium</i> sp.	C	
<i>Paecilomyces farinosus</i> (Holm) Brown et Smith	P		Mycelia sterilia		
<i>P. lilacinus</i> (Thom) Samson	P		<i>Mycelia sterilia</i> (Basidiomyc.)	P	
<i>P. variotii</i> Bain.	Ч	P	<i>Mycelia sterilia</i> (Mucedin)	Д	Д
<i>Paecilomyces</i> sp.	P		<i>Mycelia sterilia</i> (Dematiac.)	P	P
<i>Penicillium affine</i> Bain. et Sart	C	C	Ascomycota		
<i>P. albidum</i> Sopp.	C		<i>Chaetomium globosum</i> Kunze et Fr.	Ч	Ч
			<i>Ch. spirale</i> Zopf	P	P
			<i>Ch. spiralliformum</i> Bain	P	P
			<i>Chaetomium</i> sp.	C	C

Примечание: Д – доминирующий вид, Ч – частый, P – редкий, C – случайный.

Таблица 2

Количественная характеристика почвенной микробиоты березняка и осинника, определённая методом люминесцентной микроскопии

Горизонт глубина, см	Мицелий грибов, м/г	Споры грибов, млн. спор/г	Мицелий актиномицетов, м/г	Бактерии, млрд. кл/г
Березняк				
A ₀ A ₁ 0-5(6) см	$\frac{839,6}{612-1216}$	$\frac{6,6}{6,3-6,9}$	$\frac{134,8}{130-146}$	$\frac{2,2}{1,7-2,3}$
A ₁ 5(6)-8(10) см	$\frac{1112}{550-1560}$	$\frac{5,7}{4,8-7,2}$	$\frac{101}{80-110}$	$\frac{2,5}{2,4-2,9}$
Осинник				
A ₀ A ₁ 0-6 см	$\frac{829,2}{528-1110}$	$\frac{6,5}{5,9-7,1}$	$\frac{129,8}{122-151}$	$\frac{1,7}{1,6-1,9}$
A ₁ 6-8(9) см	$\frac{840}{520-1060}$	$\frac{6,1}{5,6-7,0}$	$\frac{106,2}{81-120}$	$\frac{1,52}{1,0-1,7}$

Примечание: над чертой – среднее значение, под чертой – пределы колебаний.

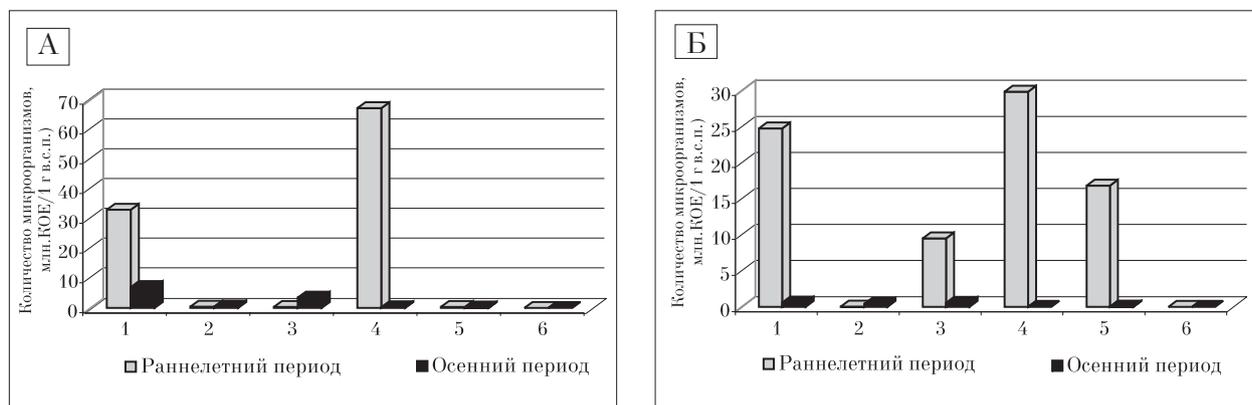


Рис. Количество микроорганизмов в органическом слое почвы, определённых методом посева на селективные питательные среды (А – березняк, Б – осинник; 1 – аммонификаторы, 2 – олигокарбофилы, 3 – олигонитрофилы, 4 – сахаролитики, 5 – бактерии, использующие минеральные формы азота, 6 – целлюлозолитики)

почвы. Необходимо отметить довольно близкие показатели численности и биомассы микроорганизмов в органических горизонтах исследованных сообществ, однако эти данные также подтверждают более высокую активность почвы березняка.

Для характеристики динамики основных физиологических групп микроорганизмов и изменения видового состава микромицетов органического слоя в ходе вегетационного сезона нами проведён микробиологический анализ раннелетних и позднеосенних образцов органических слоев почв березняка и осинника, отобранных 8 июня и 4 ноября 2004 года.

Исследования показали, что ранним летом в органическом слое почвы березняка среди физиологических групп микроорганизмов преобладают сахаролитики и аммонификаторы (рисунок). Остальные группы микроорганизмов представлены в небольшом количестве. В осенних почвенных образцах численность микроорганизмов уменьшилась, причем

наиболее многочисленной оказалась группа аммонификаторов, немного уступает ей по численности группа олигонитрофилов.

В разные сезоны наблюдаются значительные различия в обилии почвенных микромицетов. В весенний период в березняке наиболее обильно представлен род *Penicillium* (свыше 90%). Обилие остальных родов и стерильного мицелия *Mycelia sterilia* невысокое. В осенний период по обилию преобладают род *Paecilomyces* и стерильный мицелий *Mycelia sterilia*, обилие каждого свыше 40%.

В органическом слое осинника в весенний период среди физиологических групп максимальная численность отмечена у сахаролитиков и гетеротрофов, использующих органический и минеральный азот. Минимальная численность – у целлюлозолитиков. Осенью наиболее активными группами являлись аммонификаторы, а также олигокарбофилы и олигонитрофилы (рис.).

В весенних почвенных пробах осинника наибольшим обилием обладали *Mycelia*

Таблица 3

Биомасса микроорганизмов в почвах березняка и осинника, мг/г

Горизонт глубина, см	Мицелий грибов, м/г	Споры грибов, млн.спор/г	Мицелий актиномицетов, м/г	Бактерии, млрд.кл/г
Березняк				
A ₀ A ₁ 0-5(6) см	$\frac{3,27}{2,38-4,74}$	$\frac{0,065}{0,063-0,069}$	$\frac{0,005}{0,005-0,006}$	$\frac{0,04}{0,03-0,05}$
A ₁ 5(6)-8(10) см	$\frac{4,34}{2,15-6,08}$	$\frac{0,057}{0,048-0,072}$	$\frac{0,004}{0,003-0,005}$	$\frac{0,05}{0,05-0,06}$
Осинник				
A ₀ A ₁ 0-6 см	$\frac{3,23}{2,06-4,32}$	$\frac{0,065}{0,05,9-0,071}$	$\frac{0,005}{0,005-0,006}$	$\frac{0,03}{0,03-0,04}$
A ₁ 6-8(9) см	$\frac{3,28}{2,03-4,13}$	$\frac{0,061}{0,056-0,07}$	$\frac{0,004}{0,003-0,005}$	$\frac{0,03}{0,02-0,03}$

Примечание. Над чертой – среднее значение, под чертой – пределы колебаний

sterilia (59%) и *Cladosporium* (20%), обилие остальных родов невелико. В осенних пробах максимальное обилие достигает род *Mortierella* (49%), уменьшается обилие *Mycelia sterilia* (25%). Довольно высоко обилие рода *Penicillium* (25%), обилие остальных родов незначительно.

Таким образом, для обоих исследованных сообществ характерно преобладание в органо-генном слое сахаролитиков и аммонификаторов, что свидетельствует о более активном потреблении органических веществ, а не минеральных. Отношение количества аммонификаторов к нитрификаторам (коэффициент минерализации) очень низкий, что свидетельствует о заторможенности процессов минерализации растительных остатков, их накопления в подстилке, что достаточно важно для функционирования экосистем Севера в условиях промывного режима. Минимальная численность среди физиологических групп в исследуемых сообществах отмечена у группы целлюлозолитиков.

Среди наиболее типичных сапротрофов в почвах обоих фитоценозов выделяются виды родов *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Mortierella*, *Cladosporium*, а также стерильный мицелий *Mycelia sterilia*.

Таким образом, изучение микобиоты двух послерубочных листовых сообществ показало высокое видовое разнообразие почвенных микромицетов. В березняке в органо-генно-аккумулятивном слое почвы выделено 49 видов микромицетов и три формы стерильного мицелия, в осиннике – 39 видов микромицетов и 2 формы стерильного мицелия. Для микобиоты органо-генных почвенных слоев вторичных сообществ характерны незначительные различия в биологической активности и численности микроорганизмов. Однако, по-видимому, лучшие химические показатели и меньшая по сравнению с осинником кислотность почвенного раствора органо-генного слоя почвы березняка благоприятствует более интенсивному развитию микроорганизмов, в том числе и микромицетов. Подобную картину ранее наблюдала И.Б. Гришкан [15] в березняках и осинниках верховья Колымы.

Наши данные показали резкое преобладание мицелия грибов по биомассе в органо-аккумулятивных почвах вторичных листовых насаждений. Бактерии, в том числе актиномицеты, составляют не более 1,3% от общей биомассы микроорганизмов. Основными факторами, лимитирующими активность дан-

ной прокариотической биоты, являются сильнокислая реакция трудноминерализуемого субстрата и низкая теплообеспеченность почвы. Основными деструкторами органики в данных экосистемах являются почвенные микромицеты, которые находятся, в основном, в вегетативной форме развития (мицелий): 98,0-98,7% от общей биомассы грибов, остальные 1,3-2,0% составляет биомасса спор.

Литература

1. Исаченко Т.И., Лавренко Е.М. Ботанико-географическое районирование // Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. С. 10-20.
2. Посттехногенные экосистемы Севера. СПб.: Наука, 2002. 159 с.
3. Литвинов М.А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов. Л.: Наука, 1969. 118 с.
4. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. Л.: Наука, 1967. 303 с.
5. Милько А.А. Определитель мукоральных грибов. Киев: Наук. думка, 1974. 303 с.
6. Raper B., Thom C., Fennell D. I. A manual of Penicillia. New York; London: Hafner Publishing Company, 1968. 875 p.
7. Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam; New York; Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.
8. Билай В.И., Элланская И.А., Кириленко Т.С. и др. Микромицеты почв. Киев: Наукова Думка, 1984. 264 с.
9. Мирчинк Т.Г., Озерская С.М., Марфенина О.Е. Способы выявления типичных для определенных условий комплексов микроскопических грибов на основе характеристики их структуры // Биологические науки. 1982. Вып. 20. С. 198-226.
10. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
11. Князева И.Н., Полянская Л.М., Кожевин П.А., Звягинцев Д.Г. Учет почвенных микроорганизмов с помощью микроскопии при низкой численности объектов // Вестник МГУ. Сер. Почвоведение. 1985. Т. 2. С. 62-70.
12. Кожевин П.А., Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Динамика развития различных микроорганизмов в почве // Микробиология. 1979. Т. 48. С. 490-494.
13. Полянская Л.М. Популяция *Streptomyces olivocinereus* в почвах разных типов. Дис. канд.б.н. М.: Изд-во МГУ, 1978. 136 с.
14. Полянская Л.М. Прямой микроскопический подсчет спор и мицелия грибов в почве // Изучение грибов в биогеоценозах. Свердловск, 1988. С. 30.
15. Гришкан И.Б. Микобиота и биологическая активность почв верховий Колымы. Владивосток: Дальнаука, 1997. 136 с.

О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

Определены функции и действия Ростехнадзора и Росприроднадзора по организации и проведению государственной экологической экспертизы.

Министерство юстиции зарегистрировало административный регламент Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и Федеральной службы по надзору в сфере природопользования исполнения государственной функции по организации и проведению государственной экологической экспертизы. Регламент утвержден совместным приказом Руководителя Ростехнадзора Константина Пуликовского и Министра природных ресурсов Юрия Трутнева в целях совершенствования порядка организации и проведения государственной экологической экспертизы федеральными органами исполнительной власти в области экологической экспертизы.

Принятый регламент упрощает административные процедуры по проведению госэко-экспертизы. Решения должностных лиц отныне будут понятны всем, так как они будут приниматься на основе утвержденных критериев. Вводится возможность установления персональной ответственности должностных лиц за соблюдение требований Регламента по каждому действию или административной процедуре. Принятый документ предполагает введение механизма досудебного обжалования действий (бездействий) должностных лиц в области государственной экологической экспертизы; установление унифицированного документооборота при организации и проведении государственной экологической экспертизы; установление критериев определения сроков действия положительного заключения государственной экологической экспертизы; установление порядка получения информации об организации и проведении государственной экологической экспертизы.

Срок проведения государственной экологической экспертизы определяется в зависимости от трудоёмкости экспертных работ с учетом объёма представленных на экспертизу материалов, природных особенностей территории и экологической ситуации в районе намечаемой деятельности и особенностей воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду и составляет:

- для простых объектов государственной экологической экспертизы – до 30 дней;
- для объектов государственной экологической экспертизы средней сложности – до 60 дней;
- для сложных объектов государственной экологической экспертизы – от 60 до 120 дней.

В процессе проведения государственной экологической экспертизы экспертная комиссия определяет:

- соответствие намечаемой деятельности требованиям, установленным нормативными правовыми актами Российской Федерации и субъектов Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды и природопользования;
- полноту выявления масштабов прогнозируемого воздействия на окружающую среду в результате осуществления намечаемой деятельности и экологическую обоснованность допустимости ее реализации;
- достаточность предусмотренных мер по обеспечению экологической безопасности.

В связи с тем, что до сих пор не решен вопрос о разграничении полномочий между Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, принятый регламент устанавливает одинаковые правила для двух органов власти (Ростехнадзора и Росприроднадзора) при организации и проведении экологической экспертизы.

Повторная государственная экологическая экспертиза будет проводиться экспертной комиссией в первоначальном составе и образовываться тем же федеральным органом исполнительной власти (территориальным органом) в области экологической экспертизы.

Анализ действий органов власти по организации и проведению государственной экологической экспертизы показал, что имела место высокая загруженность государственных служащих. Зачастую не соблюдались сроки рассмотрения заявлений на проведение государственной экологической экспертизы и процесса проведения государственной экологической экспертизы. Специалисты Ростехнадзора отмечали низкое качество представляемой на государственную экологическую экспертизу документации. В Ростехнадзоре считают, что с принятием Административного регламента удастся решить указанные проблемы.

ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Общественный совет при Ростехнадзоре обратил внимание на жилищно-коммунальное хозяйство.

Координатор партии «Единая Россия» по вопросам экологии, Председатель Правления Общероссийского общественного движения «Экологическое движение конкретных дел», председатель Общественного совета при Ростехнадзоре Владимир Грачев сделал заявление о необходимости принять срочные меры по снижению вредных сбросов в водные объекты предприятиями жилищно-коммунального хозяйства России:

«Сегодня в России преобладающий объём сбросов загрязнённых сточных вод формируется жилищно-коммунальным хозяйством. Так, в 1995 году доля ЖКХ в общем по Российской Федерации объёме сбросов составляла 51,1%. В 2004 году доля сбросов ЖКХ увеличилась более, чем на 10%, и составила 61,7%. В 2007 году доля сбросов от ЖКХ сохранилась на этом же уровне.

В то же время доля хозяйственно-бытового потребления воды в России устойчиво держится на уровне 20% от общего водопотребления, а производственное потребление составляет около 60%. Следовательно, 40% сбросов через систему «Водоканалов» составляют производственные, а не хозяйственно-бытовые сбросы, то есть, через систему «Водоканалов» в водные источники поступает около половины производственных сбросов, которые, в отличие от выбросов в воздух, имеют менее устойчивую тенденцию к снижению, как в целом, так и по отдельным регионам.

Считаю, что, прежде всего, этот проблемный вопрос следует рассмотреть на расширенном заседании Общественного совета при Ростехнадзоре с приглашением руководителей и общественных структур агентства «Росводресурсы», «Ассоциации водоснабжения и водоотведения», объединяющей все «Водоканалы» России, Росприроднадзора и Министерства природных ресурсов России.

Мы намерены рекомендовать Ростехнадзору и его территориальным управлениям провести комплексную проверку в тех субъектах РФ, где наблюдается наибольшее загрязнение водных объектов, и рассмотреть этот вопрос как важнейший вопрос безопасности населения. Кроме того, необходимо задействовать Правительство РФ и Общественную па-

лату с целью разработки эффективных мер по сокращению вредных сбросов в водные объекты, и разработки и реализации эффективных механизмов взаимодействия правительственных, хозяйственных и общественных структур в охране чистоты водных объектов».

ПОПУТНЫЙ ГАЗ

Нефтяные компании России искажают информацию относительно объёмов сжигаемого попутного нефтяного газа.

Большинство нефтедобывающих компаний России предоставляют в Ростехнадзор недостоверные сведения о фактических объёмах сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках, а «газовые» программы недропользователей нуждаются в серьёзной доработке. К такому выводу пришли инспекторы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

Специалисты Ростехнадзора установили, что при разработке планов по рациональному использованию попутного нефтяного газа промышленные компании устанавливают необоснованно длительные сроки реализации: начало строительства объектов по переработке ПНГ откладывается до 2015 года, а мероприятия по оснащению средствами учёта объёмов ПНГ и вовсе не предусмотрены.

Сегодня на большинстве объектов нефтедобычи отсутствуют приборы учёта добываемого попутного нефтяного газа, объёмы ПНГ определяются расчетным путем с большой погрешностью. Кроме того, конструктивные особенности замерных устройств на факельных установках не предполагают пломб, и обслуживающий персонал без особых проблем может влиять на результаты учёта.

«В своих отчётах недропользователи занижают объёмы добываемого и сжигаемого попутного нефтяного газа. Ввиду отсутствия инструментального учёта трудно достоверно оценить эти объёмы, но то, что фактические больше декларируемых, очевидно, это находит подтверждение в результатах проверки» – такое заявление сделал начальник управления по надзору за объектами нефте-газодобычи, переработки и магистрального трубопроводного транспорта Анантолий Шаталов на совместном семинаре Ростехнадзора и Общественной организации «Деловая Россия». По словам Анатолия Шаталова, большая часть факельных систем не соответствуют требова-

ниям: на 12% факельных систем отсутствуют проекты, более половины не имеют запальных систем и электророзжига, более 45% факельных стволов не имеют оголовки, трубы факельных стволов прогорели, растяжки провисли или вовсе отсутствуют. «Ростехнадзор уже вынес предписания крупнейшим нефтедобывающим компаниям с требованием учесть решение этих проблем в своих газовых программах» – подчеркнул Анатолий Шаталов.

О ЛИКВИДАЦИИ ПРОШЛОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

Ростехнадзор до 1 июня 2008 года внесет на утверждение Правительству План первоочередных мероприятий по ликвидации прошлого экологического ущерба (на 2008–2010 годы).

Коллегия Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору приняла решение доработать проект Плана и согласовать его со всеми заинтересованными министерствами и ведомствами.

«Правительство дало поручение Ростехнадзору детализировать План первоочередных мероприятий, уточнить перечень и сроки реализации мероприятий, их финансово-экономического обоснования, и внести доработанные материалы в Правительство Российской Федерации к 1 июня 2008 года. Также Правительством поручено Ростехнадзору, Минрегиону, Минэкономразвития, Минфину, Администрациям Иркутской и Кемеровской областей в рамках пилотных проектов отработать организационные и финансовые механизмы ликвидации прошлого экологического ущерба», – отметил руководитель Ростехнадзора Константин Пуликовский.

«В России до настоящего времени не принимались системные меры для ликвидации экологического ущерба. При этом Россия предполагает использовать опыт стран ОЭСР и ЕС в решении проблемы оценки и ликвидации накопленного экологического ущерба. Комплексная оценка экологического ущерба, накопленного в Российской Федерации в результате хозяйственной деятельности, до настоящего времени не проводилась, и имеющиеся данные носят фрагментарный характер. В частности, в соответствии с поручениями Правительства Ростехнадзором проводились оценочные исследования экологического ущерба в Кемеровской и Иркутской областях с целью выработ-

ки предложений по ликвидации накопленного ущерба и реабилитации загрязненных территорий», – сказал заместитель руководителя Ростехнадзора Дмитрий Тукнов.

Проект плана первоочередных мероприятий (2008–2010 гг.) по ликвидации прошлого экологического ущерба содержит перечень мер по трем основным направлениям:

Первое. Совершенствование правовых и инвестиционных механизмов, путём разработки законодательных и иных нормативных правовых актов; стимулирование предотвращения текущего загрязнения; совершенствование функций земельного контроля; регламентацию использования средств Инвестиционного фонда; разработку методик инвентаризации, критериев ранжирования, порядка формирования реестра загрязненных территорий, методики оценки экономической эффективности реализации инвестиционных проектов по ликвидации экологического ущерба.

Второе. Комплексная оценка накопленного экологического ущерба путем инвентаризации, ранжирования, оценки загрязненных объектов и территорий, формирование реестра загрязненных территорий, а также информационного ресурса об экологическом ущербе.

Третье. Проведение уже в ближайшие годы работ по ликвидации загрязнений на территориях и объектах, находящихся в кризисном экологическом состоянии (в «пилотных регионах»).

На первом этапе – 2008–2010 гг. – планируется формирование институциональных, правовых и инвестиционных инструментов ликвидации экологического ущерба.

На втором этапе – 2010–2012 гг. – планируется проведение инвентаризации нарушенных территорий и опасных объектов, создание реестра нарушенных территорий и опасных объектов, отбор наиболее приоритетных проектов, осуществление пилотного внедрения инвестиционных инструментов с использованием механизма государственно-частного партнерства, внедрение инновационных технологий удаления накопленных экологических обременений и реабилитации территорий, загрязненных в результате хозяйственной деятельности.

Отработка инвестиционных механизмов государственно-частного партнерства планируется в рамках реализации в 2009–2012 гг. проектов стимулирования повторной застройки и реабилитации промышленных объектов в пределах городской застройки, проектов по развитию природоохранной инфраструктуры, реализации пилотных проектов восстановления заброшенных территорий нефтедобычи.

НОВАЯ МОНОГРАФИЯ О МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБАХ*

В 2007 г. вслед за завоевавшими признание книгами Т.Г. Мирчинк «Почвенная микология» (1988) и О.Е. Марфениной «Атропогенная экология почвенных грибов» (2005) вышла монография В.А. Тереховой «Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем». В результате обобщения собственных экспериментальных данных и глубокого анализа литературных источников автор главное внимание уделяет роли микромицетов в оценке состояния окружающей среды.

Монография включает 4 главы. В первой грибы рассматриваются как объекты экологических исследований. В частности, глава начинается с традиционного описания роли грибов в функционировании природных экосистем. Подчеркиваются причины большей устойчивости грибов по сравнению с другими организмами к действию токсичных веществ. Объяснением этому может быть высокий адаптационный потенциал и хорошая регенерирующая способность грибов. В.А. Терехова дает подробную классификацию современных направлений в исследовании грибов, подчёркивая, что за последние 30-40 лет в микологии используются все современные общеэкологические методы и подходы, в разработке которых активное участие принимали и принимают отечественные ученые.

Во 2-й главе автор анализирует биоиндикационное значение признаков микобиоты водных и наземных экосистем на уровне сообществ в сравнительном аспекте, что является новым подходом в микологии. В результате подобного анализа автор выявил ряд закономерностей, которые характеризуют специфические различия в структуре грибных комплексов в водных и почвенных экосистемах. Главные из них, по мнению Тереховой, заключаются в том, что структура грибных сообществ в водной толще характеризуется большой пространственной мозаичностью, вариабельностью и динамичностью. В почве же плотность заселения грибами разных слоев сопряжена с формированием почвенного профиля. Стратификация органического вещества по профилю чётко выражена. И в соответствии с этим грибы распределяются по почвенным гори-

зонтам. Поэтому появление в структуре грибных сообществ водных и почвенных экосистем специфических особенностей, отличных от естественных природных сред, может служить биоиндикационным признаком для выявления различий в условиях местообитаний.

Микологический анализ показывает, что при умеренном загрязнении воды и почвы изменяется видовой состав, обилие и частота встречаемости отдельных видов микромицетов. Происходит неуклонное снижение численности и биомассы микроскопических грибов по мере возрастания антропогенной нагрузки почвы и воды независимо от характера загрязнения. В целом количественные показатели микобиоты на уровне сообщества могут служить показателем трансформации сообществ только при больших дозах нагрузки. Наиболее надежным биоиндикационным признаком является доля меланизированного мицелия в структуре грибной биомассы.

3-я глава посвящена биоиндикационному значению грибов на уровне популяций. Особое место в этой главе уделено биоиндикационному значению популяционных признаков фитопатогенных грибов. Возникновение новых рас патогенов привело к бурному развитию популяционно-генетических исследований грибов, т.к. это имеет большое практическое значение для сохранения урожая в агроценозах.

Автору удалось показать, что многие популяционные признаки микромицетов являются маркерами, индицирующими состояние экосистем. Установлена взаимосвязь уровня изменчивости популяций микромицетов и гетерогенности условий обитания. Применение метода популяционного анализа по изоферментным спектрам позволило разделить группы штаммов некоторых фитопатогенов в зависимости от их зональной географической принадлежности. При этом биоиндикационная значимость молекулярно-генетических маркеров строгих паразитов выше, чем у факультативных.

Завершает монографию глава 4: «Биотестирование качества природных сред по реакции чистых культур грибов. Организменный уровень». В этой главе предлагают-

* В.А. Терехова *Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем*. М.: Наука, 2007. 215 с.

БИБЛИОГРАФИЯ

ся оригинальные методики биотестирования, в частности, основанные на подборе тест-организмов, которые отвечают определенным требованиям: 1) без особых усилий могут поддерживаться в лабораторных условиях; 2) обладают легко регистрируемыми показателями. С этих позиций в своей работе автор использует гриб *Fusarium oxysporum*. Оценка состояния популяции данного микромицета проводилась по прорастанию спор и развитию проростков. Так, чувствительность к тяжёлым металлам определяли по подавлению прорастания конидий фузариума и по измерению длины проростков, которая оказалась очень чувствительной характеристикой.

Кроме того, реакцию микромицетов на присутствие поллютантов в среде можно фиксировать по накоплению мицелиальной биомассы в жидких питательных средах. Однако этот показатель по сравнению с контролем в загрязнённых условиях может как уменьшаться, так и возрастать в зависимости от содержания в среде углерод-, азот- и фосфорсодержащих питательных компонентов.

Среди других предлагаемых методов биотестирования автор описывает такие, как определение морфологии и скорости

роста грибных колоний, скорость минерализации органического вещества, изучение изоферментных спектров.

В целом, фактологический материал, собранный в монографии, свидетельствует о большом биоиндикационном потенциале микобиоты на разных уровнях организации (сообщества, популяции, организмы). В.А. Терехова приводит убедительные экспериментальные данные о возможности использование грибов в экологической оценке водных и наземных экосистем. Однако, для строгой экологической экспертизы загрязнённых территорий необходимо предлагаемые методики оттестовать.

Книга написана ясным, чётким языком. Доступна не только учёным, но и читателям с минимальной биологической подготовкой. Монография будет полезна как узким специалистам (микологам, микробиологам) так и, на мой взгляд, экологам широкого профиля.

*Л.И. Домрачева, д.б.н., профессор
кафедры ботаники, физиологии растений
и микробиологии Вятской государственной
сельскохозяйственной академии*

Министерство природопользования России
Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
Союз российских городов
Правительство Кировской области
Управление охраны окружающей среды и природопользования Кировской области
Администрация г. Кирова
Администрация г. Кирово-Чепецка

**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!
ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В**

**10-Й ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«РЕГИОНАЛЬНЫЕ И МУНИЦИПАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»**

СЕНТЯБРЬ 2008 г.

Основные направления конференции:

1) разграничение полномочий в сфере охраны окружающей среды и природопользования; 2) проблемы рационального природопользования; 3) экология города; 4) промышленная экология; 5) устойчивое лесопользование и сохранение биоразнообразия; 6) экология человека; 7) экологическая безопасность региона; 8) экологическое образование, воспитание и просвещение.

Контактные адреса и телефоны оргкомитета:

610000, г. Киров, Динамовский проезд, д.14-а

Тел.: (8332) 38-49-00 – Ирина Михайловна Зарубина, Елена Александровна Тетерятникова

(83361) 45-2-99 – Николай Владимирович Островский

e-mail: eco134@list.ru

II-й ОБЩЕСТВЕННЫЙ ФОРУМ-ДИАЛОГ «АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ, ОБЩЕСТВО, БЕЗОПАСНОСТЬ»

21-22 апреля 2008 года в городе Санкт-Петербурге состоялся II Общественный форум-диалог «Атомная энергия, общество, безопасность». Организаторами форума-диалога выступили Общественный совет Росатома и Международный Зелёный Крест. Участниками форума-диалога являлись представители Росатома и других федеральных ведомств, средств массовой информации, общественных организаций. В форуме-диалоге приняли участие иностранные специалисты Посольств Швейцарии, Франции, Королевства Нидерландов, Великобритании в РФ, представители различных ведомств и общественных организаций США, Австрии, Швейцарии, Великобритании, Франции.

В адрес организаторов, участников и гостей форума-диалога «Атомная энергия, общество, безопасность» от Председателя Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации С.М.Миронова было направлено приветствие, в котором отмечено, что форум посвящен одной из острых проблем современности – обеспечению безопасного развития атомной энергетики в условиях глобализации мирового общества. Обращено внимание участников форума на то, что атомная энергетика призвана улучшить ситуацию с энергосбережением, но при этом имеет ряд острых нерешенных проблем, связанных с безопасностью ныне действующих реакторов, утилизацией ядерных отходов, выводом из эксплуатации АЭС, выработавших свой ресурс. Создание безопасной ядерной энергетики, решающей проблемы нераспространения ядерного оружия, обладающей высокой степенью безопасности производства энергии и практически исключаящей образование радиоактивных отходов должно стать приоритетом развития атомной отрасли в нашей стране.

Пленарное заседание «Состояние и перспективы развития атомной энергетики» открыл С.И. Барановский, доктор технических наук, профессор, Президент Российского Зелёного Креста. На пленарном заседании выступили с докладами: «Законодательное решение проблем безопасного обращения с РАО – важнейшая составляющая обеспечения ядерной и радиационной безопасности России» Е.В.Евстратов, заместитель Руководителя Росатома; «Усиление развития атомной энергетики как путь решения глобальных экологических проблем» В.А.Грачёв, член-корр. РАН, советник Генерального директора Госкорпорации «Росатом»; «Реализация социально-экологической программы Росатома» И.В.Коньшев, директор Департамента по работе с общественными организациями и регионами Госкорпорации «Росатом»; «Гражданское общество и ядерная активность: от риска восприятия к стратегии развития территории» Marie Kirchner, Anne-Marie Duchemin, члены совета по развитию региона Pays du Cotentin, Франция.

Во время работы форума-диалога проведено 7 пленарных заседаний по темам: «Пути развития атомной энергетики», «Радиобиологические проблемы, реабилитации территорий», «Общественное мнение и радиационная безопасность», «Международная кооперация и Глобальное Партнёрство в разоружении и нераспространении оружия массового поражения», «Отработавшее топливо, радиоактивные отходы», «Последствия испытаний ядерных устройств»; работала секция МНТЦ «Альтернативная энергетика»; состоялась общая дискуссия по теме «Устойчивое развитие. Атом и гражданское общество». На данных мероприятиях с докладами выступили 58 участников форума-диалога.

Активные дискуссии вызвали доклады, касающиеся конкретных экологических проблем регионов, городов и поселков, и в особенности, Челябинской, Томской, Ленинградской, Оренбургской, Саратовской областей, городов Северодвинск, Сосновый бор, Ханты-Мансийск, Северск, Димитровград, Мурманск, поселка Муслумово. Обсуждались проблемы, касающиеся атомного взрыва в Аральской пустыне (2.02.1956 г.), о ядерных испытаниях на Тоцком полигоне (1954 г.), ядерных испытаниях на Семипалатинском полигоне и на архипелаге Новая Земля.

Ряд докладов был посвящен вопросам страхования рисков, нанесённому ущербу, проживающему населению в районах атомных станций, изучению воздействия малых доз на живые объекты, реабилитации загрязнённых территорий. Обсуждались проблемы создания и строительства новых реакторов 4-го поколения с применением современных технологий, безопасных для окружающей среды. Ставились вопросы по разработке и принятию нового Закона по обращению с отходами отработанного ядерного топлива, обеспечению полной инвентаризации, безопасного хранения, и утилизации радиоактивных отходов, международному сотрудничеству и помощи в решении вопросов по утилизации ядерных подводных лодок. Отмечалось, что на сегодня пока нет концепции обращения с отходами отработанного ядерного топлива, нет эффективных технологий переработки агрессивных жидких радиоактивных отходов. Не создана нормативно-правовая база и экономические механизмы, стимулирующие минимизацию образования РАО.

Участники форума-диалога в своих выступлениях большие надежды возлагали на принятую Правительством РФ от 26 июня 2007 года федеральную целевую программу «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», реализация которой сможет снять многие проблемы в области развития атомной энергетики.

*Т.Я.Ашихмина, д.т.н, профессор,
зав. лабораторией биомониторинга Института
биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ*

III-я МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ»

24-25 апреля в г. Кирове лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН проведена III научно-практическая конференция молодежи «Экология родного края: проблемы и пути их решения». Соучредителями конференции выступили Управление охраны окружающей среды и природопользования Кировской области, Институт биологии Коми НУ УрО РАН, Вятский государственный гуманитарный университет.

В состав организационного комитета конференции вошли представители ведущих вузов области: Вятского государственного гуманитарного университета, Кировской государственной медицинской академии, Вятской государственной сельскохозяйственной академии, а также представители Управления охраны окружающей среды и природопользования Кировской области, Всероссийского общества охраны природы, НИИ сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН, Эколого-биологического центра Кировской области, Кировского института повышения квалификации и переподготовки работников образования, Лицея естественных наук г. Кирова.

В работе конференции приняло участие 237 человек из г. Кирова и области, в том числе студенты Кировских вузов, аспиранты, учащиеся школ и средних специальных учебных учреждений, преподаватели вузов, ученые, школьные учителя и работники системы дополнительного образования, представители общественных организаций и органов управления.

На конференцию поступило 132 доклада, в соответствии с этим материалы были сформированы по шести направлениям и секциям:

Секция 1. Экологические проблемы Кировской области.

Секция 2. Сохранение биоресурсов и биоразнообразия.

Секция 3. Экология и здоровье населения.

Секция 4. Методы экологических исследований.

Секция 5. Мониторинг природных сред и объектов.

Секция 6. Социальная экология. Образование. Культура.

Тематика представленных докладов разнообразна, можно выделить основные направления: исследование экологического состояния природных и техногенных территорий; исследования в области биоморфологии, биоразнообразия флоры и фауны области; исследование взаимосвязи между экологическими и социальными факторами со здоровьем населения; исследование качества пищевых продуктов; разработка методов экологических исследований, адаптированных к условиям Кировской области; анализ эффективности применяемых в настоящее время и разработка новых педагогических приемов экологического образования и просвещения населения; со-

стояние особо охраняемых природных территорий, особенности управления природопользованием на уровне предприятий и муниципальных образований, проблемы сохранения плодородия почв. Особое внимание уделено вопросам мониторинга территории вблизи объекта уничтожения химического оружия «Марадьковский», Кирово-Чепецкого химического комбината и городских территорий.

Кроме того, впервые в рамках конференции была проведена стендовая сессия, в которой участвовало 28 докладов. Сессия проходила в течение двух дней, с 24 по 25 апреля 2008 г., в ней приняли активное участие школьники, студенты, аспиранты и молодые ученые. Наибольшее внимание участников конференции, посетивших стендовую сессию, привлекли работы Перовой А.В., Багаевой С.С., Пушкарева А.В. и Лоскутова Е.В. и др., посвященные проблемам чистоты природной и питьевой воды.

На конференции работали выставки:

- плакатов и рисунков экологического содержания;
- вузовских изданий (публикаций) экологической тематики;
- курсовых и выпускных квалификационных работ по экологической тематике.

На заключительном пленарном заседании за лучшие доклады было вручено дипломы и поощрительные призы, благодарственные письма и почетные грамоты за активное участие в конференции. По материалам работы III молодежной научно-практической конференции издан 3-й выпуск сборника «Экология родного края: проблемы и пути их решения».

Участниками конференции отмечена необходимость создания на базе вузов научно-исследовательских проблемных групп по изучению актуальных проблем региона, расширения исследовательской тематики молодежных проектов.

Участники рекомендуют широко привлекать к участию с докладами на подобных конференциях кроме аспирантов, студентов и школьников – учащихся системы профессионально-технического образования и молодых сотрудников НИИ г. Кирова. В резолюции конференции отмечено решение участников: выступить с просьбой к Управлению охраны окружающей среды и природопользования Кировской области в 2009 году провести IV научно-практическую конференцию молодежи «Экология родного края: проблемы и пути их решения» на межрегиональном уровне с приглашением студентов, аспирантов и молодых ученых из соседних регионов.

*С. Г. Скугорева,
м.н.с. лаборатории биомониторинга
Института биологии
Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К публикации принимаются статьи в соответствии с тематикой журнала, объемом (включая подписи к рисункам, таблицы, аннотацию и список литературы) до 16 машинописных страниц.

В предлагаемых для публикации научных статьях должно содержаться:

- обоснование актуальности,
- четкая постановка целей и задач исследования,
- методика, результаты и их обсуждение, заключение или выводы.

Заглавие должно быть кратким (8-10 значащих слов), информативным и по возможности точно отражать содержание статьи.

Статья должна иметь индекс УДК.

К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (объемом до 400 знаков). В английском переводе перед текстом аннотации помещается английское название статьи: инициалы и фамилия автора в английской транскрипции, название учреждения и почтовый адрес на английском языке.

Все материалы должны быть набраны в текстовом редакторе Word книжным шрифтом (14 кегль) с одной стороны листа бумаги стандартного формата (A4). На странице рукописи должно быть не более 30 строк, отпечатанных через 1,5 интервала, в каждой строке не более 65 знаков, включая пробелы между словами. Все поля рукописи должны быть не менее 20 мм. Размер абзацного отступа – 5 знаков.

Ссылки на литературу даются цифрами в квадратных скобках по порядку упоминания в тексте.

Список литературы прилагается в конце статьи. Приводятся фамилии всех авторов и полное название цитируемой работы. Следует строго соблюдать следующий порядок библиографического описания.

Для журнальных статей:

1. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н. В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // *Экология*. 1997. № 6. С. 408-411.

2. Gautret P., De Wit R., Camoin G., Golibic S. Are environmental conditions recorded by the organic matrices associated with precipitated calcium carbonate in cyanobacterial microbialites? // *Geobiology*. 2006. V. 4. № 2. P. 93-107.

Для сборников научных трудов, материалов конференций и тезисов докладов:

1. Левин С.В., Гузев В.С., Асеева И.В., Бабьева И.П., Марфенина О.Е., Умаров М.М. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // *Микроорганизмы и охрана почв*. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5-46.

2. Мишарин С.И., Колесниченко А.В., Антипина А.И., Войников В.К. Влияние низких температур на синтез белков озимой ржи и пшеницы // 2-й Съезд Всерос. о-ва физиологов раст.: Тез. докл. Ч. 2. М. 1992. С. 139.

3. Ханисламова Г.М. Использование коллембол для лабораторной оценки токсичности загрязняющих почву

соединений // *Проблемы охраны окружающей среды на Урале*. Уфа. 1995. С. 152-157.

Для авторефератов диссертаций:

1. Ступникова И.В. Термостабильные белки злаков в период низкотемпературной адаптации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: СИФИБР СО РАН. 2001. 20 с.

Для монографий:

1. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1973. 141 с.

Таблицы не должны быть громоздкими. Каждая таблица должна иметь порядковый номер и название. Табличный материал приводится в тексте. Нумерация таблиц сквозная. Не следует повторять и пересказывать в тексте статьи цифры и данные, приведённые в таблицах.

Рисунки предоставляют с приложением подрисунковых подписей для всех рисунков на отдельной странице. Рисунки снабжаются всеми необходимыми цифровыми или буквенными обозначениями, пояснениями в подписях к ним. На обороте каждого рисунка карандашом указывается его номер и фамилия авторов.

Иллюстративные материалы выполняются в программах Corel DRAW, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator. Электронный вариант каждой таблицы и рисунка записывается в отдельный файл в формате программы, в которой они были созданы. Подписи к иллюстрациям следует давать отдельным списком.

Фотоснимки (размером не менее 9x12 см) представляются с четким контрастным изображением и хорошо проработанными деталями. На обороте иллюстрации необходимо указать фамилию автора, название статьи и номер рисунка. Ксерокопии не принимаются.

Направляемая в редакцию статья должна быть подписана всеми авторами с указанием фамилии, имени и отчества (полностью) и содержать следующие данные: наименование организации, в которой выполнена работа, должность, учёная степень и звание, почтовый адрес, телефоны (рабочий и домашний) факс, адрес электронной почты автора (соавторов), отпечатанные на отдельном листе. В названиях учреждений не следует использовать сокращения.

Для публикации представляется электронный вариант (на магнитном носителе или пересылкой по электронной почте) и распечатка статьи в 2 экземплярах. К статье прилагается экспертное заключение о возможности публикации материалов в открытой печати.

При несоблюдении этих требований статья не рассматривается редакцией и возвращается авторам на доработку.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о принятии их для публикации в журнале принимается на заседании редколлегии.

Экземпляр журнала с опубликованной статьёй авторам не высылается и распространяется только по подписке. Гонорар не выплачивается.

Электронный вариант и бумажная копия статьи автору не возвращаются.

ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

**Если вас заинтересовал журнал «Теоретическая и прикладная экология»
и вы хотите получать его регулярно, необходимо:**

юридическим лицам:

– оплата подписки осуществляется на основании выставяемого редакцией счёта на оплату. Для получения счёта на оплату подписки вам необходимо направить заявку **на подписку** с указанием реквизитов организации, периода подписки, подробного адреса доставки и контактного телефона по e-mail: info@ecoregion.ru или по тел. /факс (495) 129-28-31.

физическим лицам:

– оплатить итоговую сумму подписки через Сбербанк на р/с ООО ИД «Камертон» на основании подписного купона. В бланке перевода разборчиво укажите свои **Ф. И. О.** и подробный адрес доставки, в графе «Вид платежа» укажите: оплата за подписку на журнал «Теоретическая и прикладная экология» за номер(а) ___ 200 г. в количестве ___ экземпляров, в т. ч. НДС 10%.

– направить (в конверте) на почтовый адрес редакции (Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29. Генеральному Директору ООО Издательский Дом «Камертон» Б.И. Кочурову): 2 экземпляра заполненного купона, который является формой договора присоединения (ГК РФ Часть первая, ст. 428) и копию квитанции об оплате.

Стоимость подписки:
на год (4 номера) – 1000 рублей,
на полгода (2 номера) – 500 рублей,
на 1 номер – 250 рублей.

Реквизиты ООО Издательский дом «КАМЕРТОН»:
ИНН 7718256717, КПП 771801001, БИК 044525225,
Р/с 40702810038170105862, к/с 30101810400000000225
в Краснопресненском отделении №1569/01175 Сбербанка
России в Москве

Подписку на журнал *с любого месяца текущего года*
в необходимом для Вас количестве можно оформить через редакцию,
а на второе полугодие 2008 г. – в любом почтовом отделении,
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ» – подписной индекс 82027
Справки по тел. (495) 129-28-31; e-mail: info@ecoregion.ru

ПОДПИСНОЙ КУПОН				
				
Теоретическая и прикладная экология				
Срок подписки с _____ по _____ 200__ г.				
номер журнала	1	2	3	4
количество экземпляров				
Стоимость подписки _____				
Адрес для доставки журнала _____				
Кому _____				
Подпись подписчика _____				
Почтовый адрес редакции: Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29 Тел/факс: (495) 129-28-31, E-mail: info@ecoregion.ru				

ПОДПИСНОЙ КУПОН				
				
Теоретическая и прикладная экология				
Срок подписки с _____ по _____ 200__ г.				
номер журнала	1	2	3	4
количество экземпляров				
Стоимость подписки _____				
Адрес для доставки журнала _____				
Кому _____				
Подпись подписчика _____				
Почтовый адрес редакции: Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29 Тел/факс: (495) 129-28-31, E-mail: info@ecoregion.ru				