

# Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

## № 3, 2009

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., старший 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, 48482** 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, Gilyarovskiy 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-Кратков» 610020 г. Киров, Динамовский проезд, д. 4, оф. 3 Тел./факс (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru  
Оригинал-макет, дизайн – Татьяна Коршунова, Денис Бельский  
Фото на обложке – Александр Широких  
Перевод – Ирина Кондакова  
Выпускающий редактор – Мария Зелаева  
Главный редактор издательства «О-Кратков» Евгений Дрогов

Подписано в печать 10.09.2009. Формат 60x84 $\frac{1}{2}$ . Печать офс. Бумага офс. Усл.п.л. 12,5. Тираж 1150 экз. Заказ № 1576.

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 Общественного совета Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору

**В.И. Холстов**

д.х.н., директор департамента реализации конвенционных обязательств Министерства промышленности и торговли РФ

**В.Н. Чупис**

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

**В.Г. Ильницкий**

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

### 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 МО РФ

**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 им. В.И. Ульянова-Ленина

**В.Н. Летов**

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

**Ли Юй**

Министерства здравоохранения России

**В.А. Малинников**

профессор, директор Института микологии Цицилинского аграрного университета, иностранный член РАСХН (КНР)

**А.Г. Назаров**

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

**Ю.Г. Пузаченко**

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

**В.П. Савиных**

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

**В.А. Сысуев**

д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор, президент Московского государственного университета геодезии и картографии, лётчик-космонавт, дважды Герой СССР

**В.И. Теличенко**

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

**Т.А. Трифонова**

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

**А.И. Фокин**

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

**В.Т. Юнглод**

депутат Государственной думы, зам. председателя комитета Государственной думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии

**О.В. Яковенко**

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

**В.Т. Юнглод**

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

**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	<i>А.А. Широких, А.В. Колупаев</i> Грибы в биомониторинге наземных экосистем ..... 4
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ	<i>А.В. Садов, О.Б. Наполов</i> Методология оценки природно-ресурсного потенциала в современном экономическом развитии регионов ..... 15 <i>В.А. Терехова</i> Некоторые научно-организационные проблемы «Global Indicator Networks» ..... 20
МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	<i>Л.И. Домрачева, Ю.Н. Зыкова, Л.В. Кондакова</i> Поллютанты как пусковой механизм сукцессий альгоценозов (модельные опыты) ..... 23 <i>Е.А. Новикова, Т.Я. Ашихмина</i> Аксиологический подход как основа информационного сопровождения экологического мониторинга окружающей среды вблизи объектов хранения и уничтожения химического оружия ..... 27 <i>С.В. Рязанов, Е.Н. Писаренко, П.Е. Антонов, А.Ю. Хубецов</i> Радиоэкологический мониторинг водных экосистем района расположения Балаковской АЭС ..... 31
ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД И ОБЪЕКТОВ	<i>А.М. Юзефович, Н.Е. Кошелева</i> Загрязнение почв селитебной зоны Москвы и его связь с природными и антропогенными факторами ..... 35
ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ	<i>С.М. Захаров, Д.Е. Иванов, Н.В. Емельянова, И.Н. Ларин, В.Н. Чупис, Т.И. Губина</i> Особенности влияния растворов малых и сверхмалых концентраций солей меди и свинца на выживаемость дафний ( <i>Daphnia magna</i> ) ..... 43
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	<i>М.Н. Тихонов, М.И. Рылов</i> Ядерные энергетические установки: постижение реальности ..... 48 <i>М.М. Шац</i> Геоэкологические проблемы селитебных северных территорий (на примере г. Якутска) ..... 57
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА	<i>Е.Н. Зимирева, Е.М. Тарасова, О.Н. Вострикова</i> Коллекция редких и исчезающих растений в ботаническом саду Вятского государственного гуманитарного университета ..... 63
АГРОЭКОЛОГИЯ	<i>Л.В. Трефилова, М.Н. Патрушева</i> Эффективность использования цианоризобияльного консорциума при выращивании гороха посевного ..... 67
ЭКОЛОГИЯ И ВОЕННО- ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС	<i>В.М. Кузнецов, М.С. Хвостова, С.П. Колотухин</i> Вторичное радиационное загрязнение территории посёлка Новое Муслюмово ..... 76
ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ	<i>Г.М. Зенова, Е.А. Иванова, Е.О. Омарова, Г.М. Николаев, Е.С. Лобакова, Н.П. Чижикова</i> Модельные ассоциации актиномицетов и цианобактерии <i>Anabaena variabilis</i> Kütz и их способность к преобразованию структуры глинистых минералов ..... 79 <i>Л.В. Кондакова, Л.И. Домрачева</i> Относительное обилие альго- и микофлоры в почвах луговых фитоценозов ..... 89
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ ПРЕДПРИЯТИЯ	<i>А.Н. Уланов, Е.Л. Журавлёва</i> Экологические аспекты освоения и сельскохозяйственного использования торфяных почв и выработанных торфяников ..... 94
ХРОНИКА	Общественный форум-диалог «Атомная энергия, общество, безопасность» ..... 97
БИБЛИОГРАФИЯ	Новый том Энциклопедии земли Вятской ..... 98

# CONTENTS

<p><b>THEORETICAL PROBLEMS of ECOLOGY</b></p> <p><b>METHODOLOGY And METHODS of RESEARCH. MODELS And FORECASTS</b></p> <p><b>MONITORING of ANTHROPOGENICALLY DAMAGED TERRITORIES</b></p> <p><b>CHEMISTRY of NATURAL ENVIRONMENT And OBJECTS</b></p> <p><b>ECOTOXICOLOGY</b></p> <p><b>ECOLOGICAL RISK And ECOLOGICAL SAFETY</b></p> <p><b>ECOLOGICAL EXPERTISE</b></p> <p><b>AGRICULTURAL ECOLOGY</b></p> <p><b>ECOLOGY And MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX</b></p> <p><b>ECOLOGY of POPULATIONS</b></p> <p><b>ECOLOGICAL PORTRAIT OF ENTERPRISE</b></p> <p><b>CHRONICLE</b></p> <p><b>BIBLIOGRAPHY</b></p>	<p><i>A.A. Shirokikh, A.V. Kolupayev</i> Fungi in Above-ground Ecosystems Biomonitoring ..... 4</p> <p><i>A.V. Sadov, O.B. Napolov</i> Estimation Methods of Natural Resources Potential in Conditions of Contemporary Development of Region ..... 15</p> <p><i>V.A. Terekhova</i> Some «Local» Organizational Problems of «Global Indicator Networks» ..... 20</p> <p><i>L.I. Domratcheva, Yu.N. Zikova, L.V. Kondakova</i> Pollutants as Algae-coenoses Successions Starters (model experiments) ..... 23</p> <p><i>E.A. Novikova, T. Ya. Ashikhmina</i> Axiological approach as a Basis of Informational Accompanying of Ecological Monitoring near Chemical Weapon Storage and Destruction Objects ..... 27</p> <p><i>S.V. Ryazanov, E.N. Pisarenko, P.E. Antonov, A.Yu. Khubetsov</i> Radio-ecological Monitoring of Water Ecosystems within the Balakovskaya APP ..... 31</p> <p><i>A.M. Jusephovich, N.E. Kosheleva</i> Contamination of soils in residential areas of Moscow and its relation with natural and anthropogenic factors ..... 35</p> <p><i>S.M. Zaharov, D.E. Ivanov, N.V. Emelyanova, I.N. Larin, V.N. Chupis, T.I. Gubina</i> Influence of copper and lead salts solutions of little and super-little concentrations on daphnia (<i>Daphnia magna</i>) survival probability is considered ..... 43</p> <p><i>M.N. Tikhonov, M.I. Rilov</i> Nuclear Energy Plants: Understanding the Reality ..... 48</p> <p><i>M.M. Shats</i> Urban Development Problems in Permafrost Areas (With Reference to Yakutsk) ..... 57</p> <p><i>E.N. Zimireva, E.M. Tarasova, O.N. Vostrikova</i> The Collection of Rare and Endangered Plant Species in the Botanic Garden of the Vyatka State University of Humanities ..... 63</p> <p><i>L.V. Trephilova, M.H. Patrusheva</i> Efficiency of Using Cyanorhizobium Consortium in Growing Peas ..... 67</p> <p><i>V.M. Kuznetsov, M.S. Khvostova, S.P. Kolotukhin</i> Secondary Radiation Contamination of the Territory of the Settlement Novoje Muslimovo ..... 76</p> <p><i>G.M. Zenova, E.A. Ivanova, E.O. Omarova, G.M. Nickolayev, E.S. Lobakova, N.P. Chizhikova</i> Model Associations of Actinomycetes and Cyanobacteria <i>Anabaena variabilis</i> Kütz and their Ability to Transform Clay Minerals Structures ..... 79</p> <p><i>L.V. Kondakova, L.I. Domracheva</i> Relative Abundance of Algae- and Mycoflora in Meadow Phytocenoses Soils ..... 89</p> <p><i>A.N. Ulanov, E.L. Zhuravleva</i> Ecological Aspects of Developing and Agricultural Utilization of Peat Soils and Worked-out Peatbogs ..... 94</p> <p>Social Forum-Dialogue «Nuclear Energy, Society, Safety» ..... 97</p> <p>A New Volume of Vyatka Land Encyclopedia ..... 98</p>
--	---

## Грибы в биомониторинге наземных экосистем

© 2009. А.А. Широких<sup>1</sup>, д.б.н., с.н.с., А.В. Колупаев<sup>2</sup>, аспирант,<sup>1</sup>ГУ НИИСХ Северо-Востока,<sup>2</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,

e-mail: irgenal@mail.ru

Обзор посвящён анализу данных о биоиндикационном потенциале грибов в наземных экосистемах. Проявление на различных уровнях организации микобиоты биоиндикационных признаков позволяет использовать грибы в системе мониторинга природных сред и объектов.

The review describes fungi bioindication potential in above-ground ecosystems. Different bioindication parameters appear at different organization levels of mycobiota, thus fungi can be used in environmental ecological monitoring.

Ключевые слова: экосистемы, биомониторинг, базидиомицеты, комплекс микромицетов

Сообщества грибов являются одной из главной составляющей экосистем нашей планеты. Грибы осуществляют широкий спектр биосферных функций, важнейшей из которых является разложение органического вещества [1, 2]. Грибам в экосистемах отводится особый экогоризонт и роль посредников между живым и косным веществом в биосфере [3]. Они контролируют широкий спектр экосистемных функций – первичную и вторичную продуктивность, регенерацию биофильных элементов путём разложения растительных и животных остатков и перевода элементов из геологического в биологический круговорот [4, 5]. Столь важная роль этих организмов в экосистемах сформировалась в процессе совместной эволюции растений и грибов как двух неотъемлемых компонентов любой экосистемы – автотрофов и гетеротрофов. Вегетативные структуры грибов (мицелий и хламидоспоры) постоянно обнаруживаются в самых ранних ископаемых остатках древних биогеоценозов. Поэтому можно считать доказанным, что во все геологические эпохи грибы в качестве симбиотрофов и паразитов оказывали влияние на развитие, рост и распространение организмов, а в качестве сапротрофов участвовали в разложении их органических остатков [6].

Грибы могут размножаться, спорулировать и поддерживать свою численность в аэробных и анаэробных условиях во всех средах современной биосферы [7]. По способности осваивать экологические ниши и своей экологической пластичности грибы не

имеют себе равных среди живых организмов [8]. И тем не менее изменения, происходящие в настоящее время в биосфере в результате активной антропогенной деятельности, оказывают всё большее влияние на среду обитания грибных организмов [9 – 11]. Процессы, сопровождающие антропогенную трансформацию грибных сообществ, могут привести к разрушению регуляторных механизмов и сбалансированности биосинтеза и деструкции органических веществ в экосистемах. Поэтому проблема оценки биоиндикационной значимости микологических показателей в биогеоценозах представляется актуальной для биомониторинга загрязнённых территорий. Опыт исследования изменчивости грибов в условиях техногенной нагрузки разного уровня и качества даёт представление о широких возможностях их использования в оценке качества природных сред [12].

Биоиндикационная эффективность микромицетов разных эколого-трофических групп в одних и тех же условиях может быть неодинаковой. Например, в популяциях фитопатогенных почвообитающих грибов (факультативных биотрофов) реакции на изменения окружающей среды отчётливее проявляются по морфологическим критериям, в то время как у фитопатогенов, более тесно связанных с растениями (облигатных биотрофов), экологическая информативность морфолого-культуральных признаков ниже, чем физиолого-биохимических маркеров [11]. Поэтому в систему биотических параметров грибных сообществ для оценки техногенных

воздействий целесообразно включать комплекс микологических показателей, состоящих из общих и структурных индексов (численность, биомасса и длина мицелия, индексы видового разнообразия, морфобиологическая структура биомассы, морфо-культуральные типы колоний, изоферментные маркеры и др.). При выборе критериев характеристики микобиоты предпочтение следует отдавать признакам, наименее варьирующим в одинаковых условиях.

В настоящее время выполнено много работ и накоплен большой фактический материал, позволяющий судить о степени реагирования микро- и макромицетов на изменения условий окружающей среды [11, 13 – 20]. Однако биоиндикационная значимость и экологическая информативность синэкологических показателей грибов всё ещё остаются малоисследованными.

### Биоиндикационное значение высших базидиальных грибов

Все грибы подразделяют на две формальные группы – микромицеты и макромицеты. Микромицеты – это большая группа микроскопических грибов, не образующих крупных плодовых тел, как у макромицетов. По морфометрическим параметрам мицелия и конидий эти группы грибов сопоставимы. Некоторые виды макромицетов, так же, как и микромицеты, хорошо культивируются на обычных питательных средах, применяемых в лабораторной практике для выращивания грибов. Если биоиндикационная ценность микромицетов в грибных сообществах не вызывает сомнений, то в отношении макромицетов мнения экологов расходятся. Дело в том, что культуру мицелия макромицетов в лабораторных условиях можно получить только методом тканевых культур, используя для этого плодовые тела или споры грибов. Мицелий макромицетов нельзя выделить в культуру непосредственно из образцов природных субстратов (почва, растения, вода). Поэтому некоторые исследователи считают, что эфемерность и нерегулярная продукция плодовых тел макромицетов затрудняют биоиндикационные исследования [21]. Однако накопление некоторых химических элементов плодовыми телами в концентрациях, значительно более высоких, чем в окружающей среде, является особенностью биологии базидиальных макромицетов [22], и поэтому было бы неразумно не использовать их в качестве

организмов-биоиндикаторов на техногенных территориях. Выявлен ряд интересных особенностей накопления токсикантов в зависимости от трофических свойств высших грибов [23]. Например, *Laccaria amethystina* накапливает мышьяк в концентрациях от 100 до 200 мг/кг сухой массы [24], а уровень накопления серебра и ртути в *Agaricus bisporus* составляет 165 и 75 мг/кг сухой массы плодовых тел [25].

Тяжёлые металлы могут накапливаться (более, чем в 100 раз) не только в плодовых телах грибов, но и в ризоморфах, что было показано для видов рода *Armillariella* [26]. Причём металлы накапливаются преимущественно на поверхности мицелия. Предполагается, что формирование такой содержащей металлы «оболочки» ризоморф способствует их сохранению и длительности существования.

Исследования концентрации ряда тяжёлых металлов показали, что максимальное накопление загрязняющих веществ было характерно для сапротрофов, промежуточное – для паразитирующих и микоризных видов и минимальное – для ксилотрофных грибов. Различие в концентрации металлов у грибов отмечалось и в других работах [14, 27 – 30]. Установлено, что в целом уровень накопления, например Pb, Cd, Zn, Hg, в грибах на индустриальных территориях выше, чем обнаруживаемый для сельских мест. Физиологические особенности аккумуляции металлов плодовыми телами базидиомицетов до сих пор не совсем ясны, но, тем не менее, это свойство грибов может иметь очень важное экотоксикологическое значение.

В отношении видовой структуры сообщества микромицетов было показано, что на территориях, подверженных антропогенному влиянию, преобладают виды, имеющие широкую экологическую валентность и распространённость по Земному шару [31]. Под влиянием атмосферного загрязнения в лесных биогеоценозах некоторых районов Центральной Европы наблюдалось уменьшение числа плодовых тел микоризных грибов с одновременным увеличением количества плодовых тел ксилотрофных грибов и степени поражения деревьев паразитическими грибами [29]. Таким образом, не только химический состав плодовых тел, но и видовая структура сообщества макромицетов также имеет существенное биоиндикационное значение для биомониторинга техногенных территорий.

Методология экологических исследований макромицетов базируется на геоботанических и фитоценологических принципах.

Мицелиальные культуры некоторых видов базидиомицетов, способных культивироваться *in vitro*, можно использовать в качестве тестовых организмов при лабораторном исследовании образцов различных сред техногенных территорий. Однако в целом методические приёмы изучения экологии высших грибов хорошо разработаны для анализа влияния на сообщество природных, а не антропогенных факторов и существенно отличаются от анализа микромицетов [4].

### Популяционный подход в оценке экосистем по реакции комплекса микромицетов

При исследовании микромицетов основным способом получения информации о присутствии видов в биоценозах служат микробиологические посеы на питательные среды, последующее выделение колоний и работа с чистыми культурами. Для оценки техногенных факторов используются те же количественные и качественные показатели, что и при анализе природной изменчивости сообществ микромицетов. К таким показателям относят: общую численность микромицетов, содержание отдельных группировок (в том числе, патогенных и оппортунистических видов), биомассу и изменение её морфобиологической структуры, скорость роста грибных колоний, видовое разнообразие и изменение состава, пространственную и видовую динамику сообществ микромицетов. Приёмы учёта и выделения микромицетов, используемые для анализа почв, как одного из самых сложных местообитаний в биогеоценозах могут применяться и при анализе других субстратов. Оценка биоиндикационной ценности различных параметров грибных сообществ приводится в монографии В.А. Тереховой (2007).

Экологические описания, разработанные для микроорганизмов, базируются на терминах и понятиях, которые не всегда можно использовать для грибов. Основные из этих понятий – особь, популяция, сообщество [32]. Бактерии и животные – организмы унитарные, т. е. особи физически дискретны и относительно функционально независимы. Для модульных организмов, к которым относятся грибы, дискретны споры, но трудно выделить индивидуальный мицелий, дискретными же могут быть и отдельные колонии [33]. В то же время грибную колонию можно рассматривать как совокупность составляющих её гифальных модулей, которые с одной стороны могут функционировать независимо,

а с другой – быть системно интегрированными [34]. Это создаёт определённые трудности при учёте количества микромицетов в почвах.

Если рассматривать сообщество как совокупность совместно обитающих организмов разных видов, представляющих собой определённое экологическое единство, то для почвенных грибов доказательство свойства выраженного функционального единства пока проблематично. В этом отношении применение термина «комплекс почвенных грибов» более корректно, так как, с одной стороны, он показывает их рассмотрение как совокупности, а с другой, подчёркивает отсутствие доказательств их функциональных отношений.

Изменение грибных сообществ (комплексов) во времени рассматривают как сукцессию грибов [1]. Перестройки состава и структуры грибных комплексов происходят в процессе деградации растительных остатков, сезонных изменений температуры и влажности, изменения физико-химических свойств среды обитания, при выедании грибного мицелия беспозвоночными животными. В конечном счёте, состав и представленность комплекса грибов в биоценозах зависят от пространственной и временной вариабельности этих факторов и их сочетаний. В экосистемах, подвергающихся антропогенному воздействию, ведущую роль при развитии грибных сукцессий могут играть антропогенные факторы [10].

Экологи давно проявляют большой интерес к видовому разнообразию, т. е. определению числа видов в сообществе, поскольку существует определённая связь между видовым богатством и абиотическими условиями существования конкретных сообществ. Видовое разнообразие сообществ обычно описывается на основании *видового богатства*, которое характеризуется общим числом выделенных видов и выравненностью, основанной на обилии или другом показателе значимости вида [1]. В почвах обитает большое разнообразие грибов, отличающихся циклами развития, физиологическими потребностями, биотическими связями, систематическим положением [35 – 37]. Для почвенных грибов *видовое богатство* определяется как общее или среднее число выделенных видов, *обилие* – как общее число штаммов данного вида к общему числу штаммов всех видов. Как показатель значимости используют также *относительную численность* – число изолятов данного вида на единицу массы почвы, *встречаемость* – число образцов, где вид обнаружен, к общему числу исследованных образцов [36, 38 – 40].

### Биоиндикационная роль комплексов микромицетов в оценке урбанизированных территорий

Результаты исследования городских почв (урбаноэмов) показывают, что в них формируются функционально разнообразные грибные сообщества, отличные от ненарушенных почв даже городского лесопарка (не говоря уже об естественных почвах загородных территорий) по присутствию, видовому составу, структуре и обилию грибов разных эколого-трофических групп [20, 41]. В городских почвах отмечена деградация природного комплекса почвенных целлюлозолитических грибов – одной из основных функциональных групп в лесных биогеоценозах. Деградация комплекса целлюлозолитических микромицетов выражалась в снижении численности и изменении видового состава. В то же время было отмечено увеличение численности и изменение видового состава в комплексах пептонолитических и кератинолитических грибов. В комплексе пептонолитических микромицетов произошло значительное увеличение представителей родов *Fusarium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, а в комплексе кератинолитических микромицетов в большом количестве обнаруживались виды с выраженными кератинолитическими свойствами: *Artroderma uncinatum*, *Chrysosporium tropicum* и *F. oxysporum*. Авторами также был подтверждён феномен увеличения присутствия потенциально патогенных видов микромицетов в почвах города по сравнению с дерново-подзолистыми почвами загородных территорий. Потенциально патогенные (оппортунистические) микромицеты могут быть причиной так называемых «вторичных» микозов, которые могут развиваться у людей, уже имеющих определённое заболевание. Наиболее подвержены вторичным микозам люди, страдающие различными формами иммунодефицита. Важнейшими факторами, которые определяют возможность развития заболевания людей (микозов, аллергий, микотоксикозов) при контакте с мицелиальными грибами, могут быть содержащиеся в клеточных стенках грибов (1,3)-D-глюканы, гидрофобины, меланины, а также летучие органические соединения, продуцируемые грибами [42].

Одним из следствий увеличения присутствия оппортунистических грибов в городской среде является рост заболеваемости микозами различной этиологии домашних животных – собак и кошек [43, 44]. Распространению по-

добных заболеваний среди животных способствует целый ряд факторов: выгул животных на загрязнённых городских территориях, бесконтрольное применение антибиотиков в ветеринарной практике, увлечение населения породами животных с изначальной дисфункцией иммунной системы в результате селекции породы. Одной из причин возрастания частоты этих патологий является и то, что животные выгуливаются в 30-50 см слое приземного воздуха, наиболее насыщенного спорами оппортунистических грибов [45].

На основании полученных результатов сделано заключение, что повышенное накопление в городской среде различных органических веществ создаёт благоприятные условия для развития ряда функциональных групп грибов и аккумуляции в значительном количестве потенциально патогенных видов [40]. Таким образом, в городских экосистемах происходят изменения состава и структуры почвенной микобиоты, направленные на деградацию природных трофических группировок и стимуляцию группировок, развивающихся на органических загрязнителях. Эти исследования являются хорошей иллюстрацией использования видовой структуры комплексов микромицетов и их трофических группировок для биомониторинга антропогенно нарушенных территорий.

В городской среде отмечено увеличение присутствия тёмноокрашенных видов микромицетов, имеющих в клеточной стенке тёмные пигменты – меланины [46]. При этом среди них значительную часть составляют виды, известные как потенциально патогенные и аллергенные – представители родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Ulocladium* и др. Аккумуляция таких тёмноокрашенных видов в наибольшей степени (по числу выделяемых видов и по их общему обилию) прослеживается в придорожных зонах [47]. Увеличение присутствия тёмноокрашенных видов микромицетов вдоль автомагистралей наблюдалось в разные сезоны года и в разных средах обитания – в почве, воздухе, снеговом покрове. Доля тёмноокрашенных грибов на листьях придорожных деревьев, трав и в почве была тем больше, чем выше уровень автотранспортной нагрузки. При учёте тёмноокрашенного мицелия в световом микроскопе следует иметь в виду, что многие поллютанты увеличивают проницаемость клеточной стенки грибов [48]. В цитоплазму клеток могут проникать окрашенные вещества из почвенного раствора, например, гумусовые соединения. Поэтому

при учёте тёмноокрашенного мицелия на техногенных территориях микроскопическими методами необходимо параллельно учитывать синтезирующие меланиновые пигменты грибы методом посева с последующей идентификацией выросших колоний.

Особую группу веществ, особенно опасных для биосферы, представляют соединения, синтезируемые целенаправленно для подавления живых организмов. К их числу относятся боевые отравляющие вещества [49]. При попадании в почву отравляющих веществ, например, иприта, происходит их деструкция, в основном за счёт химических и микробиологических процессов. Однако полной детоксикации иприта и хлорсодержащих продуктов его гидролиза в природных условиях не наблюдается [50]. Загрязнение почв ипритом и продуктами его гидролиза приводит к экологическим изменениям, выражающимся в снижении показателей сходства и видового разнообразия микробиоценоза, увеличении показателей доминирования. Изучение микробной сукцессии в таких почвах показало, что наибольшую чувствительность к продуктам гидролиза иприта проявляют микроскопические грибы [51]. Действие продуктов гидролиза иприта на микромицеты выражалось не только на уровне структурной перестройки их комплекса, но и на их морфолого-культуральных и физиолого-биохимических признаках. В лабораторных условиях на культурах аспергиллов и пенициллов было показано, что продукты гидролиза иприта в первую очередь действуют на цитоплазматическую мембрану и липидный обмен в клетках. Возникающие при этом нарушения структуры и функций мембран приводят к различным изменениям в процессах жизнедеятельности грибов или к их гибели [48].

#### Токсинообразующие микромицеты в окружающей среде

Одним из направлений исследования негативных последствий антропогенных изменений экосистем может являться определение присутствия в различных средах токсинообразующих грибов. Было показано, что многие почвенные микромицеты, в первую очередь представители родов *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus* и ряда тёмноокрашенных грибов, являются продуцентами разнообразных фитотоксинов [36]. Установлена возможность образования фитотоксинов непосредственно

в почве. Фитотоксины обнаруживались в почвах после обогащения грибами-продуцентами, особенно после добавления в почву различных органических субстратов, что способствовало росту фитотоксичных грибов. Таким образом, сами фитотоксичные грибы могут являться загрязнителями биогеоценозов.

Условия развития в почвах микроскопических грибов, продуцирующих вторичные метаболиты, токсичные для человека и животных, исследованы пока в меньшей степени. В настоящее время большое внимание уделяется исследованию токсинов грибов рода *Aspergillus*, особенно *A. flavus*, а также токсинообразующих грибов рода *Fusarium* [52 – 54]. Одним из наиболее опасных для человека считают афлатоксины [55]. Афлатоксинам присущи такие эффекты на макроорганизм, как мутагенность, канцерогенность, тератогенность, гепатотоксичность [56]. Первоначально возможность продуцирования афлатоксинов была показана для вида *A. flavus*, но сейчас доказано, что продуцировать эти токсины могут представители других видов рода *Aspergillus*: *A. parasiticus*, *A. glaucus*, *A. niger*, *A. fumigatus* или даже рода *Penicillium* – *P. citrinum*, *P. digitatum* и др. [57, 58]. Из других микромицетов токсиногенностью обладают виды из родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Helminthosporium*, *Paecilomyces*, *Sporodesmium* и др. [59].

Грибы рода *Aspergillus*, в том числе известные как важные токсинообразователи, – типичные почвенные обитатели. В нарушенных природных экосистемах они распространены преимущественно в условиях тёплого влажного климата в южных широтах. В природных условиях северных и умеренных широт России в почве и других местообитаниях обилие и разнообразие грибов рода *Aspergillus* обычно невелико. Однако антропогенное изменение природных экосистем приводит к изменению грибных сообществ, в результате которого нарушаются и закономерности природного распределения микроскопических грибов. Поэтому в городских почвах и почвах пригородных рекреационных территорий наблюдается увеличение обилия видов рода *Aspergillus* [10]. Микотоксины способствуют выживанию продуцирующих их видов грибов при неблагоприятных условиях в конкуренции с другими видами микроорганизмов, поэтому присутствие токсинообразующих микромицетов в антропогенно нарушенных биогеоценозах является биоиндикационным параметром.

### Методологические подходы в исследованиях грибных сообществ

Самые современные методы микологических анализов до сих пор не позволяют оценить всю совокупность микромицетов в наземных экосистемах и определить функциональные отношения между ними. Пока при микологических анализах может быть идентифицирована только часть от всех грибных популяций [60]. Видовая идентификация микромицетов, входящих в состав сообществ, преимущественно возможна только при их изоляции из природных местообитаний и дальнейшем выращивании на питательных средах. При использовании метода посева происходит одновременный подсчёт как активного мицелия, так и спор грибов, находящихся в состоянии покоя. Используя метод посева, можно идентифицировать то, что нельзя увидеть (*in situ*), в то время как прямыми методами наблюдения можно увидеть то, что нельзя идентифицировать [61].

Все методы изоляции микромицетов можно разделить на прямые (перенос отдельных спор или мицелия на питательную среду) и непрямые методы (посев почвенных суспензий). При использовании прямых методов микромицеты можно выделять с любых субстратов непосредственно или после предварительной инкубации в условиях влажности в течение нескольких недель. Мицелий и споры грибов могут быть перенесены стерильными иглками под контролем микроскопа на питательную среду.

Из непрямых методов можно выделить три основных: 1) метод разведений почвенной суспензии с последующим поверхностным или глубинным посевом в агаризованную питательную среду; 2) метод отмывки почвенных частиц; 3) метод Уоркапа – выделение микромицетов из почвенных комочков [62, 63]. В методе разведений на стерильной воде готовят серии разведений почвенной суспензии, определённое количество которой (например, 0,1-0,2 мл) равномерно распределяют по поверхности плотной питательной среды. При глубинном посеве определённый объём питательной среды, охлаждённой до 40-45 °С, смешивают с определённым объёмом конкретного разведения в чашке Петри и инкубируют. Метод разведений обычно используют для подсчёта колониеобразующих единиц (КОЕ) в образце.

При использовании метода отмывки почвенных частиц споры частично удаляются и с большой вероятностью выделяются грибы,

присутствующие в почвах в виде мицелия, а также редкие и медленно растущие виды [64, 65]. Однако этот метод более трудоёмок, требует специального технического оснащения, а также большого количества питательной среды. Его рекомендуют для описания грибных сообществ лесных подстилок [66].

При использовании метода Уоркапа очень небольшое количество почвенных частиц (5-15 мг), без предварительного суспензирования в воде, распределяют в расплавленной питательной среде в чашке Петри. Простота этой техники делает её подходящей для сравнения большого числа образцов.

Для изоляции микромицетов из почв в питательные среды добавляют антибиотики: хлорамфеникол, пенициллин, стрептомицин, или подкисляют среды для того, чтобы сделать их селективными для грибов и подавить рост бактерий. Стандартные среды (сусло-агар, картофельно-декстрозный агар, среда Чапека, среда Гетчинсона) с антибиотиками используются для выделения разнообразных комплексов грибов и первичного разделения их на таксономические группы. Показано, что наиболее «универсальной» средой является среда Чапека, на которой выделяются виды микромицетов, аналогичные изолируемым на других стандартных средах, но их первичная идентификация на среде Чапека намного проще [67].

Видовое разнообразие отдельных трофических групп почвенных микромицетов может быть выявлено при внесении в питательные среды различных субстратных приманок, например, целлюлозы, крахмала, хитина, кератина [62, 63, 68]. Метод изоляции даёт представление, но не в состоянии описать полный состав грибов в почве. Метод является только шагом в понимании роли микромицетов в природных экосистемах. Списки выявляемых видов не говорят нам о количестве мицелия, его метаболической активности, реальном обилии различных видов, их форме и распределении внутри местообитаний. Тем не менее метод изоляции можно успешно использовать для биоиндикации экосистем, испытывающих техногенное влияние. Структурная перестройка комплекса (переход редко встречающихся видов в разряд доминантов), которую можно выявить с помощью метода посева, свидетельствует о сукцессионных процессах в биогеоценозе, нередко вызванных антропогенным воздействием.

Другим аспектом применения метода посева для биомониторинга является мор-

фолого-культуральная характеристика изолированных колоний микромицетов [69, 70, 71]. Морфофизиологические изменения окраски колоний под влиянием техногенных факторов, время и количество созревания спор на единицу её площади, радиальная скорость роста колонии – все эти показатели легко вычисляются в лабораторных условиях и весьма информативны для целей биомониторинга. Например, изменение окраски колоний под влиянием тяжёлых металлов отмечалось у многих видов микромицетов – *Trichoderma lignorum*, *Penicillium tardum*, *Trichothecium roseum*, *Gliocladium roseum* [72, 73]. Под воздействием цинка и меди интенсивность образования спор в пикнидах *Phoma* значительно снижается [70]. При воздействии на мицелий *Fusarium oxysporum* кадмия наблюдается стимуляция образования микроконидий при одновременном подавлении образования хламидоспор [71]. В наших исследованиях почв Кильмезского ядомогильника отмечено снижение радиальной скорости роста колоний *Trichoderma viride* на участках, загрязнённых пестицидами [74].

Таким образом, метод посева может успешно применяться для биомониторинга различных сред техногенно нарушенных биогеоценозов.

Одним из наиболее простых и удачных для изучения и количественного учёта микромицетов в естественных и техногенно нарушенных биогеоценозах является люминесцентно-микроскопический метод. Суть метода заключается в наблюдении с помощью люминесцентного микроскопа окрашенных флуоресцирующими красителями препаратов суспензий (например, почвенных) не в проходящем, а в падающем свете [75 – 77]. Метод позволяет отдельно учесть биомассу, количество спор и мицелия в почве и других субстратах и особенно хорошо подходит для изучения морфобиологической структуры комплексов микромицетов [78 – 80].

При использовании метода люминесцентной микроскопии почвенную суспензию после предварительной подготовки (взбалтывание на качалке, магнитной мешалке, ультразвуковом диспергаторе и т. д.) наносят на предметное стекло и равномерно распределяют на площади 4 см<sup>2</sup>. Препарат высушивают на воздухе при комнатной температуре и окрашивают калькофлуором белым (0,001%). Препарат просматривают на люминесцентном микроскопе с использованием светофильтров ФС-1-2, ЖЗС-19, ЖС-18. Учёт количества

спор и общую длину мицелия измеряют в нескольких полях зрения (обычно 50). Общую грибную биомассу определяют расчётным способом [79].

Установлено, что в городских почвах в отличие от природных условий микромицеты часто не формируют мицелий, а сохраняются в виде спор. Таким образом, относительное содержание грибных спор в почвах города увеличено [47]. Поэтому соотношение биомассы спор и мицелия микромицетов в почвах, установленное люминесцентно-микроскопическим методом, является неплохим индикатором для антропогенно нарушенных биоценозов.

В таксономии грибов широко используются морфологические признаки (морфология конидий, мицелия и т. д.). Поэтому большинство грибов можно идентифицировать только в том случае, если у них имеются спороношения. В природе грибы значительную часть своего жизненного цикла находят преимущественно в виде мицелия. Из различных местообитаний в антропогенно нарушенных биогеоценозах очень часто изолируются грибы, не образующие споровых структур на питательных средах, применяемых в лабораторной практике. Вероятно, это связано с тем фактом, что тяжёлые металлы и органические поллютанты, присутствующие в антропогенных экосистемах, существенно снижают интенсивность спорообразования некоторых видов микромицетов. В этом случае невозможно идентифицировать изолированные виды микромицетов традиционными методами. Поэтому выявление и идентификация грибов в их вегетативной фазе – одна из основных проблем в экологии грибов. Эта ситуация до недавнего времени являлась серьёзным препятствием для прогресса в микологии. Однако современные методы молекулярной биологии дают определённую возможность идентифицировать виды грибов в отсутствие спороношений.

Современные ДНК-технологии позволяют проводить прямое изучение генома организмов. Существуют основные различия в границах, в которых различные части генома меняются в процессе эволюции. Некоторые части генов настолько консервативны, что их сиквенсы могут быть идентифицированы для отдельных царств, в то время как существуют и участки, различающиеся на уровне индивидуальностей. Следовательно, исследуя соответствующие участки генома, будет возможно различать желаемые таксономические единицы [2].

Используя методы молекулярной биологии можно выявлять биоиндикационные виды микромицетов без их изоляции на питательных средах [81]. В перспективе для описания грибного разнообразия предполагаются комбинированные подходы с использованием как морфологических описаний изолятов, так и методов молекулярной биологии [65].

### Заключение

Всесторонний анализ окружающей среды предусматривает оценку её экологического состояния и влияние на неё естественных и антропогенных воздействий. Состояние экосистемы, непрерывно меняющееся под влиянием естественных факторов, обычно возвращается в первоначальное. Как правило, крупные экосистемы под влиянием природных процессов изменяются чрезвычайно медленно. Под влиянием антропогенных факторов, в том числе и загрязнения окружающей среды различными поллютантами, состояние экосистем изменяется в более короткие сроки. Поэтому оценка и прогноз антропогенных изменений экосистем и ответной реакции биоты на эти изменения является важной задачей биомониторинга.

Точная и своевременная оценка загрязнения окружающей среды представляет собой серьёзную научно-практическую проблему. Одним из важнейших путей её решения является практика биоиндикации, основанная на оценке антропогенной нагрузки по реакции на неё живых организмов и их сообществ. Важное преимущество биоиндикации – её способность отслеживать пролонгированные эффекты воздействия человека на окружающую среду, в то время как инструментальные методы оценивают лишь содержание различных поллютантов в текущий момент.

Макро- и микромицеты обладают высоким биоиндикационным потенциалом, выявленным на физиолого-биохимическом, морфологическом и популяционном уровнях. Используя различные биоиндикационные признаки, грибы можно успешно использовать в биотестировании токсичных сред и объектов. Проявление биоиндикационных признаков грибов на разных уровнях организации микобиоты предоставляет широкий выбор соответствующих методов, наиболее полно отвечающих целям биоиндикации конкретных экосистем. Наряду с другими организмами-биоиндикаторами состояния окружающей среды, биомониторинг с использованием грибов способствует обеспечению экологи-

ческого контроля и представляет ценность в отношении прогнозирования развития экологической ситуации техногенно нарушенных экосистем.

### Литература

1. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 2. 328 с.
2. Carlile M.J., Watkinson S.C., Gooday G.W. The Fungi. 2nd ed. San Diego; San Francisco; New York; Boston: Acad. press, 2001. 588 p.
3. Каратыгин И.В. Грибные организмы и их роль в эволюции экосистем // Ботанический журнал. 1994. Т. 79. № 2. С. 13-20.
4. Мухин В.А., Веселкин Д.В., Брындына Е.В. и др. Основные закономерности современного этапа эволюции микобиоты лесных экосистем // Грибные сообщества лесных экосистем / Под ред. В.Г. Стороженко и др. М.: Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2000. С. 26-36.
5. Burford E.P., Hiller S., Gadd G.M. Rock and mould: Transformation of carbonate minerals by fungi // Ibid. 2002. P. 328.
6. Каратыгин И.В. Происхождение и эволюция грибов // Микология сегодня / Под ред. Ю.Т. Дьякова, Ю.В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 10-29.
7. Griffith G.W., Ozkose E., Davis D.R., Theodorou M.K. Molecular ecology of anaerobic fungi: (Anaerobic fungi-do we know them all?) // The 7<sup>th</sup> Intern. Mycol. Congr.: Abstracts. Oslo. 2002. P. 123.
8. Бондарцева М.А. Эколого-биологические закономерности функционирования ксилотрофных базидиомицетов в лесных экосистемах // Грибные сообщества лесных экосистем / Под ред. В.Г. Стороженко и др. М.: Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2000. С. 9-25.
9. Dighton J. Fungi in ecosystem processes. Marcel Decser Inc. 2003.
10. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
11. Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
12. Терехова В.А. Информативность параметров микобиоты в экологическом нормировании загрязнений наземных экосистем // Современная микология в России: Тез. докл. I съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2002. С. 83-84.
13. Gobl A., Mutsh F. Schwermetallbelastung von Waldern in der Umgebungeines Huttewerkes in Brixlegg, Tirol. I. Untersuchung der Mykorrhiza and Humusaufgabe // Zbl. Gesante Forstwiss. 1985. Bd. 102. № 1. S. 28-40.
14. Tyler G. Macrofungi of Swedish beech forest / Dep. of Plant Ecol. Univ. of Lund. Lund, 1991. 119 p.
15. Евдокимова Г.А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1995. 272 с.

16. Кирцидели И.Ю., Воробьев Н.И., Терешкова О.М. Сообщества микромицетов из почв подзоны типичных тундр в районе северного побережья Таймырского озера // Микология и фитопатология. 1996. Т. 30. № 2. С. 9-13.
17. Марфенина О.Е. Антропогенные изменения комплексов микроскопических грибов в почвах: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. 1999. 49 с.
18. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
19. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Галимзянова Н.Ф. Влияние нефтепродуктов на комплекс почвенных микромицетов // Микология и фитопатология. 2004. Т. 38. № 1. С. 27-33.
20. Иванова А.Е., Суханова И.С., Марфенина О.Е. Функциональное разнообразие микроскопических грибов в городских почвах разного возраста формирования // Микология и фитопатология. 2008. Т. 42. № 5. С. 450-460.
21. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
22. Горленко М.В. Грибы как источник пищевых белков // Микология и фитопатология. 1983. Т. 17. № 3. С. 117-181.
23. Lepsova A., Mejstrik V. Accumulation of trace elements in the fruiting bodies of macrofungi in the Krusne Hory Mountains, Czechoslovakia // Sci. Total Environ. 1988. V. 76. № 2/3. P. 117-118.
24. Byrne A.R., Tusek-Znidaric M., Puri B.K., Irgolic K.J. Studies of the uptake and binding of the trace metals in fungi, part II: arsenic compounds in *Laccaria amethystina* // Organometal. Chem. 1991. V. 5. P. 25-32.
25. Byrne A.R., Tusek-Znidaric M. Studies of the uptake and binding of the trace metals in fungi, part I: accumulation and characterization of mercury and silver in the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus* // Appl. Organometal. Chem. 1990. V. 4. P. 43-48.
26. Rizzo D.M., Blanchette R.A., Palmer M.A. Biosorption of metal ions by *Armillaria rhizomorpha* // Can. J. Bot. 1992. V. 70. P. 1515-1520.
27. Lodenius M., Herranen H. Influence of chlor-alkali plant on the mercury contents of fungi // Chemosphere. 1981. V. 10. № 3. P. 313-318.
28. Liukkonen-Lilja H., Kuusi T., Laaksovirva K., Lodenius M., Piepponen S. The effect of lead processing works on the lead, cadmium and mercury contents of fungi // Z. Lebensumw. Unters. Forsch. 1983. № 176. P. 120-123.
29. Fellner R. Air pollution and mycorrhizal fungi in Central Europe // Fungi of Europe: investigation, recording and conservation / Ed. by: D.N. Pegler, L. Boddy, B. Ing, P.M. Kirk. Royal Botanical Gardens. 1993. P. 239-250.
30. Иванов А.И., Костычев А.А. Характер накопления некоторых металлов и мышьяка в базидиомах грибов порядка *Boletales* // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41. № 6. С. 500-505.
31. Афанасьев А.А., Мелькумов Г.М., Кубанкина С.С. Макромицеты урбанизированных биотопов Воронежской области // Современная микология в России: Тез. докл. II съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2008. С. 49-50.
32. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. М.: Мир, 1989. Т. 1. 667 с., Т. 2. 477 с.
33. Rayner A.D.M. Introduction. In the fungal community: its organization and role in ecosystem / Ed. by: G.C. Carroll, D.T. Wicklow. Marcel Dekker, New York, 1992. P. 17-24.
34. Andrews J.H. Fungi and the evolution of growth-form // Can. J. Bot. 1995. V. 73. Sp. 1. P. 1206-1212.
35. Томилин Б.А. Изучение грибов как компонентов биогеоценозов // Микология и фитопатология. 1977. Т. 11. № 1. С. 78-81.
36. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
37. Великанов Л.Л. Роль грибов в формировании мико- и микробиоты почв естественных и нарушенных биоценозов и агросистем: Дис. ... д-ра биол. наук. М. 1997. 547с.
38. Zak J.C. Response of soil fungal communities to disturbance // The Fungal Community. / Ed. by: G.C. Carroll, D.T. Wicklow. N.Y. Basel.: Marcel Dekker, 1991. P. 403-425.
39. Dighton J. Analysis of micromycete communities in soil: a critique of methods // Mycol. Res. 1994. V. 98. № 7. P. 796-798.
40. Miller S.L. Functional diversity in fungi // Can. J. Bot. 1995. V. 73. P. 50-57.
41. Иванова А.Е., Марфенина О.Е., Суханова И.С., Макарова Н.В. Микроскопические грибы в почвах, приземных слоях воздуха и снеговом покрове города Москвы // Современная микология в России: Тез. докл. II съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2008. С. 98-99.
42. McGinnis M.R. Pathogenesis of indoor fungal disease // Medical Mycology. 2004. V. 42. P. 107-118.
43. Овчинников Р.С., Маноян М.Г., Макарова Е.Ю., Гайнулина А.Г., Панин А.Н. Оппортунистические микозы животных // Успехи медицинской микологии: Мат. 5-го всерос. конгр. М.: Нац. акад. микологии, 2007. Т. IX. С. 320-323.
44. Широких А.А., Огородников А.Н. Потенциально патогенные микромицеты при дерматомикозах домашних животных // Успехи медицинской микологии: Мат. 5-го всерос. конгр. М.: Нац. акад. микологии, 2007. Т. IX. С. 330-332.
45. Марфенина О.Е., Фомичева Г.М. Потенциально патогенные мицелиальные грибы в среде обитания

- человека. Современные тенденции // Микология сегодня / Под ред. Ю.Т. Дьякова и Ю.В. Сергеева. М.: Нац. акад. микологии, 2007. С. 235-266.
46. Кулько А.Б. Комплексы микроскопических грибов городских почв: Автореф. дис. ... канд. биол. Наук. М.: МГУ, 2000. 24 с.
47. Кулько А.Б., Марфенина О.Е. Распространение микроскопических грибов в придорожных зонах городских автомагистралей // Микробиология. 2001. Т. 70. № 5. С. 709-713.
48. Кузикова Л.И., Медведева Н.Г., Сухаревич В.И., Орлова О.Г., Рыбальченко О.В. Влияние продуктов гидролиза иприта на микромицеты // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41. № 3. С. 252-260.
49. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М.: Военное изд-во, 1990. 271 с.
50. Харченко А.Т., Мягих В.И., Остроумов Ю.И. и др. Применение микроорганизмов для деструкции опасных веществ, загрязняющих окружающую среду // Российский хим. журн. 1993. Т. 37. № 3. С. 40-43.
51. Медведева Н.Г., Поляк Ю.М., Зиновьева С.В., Зайцева Т.Б. Влияние иприта и продуктов его гидролиза на почвенную микробиоту // Почвоведение. 2000. № 8. С. 1023-1028.
52. Саркисов А.Х. Микотоксикозы человека и животных (эпидемиология, этиология, патогенез) // Сб. Оценка загрязнения пищевых продуктов микотоксинами. М.: Центр междунар. проектов ГКНТ, 1985. С. 105-118.
53. Тутьян В.А., Кравченко Л.В., Сергеев А.Ю. Микотоксины // Микология сегодня / Под ред. Ю.Т. Дьякова, Ю.В. Сергеева. М.: Нац. акад. микологии, 2007. С. 283-304.
54. Садыкова В.Н., Танасева С.А., Шангараев Н.Г. Мониторинг афлатоксинов в кормах республики Татарстан // Современная микология в России: Тез. докл. II съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2008. С. 263-264.
55. Кравченко Л.В. Микотоксины как природные контаминанты пищевых продуктов и кормов // Оценка загрязнения пищевых продуктов микотоксинами. М.: Центр междунар. проектов ГКНТ, 1985. Т. 2. С. 7-28.
56. Трemasов Ю.М., Ахметов Ф.Г., Сергейчев А.И., Иванов А.В. О нарушении воспроизводительной функции животных при микотоксикозах // Совр. микология в России: Тез. докл. II съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2008. С. 266-267.
57. Хмельницкая И.И., Винокурова Н.Г., Баскунов Б.П., Аринбасаров М.У. Вторичные метаболиты грибов рода *Aspergillus*, выделенных из почв различных регионов России // Современная микология в России: Тез. докл. I съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2002. С. 264.
58. Рухляда В.В., Андрийчук А.В. *Aspergillus niger* – продуцент охратоксина на кормах Украины // Совр. микология в России: Тез. докл. II съезда микологов России. М.: Нац. акад. микологии, 2008. С. 261-262.
59. Елинов Н.П. Токсигенные грибы в патологии человека // Проблемы медицинской микологии. 2002. Т. 4. № 1. С. 31-38.
60. Hawksworth D.L. Presidential address 1990. The fungal dimesioin of biodiversity: magnitude, significance and conservation // Mycol. Res. 1991. V. 95. P. 641-655.
61. Garrett S.D. Biology of root-infecting fungi. Cambridge: University Press, 1956. 292 p.
62. Методы экспериментальной микологии / Под ред. В.И. Билай. Киев: Наукова думка, 1973. 241 с.
63. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
64. Baath E. A critical examination of soil washing technique with special reference to the effect of the size of the soil particles // Canad. J. Bot. 1988. V. 66. P. 1566-1569.
65. Bills J.F. Analyses of microfungal diversity from a user's perspective // Canad. J. Bot. 1995. V. 73. P. 33-S41.
66. Bills J.F., Polishook J.D. Abundance and diversity of microfungi in leaf litter of a lowland rain forest in Costa Rica // Mycologia. 1992. V. 86. P. 187-198.
67. Мирчинг Т.Г., Озерская С.М., Марфенина О.Е. Способы выявления типичных для определённых условий комплексов микроскопических грибов на основе характеристики их структуры // Биологические науки. 1982. № 11. С. 61-66.
68. Гузев В.С. Экологическая оценка антропогенных воздействий на микробную систему почв: Автореф. дис. ... док. биол. наук. М. 1988. 38 с.
69. Марфенина О.Е. Особенности жизненных циклов микроскопических грибов в почвах при антропогенном воздействии // Антропогенная экология микромицетов. Киев. 1990. С. 12-13.
70. Терехова В.А., Швед Л.Г. Изменчивость морфобиохимических признаков водных грибов под воздействием тяжёлых металлов // Экология. 1994. № 6. С. 77-79.
71. Григорьев А.М. Особенности развития микроскопических грибов под клевером при загрязнении почв: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 2003. 22 с.
72. Упитис В.В., Пакалне Д.С. Медь в культурах микроорганизмов // Биологическая роль меди. М. 1970. С. 46-52.
73. Скворцова И.Н., Якушкина Е.В. Устойчивость к кадмию и накопление его почвенными грибами // Микроорганизмы как компоненты биогеоценоза. Алма-Ата. 1982. С. 69.
74. Колупаев А.В., Ашихмина Т.Я., Широких И.Г. Реакция почвенных микромицетов на пестицидное загрязнение // ИММУНОПАТОЛОГИЯ аллергология инфектология. 2009. № 2. С. 50-51.

75. Звягинцев Д.Г., Дмитриев Е.А., Кожевин П.А. О люминесцентно-микроскопическом изучении почвенных микроорганизмов // Микробиология. 1978. Т. 47. № 6. С. 1091-1096.
76. Кожевин П.А. Микробные популяции в природе. М.: Изд-во МГУ, 1989. 173 с.
77. Trolldenier G. The use of fluorescent microscopy for counting soil microorganisms // Bull. Ecol. Res. Comm. 1973. V. 17. P. 53-59.
78. Мирчинк Т.Г., Паников Н.С. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве // Усп. микробиологии. 1985. Вып. 20. С. 198-226.
79. Полянская Л.М. Прямой микроскопический подсчёт спор и мицелия грибов в почве // Изучение грибов в биогеоценозах: Тез. конф. Свердловск. 1988. С. 30.
80. Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание и структура микробной биомассы как показатели экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706-714.
81. Экология микроорганизмов / Под. ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2004. 272 с.

Российская академия наук  
Уральское отделение  
Коми научный центр  
Институт биологии  
Научный совет по изучению, охране  
и рациональному использованию животного мира  
Министерство природных ресурсов и охраны  
окружающей среды Республики Коми  
Русское энтомологическое общество  
Русское гидробиологическое общество

Всероссийская конференция с международным участием  
«ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОХРАНЫ ЖИВОТНОГО МИРА НА СЕВЕРЕ»

16 – 20 ноября 2009 г.  
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Уважаемые коллеги!

Работа конференции будет проходить в форме пленарных и секционных заседаний и стендовых сессий. На конференции будут рассмотрены проблемы изучения позвоночных, а также почвенных, наземных и водных беспозвоночных на Севере.

Основные направления работы конференции:

- Фауна, систематика и зоогеография
- Внутривидовое разнообразие
- Структура и динамика сообществ и популяций
- Влияние естественных и антропогенных факторов на фауну и население животных
- Адаптации животных к условиям Севера
- Охрана и рациональное использование животного мира

Контакты:

167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

Алла Колесникова

Тел.: 8 (8212) 43-19-69

Факс: 8 (8212) 24-01-63

E-mail: animals@ib.komisc.ru

Сайт: [http://ib.komisc.ru/add/conf/animals\\_2009](http://ib.komisc.ru/add/conf/animals_2009)

## Методология оценки природно-ресурсного потенциала в современном экономическом развитии регионов

© 2009. А.В. Садов<sup>1</sup>, д.г.-м.н., профессор, О.Б. Наполов<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.,

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии,

<sup>2</sup>ВНИИГАЗ,

e-mail: O Napolov@vniigaz.gazprom.ru

В работе дана характеристика запасов природно-ресурсного потенциала по регионам РФ, приведена типизация критериев оценки природно-ресурсного потенциала, охарактеризованы современные методы его оценки. В работе содержится характеристика научных публикаций, посвященных этой проблеме. Подчеркивается, что целесообразно включать эколого-экономическую характеристику природных ресурсов в оценку национального богатства страны.

The article characterizes natural resources potential in regions of the RF. Evaluation criteria of natural resources potential are typified, modern methods of its evaluation are characterized. The article contains characteristics of scientific articles on this topic. It is pointed out that it is rational to include ecologic-economic characteristics of natural resources into the evaluation of national resources of the country.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал,  
эколого-экономическая оценка

Под природно-ресурсным потенциалом понимается совокупность природных ресурсов территории, которые могут быть использованы в хозяйстве с учетом достижений научно-технического прогресса и способствовать увеличению общественного благосостояния. Он включает: энергетические, земельные и почвенные, водные, лесные, биологические (растительный и животный мир), минеральные (полезные ископаемые), климатические и рекреационные ресурсы.

Природно-ресурсный потенциал играет важную роль в размещении производительных сил региона. Состав и масштабы использования природных ресурсов исторически изменчивы и расширяются, как правило, по мере развития производительных сил. Это обусловлено, во-первых, ростом потребностей людей, во-вторых, уровнем технологических возможностей (способностью добыть и переработать ресурсы) и, в-третьих, экономической целесообразностью использования ресурсов (величиной затрат и получаемого эффекта).

Наибольшим экономическим и стратегическим потенциалом обладают минерально-сырьевые ресурсы. По данным Комитета РФ по геологии и использованию недр, только разведанные и подготовленные к освоению минерально-сырьевые ресурсы страны оцениваются в 28 трлн. долл. Стоимость откры-

той, предварительно оцененной, а также прогнозируемой части ресурсов составляет ещё 140 трлн. долл. По данным Минэкономки РФ, минерально-сырьевой сектор в экономике России занимает ведущее место: около 40% фондов промышленных предприятий и 13% балансовой стоимости основных фондов сосредоточено в сфере недропользования. Сырьевыми отраслями обеспечивается 30% ВВП и около 50% объёма экспорта страны. Вместе с тем по удельному показателю обеспеченности активными запасами (отношение общей величины запасов к текущей годовой добыче) основных видов минерального сырья, разработка которых экономически целесообразна по критериям мирового рынка, Россия заметно уступает отдельным зарубежным странам.

Наибольшим природно-ресурсным потенциалом обладают регионы, где сосредоточены и активно осваиваются различные виды ресурсов (минерально-сырьевые, водные, земельные, растительности и животного мира, рекреационные). К таким регионам относятся: Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский-Югра, Ненецкий АО, Красноярский край, Кемеровская, Свердловская, Московская области и др. регионы, где имеются крупные производственные объекты и сосредоточены большие запасы природных ресурсов. Для этих регионов важнейшим

условием в рационализации использования их природно-ресурсного потенциала является определение его рыночной экономической стоимости, которая складывается из стоимостных оценок отдельных ресурсных компонентов (составляющих) на основе количественных и качественных характеристик различных свойств ресурсного компонента (ресурсные, экологические, экономические). Практическая реализация такой оценки позволит оптимизировать региональное природопользование в отдельных территориальных субъектах РФ. Размещение природно-ресурсного потенциала по территории РФ показано на рисунке 1.

Как видно из рисунка, наибольшими запасами топливных, лесных и гидроэнергетических ресурсов обладают Западная, Восточная Сибирь и Дальний Восток, земельными ресурсами – Центральная Россия, Урал и Поволжье. Наименьшими запасами топливных, лесных и гидроэнергетических ресурсов обладают Европейский Север, Центральная Россия, Юг России, Урал и Поволжье; земельными ресурсами – Европейский Север и Дальний Восток.

Природные ресурсы территории являются желательным (но не обязательным) условием развития экономики. Достижения научно-технического прогресса ведут к тому, что воздействие природно-ресурсного фактора на экономику развитых стран заметно ослабевает. Например, в последние десятилетия быстро развивались страны, где отсутствуют необходимые полезные ископаемые

(Япония, Южная Корея, Сингапур). Но при прочих равных условиях наличие богатых и разнообразных природных ресурсов даёт странам – их обладателям дополнительные преимущества.

Необходимость оценки природно-ресурсного потенциала территории диктуется различными причинами экономического, экологического и социального порядка:

- экономические причины обусловлены важностью включения экономических оценок стоимости природных ресурсов в планы и стратегии развития регионов;
- экологические причины возникают вследствие влияния экологического фактора на экономическую стоимость природных ресурсов;
- социальные причины обусловлены дальнейшими планами социально-демографического развития регионов.

В общем смысле в оценке природно-ресурсного потенциала должны быть задействованы критерии экономического, экологического и социального порядка, которые обеспечивают возможность получения комплексной эколого-экономико-социальной информации об исходном и прогнозируемом состоянии окружающей среды региона.

В разное время были проведены исследования по получению комплексной эколого-экономической и социальной оценки природно-ресурсного потенциала территории региона. В качестве примера приведём результаты ранее проведённых исследований по Московской области [1]. В работе

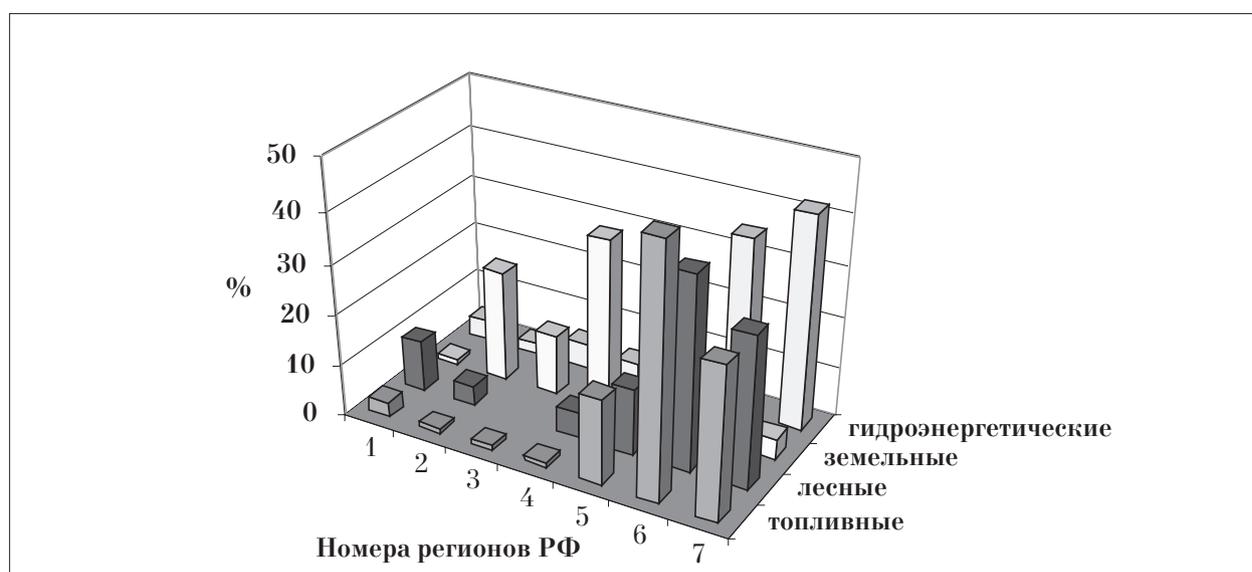
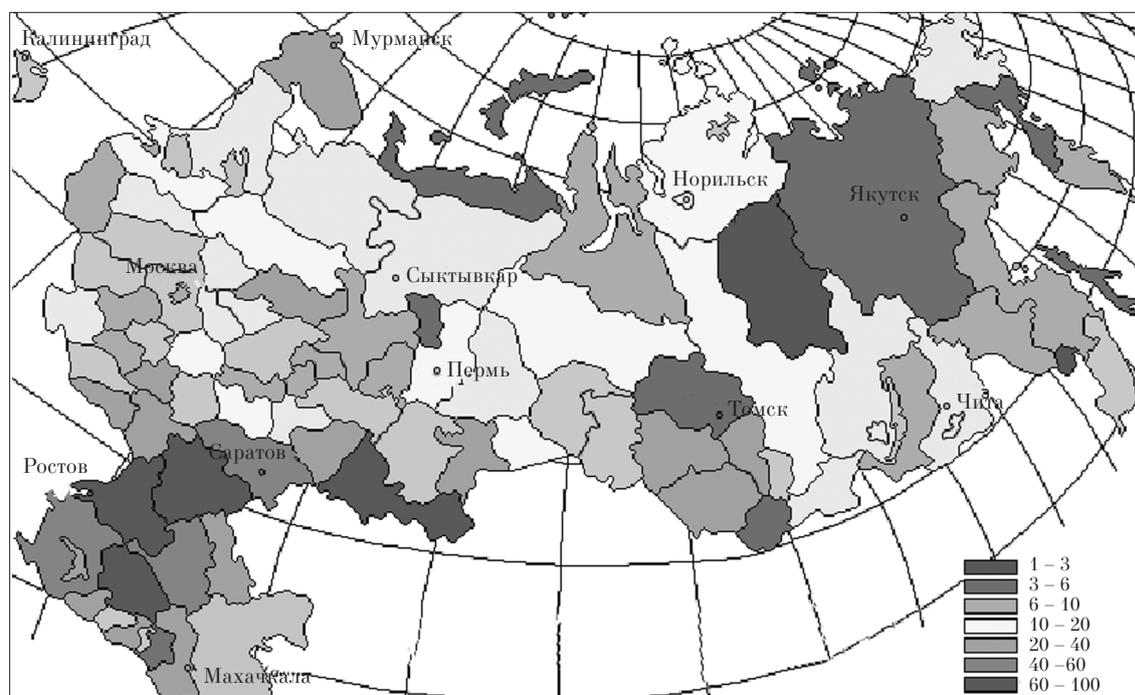


Рис. 1. Размещение природно-ресурсного потенциала по территории РФ (по отдельным видам ресурсов, в %): 1 – Европейский Север, 2 – Центральная Россия, 3 – Юг России; 4 – Урал и Поволжье; 5 – Западная Сибирь; 6 – Восточная Сибирь; 7 – Дальний Восток



**Рис. 2.** Суммарный индекс неблагоприятия суммарных запасов невозобновимых и возобновимых природных ресурсов регионов РФ (в баллах). Степень неблагоприятия природных ресурсов регионов зависит от величины баллов: >10 (благополучные), 10-40 (среднеблагополучные), 40-100 (неблагополучные)

охарактеризованы эколого-экономические подходы к оценке природно-ресурсного и экологического потенциала Московской области. На основании выбранных критериев и показателей природно-ресурсного потенциала Московского региона (природно-ресурсных, санитарно-гигиенических, экологических, экономических, социально-демографических) выполнено районирование территории Московской области по природно-ресурсному и экологическому потенциалу с выделением территориальных природно-ресурсных комплексов, определены основные направления их устойчивого развития.

По результатам ранжирования отдельных районов Московской области был рассчитан и их природно-ресурсный и социально-экономический потенциал, а по результатам расчёта была проведена их сравнительная оценка и деление по группам (условно благополучная, удовлетворительная, напряжённая, критическая, кризисная) обстановки и построены серии карт экологического содержания. Проведённый анализ показал, что на территории некоторых территориальных природно-ресурсных комплексов Подмосковья запасы природно-ресурсного потенциала подошли к критической отметке и даже перешли её (Центральный, Мещер-

ский, части Московско-Окский и Заокский природно-территориальные комплексы). Более благополучная обстановка характерна для северных и западных природно-территориальных комплексов Подмосковья (Верхневолжский, Смоленско-Московский, Клинско-Дмитровский комплексы).

При оценке природно-ресурсного потенциала территории необходимо учитывать развитие производственных отношений между различными субъектами, участвующими в макроэкономическом межтерриториальном обмене.

Современная региональная и межрегиональная экономика практически по всем своим показателям зависит от эколого-экономико-социального состояния природно-ресурсного потенциала, поскольку именно на этой основе происходит развитие производительных сил и интенсификация социально-экономических и производственных процессов. К примеру, регионы с избыточным природно-ресурсным потенциалом из числа нефтегазодобывающих регионов (Тюменская область, ХМАО-Югра, ЯНАО, Красноярский край) чрезвычайно интенсивно эксплуатируют собственные природные ресурсы для удовлетворения растущих потребностей других регионов, а часть денежных ресурсов направляют на внутреннее развитие.

Кроме того, эти регионы слишком зависят от текущих ценовых котировок на энергоресурсы и в большей степени вовлечены в межхозяйственные экономические связи с другими региональными субъектами, чем регионы с бедным и истощённым ресурсным потенциалом. Напротив, регионы с бедными и истощившимися природными ресурсами чрезвычайно зависимы от ввозимых ресурсов (Юг России). На рисунке 2 представлен суммарный индекс неблагополучия суммарных запасов невозобновимых и возобновимых природных ресурсов регионов РФ. К невозобновимым ресурсам относятся – минерально-сырьевые и земельные, к возобновляемым – водные, биологические, рекреационные ресурсы.

В результате дисбаланса, сложившегося между богатыми и бедными регионами по запасам природно-ресурсного потенциала, возникла необходимость в стоимостном выражении существующих и прогнозируемых сырьевых запасов.

Проблема оценки природных ресурсов стоит перед учёными и практиками уже не один десяток лет [2 – 6]. Сейчас практически для каждого здравомыслящего человека очевиден тот факт, что если природные ресурсы вовлечены в хозяйственный оборот, то они должны быть оценены, как и любой другой товар. Складывающаяся в нашей стране до недавнего времени ситуация «бесплатности» используемых в экономике природных благ или их минимальной цены стала одной из причин нерационального использования природных ресурсов, расточительности экономики. Промышленные и сельскохозяйственные предприятия бесхозяйственно использовали средства производства природного происхождения, не неся при этом никакого ущерба. В связи с этим реальные цены природных ресурсов могут стать эффективными рычагами в рыночном механизме. Кроме этого, другой насущной проблемой на сегодняшний день является неоправданно завышенная ценность топливно-энергетических ресурсов (нефть, газ) по сравнению с остальными видами ресурсов (минеральных (кроме энергетического сырья), лесных, рекреационных, водных), что затрудняет проведение объективной экономической оценки природно-ресурсного потенциала.

В самом общем виде необходимость экономической оценки любых природных ресурсов обусловлена следующими обстоятельствами:

- необходимостью точного учёта реальных затрат и выгод по предложенным к реализации проектам, важностью учёта всех экологических последствий каждого из проектов;
- необходимостью коррекции национальных счетов государства с целью включения в них «амортизации» природного капитала;
- необходимостью осуществлять адекватное ценовое регулирование природопользования, которое направлено на стимулирование рационального использования природных ресурсов, что устанавливается посредством ставок налогообложения, которые отражают реальную стоимость ресурсов.

Результативность такой оценки зависит от выбранных методов.

На сегодняшний день разработано несколько методов и методик экономической оценки природно-ресурсного потенциала – метод балльной оценки, на основе стоимостных показателей, метод кластерного анализа и др. Например, по выполненным в работе [1] расчётам общая экономическая оценка невозобновляемых ресурсов Московской области составляет 16,8 млрд. долл., а годовая стоимость возобновляемых природных ресурсов – 1,4 млрд. долл. (в ценах 2005 г.).

В других работах [7, 8] был использован сравнительный кластерный анализ регионов РФ по уровню экономического развития, который позволяет поделить исследуемую статистическую совокупность, характеризуемую множеством разнородных показателей на однородные группы (всего было получено 7 групп). В качестве критериев кластеризации были выбраны – валовый внутренний продукт (ВВП) на 1 чел., объём промышленной продукции на 1 чел., объём промышленной продукции сырьевых отраслей на 1 чел. и др. Кластерный анализ показал, что большая часть регионов, бедных природно-ресурсным потенциалом, характеризуется низким уровнем экономического развития. Большинство регионов РФ в настоящее время развиваются за счёт потребления природных ресурсов, что отражается на их экономическом состоянии, характеризующем как неустойчивое.

В рамках вышеобозначенных тенденций дальнейшее развитие мировой экономики неизбежно станет перед фактом нового роста, спроса на природные ресурсы, и поэтому цены на них будут продолжать расти [9]. Но только

на те, которые будут определяться потребностью новых технологий (например, редкие металлы, редкие земли, радиоактивное сырьё, редкие минералы с выявленными новыми свойствами, в первую очередь каталитическими и т. д.). Также несомненной окажется возрастающая потребность на энергоресурсы, в первую очередь, на нефть и природный газ до тех пор, пока темпы их потребления не окажут влияние на увеличение потребления других источников энергии, что спровоцирует рост цен на каменный уголь, атомную энергию. В этой связи экономическая оценка природных ресурсов приобретает первостепенное значение.

Таким образом, целесообразно включать экономическую компоненту в оценку природных ресурсов и национального богатства страны. Между тем эта оценка является важной составляющей национального богатства, отражающей природно-ресурсный потенциал страны. Данный потенциал наряду с общественным богатством (накопленными производственными и непроизводственными фондами, людским потенциалом) во многом определяет устойчивое развитие экономики регионов на перспективу.

Будущее развитие мировой экономики природопользования непременно будет оставаться за сбалансированным природопользованием, а проблема выживаемости будет решаться в рамках концепции ноосферного развития и адаптивного природопользования.

## Литература

1. Наполов О.Б., Садов А.В. Московская область: природные ресурсы, их потенциал /Под ред. Н.В. Гавранькина. М.: НИИ-Природа, 2004. 300 с.
2. Аникина А.М. Роль природного капитала в устойчивом развитии регионов // Теория и практика экологического страхования: обращение с отходами: Труды VI Всерос. конф. Москва-Уфа: ИПР РАН, 2005.
3. Гусев А.А. Ассимиляционный потенциал окружающей среды в системе экономических оценок и прав собственности на природные ресурсы. Экономика природопользования: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2006.
4. Гусев А.А. Проблемы современной экономической оценки природных ресурсов // Проблемы устойчивого развития: сб. статей. М.: НИЦ «Экопроект», 2007.
5. Лемешев М.Я. Эколого-экономическая модель природопользования // Всесторонний анализ окружающей природной среды: сб. статей. С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1976.
6. Экономическая оценка природных ресурсов на основе модели динамики экосистем. М.: ВНИИСИ, 1985. 48 с.
7. Аникина А.М., Рюмина Е.В. Кластерный анализ регионов по уровню использования природно-ресурсного потенциала // Экономика природопользования. 2006. № 5. С. 49-59.
8. Рюмина Е.В., Аникина А.М. Анализ влияния фактора природных ресурсов на уровень экономического развития регионов России // Проблемы прогнозирования. 2007. № 5. С. 106-125.
9. Томас В. Качество роста. М.: Весь мир, 2001.

## Некоторые научно-организационные проблемы «Global Indicator Networks»

© 2009. В.А. Терехова, д.б.н., зав. лабораторией,  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: vtterekhova@gmail.com

В связи с проблемой создания «глобальных индикаторных сетей» («global indicator networks») обсуждается проблема адекватности и сопряжённости методов биотестирования объектов окружающей среды, рекомендованных нормативами разных ведомств РФ (Минприроды, Минсельхоза, Минздрава). Для выработки общих принципов постановки биотестов предлагается использовать междисциплинарные методические семинары, стажировки и образовательные программы университетов.

The problem of adequateness and coordination of bioassays methods in environmental ecological evaluation in different parts of the Russian Federation is discussed in connection with the «global indicator networks» (the methods are recommended by the Ministry of Natural Resources, Ministry of Agriculture and Ministry of Health). Interdisciplinary methodological seminars, trainings and university education programs are proposed for working out common bioassay's principles.

Ключевые слова: окружающая среда, биоиндикация, образовательные программы, междисциплинарные семинары

На современном этапе в связи с масштабными биоэкологическими и социально-техническими изменениями на Земле (климатические колебания, инвазии видов, транспортные потоки, электромагнитные излучения и пр.) чрезвычайно актуальными становятся вопросы выявления адекватных методов контроля окружающей среды, как универсальных для всех стран, так и специфических для разных регионов и видов воздействий.

Эти вопросы тесно связаны с проблемой создания «глобальных индикаторных сетей» («global indicator networks»), которая явилась основной темой обсуждения на прошедшей 18 – 22 мая 2009 г. 17-й Международной конференции по биоиндикации окружающей среды (The 17th International Conference on Environmental Bioindicators). Этот ежегодный форум, в организации которого участвовали ученые МГУ им. М.В. Ломоносова, впервые проводился в этом году в Москве. На конференции по итогам обсуждения докладов под эгидой Международного общества биоиндикаторов окружающей среды (the International Society of Environmental Bioindicators – ISEBI) создана рабочая группа специалистов, целью работы которой будет классификация (ранжирование) методов биологической оценки изменений окружающей среды и существующих сетей биомониторинга, координация их работы, анализ приемлемости методов биоиндикации качества среды одновременно для здоровья человека и природных экосистем и другие проблемы.

Проблема выбора адекватных методов биологического контроля, приемлемых для оценки безопасности окружающей среды, как для здоровья населения, так и других живых компонентов в природных экосистемах, по ряду дополнительных специфических для нашей страны причин очень актуальна и для Российской Федерации.

Необходимость совершенствования системы нормирования вредных воздействий с опорой на оценку не физических и химических факторов, в т. ч. содержания загрязняющих веществ, а на их последствия для биоты, ни у кого не вызывает сомнения. В методологическом плане эта работа обоснована господствующей сейчас в теоретической экологии концепцией «биотического контроля природной среды» [1].

Именно биотические показатели могут дать информацию о возможных структурно-функциональных изменениях в компонентах экосистемы, включая человека, о состоянии организмов и степени приемлемости воздействий для сохранения разнообразия форм жизни и их сбалансированного развития. Аналитический же контроль загрязнения, проводимый химическими методами, показывает наличие лишь «маркеров» – определённых концентраций загрязнителей, которые могут иметь неодинаковые последствия в разных регионах с разнообразными условиями среды обитания и разным составом обитающих видов живых организмов.

Интерес к биологическим методам экологической оценки качества окружающей среды

после некоторого спада на рубеже 70-80-х годов прошлого столетия заметно возрос. Заметно увеличилось и количество изданий книг, справочных пособий и монографий, с описанием возможных методов оценки природных сред по биотическим показателям: «Методы биотестирования качества водной среды», 1989 [2], «Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы» [3], «Биоиндикация экологического состояния равнинных рек» [4], «Биологический контроль окружающей среды...» [5] и другие. При этом, как во всякой развивающейся отрасли знаний, заметна некоторая терминологическая неопределённость в этой области и даже подмена понятий – биоиндикация, биотестирование, биодиагностика. Тогда как, на наш взгляд, в системе биологической оценки (биодиагностике) целесообразно условно выделять два способа сбора информации о реакции живых организмов на воздействие – *биоиндикацию и биотестирование*. При этом обоснованно считается, что, рассматривая в совокупности результаты биоиндикационных наблюдений и результаты биотестирования по строго регламентированным методикам, можно поставить более точный «диагноз» экосистеме [6].

Таким образом, биодиагностика как более широкое понятие включает биоиндикацию и биотестирование. Биоиндикация заключается в анализе видимых (индицируемых) изменений биологических характеристик в природных условиях. При этом мониторинговые наблюдения за компонентами экосистем (растениями, животными, микробными сообществами и т. п.) *in situ* позволяют дать оценку экологическим последствиям от воздействия повреждающих факторов, спрогнозировать развитие ситуации. Биотестирование проводится в лабораторных условиях с использованием стандартных тест-систем, которые в контролируемых воспроизводимых условиях дают возможность выявить экологическую токсичность препаратов, отходов или образцов природных сред, испытавших вредное воздействие техногенных факторов. Принято считать, что биотестирование даёт информацию о неблагоприятии в опережающем режиме до проявления видимых изменений в природных экосистемах.

Методы экологического контроля, основанные на реакции живых организмов в лабораторных условиях, востребованы при исследовании качества продуктов, оценке уровня опасности отходов, нормировании вредных воздействий, экспертизе экологического качества природных сред и техногенных объектов и т. п. Результаты биотестирования

используются при сертификации различных биопрепаратов, сорбентов нефтепродуктов и других токсикантов, оценке эффектов биоремедиации воды и почвы [7, 8]. Особый интерес в современных условиях вызывают работы по оценке экологической токсичности наноматериалов [9 – 12].

В нашей стране в разных сферах народного хозяйства – сельскохозяйственной, медицинской и природоохранной – существуют свои «ведомственные» наборы биоиндикационных методов и биотест-организмов, регламентированные к применению приказами министров разных министерств, методическими указаниями и руководствами. Установлены свои правила применения биодиагностических методов и реестры методик экотоксикологического анализа в трёх разных сферах: в *контроле агроценозов* (при оценке безопасности продукции и плодородия почв), *санитарно-эпидемиологическом контроле* (при определении уровня вредных воздействий относительно безопасности для здоровья человека), *в экологическом контроле природных экосистем* (с целью характеристики биоразнообразия и сбалансированного развития). Во многих случаях используются одни и те же тест-организмы и, соответственно, оцениваются одни и те же тест-реакции. Однако нередко одни и те же результаты получаются и интерпретируются по-разному. Это касается, например, разных подходов к определению классов опасности отходов в разных ведомствах: в соответствии с Приказом МПР России от 15.06.2001 г. № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» следует выделять 5 классов опасности отходов, а согласно Санитарным правилам СП 2.1.7.1386-03, введённым 30.06.2003 г., установлено 4 класса опасности токсичных отходов производства и потребления. Для одного и того же тест-организма или метода, используемого разными службами, нередко различаются процедуры подготовки проб к биотестированию (в частности, соотношением воды и твёрдого компонента при выщелачивании образцов твёрдых сред – варьируют от 1:2 до 1:5) и т. д.

Определённую проблему при проведении работ по биотестированию в целях производственного и государственного контроля экотоксичности в разных сферах представляет в нашей стране и недостаток инструментальных методов, подобных Toxkits – биотест-системам, разработанным в Бельгии (<http://www.microbiotests.be/>), дефицит методической

информации, коллекций тест-культур, отсутствие подготовленных специалистов.

Частично восполнить некоторые из указанных организационных недостатков, помимо организации производства оборудования, необходимого для биотест-лабораторий (что уже делается и в нашей стране <http://www.energolab.ru/>, <http://www.bmk-invest.ru/>, <http://www.biotox.ru/>), могут учебно-методические семинары, мастер-классы специалистов, стажировки в лабораториях биотестирования, программы дополнительного образования университетов.

Программа краткосрочного повышения квалификации в области биотестирования, предназначенная для экологов – преподавателей биологического направления, специалистов контролирующих инспекций и испытательных и исследовательских лабораторий, специализирующихся в сфере биологической оценки природных сред и техногенных объектов, реализуется на факультете почвоведения МГУ ([www.letar.ru](http://www.letar.ru)). Современная привлекательная форма обучения – очно-заочная с использованием дистанционных образовательных ресурсов (<http://de.msu.ru/>, <http://www.msu.ru/study/>), доступна для специалистов практически во всех регионах России. В реализации этого образовательного проекта участвуют профессор, ведущие преподаватели факультета почвоведения и биологического факультета МГУ, авторы методик биотестирования, опытные специалисты-экоотоксикологи.

В дистанционных модулях программы содержатся тексты лекций по вопросам биоиндикации и биотестирования, информация о стандартных классических методиках и современных зарубежных инструментальных биотестах, рассматриваются варианты использования тест-организмов разной таксономической принадлежности и трофического уровня, включая микроорганизмы, бактерии, простейшие, беспозвоночные гидробионты, микроводоросли, высшие растения, теплокровные животные (культура клеток *in vitro*). Приводятся сведения о разработчиках и производителях специализированного оборудования. После выполнения практических задач и письменных тестов обучающиеся получают возможность на практике познакомиться с методами и тест-организмами. В итоге этого вида обучения выдаётся свидетельство о повышении квалификации в МГУ им. М.В. Ломоносова.

Действующий образовательный проект, с одной стороны, способствует повышению методического уровня преподавателей и специалистов, обеспечению потребностей орга-

низаций в услугах в области экологического контроля окружающей среды, популяризации прикладных аспектов экологии, а с другой – предоставляет возможность сопоставлять эффективность работы разных методов, их чувствительность применительно к задачам исследования, связанным с охраной природных экосистем, агроценозов и здоровья человека, поскольку в план программы включены методы биотестирования, рекомендованные к практическому применению разными ведомствами.

Очевидно, что такая работа способствует интеграции накопленного опыта и выработке общих принципов использования биотестов для целей технологического нормирования.

## Литература

1. Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Докл. РАН. 1994. Т. 337. № 2. С. 280-282.
2. Методы биотестирования качества водной среды / Под ред. О.Ф. Филенко. М.: Изд-во МГУ, 1989. 124 с.
3. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: РГУ, 2003. 204 с.
4. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / Под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга. М.: Наука, 2007. 408 с.
5. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Под ред. О.П. Мелеховой и др. М.: Academia, 2008. 288 с.
6. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
7. Терехова В.А, Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М., Пугачёв В.Г., Тулянкин Г.М. Экоотоксикологическая оценка биосорбента нефти с целью сертификации // Экология и промышленность России. 2006. № 3. С. 34-37.
8. Экологические основы оптимизированной технологии восстановления нефтезагрязнённых природных объектов на Севере / Под ред. Г.М. Тулянкина, И.Б. Арчеговой. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2007. 140 с.
9. Lin D. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth // Environmental Pollutants. 2007. V. 150. Iss. 2. P. 243-250.
10. Heinlaan M., Ivask A., Blinov I., Dubourguier H.-Ch., Kahru A. Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO<sub>2</sub> to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus* // Chemosphere. 2008. V. 71. Iss. 7. P. 1308-1316.
11. Lewinski N., Colvin V., Drezek R. Cytotoxicity of Nanoparticles // Small-journal. 2008. V. 4. № 1. P. 26-49.
12. URL : <http://www.nanometer.ru>

**Поллютанты как пусковой механизм сукцессий альгоценозов  
(модельные опыты)**

© 2009. Л.И. Домрачева<sup>1</sup>, д.б.н., профессор, Ю.Н. Зыкова<sup>1</sup>, аспирант,  
Л.В. Кондакова<sup>2</sup>, к.б.н., зав. кафедрой,

<sup>1</sup>Вятская государственная сельскохозяйственная академия,

<sup>2</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,  
e-mail: nm-flora@rambler.ru

Показано, что наземные природные альго-цианобактериальные биоплёнки служат источником многовариантных путей протекания аутогенных сукцессий, вызванных антропогенными факторами. Под влиянием поллютантов из однородного первоначального пула клеток развиваются сообщества, резко различающиеся по структуре, плотности, доминирующим группировкам.

It is shown that above-ground algae-cyano-bacteria films serve as a source of many-variant sorts of autogenic successions that are anthropogenically caused. Under the influence of pollutants communities develop out of originally homogeneous pool of cells. These communities are various in structure, density and dominating groups.

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, микромицеты, дрожжи, поллютанты, биоплёнки

Существование микрофототрофов в почве протекает в двух фазах - глубинной, при которой водоросли и цианобактерии распространены в толще почвы диффузно, и наземной, связанной с формированием поверхностных разрастаний, получивших название «цветение» почвы. В отдельных случаях эти разрастания легко отделяются от субстрата и имеют вид плёнок или корочек. При «цветении» почвы возникают тесные классические типы отношений фототрофов с гетеротрофными партнёрами на уровне физических, трофических и аллелопатических контактов, во многом сходных с фитоценотическими. Как правило, количество видов, формирующих наземные альгоценозы, намного меньше их видового пула в почве. На поверхности в зависимости от конкретных условий размножается всего от 10 до 50% видов, выявленных в глубине [1]. Доминантами «цветения» почвы могут быть представители различных отделов водорослей и цианобактерий (ЦБ). Среди безусловных доминантов-космополитов, формирующих биоплёнки в любых регионах планеты, выделяется ЦБ *Nostoc commune* – вид, способный вступать в многообразие консортивных связей с другими ЦБ, водорослями, бактериями, грибами и беспозвоночными [2 – 6]. Данные биоплёнки представляют собой классические, длительно существующие микробные экосистемы с определённым складом трофических отношений и протеканием сезонных [6] и аутогенных [7, 8]

сукцессий. Поэтому представляется реальным использовать биоплёнки с доминированием *N. commune* для мониторинга состояния почвы в условиях непрекращающегося загрязнения окружающей среды.

Цель данной работы – изучить влияние различных поллютантов на ход альго-цианобактериальных сукцессий и структуру сообществ, формирующихся из биоплёнок *N. commune*.

**Объекты и методы**

В работе использовались биоплёнки с доминированием *N. commune*, собранные в городской среде на почве вдоль обочины дороги. В наших предыдущих исследованиях [8, 9] было установлено, что они содержат 20 видов фототрофов, в том числе – 12 ЦБ и 8 – зелёных водорослей. Численность фототрофов в биоплёнке составляет около 3 млрд. клеток/г сухой биомассы, а длина грибного мицелия – свыше 2 км/г плёнки.

При постановке опытов в стерильные чашки Петри вносили навески прокалённого речного песка по 40 г и увлажняли до 60% дистиллированной водой в контроле и растворами поллютантов – в остальных вариантах. В качестве поллютантов были выбраны следующие соединения: пиррофосфат натрия (ПФН), который может оказаться в почве в аварийных ситуациях при детоксикации

фосфорсодержащих отравляющих веществ, а также соли тяжёлых металлов (ТМ), бензин и NaCl, являющиеся основными загрязнителями городских почв. Для ПФН использовали концентрации 0,01 и 0,4 г/л. Измельчённые плёнки общей массой 0,5 г размещали на поверхности песка. Опыт снимали через 2,5 месяца после его закладки при появлении заметных налётов на поверхности песка. Для ТМ, взятых в виде солей  $CuSO_4$ ,  $Pb(CH_3COO)_2$ ,  $Zn(CH_3COO)_2$ , концентрация рассчитывалась, исходя из 5 ПДК для почвы; бензин и NaCl вносили в дозе, соответствующей 5% от массы песка. Сухие, растёртые в ступке биоплёнки массой 0,25 г смешивали со всей массой песка. На выровненную поверхность песка в каждую чашку раскладывали по 7 покровных стёкол. Опыты были заложены в 3-кратной повторности. Видовое определение альгофлоры, а также количественный учёт альго- и микрофлоры вели прямым микроскопическим методом. Наблюдения за ходом аутогенных сукцессий альгоценозов, развивающихся из природных биоплёнок, проводили через 3 и 5,5 месяца после постановки опыта.

**Результаты и обсуждение**

**Влияние пирофосфата натрия на развитие альгоценозов.**

Визуальное определение площади «цветения» и подсчёт материнских колоний, которые

развились на старых биоплёнках, показали, что под влиянием ПФН интенсивность «цветения» несколько снижена (табл. 1).

Прямое микроскопическое изучение поверхностных разрастаний показало, что эффект воздействия ПФН определяется его концентрацией: малая доза (0,01 г/л) стимулирует размножение фототрофов, в первую очередь, безгетероцистных формы ЦБ, а при большой (0,4 г/л) – практически не меняется плотность клеток фототрофов по сравнению с контролем (табл. 2), хотя общая численность популяции сохраняется за счёт перераспределения плотности клеток различных группировок.

Избирательность стимулирующего эффекта ПФН особенно очевидна при рассмотрении структуры фототрофных сообществ (табл. 3). Наиболее чувствительными к данному соединению оказываются гетероцистные ЦБ, их вклад в структуру сообщества падает с 48% в контроле до 13% в варианте с ПФН 0,4 г/л. В то же время все группы фототрофов, особенно ЦБ, начинают стремительно размножаться при внесении в песок дополнительного количества фосфора в виде ПФН в концентрации 0,01 г/л (табл. 2).

Подобный выход на лидирующие позиции безгетероцистных ЦБ при загрязнении почвы неоднократно отмечался нами ранее для природных почвенных альгоценозов [10].

Под влиянием ПФН меняются также количественные и структурные показатели популяций микромицетов (табл. 4).

**Таблица 1**

Влияние пирофосфата натрия (ПФН) на интенсивность «цветения» песка

Вариант	Площадь «цветения», %	Количество дочерних колоний
Контроль	80	40
ПФН 0,01 г/л	60	40
ПФН 0,4 г/л	40	15

**Таблица 2**

Влияние пирофосфата натрия на численность популяций фототрофов (тыс. кл./см<sup>2</sup>)

Вариант	Водоросли	Цианобактерии		Всего фототрофов
		бгц	гц	
Контроль	65,5	3567,5	2949,7	6942,7
ПФН 0,01 г/л	297,9	9390,0	6833,0	16520,9
ПФН 0,4 г/л	92,5	4375,0	684,7	5159,2

Примечание: бгц – безгетероцистные формы ЦБ; гц – гетероцистные формы ЦБ.

**Таблица 3**

Влияние пирофосфата натрия на структуру фототрофных сообществ (%)

Вариант	Водоросли	Цианобактерии	
		бгц	гц
Контроль	0,94	51,38	47,68
ПФН 0,01 г/л	0,18	56,83	42,99
ПФН 0,4 г/л	1,79	84,80	13,41

Таблица 4

Влияние пирофосфата натрия на микокомплексы поверхностных разрастаний

Вариант	Длина мицелия, м/см <sup>2</sup>	Доля мицелия, %	
		окрашенного	бесцветного
Контроль	41,2	19,4	80,6
ПФН 0,01 г/л	67,6	65,8	44,2
ПФН 0,4 г/л	122,0	77,1	22,9

В отличие от популяций фототрофов, интенсивность развития микромицетов возрастает по мере увеличения концентрации ПФН с одновременным усилением вклада грибов с тёмноокрашенным (меланизированным) мицелием, что однозначно указывает на загрязнение среды [10, 11].

Таким образом, пирофосфат натрия выступает как регулятор структуры и плотности популяций фототрофов и микромицетов с акцентированием развития безгетероцистных цианобактерий и тёмноокрашенных форм микромицетов.

#### Влияние городских поллютантов на сукцессии альгоценозов

Как показал анализ группового состава и численности исследуемых микробных группировок, все испытываемые соединения являются токсикантами по отношению к фототрофам, угнетая развитие как водорослей, так и ЦБ (табл. 5). По отношению к водорослям в первый срок наблюдений наиболее токсичны цинк, медь, NaCl. Полное угнетение ЦБ происходит под влиянием цинка и NaCl, также для них ядовит свинец, в меньшей степени ЦБ чувствительны к бензину и меди.

Грибы не столь чувствительны, как фототрофы, а такой поллютант, как бензин, даже стимулирует размножение микромицетов с окрашенным мицелием. В целом наиболее угнетающее действие на протекание сукцессии в альго-микологическом комплексе

оказывает NaCl. Вероятно, это обусловлено высокой осмотической активностью данного соединения.

Манипулируя с поллютантами, мы установили интересный факт, связанный со специфическим действием цинка. В этом варианте обнаружено массовое размножение дрожжей, при котором их численность достигала свыше 3000 клеток/см<sup>2</sup>. Чрезвычайно разнообразной оказалась микроморфология клеток дрожжей. Так, выявлены разные способы их вегетативного размножения: биполярное и многостороннее почкование, множественное почкование, энтеробластическое почкование, образование псевдомицелия и его фрагментация. Несомненно, требуются дополнительные исследования по установлению особой роли цинка в провокационном размножении дрожжей, входящих в состав изучаемых биоплёнок, тем более что при посеве на стандартные питательные среды дрожжи не были обнаружены, так же как и на стёклах обрастания в вариантах с внесением других поллютантов. Ранее отмечалась, что цинк усиливает образование у дрожжей ферментов синтеза цитохрома и цитохромоксидазы, будучи добавлен в количествах, в 1000 раз превышающих оптимальные для его роста. Кроме того, цинк сильно влияет на образование пигментов грибами, например, меланинов [12].

Через 5,5 месяца в структуре альго-микологических комплексов произошли существенные изменения (табл. 6). Полное ингибирование наземного развития микро-

Таблица 5

Влияние поллютантов на структуру альго-микологических сообществ (время экспозиции – 3 месяца, матричная основа – биоплёнки с доминированием *N. commune*)

Вариант	Фототрофы, клеток/см <sup>2</sup>		Длина мицелия, мм/см <sup>2</sup>		
	Водоросли	Цианобактерии	окрашенного	бесцветного	суммарная
Контроль	200	486425	10,1	7,5	17,6
Бензин	208	825	23,7	2,4	26,1
Свинец	156	40	4,0	2,4	6,4
Медь	0	0	4,0	8,9	12,9
Цинк	0	0	16,4	1,2	17,6
Хлорид натрия	0	0	2,1	0,9	3,0

Таблица 6

Влияние поллютантов на структуру альго-микологических сообществ  
(время экспозиции – 5,5 месяца)

Вариант	Фототрофы, клеток/см <sup>2</sup>		Длина мицелия, мм/см <sup>2</sup>		
	Водоросли	Цианобактерии	бесцветного	окрашенного	суммарная
Контроль	23325	13855000	59,0	9,0	68,0
Бензин	7325	190000	10,6	52,8	63,4
Свинец	8150	1411750	7,0	31,0	38,0
Медь	58	282	10,0	12,0	22,0
Цинк	17	0	0,4	918,0	918,4
NaCl	0	0	0	0	0

Таблица 7

Изменение структуры поверхностных микробных комплексов под влиянием поллютантов (%)

Вариант	Фототрофы		Мицелий микромицетов	
	Водоросли	Цианобактерии	бесцветный	окрашенный
Контроль	0,17	99,83	86,8	13,2
Бензин	3,85	96,15	1,6	98,4
Свинец	5,75	94,25	18,4	81,6
Медь	16,91	83,09	45,4	54,6
Цинк	100	0	0,1	99,1

организмов по-прежнему вызывал NaCl. Продолжалось стремительное размножение дрожжей в варианте с цинком, численность которых достигла 16000 клеток/см<sup>2</sup>. В целом в ходе сукцессии происходит возрастание обилия особей в поверхностных разрастаниях, что свидетельствует о снижении токсичности поллютантов в замкнутой системе, вероятно, в результате биосорбции определёнными группами организмов.

Изменение структуры альго-микологических сообществ под влиянием различных загрязняющих веществ проявляется не только на уровне количественных показателей (численность клеток фототрофов и длина мицелия микромицетов), но и в изменении соотношения водорослей и ЦБ, а также в перераспределении доли популяций микромицетов с бесцветным и окрашенным мицелием (табл. 7). В контроле в количественном плане наблюдается преобладание ЦБ над водорослями, такое же, как в материнской биоплёнке [9], а также наибольший вклад бесцветных микромицетов в структуру популяций.

Под влиянием токсикантов увеличивается вклад эукариотных водорослей в формирование альгоценозов, не существенный в случае бензина и свинца, более ощутимый под влиянием меди. И снова можно выделить особую роль цинка – полное торможение развития ЦБ. Среди наиболее устойчивых видов фототрофов выделены и водоросли, и ЦБ. Среди ЦБ в вариантах с внесением пол-

лютантов в массе развиваются *Phormidium formosum*, *Phormidium boryanum*, *Phormidium uncinatum*, *Leptolyngbya foveolarum*, доминантами среди зелёных водорослей являются *Chlorella vulgaris*, *Bractecoccus minor*, *Stichococcus shodatii*.

Реакция микромицетов на внесение поллютантов заключается в резком увеличении в структуре комплексов микромицетов вклада грибов с меланизированным мицелием, вплоть до 98% (бензин) – 99,1% (цинк).

### Выводы

Установлено, что из единого первоначального пула клеток биоплёнок *N. commune* под влиянием увлажнения субстратов и применяемых поллютантов возникают сообщества, резко различающиеся по плотности популяций фототрофов и интенсивности развития грибного мицелия.

Меняется структура популяций микромицетов: и пирофосфат натрия (ПФН), и городские поллютанты способствуют преимущественному развитию грибов с окрашенным мицелием.

Действие поллютантов на фототрофный блок, в первую очередь, проявляется в перераспределении группировок ЦБ и выходе на доминирующие позиции их безгетероцистных форм.

Отмечена специфичность действия цинка, связанная с массовым размножением дрожжей и ингибированием развития ЦБ.

Выявлены виды фототрофов, устойчивые к действию поллютантов, которые в перспективе могут быть основой для получения биоремедиационных препаратов.

## Литература

1. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
2. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
3. Дубовик И.Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий. Уфа: Изд-е Башк. ун-та, 1995. 156 с.
4. Патова Е.Н. Почвенные синезелёные водоросли в фитоценозах воркутинской тундры // Биоиндикация состояния природной среды воркутинской тундры. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1996. № 143. С. 49-61.
5. Кузяхметов Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа: РИО БашГУ, 2006. 286 с.
6. Закирова З.Р. Синезелёные водоросли (цианобактерии) антропогенно нарушенных почв и их

консортивные связи: Дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2006. 208 с.

7. Киреева Н.А., Кузяхметов Г.Г., Мифтахова А.М., Водопьянов В.В. Фитотоксичность антропогенно-загрязнённых почв. Уфа: Гилем, 2003. 266 с.
8. Kondakova L.V., Domracheva L.I., Pegushina O.A., Fockina A.I. Disbalance Factors and *Nostoc commune* // Soil Contamination: New Research. New York Nova Science Publishers. 2008. P. 189-199.
9. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Пегушина О.А., Фокина А.И. Биоплёнки *Nostoc commune* – особая микробная сфера // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 15-19.
10. Domracheva L.I., Dabakh E.V., Kondakova L.V., Varaksina A.I. Algal-mycological complexes in soils upon their chemical pollution // Eurasian Soil Science. 2006. Suppl. 1. P. 91-97.
11. Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
12. Беккер З.Э. Физиология грибов и их практическое использование. М.: Изд-во МГУ, 1963. 268 с.

УДК 303.6:623.459

## Аксиологический подход как основа информационного сопровождения экологического мониторинга окружающей среды вблизи объектов хранения и уничтожения химического оружия

© 2009. Е.А. Новикова<sup>1</sup>, инженер, Т.Я. Ашихмина<sup>2</sup>, д.т.н., зав. кафедрой,  
<sup>1</sup>Региональный центр государственного экологического контроля  
 и мониторинга по Кировской области,  
<sup>2</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,  
 e-mail: Jelena\_novikova@mail.ru

В статье изложены основные принципы информационного сопровождения экологического мониторинга окружающей среды вблизи объектов хранения и уничтожения химического оружия на основе аксиологического подхода. Отражены информационные потоки, формы подачи информации и результаты применения данного подхода.

The article deals with the main principles of informational support of ecological monitoring near chemical weapon storage and destruction objects on the basis of axiological approach. Information streams, ways of presentation and results of applying this approach are shown

Ключевые слова: аксиологический подход, информационные ресурсы, экологический мониторинг, уничтожение химического оружия

Одним из основных методологических подходов современной геоэкологии является аксиологический подход. Он отражает особенность научного геоэкологического знания,

для которого характерно единство научных и ценностных аспектов изучения. Система ценностей имеет многоуровневую структуру. Наиболее высокий уровень – это общечело-

веческие ценности, среди которых высшие – человеческая жизнь, человечество, существование которого зависит от гармонии в природе и окружающей среде. С точки зрения геоэкологии к общечеловеческим ценностям относятся традиции, обычаи, связанные с охраной окружающей среды, и наука. Следующая ступень – это общественные ценности, связанные с различными направлениями деятельности человека, охраной природных ресурсов, поддержанием равновесия в геоэкологических системах. Эти меры отражают цели и возможности конкретного общества с присущими ему условиями. Ценности на этой ступени носят универсальный характер: природно-географические и техногенные системы рассматриваются во всех присущих им функциях: как источник ресурсов, как среда жизни, как среда деятельности, научного исследования и эстетического восприятия. Личные ценности – наиболее изменчивы, они зависят от многих факторов: возраста, воспитания, трудовой деятельности человека. Связующим звеном между личностью, общественной и общечеловеческой системами ценностей является экологическая культура [1].

При информационном сопровождении объектов хранения и уничтожения химического оружия (ХУХО) целесообразно использовать этот подход как основополагающий. Важно понимание того, что уничтожение химического оружия (ХО) необходимо, т. к. дальнейшее его хранение становится опасным. Все арсеналы расположены в густонаселённых регионах России, в ряде случаев в непосредственной близости от городов и населённых пунктов; непрерывно происходит техническое и моральное старение наработанных в прошлом боеприпасов и разрушение их корпусов. Особую тревогу вызывают и проблемы, связанные с природными и стихийными бедствиями, промышленными авариями, проявлениями терроризма и диверсий.

Однако сам процесс нейтрализации отравляющих веществ должен быть безопасен для окружающей среды и здоровья населения, проживающего и работающего вблизи объекта ХУХО. Для этого необходима своевременная передача полной достоверной информации по результатам экологического мониторинга санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) объекта в контролирующие организации и органы исполнительной власти, также важно доступно и оперативно информировать население по вопросам о текущем состоянии окружающей среды и процессе уничтожения химического оружия (рис. 1).

Принципы аксиологического подхода реализуются нами в информационном сопровождении государственного экологического контроля и мониторинга окружающей среды вблизи объекта ХУХО «Марадыковский» в Кировской области. Создана и налажена система информационного обмена на базе информационно-аналитического центра Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга (РЦГЭКиМ) по Кировской области ФГУ «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии» для оперативного и компетентного анализа информации во всей её полноте с учётом многообразных взаимосвязей данных; для сбора, обработки, учёта, хранения информации о соблюдении объектом ХУХО «Марадыковский» экологических нормативов и о состоянии окружающей среды в районе его размещения; информационного обеспечения федеральных органов исполнительной власти, их региональных и территориальных органов, органов государственной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления и общественности (рис. 2). Ежегодно нами разрабатываются и реализуются Программы (порядки) информационного

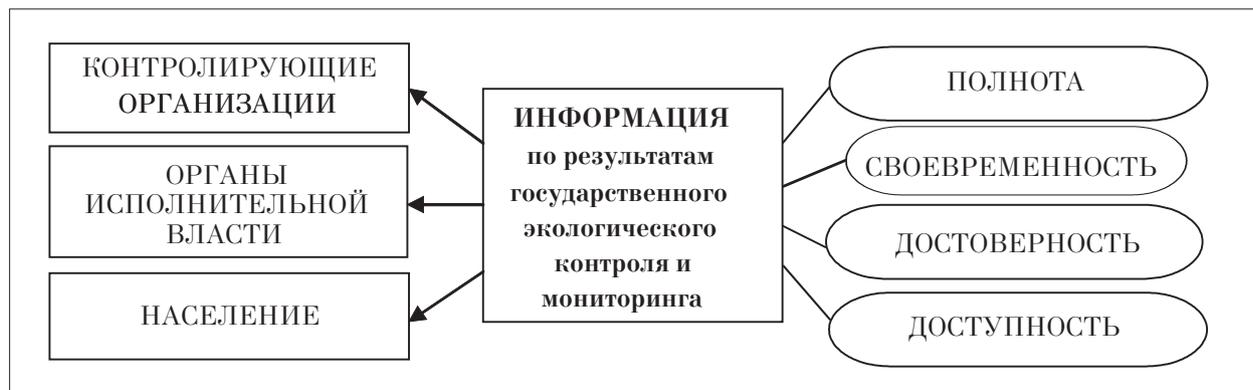


Рис. 1. Необходимые качества передаваемой информации

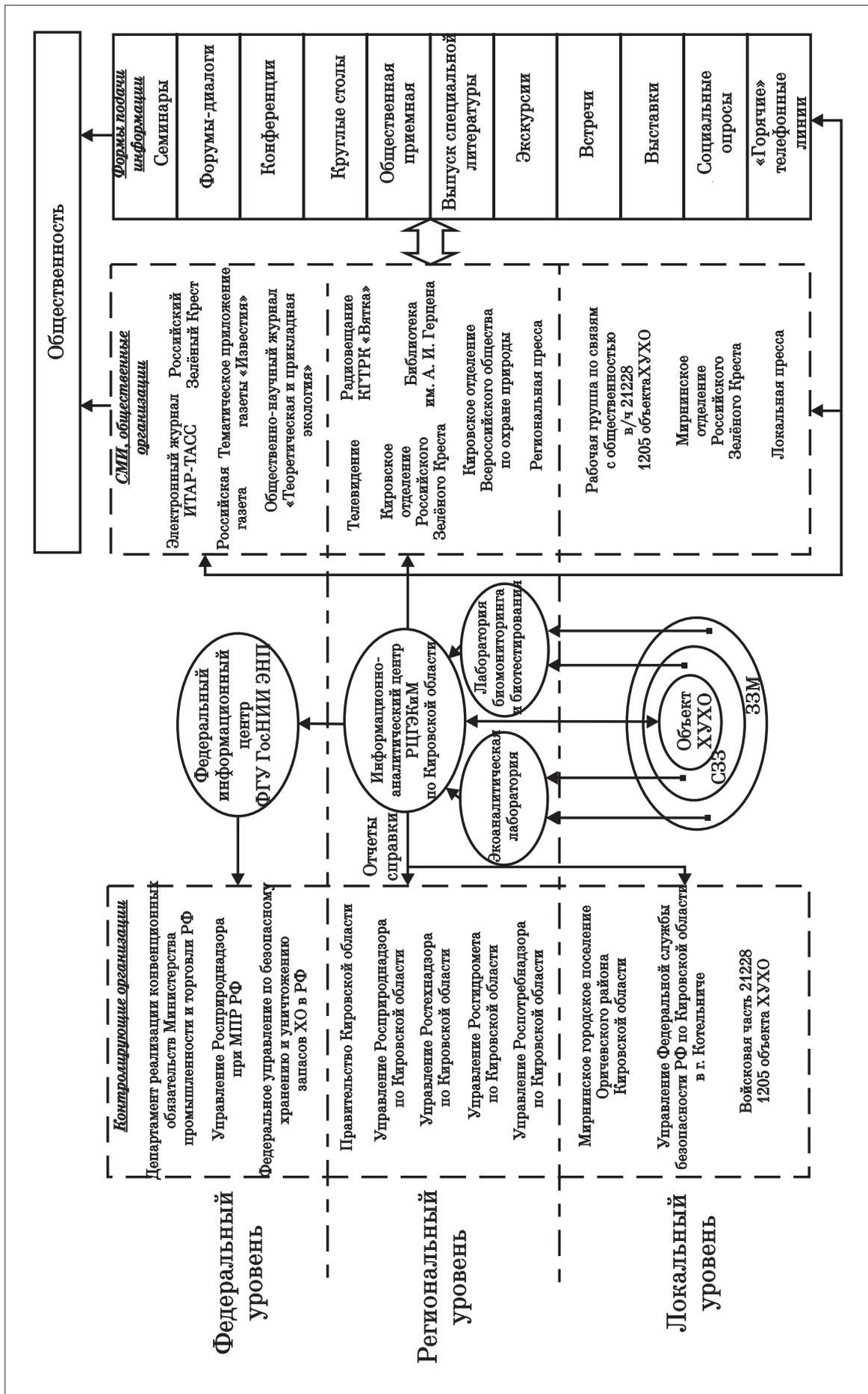


Рис. 2. Схема информационного сопровождения мониторинга окружающей природной среды 1205 объекта ХУХО «Марадыковский»

обеспечения контролирующих организаций и общественности.

Информированию населения, и особенно проживающего в ЗЗМ объекта, уделяется огромное значение. Для этого используются различные формы подачи информации: разъяснение вопросов, связанных с химическим разоружением на вятской земле, на семинарах, форумах-диалогах, конференциях, круглых столах; через ежемесячное проведение общественных приёмных, регулярный выпуск специальной литературы (брошюры, бюллетени, газеты и др.); путём проведения экскурсий в РЦГЭКиМ по Кировской области, встреч, выставок, социальных опросов, «горячих» телефонных линий с участием представителей объекта ХУХО «Марадыковский», органов исполнительной власти, контролирующих организаций, средств массовой информации. Поддерживается тесное взаимодействие со СМИ и общественными организациями от локального до федерального уровня.

Применение аксиологического подхода принесло положительные результаты: если в начале строительства объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» часть населения негативно относилась к данному процессу и беспокоилась о его безопасности, то сейчас уже пришло осознание необходимости детоксикации отравляющих веществ. Свою роль в этом сыграли своевременность и доступность информирования населения.

В последнее время стало значительно меньше вопросов, связанных с боязнью соседства с объектом ХУХО. Ощущается понимание жителями области того, что объект работает в штатном, безопасном режиме. Считаем это положительным результатом проводимой работы. Чаще стали подниматься вопросы социального характера – как выполняются обязательства по строительству социнфраструктуры, предусмотренные Федеральной целевой программой «Уничтожение запасов химического оружия в РФ» [2]. Все вопросы, волнующие население, ждут своевременных, доступных и компетентных ответов. Поэтому работу с населением необходимо проводить и дальше, это позволяет снизить социальную напряжённость в районе действующего объекта ХУХО, увеличивает доступность информации для всех жителей города Кирова и области.

Не менее важное значение придаётся и подаче информации в контролирующие организации.

Получаемая информация от химико-аналитической лаборатории, лаборатории биомониторинга и биотестирования собирается в информационно-аналитическом центре (ИАЦ). Все результаты химико-аналитических исследований протоколируются, сравниваются с установленными нормативами, анализируются, а затем вносятся и хранятся в базе данных ИАЦ. Материалы обрабатываются статистическими методами, строятся констатационные и синтетические карты, делается прогноз состояния окружающей среды. Полученные данные регулярно поступают в программно-информационный комплекс «Форпост», предназначенный для передачи аналитической информации по состоянию окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта ХУХО от Региональных центров системы государственного экологического контроля и мониторинга на терминалы в контролирующие организации. Программно-информационный комплекс «Форпост» позволяет выполнять проверку на наличие превышений предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, просматривать данные в графической и табличной форме, формировать карты рассеивания загрязняющих веществ и отчёты за любой период времени по всем точкам отбора проб.

Для информационного сопровождения биологического мониторинга нами разработана специальная прикладная программа и создана SQL-база данных. Данная программа позволяет включать и обрабатывать весь перечень приоритетных показателей биомониторинга объекта ХУХО «Марадыковский», обращаться к карте-схеме точек мониторинга окружающей природной среды санитарно-защитной зоны и зоны защитных мероприятий объекта; просматривать данные (в том числе по результатам дешифрования космических снимков), производить сортировку по выбранному параметру, вносить и редактировать результаты исследований, автоматически импортировать информацию в базу данных, строить графики по задаваемому промежутку времени, точке, параметру проведённых исследований.

Информация из ИАЦ передаётся:

- в Федеральный информационный центр (ФИЦ), располагающийся в ФГУ «ГосНИИЭНП», откуда затем направляется в Федеральные контролирующие организации;
- по результатам государственного экологического контроля и мониторинга –

в Правительство Кировской области; Управление Ростехнадзора по Кировской области; в Государственное учреждение «Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»; орган местного самоуправления, на территории которого расположен объект по хранению и уничтожению химического оружия 1205 «Марадыковский» – Мирнинское городское поселение Оричевского района Кировской области; в войсковую часть 21228 объекта 1205 ХУХО, отделение Управления Федеральной службы безопасности Российской Федерации по Кировской области в г. Котельниче; Управление федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Кировской области; Управление Роспотребнадзора по Кировской области.

Все управленческие решения, связанные как с уничтожением химического оружия в целом, так и с охраной окружающей природной среды в ходе этого процесса, должны быть ценностноориентированными. Человек и природная среда взаимосвязаны, поэтому необходимо реализовывать принципы коэво-

люции, гармоничного взаимодействия человека с природой как необходимого условия устойчивого развития. Одна из главных задач при уничтожении химического оружия – не допустить ухудшения экологической ситуации в районах, где размещены объекты ХУХО, и на это направлены наши усилия при реализации информационного обеспечения комплексного мониторинга СЗЗ и ЗЗМ объектов.

Аксиологический подход необходимо реализовывать при информационном сопровождении мониторинга не только объектов хранения и уничтожения химического оружия, но и всех техногенных объектов, так как безопасность населения – первостепенная задача.

### Литература

1. Винокурова Н. Ф., Колосова Н. И., Смирнова В. М. Геоэкология: Учебное пособие. Н. Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии гос. службы, 2002. 197 с.
2. Федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». Постановление Правительства РФ от 21.03.1996 г. № 305 и от 05.07.2001 г. № 510.

УДК 504.4.054

## Радиоэкологический мониторинг водных экосистем района расположения Балаковской АЭС

© 2009. С.В. Рязанов<sup>1</sup>, начальник отдела, Е.Н. Писаренко<sup>2</sup>, н.с., П.Е. Антонов<sup>3</sup>, нач. лаборатории, А.Ю. Хубецов<sup>2</sup>, зав. лабораторией,  
<sup>1</sup>Балаковская АЭС,  
<sup>2</sup>ФГУ ГосНИИ промышленной экологии,  
<sup>3</sup>Саратовская МЧС  
 e-mail: lrk@sar-ecoinst.org

В данной работе представлены результаты радиологического контроля и мониторинга поверхностных вод и донных отложений в районе расположения Балаковской АЭС. Показано, что Балаковская АЭС не оказывает негативного воздействия на водные экосистемы.

This article presents the results of radiological control and monitoring of surface waters and bottom sediment within the Balakovskaya APP. It is shown that the Balakovskaya APP has no negative influence on water ecosystems.

Ключевые слова: Балаковская АЭС, поверхностные воды, донные отложения, радиоэкологический мониторинг, радионуклиды

### Введение

Водные компоненты окружающей среды (поверхностные воды и донные отложения)

являются, с одной стороны, одними из самых информативных в любой экосистеме (поскольку обладают способностью не только воспринимать, но и накапливать различные

загрязняющие вещества), а с другой – одни из самых важных с точки зрения ведения хозяйственной деятельности. Поэтому проблема оценки и прогнозирования их качества всегда является актуальной, в том числе и в районах расположения АЭС.

Радиоэкологический мониторинг поверхностных вод и донных отложений выступает необходимым элементом комплексной оценки влияния АЭС на окружающую среду.

Целью работы было выявление характера и области распространения отдельных загрязняющих веществ в поверхностной воде и донных отложениях, изучение закономерностей процессов самоочищения, условий вторичного загрязнения, а также учёта степени воздействия антропогенного фактора на компоненты окружающей среды.

Важнейшим этапом проектирования системы пробоотбора является обоснование мест отбора проб. Для этого было принято во внимание, что основными водными объектами района расположения Балаковской АЭС являются технический водоём-охладитель, используемый для охлаждения конденсаторов турбин энергоблоков станции и вспомогательного оборудования второго контура, и непосредственно примыкающая к нему часть Саратовского водохранилища.

Водоём-охладитель (ВО) является отсечённым водоёмом наливного типа. Естественный берег со стороны промплощадки станции задернован и практически неподвижен. Восполнение потерь воды, происходящих из-за фильтрации через дамбу и испарения, производится путём подпитки из Саратовского водохранилища принудительно с помощью насосной станции и выпадающих атмосферных осадков. Сброс воды из ВО в Саратовское водохранилище не осуществляется.

Точки отбора проб воды и донных отложений в ВО располагались таким образом, чтобы охватить всю его акваторию.

Местоположение точек было установлено с учётом морфологического строения ВО, изменения гидрологических характеристик на различных участках акватории в зависимости от направления и скорости распространения транзитного потока сбросных вод, влияния подпитки от водохранилища и характеристик механического состава грунтов.

Большее количество точек отбора проб воды в Саратовском водохранилище разме-

щено в непосредственной близости от разделительной дамбы (рисунок). Для оценки пространственно-временных характеристик распространения фильтрационного потока из ВО в Саратовское водохранилище пробы воды отбирались в непосредственной близости от неё и на расстоянии 100 и 500 м (в районе наибольшей фильтрации воды через тело дамбы). Выбор точек отбора обусловлен результатами исследований, проведённых в акватории Саратовского водохранилища вдоль разделительной дамбы, которые не выявили заметных отклонений контролируемых показателей качества воды от их значений на условно-фоновых участках.

Наиболее информативным с точки зрения количественного определения содержания радионуклидов в различных компонентах природной среды является спектрометрический анализ, позволяющий определить состав и удельные активности всех содержащихся в исследуемой пробе радионуклидов. Благодаря сравнительно высокой разрешающей способности в сочетании с дискретным характером гамма-спектров сцинтилляционные гамма-спектрометры являются мощным средством идентификации и количественного определения радионуклидов, находящихся в смеси.

Спектрометрический анализ выполнялся на спектрометрическом комплексе «Прогресс-2000» с использованием его программного обеспечения по методике измерения активности радионуклидов в счётных образцах.

Фоновое радиоактивное загрязнение водных объектов обусловлено в основном смывом радионуклидов с водосборных территорий, загрязнённых глобальными радиоактивными выпадениями.

Основной вклад в радиоактивное загрязнение вод вносят естественные радионуклиды (K-40, Th-232, Ra-226). Они поступают в биосферу в результате атмосферных выпадений, выхода глубинных радиоактивных пластовых вод и разлива их по поверхности земли, выноса продуктов разрушения радиоактивных пород подземными и поверхностными водами.

Радиоактивность поверхностных вод по большей части обуславливается K-40, содержание которого зависит как от химического состава пород, омываемых этими водами, так и от ряда климато-метеорологических факторов.

Роль искусственных радионуклидов в общем балансе радиоактивности водоёмов

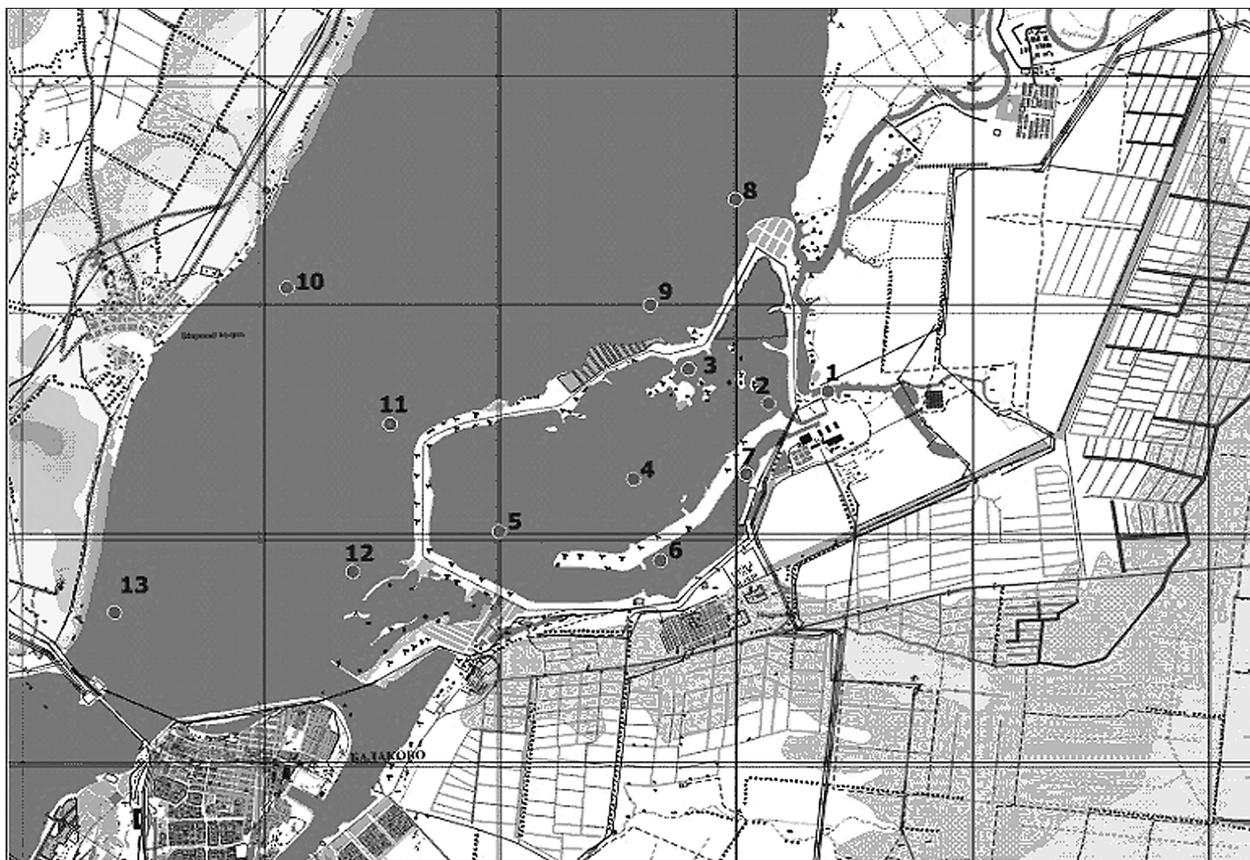


Рисунок. Схема расположения точек пробоотбора в водных объектах района расположения БалаАЭС (водоёме-охладителе и акватории Саратовского водохранилища)

относительно невелика. Среди более 300 радионуклидов наибольшее значение для радиоэкологии имеют Cs-137 и Sr-90. Они вносят основной вклад во внутреннее облучение человека и животных. Цезий и стронций являются ведущими долгоживущими техногенными радионуклидами.

Наиболее важен при мониторинге результат определения Cs-137, поскольку его химические и миграционные свойства таковы, что он способен к распространению и накоплению практически во всех их компонентах: в донных отложениях до 95%, в воде – до 5% и в гидробионтах до 0,1% [1].

Распределение активности Cs-137 глобального происхождения между водной фазой и взвесью при попадании в окружающую среду происходит с коэффициентом накопления на взвеси около 500. В живых организмах концентрируется преимущественно в мягких тканях. По химическим свойствам аналогичен калию [2].

В водной среде Sr-90 распределяется между водой и взвешенным веществом с коэффициентом накопления около 100, т. е. накопление в донных отложениях незначительное. Sr-90 является одним из наиболее

важных для радиоэкологии радионуклидов. Из-за химического сродства с кальцием, биологически важным элементом, он способен интенсивно поглощаться растениями и откладываться в костной ткани животных и человека независимо от путей поступления. Кроме того, у Sr-90 значительный период полураспада, высокий выход энергии в акте деления (2 – 6%), высокая растворимость и скорость миграции.

В результате радиоэкологических исследований района расположения Балаковской АЭС установлено, что содержание естественных радионуклидов в объектах водных экосистем не превышает фоновых значений. Типичные загрязнения Cs-137 и Sr-90 водных объектов района расположения нормально действующей АЭС не превышают допустимых значений и находятся на уровне:

- вода – от 0,01 ÷ 0,04 Бк/л до 20 Бк/л;
- донные отложения – 10 ÷ 60 Бк/кг Cs-137 и 2 – 4 Бк/кг Sr-90;
- гидробионты – от 0,001 ÷ 0,0002 Бк/кг до 10 Бк/кг Sr-90 и от 0,004 ÷ 0,08 Бк/кг до 75 Бк/кг Cs-137.

Результаты радиологического анализа позволяют констатировать отсутствие превы-

шений содержания радионуклидов в поверхностных водах и донных отложениях.

Таким образом, в результате радиоэкологического мониторинга водных объектов в районе расположения Балаковской АЭС выявлено, что доля сбросов продуктов деления от нормально действующей АЭС из-за их малого количества ничтожна на фоне уже существующего глобального (фоновое) загрязнения. На основании проведенных исследований можно сделать вывод об отсут-

ствии негативного воздействия Балаковской АЭС на водные экосистемы.

### Литература

1. Давыдов М.Г. Радиоэкология. М.: Наука, 2002. 112 с.
2. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 286 с.

Российская академия наук  
Уральское отделение  
Коми научный центр  
Институт биологии  
Геронтологическое общество при РАН

### МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ГЕНЕТИКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ И СТАРЕНИЯ»

Сыктывкар, Республика Коми, 12 – 15 апреля 2010 г.

#### УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН совместно с Геронтологическим обществом при РАН организует 12 – 15 апреля 2010 г. в Сыктывкаре международную конференцию «Генетика продолжительности жизни и старения» и приглашает Вас принять в ней участие.

#### Научные направления:

- Генетический и эпигенетический контроль продолжительности жизни
- Старение на уровне клетки. Теломеры и теломераза. Апоптоз и старение. Мультипотентные клетки и стволовые ниши
- Популяционная гетерогенность продолжительности жизни.
- Половой диморфизм продолжительности жизни
- Средовые модификаторы старения
- Геропротекторы, адаптогены, биомаркеры старения
- Математическое моделирование и эволюция процессов старения

#### АДРЕС ОРГКОМИТЕТА:

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
ул. Коммунистическая, 28, г. Сыктывкар, 167982, Республика Коми, Россия  
Тел.: (8212) 43-06-50 – Шапошников Михаил Вячеславович  
Факс: (8212) 43-04-78  
Сайт: <http://ib.komisc.ru/add/conf/aging/>

## Загрязнение почв селитебной зоны Москвы и его связь с природными и антропогенными факторами

© 2009. А.М. Юзевович, аспирант, Н.Е. Кошелева, д.г.н., в.н.с.,  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
e-mail: al.yuzefovitch@gmail.com, natalk@mail.ru

Проведена эколого-геохимическая оценка почв селитебной зоны Москвы. Отмечено практически повсеместное превышение фоновых содержаний 3,4-бенз(а)пирена и нефтепродуктов (до 17 и 10 раз соответственно), ртути и мышьяка (до 8 и 7 раз соответственно). Наибольшая частота превышений ПДК отмечена у органических загрязнителей и мышьяка. С помощью регрессионного анализа выявлены зависимости между содержанием приоритетных загрязнителей в почвах и комплексом природных и антропогенных факторов. Установлена ведущая роль автотранспорта в загрязнении селитебной зоны цинком, свинцом, нефтепродуктами и мышьяком. Загрязнение почв селитебной зоны медью, ртутью и 3,4-бенз(а)пиреном в большей степени определяют стационарные источники – ТЭЦ и промзоны.

An ecological-geochemical assessment of soils in residential areas of Moscow has been done. Concentrations of 3,4-benzpyrene and oil products exceeded the background values in 17 and 10 times accordingly, also mercury and arsenic in 8 and 7 times. The most frequent exceed of MPC has been found for organic contaminants and arsenic. Using regression analysis, the relation between pollutant concentrations and soil and anthropogenic factors was revealed. The leading role of vehicle exhausts as the source of zinc, lead, oil products and arsenic was confirmed. The heating power stations and industries mostly cause the contamination with copper, mercury and 3,4-benzpyrene.

**Ключевые слова:** почвы, загрязнение, тяжёлые металлы, селитебная зона, эколого-геохимическая оценка

### Введение

В крупных городах находится множество источников эмиссии загрязняющих веществ (ЗВ), поступление которых в почву и другие депонирующие среды может иметь негативные последствия для состояния экосистем. В настоящее время во многих мегаполисах экологическая ситуация близка к критической, поэтому парадигма экологической безопасности приобретает всё большую значимость в различных сферах городского хозяйства. Обзор публикаций по экогеохимии городов свидетельствует об активном развитии данного направления. Общим вопросам геохимии городских ландшафтов посвящён ряд монографий как отечественных, так и зарубежных авторов [1 – 3]. Особенности поступления, миграции и аккумуляции отдельных компонентов техногенного загрязнения рассматриваются в работах [4 – 9]. Значительное число публикаций посвящено вопросам динамики и пространственного распределения ЗВ в почвах различных функциональных зон [8, 10 – 12]. Наибольшее число публикаций относится к транспортной зоне [6, 9, 13 – 15]. Для селитебной зоны таких исследований мало, поэтому цель данной работы – эколого-геохимическая оценка почв

селитебной зоны Москвы и выявление зависимости между содержанием поллютантов в почвах и комплексом природных и антропогенных факторов.

В основу исследования положены данные о содержании приоритетных загрязнителей – тяжёлых металлов (ТМ), As, 3,4-бензпирена (БП) и нефтепродуктов (НП) – в почвах 18 участков селитебной зоны Москвы. Решались следующие задачи: 1) определение уровней содержания ЗВ в поверхностных горизонтах почв ключевых участков; 2) характеристика пространственного распределения ЗВ в почвах; 3) оценка роли антропогенных и почвенно-геохимических факторов в загрязнении почв селитебной зоны. Исследование проведено на основе полевых материалов и результатов лабораторных анализов, полученных в Научно-исследовательском и проектно-изыскательском институте экологии города в 2007 – 2008 гг.

### Объекты исследования

Для решения поставленных задач было проведено опробование почвенного покрова 17 ключевых участков в пределах селитебной зоны, расположенных в различных частях г. Москвы, и одного фонового в районе Мол-

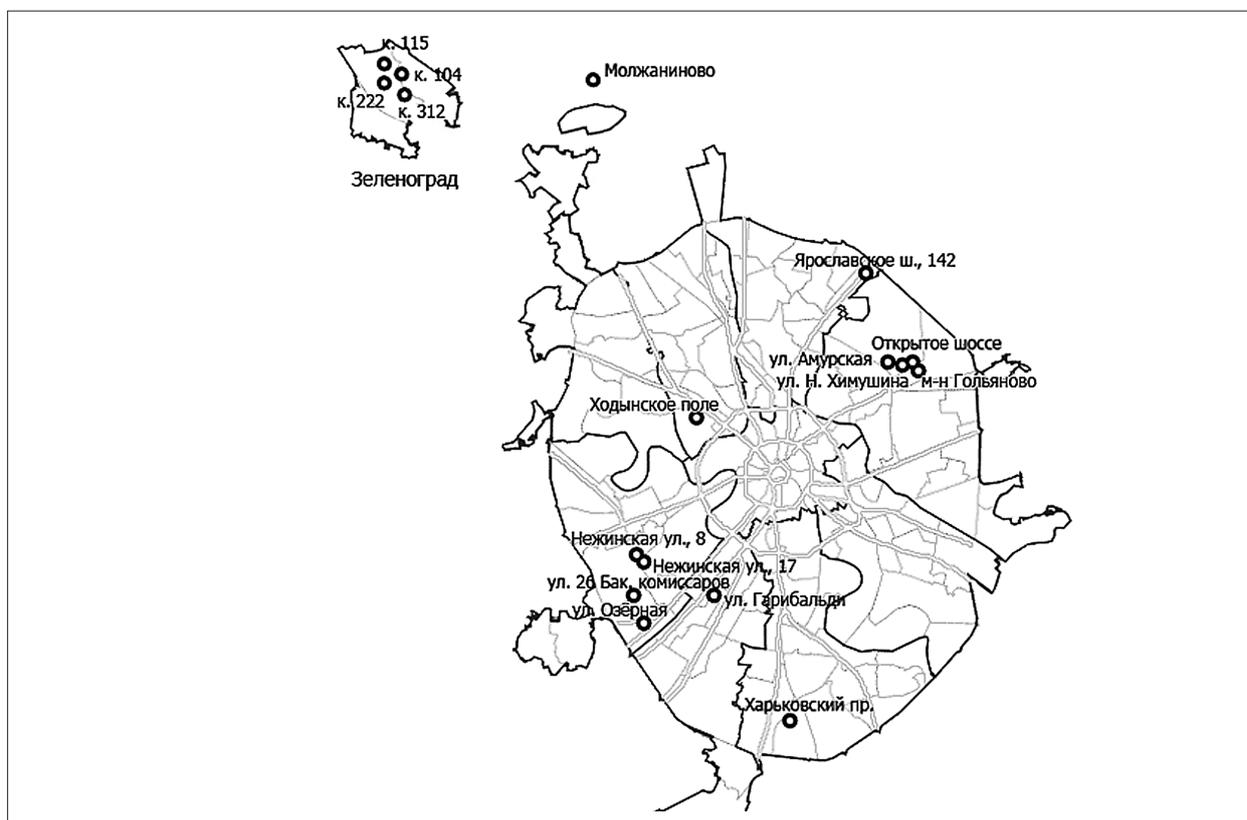


Рис. 1. Расположение ключевых участков на территории Москвы

жаниново, находящегося за пределами МКАД (рис. 1). Полученные для него содержания ТМ соответствуют региональным кларкам [16] и поэтому могут быть использованы в качестве фоновых.

Москва располагается на территории трёх крупных ландшафтных комплексов – Мещёрской низменности, Теплостанской и Смоленско-Московской возвышенностей, однако вследствие урбанизации и интенсивной техногенной нагрузки городские ландшафты лишь в малой степени наследуют особенности природных аналогов. В пределах города фактор рельефа, как и фактор растительности в значительной степени нивелированы вследствие застройки и длительного антропогенного освоения. Почвенный покров всюду представлен урбанозёмами разной степени гумусированности и частично экранозёмами, формирующимися преимущественно на кровных суглинках, подстилаемых песчаными и супесчаными отложениями или культурным слоем. Таким образом, ландшафтные условия в пределах города довольно однородны.

Выбор ключевых участков был продиктован их различным положением по отношению к техногенным источникам загрязнения. Ряд участков находится вблизи крупных автомагистралей и улиц с интенсивным движением:

на ул. Гарибальди (приблизительно в 100 м от Ленинского проспекта), Ярославском шоссе (внутриквартальная территория в 100 метрах от шоссе, «закрытая» 17-этажным жилым корпусом), а также в Восточном округе Москвы – на ул. Амурской, ул. Н. Химушина, Открытом шоссе и в микрорайоне Гольяново. Другие участки расположены на значительном удалении (более 150-200 м) от крупных автомагистралей, основным источником ЗВ для них служат внутриквартальные проезды и автомобильные стоянки [13]. Участки на ул. Амурской, Н. Химушина, Открытом и Ярославском шоссе и в Харьковском проезде находятся в зоне сильного воздействия промзон, для первых трёх участков дополнительным фактором техногенной нагрузки является ТЭЦ-23.

### Материалы и методы

Опробовался слой 0-50 см, характеризующий поверхностное загрязнение почв. Отбор проб на участке проводился через 20-40 м методом «конверта». Всего была отобрана 121 поверхностная смешанная проба, в которой определялись рН, гранулометрический состав почв, валовое содержание Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Hg, As, а также БП и НП. Концентрации Hg

определялись на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С методом бесплазменной атомной абсорбции, остальных металлов – атомно-абсорбционным методом. Органические загрязнители определялись флуорометрическим методом.

Для оценки загрязнения почв ключевых участков использовались два показателя – коэффициент техногенной концентрации Кс, вычисляемый как отношение концентрации ЗВ к фоновой, и суммарный показатель загрязнения Zc [16]. Статистический анализ полученных данных проводился в программном пакете Statistica 7 (Mathsoft, 2004). Помимо расчёта основных статистических характеристик, он включал группировку ключевых участков по содержанию ЗВ методом кластерного анализа (алгоритм Complete Linkage). Степень сходства участков определялась в зависимости от евклидова расстояния, которое рассчитывалось по разностям концентраций девяти ЗВ, представленных в безразмерном виде:

$$\xi_{ij} = \frac{C_{ij} - \bar{C}_i}{\sigma_i},$$

где  $C_{ij}$  – концентрация  $i$ -го ЗВ на  $j$ -м участке,  $j=1, 17$ ;  $\bar{C}_i$ ,  $\sigma_i$  – его среднее и стандартное отклонение.

Влияние почвенно-геохимических и антропогенных факторов на загрязнение почв селитебной зоны оценивалось методом регрессионных деревьев, построенных с помощью пакета SPLUS (MathSoft, 1999). Среди учитываемых факторов – почвенно-геохимические свойства (рН и гранулометрический состав) и характеристики антропогенной нагрузки (расстояние до крупных автодорог и внутриквартальных проездов, удалённость от промышленных зон и ТЭЦ, экранированность жилой застройкой).

## Результаты и их обсуждение

**Уровни содержания ЗВ в почвах селитебной зоны.** Представление о средних содержаниях ЗВ в поверхностных горизонтах почв на каждом ключевом участке даёт таблица 1.

В *Северо-Западном округе* Москвы отмечены высокие уровни содержания отдельных поллютантов относительно фона в западной части Ходынского поля – Hg (Кс до 12), НП (Кс = 3), БП (2,7) и Pb (1,5). Коэффициенты вариации (Cv) у большинства ЗВ также выше, чем на фоновом участке, что свидетельствует о значительной неравномерности антропогенного воздействия. Это подтверждает наличие

точечного максимума Hg 6,2 мг/кг, который превышает ПДК в 2,9 раза. Локальной аномалии Hg соответствует высокое содержание Pb (61 мг/кг), Zn (179 мг/кг) и As (6 мг/кг). Такие колебания содержания ТМ в почве можно объяснить наличием мелких стихийных свалок бытового мусора.

Ключевые участки в *Западном округе* Москвы значительно различаются по содержанию ЗВ в поверхностных горизонтах почв. Наибольшие концентрации ЗВ наблюдаются на ул. Гарибальди, где значительные превышения фоновых концентраций отмечены фактически у всех поллютантов: НП (Кс=8,9), Hg (7,9), As (6,5), БП (5,4), Pb (3,8), Zn и Cu (3,7 и 3,2). Это связано с тем, что участок попадает в зону влияния автодорог, которая распространяется на 100-150 м от дорожного полотна [14]. Точечные превышения ПДК зафиксированы у НП (1144 мг/кг, что в 3,81 раза больше ПДК), Pb, Zn (в 3,6 раза) и As (в 2 раза). Значительной вариабельностью на участке обладают также Cd (Cv = 157 %) и НП (91,6 %).

Ключевые участки на ул. 26 Бакинских комиссаров, Нежинской и Озёрной имеют близкие уровни концентраций ЗВ в верхних горизонтах почв, т. к. находятся в схожих условиях антропогенной нагрузки. Наибольшие Кс установлены для Hg на ул. Нежинской (Кс=7,53, Cv = 114 %) и для БП на ул. Озёрной (Кс= 5,29, Cv = 129 %). Содержание БП на участках превышает ПДК в 1,8 – 3,4 раза.

Ключевые участки в *Восточном округе* Москвы расположены вблизи промзоны Калошино и ТЭЦ-23, что обуславливает более высокое содержание ЗВ в поверхностных горизонтах почв по сравнению с другими округами. Наибольшие значения Кс для БП и НП отмечаются на участке ул. Н. Химушина (17 и 10 соответственно), при этом максимальными Cv обладают Pb и As (169 и 152 %). Наибольшие значения Кс для Pb выявлены в микрорайоне Гольяново (3,13), для Zn – на ул. Амурской (2,06), причём меньшим концентрациям ряда ЗВ соответствует более высокая вариабельность, которая обусловлена неравномерностью загрязнения почв. На участках зафиксировано превышение санитарно-гигиенического норматива у БП (наибольшее – на ул. Н. Химушина, в 11,2 раза), НП (до 2 раз), As (1,9) и Zn (1,7).

Почвы ключевого участка на Ярославском шоссе, 142 в *Северном округе* Москвы характеризуются значительным превышением фоновых значений практически для всех

Таблица 1

Среднее содержание загрязняющих веществ в поверхностных (0-0,5 м) горизонтах почв ключевых участков

	Среднее содержание загрязняющих веществ, мг/кг									Число проб
	Zn	Pb	Cd	As	Hg	Ni	Cu	БП	НП	
ПДК	55	32	0,5	2	2,1	20	33	0,02	300	
Фон	52,5	9,38	0,189	3,01	0,03	11,8	12,2	0,01	56,0	
<b>Ключевой участок</b>										
26 Бакинских комиссаров	81,3	12,3	0,15	4,55	0,13	11,5	14,3	0,064	250	4
Зеленоград, 104	303	8,3	0,19	2,75	0,04	7,8	7,2	0,034	48,3	4
Зеленоград, 115	67,3	8,8	0,23	2,85	0,04	8,6	8,9	0,003	172	4
Зеленоград, 222	95,5	9,4	0,14	1,95	0,03	9,0	7,6	0,003	44,3	4
Зеленоград, 312	62,5	10,7	0,13	2,55	0,03	7,9	7,8	0,003	132	4
Нежинская, 8	77,3	18,3	0,20	3,80	0,22	12,0	14,7	0,038	90,4	4
Нежинская, 17	103	14,0	0,16	4,33	0,11	12,8	19,3	0,037	97,5	4
Озёрная, 29	91,3	13,3	0,18	3,88	0,11	9,0	11,8	0,069	78,8	4
Гольяново	125	29,4	0,20	4,32	0,10	9,4	24,8	0,061	257	5
ул. Амурская, 21	108	14,5	0,33	3,30	0,11	10,7	18,7	0,071	327	4
Харьковский пр., 11	90,3	11,6	0,28	3,53	0,06	9,0	15,3	0,026	40,0	4
Ярославское ш., 144	104	15,9	0,18	4,88	0,14	6,6	26,8	0,109	178	13
Открытое шоссе	140	67,2	0,75	3,72	0,16	10,9	32,6	0,090	343	5
ул. Н. Химушина	92,0	31,0	0,34	3,78	0,08	15,6	18,8	0,223	588	5
Ходыньское поле (восток)	46,5	14,2	0,27	2,71	0,05	7,3	9,8	0,031	93,0	8
Ходыньское поле (запад)	49,1	15,2	0,18	3,35	0,61	6,7	9,4	0,040	226	11
ул. Гарибальди	197	35,5	1,23	4,08	0,23	19,8	39,3	0,066	501	4

неорганических – Zn, Pb, As, Hg, Cu (Кс = 1,62–4,87) и органических поллютантов – БП (8,36) и НП (3,18). В одной точке установлено экстремально высокое содержание БП – 0,67 мг/кг (точечное превышение ПДК – в 33,5 раза при среднем превышении на участке в 5,4 раза). Основным источником загрязнения дворовой территории, по всей видимости, являются внутриквартальные проезды и строительный мусор.

Для ключевого участка в Харьковском проезде, 11 в Южном округе важную роль играет близость к крупным промзонам, в том числе к мусоросжигательному заводу. Для большинства рассмотренных компонентов отмечается значительное превышение фоновых содержаний – БП (Кс = 2,3, превышение ПДК в 1,3 раза), Hg (Кс=2,06), Zn (1,72), Pb (1,23), Cu (1,25). Практически все поллютанты обладают малыми Св, что говорит о равномерности загрязнения почвенного покрова. Исключение составляют Hg, Cd и БП (Св=50,0–67,7%).

Обследование почвенного покрова в Зеленограде проводилось на территории новых жилых кварталов, вдалеке от крупных автомобильных магистралей и промзон. Поэтому в почвах всех ключевых участков, кроме участка у к. 115, содержание большинства ТМ

и органических загрязнителей не превышает фоновые концентрации, при этом их Св равны 10-20%. Исключение составляют Zn (Кс=2) и БП (Кс=5,8), для которых зафиксированы превышения ПДК на участке у к. 104 (в 1,4 и 1,7 раза соответственно).

**Пространственное распределение ЗВ в почвах.** Для выявления закономерностей распределения техногенных поллютантов был использован метод кластерного анализа. На основе данных о среднем содержании ЗВ в почвах ключевые участки были разбиты на 4 группы (рис. 2):

1. Зеленоград, к. 104, 115, 222, 312; Ходыньское поле (восточная часть);
2. Ул. 26 Бакинских комиссаров; ул. Нежинская, 8, 17; ул. Озёрная; Харьковский проезд, 11; ул. Амурская, 21;
3. Микрорайон Гольяново; Ярославское шоссе, 144;
4. Открытое шоссе; ул. Н. Химушина; Ходыньское поле (западная часть); ул. Гарибальди.

Первая группа участков объединяет новые районы с временем застройки до 10 лет. Они характеризуются относительно малыми превышениями содержания ТМ, As и органических загрязнителей над фоновыми значениями и находятся на относительном

удалении от крупных автодорог и промзон. Единственным источником техногенного загрязнения почв этих участков служат внутриквартальные проезды и улицы, которые в силу малого возраста жилой застройки ещё не стали причиной формирования локальных техногенных аномалий. В данной группе эколого-геохимическое состояние почвенного покрова определяют региональные факторы, главным образом западный атмосферный перенос. Значения  $Z_c$  на этих участках не превышают 8, что характеризует их как относительно чистые.

Вторая группа ключевых участков отличается более близким положением по отношению к ТЭЦ и промышленным зонам, что обуславливает более интенсивное накопление ЗВ в их почвах. В силу более длительного существования жилой застройки здесь более заметно кумулятивное влияние выбросов автомобильного транспорта. Участки данной группы характеризуются высоким разбросом значений  $Z_c$  – от 3,77 до 13, что соответствует чистым почвам и низкому уровню загрязнения.

Третья группа участков имеет значительный (более 20-30 лет) возраст застройки и расположена в условиях интенсивной техногенной нагрузки со стороны промышленных предприятий (микрорайон Гольяново) и автомобильного транспорта (Ярославское шоссе). По величине  $Z_c$  (15,7 и 17,9) почвы этой группы относятся к умеренно опасной категории загрязнения.

Четвертая группа ключевых участков отличается наиболее высоким уровнем загрязнения почв, однако набор приоритетных загрязнителей на каждом участке индивидуален: на участки в Восточном округе ЗВ поступают в основном со стороны ТЭЦ и промзон, на ул. Гарибальди – от автотранспорта, почвы западной части Ходынского поля загрязнены свалками бытового мусора. Группа характеризуется максимальными значениями  $Z_c$  – от 26,9 до 34,2, что соответствует умеренно опасной и опасной категориям загрязнения почв.

**Роль антропогенных и почвенно-геохимических факторов в загрязнении почв.** Влияние комплекса природных и антропогенных факторов на загрязнение почвенного покрова селитебной зоны различными ЗВ было оценено с помощью метода регрессионных деревьев. Факторы были ранжированы по их значимости (табл. 2). Содержание в почвах Pb, Zn, Cu, As зависит преимущественно от воздействия автодорог, для Cd, Ni и БП зависимость проявляется в меньшей степени. Этот результат согласуется с данными о преобладании выбросов со стороны автомобильного транспорта в общем загрязнении городской среды [17]. Поступление Hg, НП и БП в почву определяется в основном воздействием стационарных источников загрязнения.

Дифференциация содержаний Pb в почвах селитебной зоны связана с наличием механических барьеров-зданий: при слабой экранированности содержание Pb в почвах достигает в среднем 35,5 мг/кг, при средней

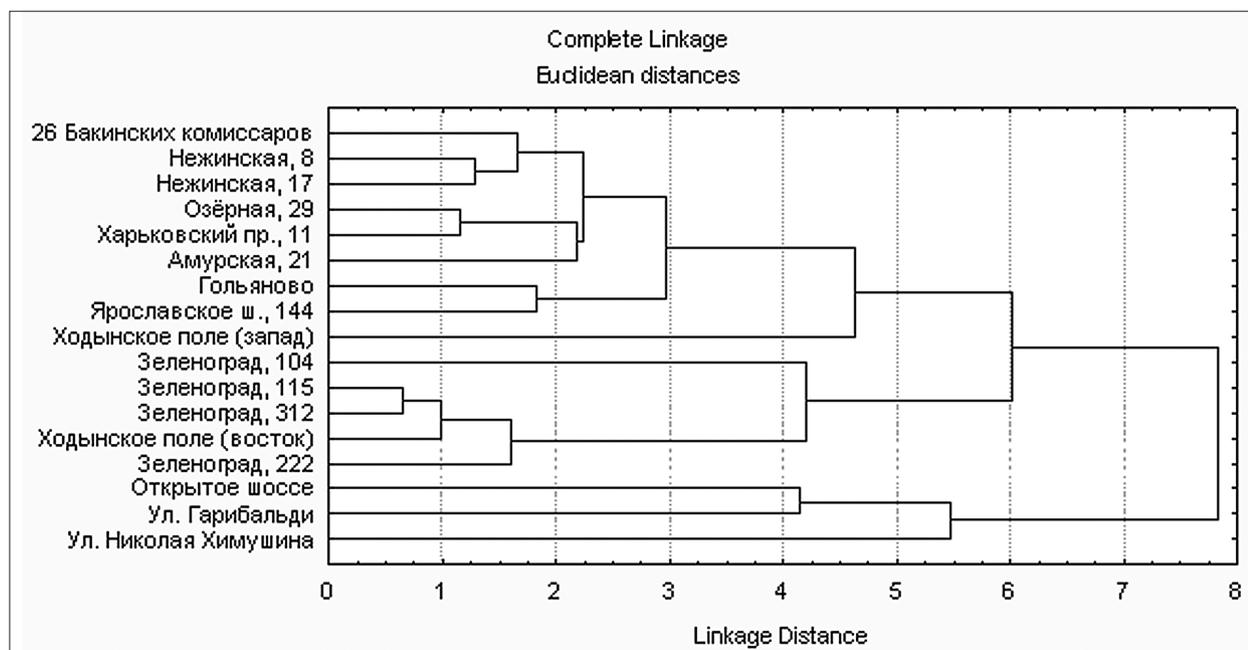


Рис. 2. Группировка ключевых участков по уровню загрязнения почв

Таблица 2

Влияние антропогенных и почвенно-геохимических факторов на вариабельность концентраций загрязняющих веществ в почвах ключевых участков селитебной зоны г. Москвы

Факторы дифференциации	Zn	Cu	Cd	Ni	Pb	Hg	As	БП	НП
Расстояние до крупных дорог	1	1	2	2	1		1	2	
Влияние ТЭЦ		2	3			1		1	2
Экранированность	2	3	1	1	2		2		1
Расстояние до внутриквартальных проездов	2	2	4		3				3
Расстояние до промзон								3	
рН почв	3	3				2		2	
Гранулометрический состав почв	2	3		2	4		3		

Примечание. Ранги факторов от 1 до 4 показывают уменьшение их влияния на содержание загрязняющих веществ.

и сильной – 13,3 мг/кг (рис. 3 А). Максимальное содержание Рb (49,1 мг/кг) наблюдается на Открытом шоссе и ул. Н. Химушина, где источниками Рb в почвах служат не только выбросы автотранспорта, но и твёрдые выпадения ТЭЦ. Эти выводы о характере распределения Рb в почвах и влиянии на него антропогенных факторов соответствуют данным, полученным другими авторами [6, 9, 10, 15].

Пространственная дифференциация содержания НП в поверхностных горизонтах почв также определяется наличием механических барьеров (рис. 3 Б). Максимум содержания НП (549 мг/кг) приурочен к слабоэкранированным участкам. В условиях средней и сильной экранированности проявляется влияние атмосферной эмиссии ТЭЦ. Результирующий уровень содержания НП (95,3-346 мг/кг) зависит от близости внутриквартальных проездов и крупных автомагистралей – при увеличении расстояния вариабельность содержания НП возрастает, что можно объяснить неравномерностью транспортных потоков.

Среди рассмотренных почвенно-геохимических факторов прослеживается влияние гранулометрического состава на содержание Рb, Zn, Ni и рН – на Cu, Zn, Hg, БП. Так, в песчаных почвах Рb накапливается в 1,65 раза слабее по сравнению с супесчаными и суглинистыми. Выявлена тенденция к более интенсивной аккумуляции ТМ и БП при рН > 7.

### Выводы

1. Практически на всех ключевых участках селитебной зоны Москвы отмечены высо-

кие содержания органических загрязнителей – БП (Кс до 17,5) и НП (до 10,5). Их экологическую опасность характеризует частота превышения ПДК – 76,5% случаев у БП и 23,5 – у НП. Среди неорганических загрязнителей наиболее контрастные техногенные аномалии выявлены у Hg (Кс до 7,9), Рb (до 7,2) и As (до 6,5). Частота превышения ПДК неорганических поллютантов уменьшается в ряду As–Zn–Pb–Cd от 23,5 до 6%.

2. Максимальные уровни суммарного загрязнения почв с  $Zc > 32$  установлены на ул. Гарибальди и ул. Н. Химушина. Содержание ЗВ в них определяется в основном локальными факторами – аэрогенным поступлением поллютантов со стороны автодорог и промзон.

3. Результаты регрессионного анализа подтвердили значимую роль автомобильного транспорта как основного источника Zn, Рb, As, Cu и частично – Cd и Ni. Загрязнение почв селитебной зоны Hg, НП и БП в большей степени определяют стационарные источники – ТЭЦ и промзоны. Заметное влияние на содержание ЗВ в почвах оказывают их гранулометрический состав (Pb, Zn, Ni) и щёлочно-кислотные условия (Cu, Zn, Hg, БП).

4. Использованные в работе методические подходы могут быть рекомендованы для оценки эколого-геохимического состояния почв других урбанизированных территорий и выявления факторов, влияющих на загрязнение почвенного покрова. Для повышения точности оценок следует увеличить число ключевых участков, а также расширить состав определяемых физико-химических свойств почв, влияющих на накопление поллютантов, включив в него содержание гумуса, подвижных форм Fe и Mn и др.

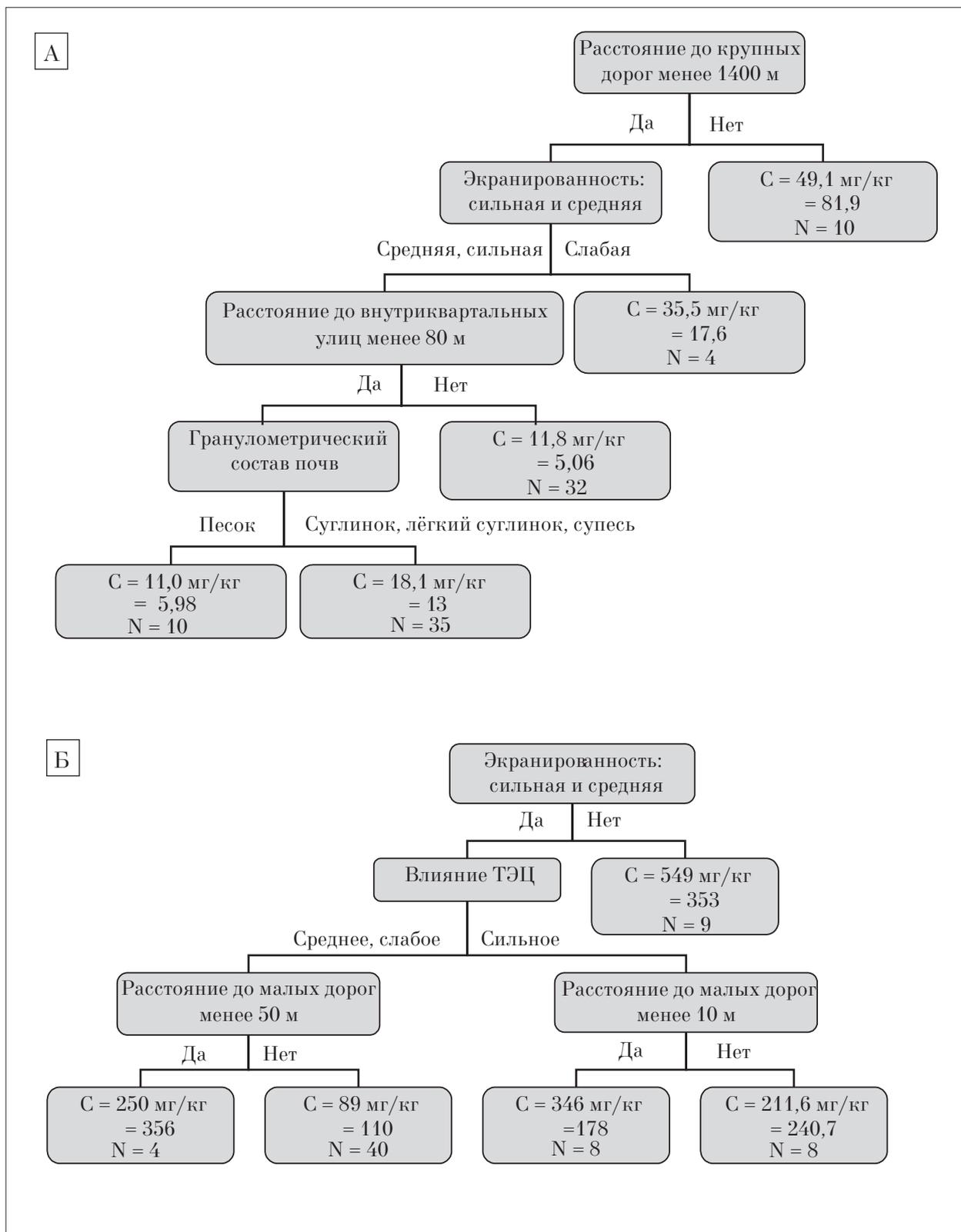


Рис. 3. Дифференциация содержания Рb (А) и НП (Б) в поверхностных (0-0,5 м) горизонтах почв ключевых участков селитебной зоны Москвы

Литература

1. Голубчиков С.Н., Гутников В.А., Ильина И.Н., Минин А.А., Прохоров Б.Б. Экология крупного города (на примере Москвы) / Под ред. А.А. Минина. М.: Изд-во «ПАСЬВА», 2001. 192 с.
2. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1995. 327 с.
3. Braimoh Ademola K., Vlek Paul L.G. Eds. // Land Use and Soil Resources. 2008. XXII. 254 p.
4. Агапкина Г.И., Чиков П.А., Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Буханько Н.Г., Балашова С.П. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2007. № 3. С. 38-46.
5. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Перми // Почвоведение. 2005. № 7. С. 782-789.
6. Ладонин Д.В., Пляскина О.В. Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы // Почвоведение. 2009. № 1. С. 106-118.
7. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Фракционный состав соединений свинца в почвах Москвы и Подмосквья // Почвоведение. 2009. № 8. С. 1-12.
8. Обухов А.И., Кутукова Ю.Д. Состояние почв детских садов (на примере Ленинского района Москвы) // Экологические исследования в Москве и Московской области. М. 1990. С. 212-241.
9. Azimi S., Rocher V., Muller M., Moilleron R., Thevenot D.R. Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area (Paris, France) // Sci. Total Environ. 2005. V. 337. P. 223-239.
10. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Динамика загрязнения городских почв свинцом (на примере Восточного округа Москвы) // Почвоведение. 2007. № 8. С. 984-997.
11. Birke M., Rauch U. Urban Geochemistry: Investigations In The Berlin Metropolitan Area // Environmental Geochemistry and Health. 2000. V. 22. P. 233-248.
12. Luo W., Yonglong Lu, Xiojuam T., Wang B., Wang G., Yajuan S., Wang T., Naile J., Giesy J.P. Distribution of Copper, Cadmium and Lead in Soils from Former Industrialized Urban Areas of Beijing, China // Bulletin of Environmental Contamination Toxicology. 2009. V. 82. P. 378-383.
13. Мозолевская Е.Г., Липаткин В.А., Шарапа Т.В. Динамика и современное состояние лесных насаждений на границах МКАД // Экоreal. 2007. № 1. С. 44-49.
14. Никифорова Е.М. Свинец в ландшафтах придорожных экосистем // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 220-230.
15. Turer D., Maynard B.M., Sansalone J.J. Heavy metal contamination in soils of urban highways: comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio // Water, Air and Soil Pollution. 2001. V. 132. P. 293-314.
16. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 332 с.
17. Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зелёных насаждений в Москве. М.: Старгирит-Н, 2005. 264 с.

## Особенности влияния растворов малых и сверхмалых концентраций солей меди и свинца на выживаемость дафний (*Daphnia magna*)

© 2009. С.М. Захаров<sup>1</sup>, м.н.с., Д.Е. Иванов<sup>1</sup>, д.б.н., в.н.с.,  
Н.В. Емельянова<sup>1</sup>, к.б.н., зав. лабораторией, И.Н. Ларин<sup>1</sup>, к.б.н., зав. отделом,  
В.Н. Чупис<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., директор, Т.И. Губина<sup>2</sup>, д.б.н., зав. кафедрой,  
<sup>1</sup> ФГУ ГосНИИ промышленной экологии,  
<sup>2</sup> Саратовский государственный технический университет,  
e-mail: info@sar-ecoinst.org, Biolab-info@mail.ru

В настоящей работе изучено влияние различных концентраций солей меди и свинца ( $10^{-3}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-12}$ ,  $10^{-15}$ ,  $10^{-18}$ ,  $10^{-20}$ ,  $10^{-22}$ ,  $10^{-24}$  мг/мл) на выживаемость дафний (*Daphnia magna*). Установлено, что эффект сверхнизких концентраций обнаружен как для  $\text{CuSO}_4$ , так и для  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и проявляется при концентрации солей  $10^{-18}$  мг/мл. При дальнейшем выдерживании приготовленных растворов до 12 суток видимых изменений эффекта сверхнизких концентраций не наблюдается. После 12 суток происходит смещение токсического эффекта в сторону меньших значений концентраций. Изучено влияние температуры выдерживания приготовленных растворов ( $-4^\circ\text{C}$ ,  $+18^\circ\text{C}$ ,  $+28,5^\circ\text{C}$ ) на тест-объект. Показано, что различные температуры способствуют потере эффекта сверхмалых концентраций.

The influence of copper and lead salts in different concentrations ( $10^{-3}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-12}$ ,  $10^{-15}$ ,  $10^{-18}$ ,  $10^{-20}$ ,  $10^{-22}$ ,  $10^{-24}$  milligram/milliliter) on daphnia (*Daphnia magna*) survival probability is considered. It was stated that the effect of super-low concentration is shown both for  $\text{CuSO}_4$  and  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  and it is observed with salt-concentration of  $10^{-18}$  milligram/milliliter. If the solution is kept further up to 12 days no changes of super-low concentration effect are observed. After 12 days there takes place change of toxic effect - concentration gets lower. The influence of the solutions temperature ( $-4^\circ\text{C}$ ,  $+18^\circ\text{C}$ ,  $+28,5^\circ\text{C}$ ) on the test-object was considered. It is stated that different temperatures contribute to the loss of super-low concentration effect.

Ключевые слова: сверхмалые дозы, тест-объекты, тяжёлые металлы

### Введение

Эффекты действия биологически активных веществ в сверхмалых дозах привлекают значительный интерес исследователей в области экологии и биохимии. Рабочие концентрации целого ряда внутренних биорегуляторов, например, пептидов и собственных гормонов, часто находятся в интервале  $10^{-9}$  –  $10^{-12}$  моль/л и даже менее. Эффективные дозы некоторых признанных лекарственных препаратов и токсинов значительно ниже  $10^{-12}$  моль на 1 кг массы тела [1 – 5].

На основании многочисленных данных за действующие сверхмалые концентрации биологически активных веществ можно принимать интервал концентраций в  $10^{-12}$  –  $10^{-20}$  моль/л. Действие концентраций менее  $10^{-12}$  М ещё можно как-то объяснить на основе законов традиционной лиганд-рецепторной кинетики, а при концентрациях менее  $10^{-19}$  моль/л в экспериментальном объёме (порядка миллилитра) может не быть ни одной молекулы действующего вещества.

Соединения меди и свинца являются достаточно распространёнными веществами, загрязняющими окружающую среду, которые образуются чаще всего в процессе промышленного антропогенного воздействия. В связи с этим вполне актуальны исследования их содержания в природных средах и оценка влияния этих загрязняющих веществ на различные живые организмы.

Дафнии (*Daphnia magna*) являются тест-объектами, которые широко используются в практике биомониторинга состояния окружающей среды, однако воздействие сверхнизких концентраций меди и свинца на дафний в настоящее время мало изучено.

В представленной работе приведены результаты исследования влияния различных концентраций солей меди и свинца на выживаемость дафний (*Daphnia magna*).

### Методы исследования

В ходе экспериментов исследовалось воздействие на дафний растворов сульфата меди и нитрата свинца в концентрациях:  $10^{-3}$ ,  $10^{-6}$ ,

$10^{-9}$ ,  $10^{-12}$ ,  $10^{-15}$ ,  $10^{-18}$ ,  $10^{-20}$ ,  $10^{-22}$ ,  $10^{-24}$  мг/мл. Эксперименты проводились при постоянной температуре  $20 \pm 2$  °C.

Растворы готовились из исходных растворов  $Pb(NO_3)_2$  и  $CuSO_4$  с концентрацией 0,001 мг/мл методом последовательных разбавлений. Готовили следующие концентрации этих растворов:  $10^{-6}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-12}$ ,  $10^{-15}$ ,  $10^{-18}$ ,  $10^{-20}$ ,  $10^{-22}$ ,  $10^{-24}$  мг/мл. Приготовление растворов осуществлялось в соответствии с методикой E. Davenas, F. Beauvais, J. Arnara [6].

Смертность дафний оценивали по методике Н.С. Жмур [7]. Для определения острой токсичности исследуемых концентраций рассчитывали процент погибших в тестируемой воде дафний (A, %) по сравнению с контролем по следующей формуле:

$$A = \frac{X_K - X_T}{X_K} \cdot 100 \%,$$

где  $X_K$  — количество выживших дафний в контроле;  $X_T$  — количество выживших дафний в тестируемой воде.

При  $A \leq 10\%$  тестируемая вода не оказывает острого токсического действия (безвредная кратность разбавления). При  $A \geq 50\%$  тестируемая вода оказывает острое токсическое действие.

Во второй серии эксперимента, растворы данных концентраций выдерживали параллельно при комнатной и при заданных температурах ( $-4$  °C,  $+18$  °C и  $+28,5$  °C) в течение 24 ч. После чего проводили биотестирование на дафниях по методике Н. С. Жмур.

По полученным результатам строили графики зависимости выживаемости дафний от времени с момента приготовления растворов и их выдерживания при заданных температурах.

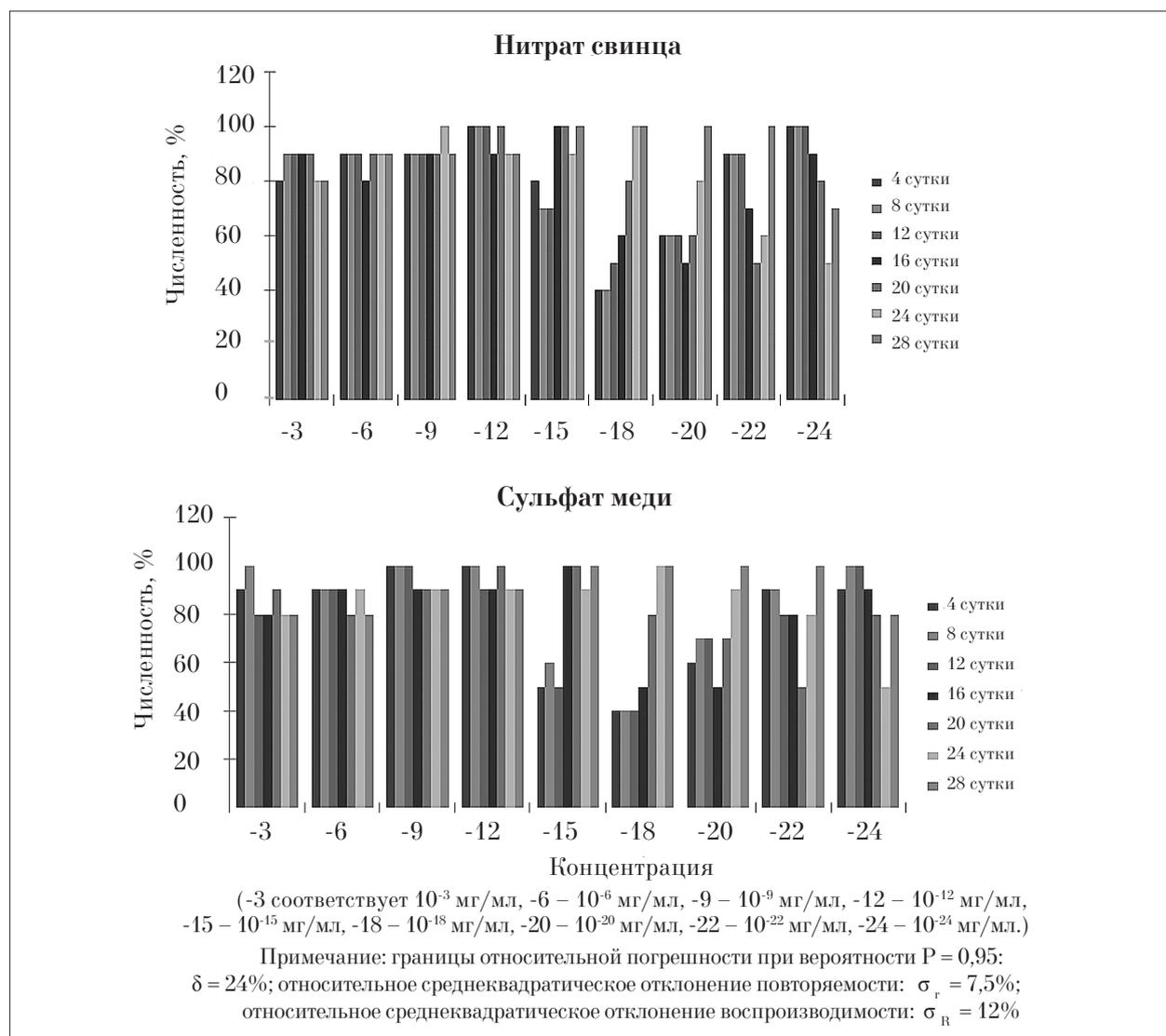


Рис. 1. Влияние времени выдерживания нитрата свинца и сульфата меди на выживаемость дафний (*Daphnia magna*)

## Результаты и обсуждение

### 1. Влияние времени выдерживания приготовленных растворов солей на выживаемость *Daphnia magna* (время от момента приготовления растворов до проведения биотестирования на дафниях).

В ходе экспериментов исследовалось воздействие малых и сверхмалых концентраций растворов сульфата меди и нитрата свинца на выживаемость *Daphnia magna*. Продолжительность эксперимента – 29 дней. Биотестирование проводилось на следующие сутки после приготовления растворов. Полученные результаты в виде графиков представлены на рисунке 1. Установлено, что наибольший эффект сверхнизких концентраций (СНК) обнаружен как для  $\text{CuSO}_4$ , так и для  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  в разведении солей  $10^{-18}$  мг/мл. При выдерживании приготовленных растворов до 12-ти суток видимых изменений эффекта сверхнизких концентраций не наблюдается. После 12-ти суток происходит смещение токсического эффекта в сторону меньших значений концентраций, т. е. на протяжении 12-ти суток максимальный токсический эффект для этих солей был на отметке  $10^{-18}$  мг/мл, затем на 16-е сутки токсический эффект сместился на отметку  $10^{-20}$  мг/мл, а на 20-е –  $10^{-22}$  мг/мл. Наблюдаемую неустойчивость биоэффекта можно объяснить тем, что при сверхнизких концентрациях число молекул вещества в образце мало или вообще отсутствует, вследствие чего становятся заметней флуктуации числа молекул около клеточных мишеней [8]. Наблюдаемые процессы могут быть обусловлены и изменениями структурной организации молекул воды.

### 2. Влияние температуры выдерживания приготовленных растворов солей на выживаемость *Daphnia magna*.

Следующим этапом наших исследований было изучение влияния температуры выдерживания приготовленных растворов на тест-объект. Растворы всех выше приготовленных концентраций выдерживались в течение суток при температурах  $-4^\circ\text{C}$ ,  $+18^\circ\text{C}$  и  $+28,5^\circ\text{C}$ . Затем температура доводилась до комнатной температуры ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ), и проводилось биотестирование. Показано, что различные температуры, при которых выдерживались растворы солей, способствуют потере эффекта сверхмалых концентраций (рис. 2).

Установлено, что при выдерживании растворов  $\text{CuSO}_4$  различной концентрации при температуре  $-4^\circ\text{C}$ , токсическое действие соли

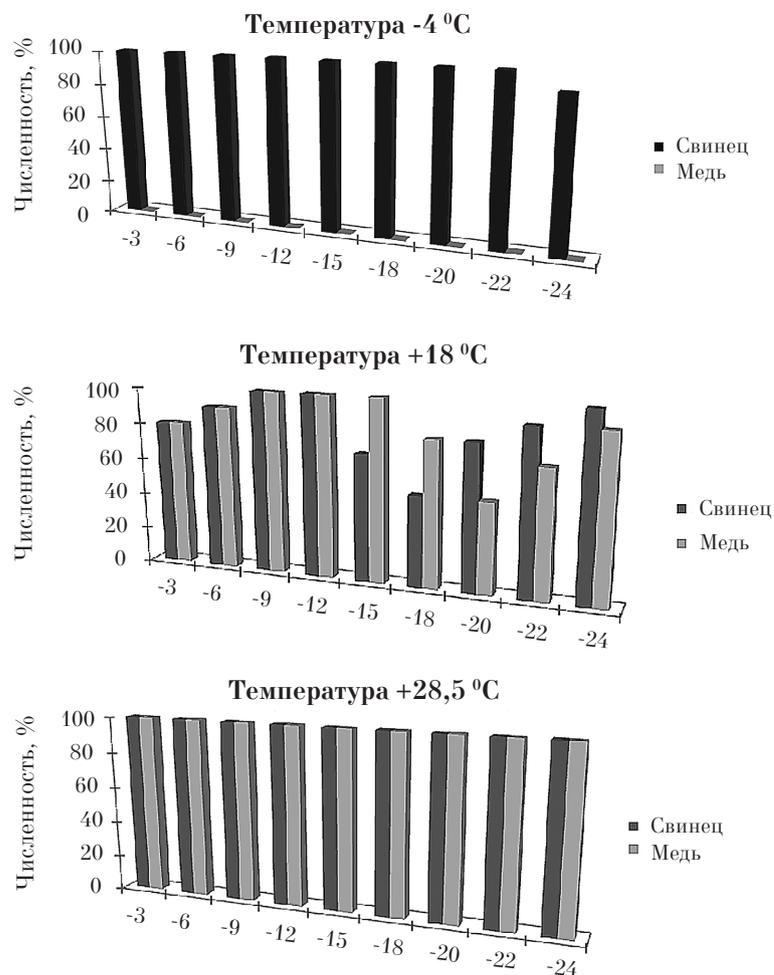
проявляется при всех концентрациях в равной мере (100% гибель), а при температуре  $+28,5^\circ\text{C}$  токсического эффекта данной соли не наблюдается. Выдерживание растворов соли  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  при экстремальных температурах приводит к потере токсичности данных растворов. Что касается выдерживания растворов обеих солей при температуре  $+18^\circ\text{C}$ , то наблюдаемые при  $22^\circ\text{C}$  эффекты малых доз сохранились в тех же значениях для  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и незначительно сместились (до  $10^{-20}$ ) для  $\text{CuSO}_4$  (рис. 2).

Характерными особенностями действия веществ в малых и сверхмалых дозах являются сложный характер дозовой зависимости и действие сверхмалой концентрации на фоне большой концентрации того же вещества, присутствующего в объекте воздействия. Можно предположить, что действия веществ в сверхмалых дозах (СМД) опосредуются специфическими (рецепторными) взаимодействиями, а если эффект проявляется при больших концентрациях, то он определяется либо рецепторами иного типа, чем в случае СМД, либо неспецифическими реакциями (окислительно-восстановительными и др.). Возможно, что эффекты СМД естественным образом связаны с адаптационными явлениями, поскольку адаптация приводит к тому, что система может реагировать не на концентрацию действующего вещества, а на изменение концентрации, в том числе на введение малых и сверхмалых доз [9, 10, 11].

Однако общепринятой точки зрения на механизмы и процессы, лежащие в основе эффектов СМД, пока нет. Явление действия столь низких концентраций пытаются объяснить с помощью различных гипотез.

Согласно одной из них – эффект СМД обусловлен концентрированием действующего вещества-эффектора в определённых тканях и клетках [12]. В результате количество вещества в клетках, на которые направлено его действие, может оказаться на 2-3 порядка выше исходной концентрации [13].

В рамках другой гипотезы – действие веществ в сверхмалых концентрациях связано с наличием исключительно высокоэффективных систем усиления сигнала, которые формируются за счёт протекания каскадных процессов, при этом на каждом этапе, на его «выходе» активных молекул больше, чем на «входе» [14, 15]. Следует отметить, что усиление сигнала возможно не только путём изменения концентрации вторичных мессенджеров, но также и за счёт активации синтеза белков, участвующих в передаче сигнала [14, 15, 16].



Концентрация  
 (-3 соответствует  $10^{-3}$  мг/мл, -6 –  $10^{-6}$  мг/мл, -9 –  $10^{-9}$  мг/мл, -12 –  $10^{-12}$  мг/мл,  
 -15 –  $10^{-15}$  мг/мл, -18 –  $10^{-18}$  мг/мл, -20 –  $10^{-20}$  мг/мл, -22 –  $10^{-22}$  мг/мл, -24 –  $10^{-24}$  мг/мл.)  
 Примечание: границы относительной погрешности при вероятности P = 0,95:  
 $\delta = 24\%$ ; относительное среднеквадратическое отклонение повторяемости:  $\sigma_r = 7,5\%$ ;  
 относительное среднеквадратическое отклонение воспроизводимости:  $\sigma_R = 12\%$

Рис. 2. Влияние температуры выдерживания приготовленных растворов солей на выживаемость дафний (*Daphnia magna*)

Наблюдаемую во многих случаях неустойчивость биоэффекта по величине и знаку можно объяснить также тем, что при сверхнизких концентрациях число молекул вещества в образце мало, вследствие чего становятся заметней флуктуации числа молекул около клеточных мишеней.

Однако, несмотря на разнообразие гипотез, объясняющих действие СМД, существуют общие закономерности действия СНК, что даёт возможность рассматривать данное явление с единой точки зрения. Повидимому, это связано с тем, что все процессы протекают в водной среде и обусловлены изменениями структурной организации молекул воды.

### Литература

1. Бурлакова Е.Б. Эффект сверхмалых доз // Вестник РАН. 1994. Т. 64. № 5. С. 425-431.
2. Бурлакова Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности // Российский химический журнал. 1999. Т. XLIII. Вып. 5. С. 3-11.
3. Бурлакова Е.Б. Сверхмалые дозы – большая загадка природы // Экология и жизнь. 2000. № 2. С. 38.
4. Safrit J., Tsuchitani T., Zighuboim J., Bonavida B. Ultra-Low Doses. / Ed. by C. Doutrempuich. Univ. Bordeaux. France. 1991. P. 27.
5. Davis J.M., Svendsgaard D.J. U-Shaped Dose Response Curves, Tox. and Environ. // Toxic and environmental health. 1990. V. 30. P. 71.

6. E. Davenas, F. Beauvais, J. Arnara. Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE // *Nature*. 1988. V. 333. №. 6176. P. 816-818.
7. Жмур Н.С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР. 1.39.2001.00283. М. Акварос. 32 с.
8. Faith R.E., Liang H.J., Murgio A.J., Plotnikoff N.P. Neuroimmunomodulation with enkephalins: enhancement of human natural killer (NK) cell activity in vitro // *Clin Immunol. and Immunopathol.* 1984. V. 31. P. 412 – 418.
9. Zaitsev S.V., Khagai L.A., Kim B.B. Mechanisms ultramicroamount // *Immunol. Letters*. 1992. V. 335. P.114-116.
10. Efanov A.M., Koshkin A.A., Sazanov L.A., Borodulina O.I., Varfolomeev S.D., Zaitsev S.V. Inhibition of the respiratory burst in mouse macrophages by ultralow doses of an opioid peptide is consistent with a possible adaptation mechanism // *FEBS Lett.* 1994. V. 355. № 2. P. 114-116.
11. Sazanov L.A., Zaitsev S.V. Effect of superlow doses (10(-18)-10(-14) M) of biologically active substances: general rules, features, and possible mechanisms // *Biokhimiia*. 1992. P. 144-150.
12. Katz L.S., Marquis J.K. Modulation of central muscarinic receptor binding in vitro by ultralow levels of the organophosphate paraoxon // *Toxicol. Appl. Pharm.* 1989. V.101. P. 114 – 123.
13. Dubinin KV, Zakharova LA, Khagai LA, Zaitsev SV. Immunomodulating effect of met-enkephalin on different stages of lymphocyte proliferation induced with concanavalin A in vitro // *Immunopharmacol Immunotoxicol.* 1994. P. 463-472.
14. Варфоломеев С.Д., Гуревич К.Г. Биокинетика. М.: ФАИР Пресс, 1998. 716 с.
15. Zaitsev S.V., Il'ina A.D., Varfolomeev S.D. Research in Biochemical Kinetics. // N.Y.: Nova Science Publishers Inc, 1993. P.102 – 119.
16. Reibman J.J. Transforming Growth Factor-Messenger RNA and Protein in Murine Colitis // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1991. V. 88. P. 6805.

**Ядерные энергетические установки: постижение реальности**

© 2009. М.Н. Тихонов<sup>1</sup>, с.н.с., М.И. Рылов<sup>2</sup>, генеральный директор,  
<sup>1</sup>ФГУП НИИ промышленной и морской медицины,  
<sup>2</sup>ООО «РЭСцентр»,  
e-mail: oleg.muratov@twell.ru

На основе анализа недостатков существующих и разрабатываемых типов реакторов рассмотрены актуальные проблемы создания самодостаточной безопасной ядерной энергетики.

On the basis of the analysis of deficiencies in the types of existing reactors and reactors that are being developed the up-to-date problems of creating self-sufficient safe nuclear power engineering are considered.

Ключевые слова: ядерная энергетика, ядерные энергетические установки

Растущий спрос на энергию и всё более широкая осведомленность об экологических выгодах чистой ядерной энергии создают основу для ренессанса ядерной энергетики (ЯЭ), которая может способствовать решению проблем, связанных с энергетической безопасностью, экономическим развитием, улучшением качества окружающей среды и жизни населения. Однако, прежде чем такой ренессанс может стать реальностью, государственные деятели должны заняться решением таких проблем, как относительно высокие капитальные затраты на строительство новых атомных электростанций (АЭС), вопросы обращения с радиоактивными отходами (РАО) и отработанным (облучённым) ядерным топливом (ОЯТ) и риск распространения оружейного плутония за пределы ядерно-топливного цикла (ЯТЦ).

Сегодня объективная необходимость ускоренного развития ЯЭ в стране обусловлена крайне тяжёлым состоянием российской энергетики. Ещё недавно ЯЭ находилась на том уровне, про который С.В. Кириенко хорошо сказал: «Мы молча наблюдали, как умирает атомная отрасль». В период 20-летнего застоя атомной отрасли одни делали вид, что заказывают работу, другие – что её делают. Стагнация в развитии российского атомного комплекса создала дополнительные проблемы, связанные с потерей квалифицированных кадров и утратой культуры производства. Атомная отрасль выживала только за счёт иностранных заказов (Иран, Китай, Индия) и постепенно превращалась в маргинальную обочину экономики страны.

Современная ситуация характеризуется исключительно повышенной активностью (эволюционно-структурными изменениями) в ядерной сфере и исследованием новых техно-

логий, прокладывающих путь к долгосрочному будущему ЯЭ. После долгого перерыва страна начала сооружение новых АЭС. Работы возвращены на пяти площадках (энергоблок № 2 Волгодонской АЭС, энергоблоки № 4 Калининской и Белоярской АЭС, НВАЭС-2, ЛАЭС-2). В отношении первых трёх объектов речь идёт о достройке ранее заложенных блоков различной степени готовности. На подходе – другие, значительно менее освоенные.

Принятая ФЦП «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 – 2010 годы и на перспективу до 2015 года» [1] традиционно базируется на существующих типах реакторов и апробированном более чем полувековой практикой ЯТЦ, потому что опыт – это самое главное (табл. 1).

В ближайшей стратегии развития ЯЭ до 2020 г. приоритет отдан реализации освоенных технологий, поскольку полувековой опыт – надёжная гарантия успеха. Направление тепловых реакторов с водой под давлением (ВВЭР) является доминирующим в ближнесрочной перспективе. АЭС с реакторами большой мощности канальными (РБМК) успешно эксплуатируются, генерируя почти половину атомных кВт·ч России. За быстрыми реакторами – будущее, которое должно вобрать весь опыт эксплуатации быстрых реакторов, сделать из тропинки столбовую дорогу к храму – замкнутому топливному циклу. Тепловые реакторы с водой под давлением – это сегодняшняя база. Они обеспечивают в основном генерацию электричества, но могут работать в комбинированном цикле вместе с производством тепла. Реакторы на быстрых нейтронах (БН) могут быть использованы в виде дожигателей, которые будут уничтожать актиниды. Все ядерные энергоблоки

Таблица 1

Характеристики действующих российских АЭС

АЭС	№ блока	Тип реактора	Мощность, МВт, (эл.)	Год ввода в эксплуатацию	Срок окончания эксплуатации	Поколение реактора
Балаковская	1	ВВЭР-1000	1000	1985	2015	2
	2		1000	1987	2017	2
	3		1000	1988	2018	2
	4		1000	1993	2023	2
Белоярская	3	БН-600	600	1980	2010*	2
Билибинская	1	ЭГП-6	12	1974	2009**	1
	2		12	1974	2009**	1
	3		12	1975	2010**	1
	4		12	1976	2011**	1
Волгодонская	1	ВВЭР-1000	1000	2002	2032	2
Калининская	1	ВВЭР-1000	1000	1984	2014	2
	2		1000	1986	2016	2
	3		1000	2005	2035	2
Кольская	1	ВВЭР-440	440	1973	2008**	1
	2		440	1974	2009**	1
	3		440	1979	2009*	2
	4		440	1981	2011	2
Курская	1	РБМК-1000	1000	1976	2011**	1
	2		1000	1979	2009*	1
	3		1000	1983	2013	2
	4		1000	1985	2015	2
Ленинградская	1	РБМК-1000	1000	1973	2008**	1
	2		1000	1975	2010**	1
	3		1000	1979	2009*	2
	4		1000	1981	2011	2
Нововоронежская	3	ВВЭР-440	417	1971	2016	1
	4	ВВЭР-440	417	1972	2017	1
	5	ВВЭР-1000	1000	1980	2010*	2
Смоленская	1	РБМК-1000	1000	1982	2012	2
	2		1000	1985	2015	2
	3		1000	1990	2020	2

Примечание: \* Планируется продление сроков эксплуатации энергоблоков с реакторами РБМК-1000, ВВЭР-440 1-го поколения, БН-600 на 15 лет и с реакторами ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 2-го поколения на 20 лет;

\*\* Обосновано продление срока эксплуатации на 15 лет и получена лицензия сроком на 5 лет.

эксплуатируются в устойчивом режиме с уровнем безопасности (базирующемся на принципе глубокоэшелонированной защиты), соответствующим лучшим показателям зарубежных АЭС. Вопрос безопасности и соблюдения высокого уровня технологий – на первом месте, и только на втором – выработка электроэнергии. Основной критерий при выборе концепции безопасности: обеспечить с разумным запасом выполнение требований по безопасности АЭС при безусловном соблюдении рыночной привлекательности проекта (экономическая эффективность, рациональное топливоиспользование и обращение с РАО и ОЯТ).

Преимущества эволюционного подхода: не требуется долгосрочной и дорогостоящей НИОКР;

возможность поэтапной реализации новых решений без существенных переработок проекта; обеспечение максимальной референтности технических решений для повышения конкурентоспособности АЭС на внешнем рынке.

В основу ближайшей стратегии развития ЯЭ, исходя из полувекового опыта эксплуатации существующего парка работающих АЭС (табл. 1), традиционно заложен эволюционно-консервативный подход, унаследованный от предыдущих поколений реакторов. Новая разработка – вариантный проект АЭС-2006 большей мощности – это реализация освоенных технологий. Среди целевых показателей – увеличение КПД, совершенствование топливных циклов, увеличение единичной

мощности и эффективности капиталовложений, сокращение сроков строительства. Ничего нового, радикального здесь нет. В этом отношении потенциал всех стран-разработчиков реакторов приблизительно одинаков и трудно найти какую-то разницу и в подходах, и в вооружённости проекта [4]. Все это – и бридеры, и замкнутый ЯТЦ – уже давно освоено, и вопрос состоит только в масштабах промышленного использования этих технологий (рис. 1). Это разумно, если учитывать дефицит времени, отведённого для сохранения отечественной ЯЭ. Создание новых энергетических технологий, нового поколения АЭС, нового топливного цикла – это долгий инвестиционный проект с большим числом неопределённостей и рисков.

Если же рассматривать энергетические проблемы человечества в перспективе, то следует открыто признать, что ни современные ядерные реакторы, ни топливо на основе урана не являются панацеей. Ограничения связаны с имманентными (внутренне присущими) им недостатками [2 – 12]:

1. Низкая эффективность (неэкономичность) топливоиспользования и деградация нейтронного потенциала (отсутствие воспроизводства ядерного горючего). Действующие сегодня реакторы используют около 1% добываемого урана.

2. Накопление радиоактивных отходов и облучённого ядерного топлива пропорционально выработке электроэнергии. К началу 2007 г. на АЭС и в хранилищах радиохимических заводов было накоплено 18,5 тыс. т ОЯТ. В России

прирост составляет 850 т ежегодно. В мире накоплено уже более 250 тыс. т ОЯТ, и ежегодно эта цифра возрастает на 11-12 тыс. т. Только незначительная часть ОЯТ перерабатывается на радиохимических заводах. На АЭС России происходит накопление ОЯТ в густонаселённых районах Европейской части. В том количестве ОЯТ, которое накоплено в России, содержание плутония составляет около 175 т [6].

3. При современных масштабах ЯЭ в мире на АЭС ежегодно нарабатывается до 85 т высокофонового плутония, который является особым веществом в проблеме негативного воздействия на окружающую среду. Помимо высокой  $\alpha$ -активности, плутоний чрезвычайно токсичен химически. Остаточная активность плутония, трансплутониевых элементов, нептуния и продуктов деления, на несколько порядков превосходящая активность природного урана, представляет радиоэкологическую опасность в течение тысячелетий. Поэтому их изоляция от окружающей среды (помимо сложности технических решений) требует колоссальных финансовых затрат, а любое существенное нарушение в обращении может привести к крупной экологической катастрофе. В настоящее время ни одна из стран мира не перешла к использованию технологий, позволяющих полностью решить проблему обращения с ОЯТ. Во всех ядерных странах ведутся НИОКР по разработке эффективных способов снижения негативного влияния ОЯТ.

4. Сегодняшняя ситуация с РАО в России достаточно напряжённая. На её территории

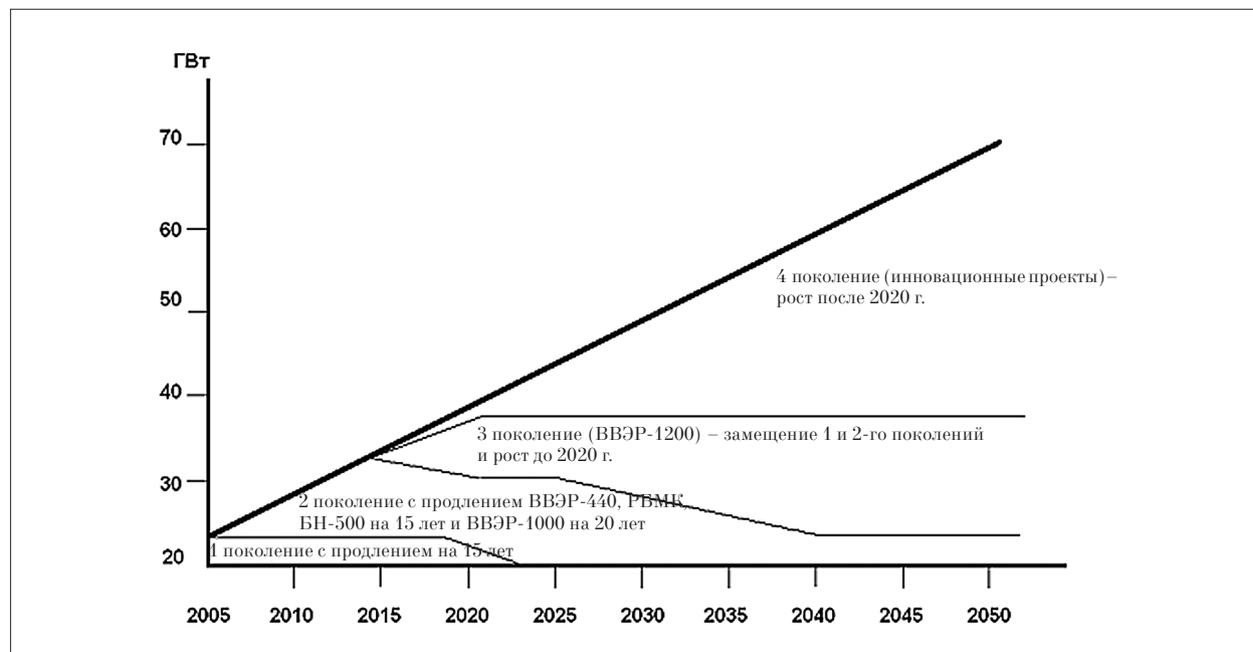


Рис. 1. Прогноз структуры реакторных технологий атомной энергетики России

Таблица 2

Степень опасности миграции долгоживущих осколочных радионуклидов при захоронении ОЯТ и долгоживущих РАО [18]

Радионуклид	<sup>238</sup> U <sub>прир</sub>	<sup>241</sup> Am	<sup>239</sup> Pu	<sup>237</sup> Np	<sup>126</sup> Sn	<sup>135</sup> Cs	<sup>79</sup> Se	<sup>99</sup> Tc	<sup>129</sup> I
Содержание в ОЯТ, кг/т ТМ*	950	0,9	6,8	0,45	0,022	0,37	0,017	0,8	0,16
Риск выхода, год <sup>-1</sup>	10 <sup>-28</sup>	9,8 · 10 <sup>-27</sup>	6,9 · 10 <sup>-10</sup>	1,6 · 10 <sup>-10</sup>	3,6 · 10 <sup>-6</sup>	1,6 · 10 <sup>-5</sup>	3,8 · 10 <sup>-5</sup>	5,2 · 10 <sup>-5</sup>	8,0 · 10 <sup>-4</sup>
Период полураспада, лет	4,51 · 10 <sup>9</sup>	458	2,41 · 10 <sup>4</sup>	2,14 · 10 <sup>6</sup>	2,3 · 10 <sup>5</sup>	2,1 · 10 <sup>6</sup>	6,5 · 10 <sup>4</sup>	2,2 · 10 <sup>5</sup>	1,72 · 10 <sup>7</sup>

Примечание: \* – кг на тонну тяжелых металлов (ТМ).

Опасность для человека может сохраняться свыше 100 тыс. лет от <sup>99</sup>Tc и <sup>129</sup>I среди продуктов деления и от <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu и <sup>243</sup>Am среди трансураниевых элементов.

накопилась почти половина всех РАО мира, их активность превысила 5,96 · 10<sup>19</sup> Бк. Около 99% РАО сосредоточено на предприятиях Росатома, в том числе все высокоактивные и подавляющая часть среднеактивных отходов. Сооружение на объектах ЯЭ многочисленных временных хранилищ в железобетонных конструкциях или в транспортабельных контейнерах принципиально проблему не решает и требует дополнительных затрат на безопасное обращение с РАО, что приводит к неуклонному росту доли тарифа. Уплотнённое хранение облучённых теплоделяющих сборок (ОТВС) лишь временно снимает вопрос размещения их и, как следствие, ставит проблему продолжения эксплуатации АЭС (см. табл. 1). Особенно остро эта проблема стоит на АЭС с реакторами РБМК.

5. Относительно короткая топливная кампания энергетических реакторов, обуславливающая большой объём потенциально опасных перевозок ОТВС и значительные затраты на захоронение высокоактивных РАО. Серьёзную тревогу вызывает полное отсутствие вывоза ОЯТ со станций с реакторами: реактор большой мощности канальный (РБМК), энергетический графитовый «Полярный» (ЭГП) и реактор «Атом Мирный Большой» (АМБ) (переработка ОЯТ этих реакторов экономически нецелесообразна). В настоящее время все имеющиеся хранилища РАО практически заполнены. Свободный объём позволяет обеспечить эксплуатацию всех российских АЭС по твёрдым радиоактивным отходам (ТРО) – в течение 5, по жидким радиоактивным отходам (ЖРО) – 8 лет [3, 6]. Рост количества отходов ядерного топлива, хранящихся на площадках АЭС, снижает ядерную и радиационную безопасность. Ввод в эксплуатацию любого даже абсолютно безопасного и дешевого реактора без решения проблем ОЯТ и эффективного использования топлива только увеличивает количество проблем ЯЭ.

6. В России существенной экономической характеристикой РАО является их «отрицательная стоимость». Затраты на обезвреживание РАО не включаются в стоимость конечного продукта, в процессе которого они образуются, и рассматриваются (наряду с другими природоохранными затратами) как непроеизводительные. Поэтому они финансируются по остаточному принципу. Отсутствует закон о государственной политике по обращению с РАО и ОЯТ. В предстоящее десятилетие при закрытии устаревших производств и снятии с эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов объёмы РАО значительно возрастут. Стоимость переработки и захоронения 1 м<sup>3</sup> ЖРО составляет от 1 до 10 тыс. долл. Это означает необходимость ежегодных затрат на обращение с образующимися РАО в нашей стране, эквивалентных стоимости нескольких АЭС [6]. Наступает момент, когда всего тарифа не хватает для обслуживания отходов.

7. Вопрос заключается не только в безопасности АЭС, но и в долгосрочной безопасности хранения отходов. При реализации глубинного захоронения долгоживущих РАО необходима оценка долговременной безопасности, включающая долговременный (сотни и тысячи лет) прогноз поведения искусственных и естественных природных барьеров на пути возможного распространения долгоживущих РАО и ОЯТ в окружающую среду (табл. 2), а также влияние некоторых вероятных внешних воздействий природного происхождения (глобальные изменения климата, геологические процессы, падение гигантского метеорита, оледенение и др.) непосредственно на участок хранилища высокоактивных РАО. Вопрос безусловно актуальный для нынешних и будущих поколений землян.

8. Принципиальная невозможность гарантировать безопасность захоронения отходов,

содержащих неделящиеся изотопы плутония, нептуний, америций и кюрий. Попытки сооружения хранилищ в стабильных геологических формациях, например в США, окончились неудачей, отодвинув срок открытия хранилища «Юкка Маунтин» до 2017 г. Требуемая долговечность – десятки и даже сотни тысяч лет – не поддаётся проверке в лабораторных условиях. Захоронение «чужих» отходов на своей территории вряд ли будет воспринято положительно общественностью. Невозможность решать проблему с отходами может привести к вынужденной остановке некоторых атомных энергоблоков и вынудить инвесторов отказаться от строительства новых АЭС.

9. Потенциальная угроза неконтролируемого использования делящихся материалов. Рынок ЯЭ не сжимается, а расширяется: 80 стран мира желают иметь ЯЭ. Государство, получающее доступ к ЯЭ, находится на половине пути к созданию ядерного оружия. Один энергетический реактор мощностью 1000 МВт производит в год плутония, достаточного для изготовления 40-50 ядерных боезарядов. Даже в исследовательских реакторах мощностью в несколько МВт можно быстро наработать количество плутония, необходимое для создания маленькой бомбы (табл. 3). На практике для реальных боевых зарядов критическая масса составляет около 23 кг для  $^{235}\text{U}$  и около 5,6 кг для  $^{239}\text{Pu}$ .

Если в мире будут действовать несколько тысяч ядерных блоков (в настоящее время – 439), то невозможно пресечь пути утечки ядерных материалов. КНДР более чем убедительно продемонстрировала неэффективность Договора о нераспространении ядерного оружия – ДНЯО. Нераспространение ядерной технологии обратно пропорционально количеству стран, ей обладающих. Безусловным приоритетом безопасности последних технологических исследований Международного консорциума «Поколение-IV» является разработка систем, которые препятствуют распространению ядерного оружия.

10. Необходимость развития бридерной программы обусловлена ограниченностью запасов  $^{235}\text{U}$ . По экспертным оценкам, имеющиеся экономически приемлемые запасы урана могут обеспечить топливом ЯЭ менее чем на 100 лет. При широкомасштабном строительстве АЭС на тепловых нейтронах запасы  $^{235}\text{U}$  будут быстро истощены [7]. Подтверждением этому является прогрессирующий рост цен на обогащённый уран в настоящее время, когда доля ЯЭ в мире является ещё достаточно малой. Поэтому в ЯЭ предлагают использовать  $^{238}\text{U}$  (которого в 100 раз больше по сравнению с  $^{235}\text{U}$ ) путём его перевода в делящийся изотоп  $^{239}\text{Pu}$  или  $^{232}\text{Th}$  при его переводе в  $^{233}\text{U}$ , то есть бридер работает на искусственных изотопах  $^{239}\text{Pu}$  или  $^{233}\text{U}$ . Предполагается, что доступность ресурсов кардинально большего масштаба позволит стабилизировать цены на природный уран, стоимость которого увеличилась с 2001 по 2006 г. в 5 раз.

11. АЭС, использующая бридерную программу, имеет в своём составе радиохимическое производство, на котором в пересчёте на 1 млн. кВт мощности циркулирует минимум 20 т  $^{239}\text{Pu}$  или  $^{233}\text{U}$ . При широком распространении АЭС уже с 20-х годов нашего века в мире будет находиться в обороте до миллиона тонн  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{233}\text{U}$ . Какая уж тут ядерная безопасность? Это крайне опасный и дорогой вид энергетики, требующий отдельного рассмотрения [8]. Даже ярые сторонники бридерной программы признают тот факт, что она может быть только внутривосточной программой. Это серьёзная проблема, от неё зависит конкурентоспособность и экспансия российских энергоблоков на мировом рынке [5].

12. Высокая стоимость ЯЭ, по крайней мере, для большинства развивающихся стран. По данным ОЭСР 2000 г., удельные капитальные затраты оценивались в 2,1-3,1 млрд. долл. на 1 ГВт установленной мощности АЭС с легководными реакторами. Стоимость нового ядерного энергоблока финской АЭС «Олкилуото» составляет 3 млрд. евро (3,9 млрд.

Таблица 3

Наработка плутония в реакторах разной мощности за год работы

Реактор	Мощность, Мв	Кг	Город, страна
Тяжёловодный графитовый	20–30 (t)*	5,5–8	Йонгбон, Северная Корея
Тяжёловодный, CIRUS	40 (t)	9	Индия
Тяжёловодный Kushab	50 (t)	12	Пакистан
Тяжёловодный, DHRUVA	100 (t)	25	Индия
Тяжёловодный	100 (t)	40	Димона, Израиль
Легководный	1000 (e)**	230	Бушер, Иран (проект)

Примечание: \* t – тепловая мощность, \*\* e – электрическая мощность МВт.

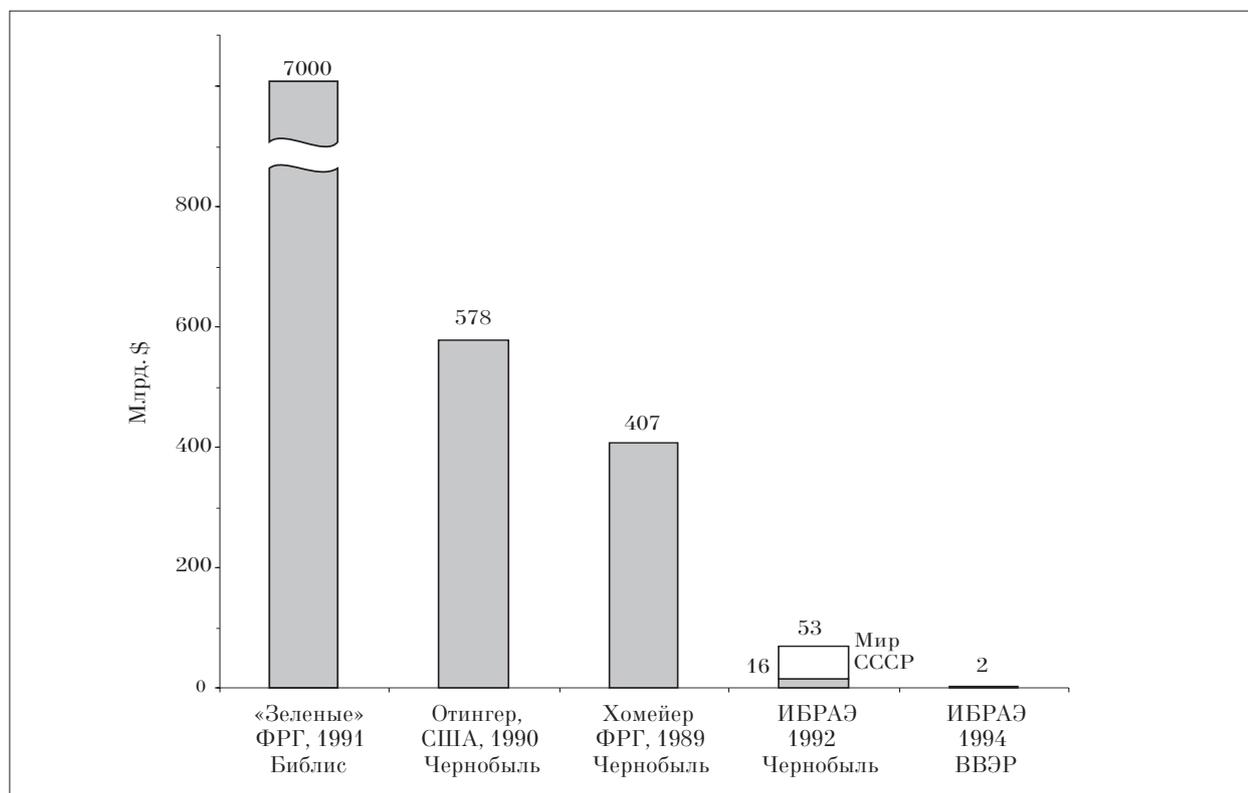


Рис. 2. Оценка ущерба аварий на АЭС

Примечание: ИБРАЭ – Институт безопасного развития атомной энергетики; Отингер, Хомейер – авторы изданий по Чернобыльской катастрофе; Мир, СССР – оценка ущерба от тяжелой аварии на ЧАЭС в мире и в СССР.

долл.). Это в 3,5-7 раз выше объёма инвестиций в строительство ТЭС с парогазовой установкой, которая вводится в строй в 3-4 раза быстрее, чем АЭС. Насколько применимы эти показатели к российской действительности, учитывая значительное удорожание в процессе строительства атомных энергоблоков [9]?

13. Безопасность реакторов обеспечивается, главным образом, увеличением числа систем безопасности и количеством барьеров, ограничивающих выход активности. Сейчас перечень документов, устанавливающих требования безопасности АЭС, превышает 100 единиц, издаётся ежегодная программа по модернизации блоков АЭС эпохи холодной войны. В результате АЭС всё более и более усложняются, соответственно, возрастает стоимость их сооружения и эксплуатации, а гарантировать 100%-ную надёжность невозможно. Постепенно стоимость капитального ремонта блоков с целью продления сроков их эксплуатации приближается к стоимости строительства нового блока. Главная задача здесь – определить, с какого момента надо сказать «стоп» и не повышать затраты на дальнейшую автоматизацию и безопасность. Надёжность обратно пропорциональна количеству деталей. Известно из теории, что абсолютной гарантии не бывает. Всегда есть

определённый риск. Но этот риск должен быть минимален.

14. Огромны средства на ликвидацию последствий аварии на АЭС. Так, затраты на минимизацию последствий Чернобыльской катастрофы всеми поражёнными странами за 20 лет превысили 500 млрд. долл. и будут ещё долго оставаться на уровне многих млрд. долл. в год (рис. 2) [10]. Украина тратит ~ 5% национального бюджета, Беларусь – около 10%, Россия – от 0,5 до 1%.

15. Страна стоит перед решением системной проблемы вывода из эксплуатации почти двух десятков реакторных установок. Это сложный дорогостоящий и длительный процесс включает в себя технологическую, социальную, экологическую, экономическую и нравственную составляющие. Массовый вывод АЭС, отработавших свой ресурс, в ближайшие годы вызовет чрезмерные нагрузки на бюджет страны (рис. 3).

Так, демонтаж пяти реакторов ВВЭР-440 (построенных СССР) на АЭС в Грейсвальде, строительство хранилищ для ТРО, дезактивация площадки и объектов для создания на этом месте технопарка велась 10 лет и обошлись Германии в 3,5 млрд. евро. Стоимость консервации одного блока, выводимого из эксплуатации, в России

составит примерно 500 млн. долл. Охрана и поддержание необходимых технологических циклов в законсервированной АЭС будет стоить ~60 млн. долл. в год, не говоря уже о мероприятиях по реабилитации загрязнённых территорий. Таким образом, стоимость работ по выводу из эксплуатации ядерных энергоблоков АЭС до состояния «зелёной лужайки» соизмеримо со стоимостью создания нового, эквивалентного выведенному энергоблока. В связи с этим Росатом делает всё возможное для продления времени их работы, поскольку обнародование реальной программы вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации вызовет шок среди населения градообразующих предприятий [11, 12]. Учитывая, что за один день работы атомный энергоблок мощностью 1 ГВт вырабатывает электроэнергию на один миллион долларов, продление срока эксплуатации «старых» АЭС, связанное с существенным обновлением (заменой) системы безопасности реактора, является экономически выгодным делом. В социально-психологическом плане важно понимать, что мировая гражданская ЯЭ эпохи холодной войны выросла из атомной бомбы. Мирные и военные приложения ЯЭ неразрывно связаны. Накопленные проблемы – это наследие от военного использования атома в мирных целях со всеми присущими им внутренними недостатками, среди которых радиационные катастрофы отличались особой тяжестью последствий для биосферы и человека [10].

16. Ядерная технология имеет самый высокий разрушительный потенциал. АЭС являют-

ся привлекательным объектом для терроризма и в случае военных действий. Ядерная угроза представляет особую проблему – будь то приобретение плутония и высокообогащённого урана, саботаж в отношении ядерного объекта или использование радиоактивных материалов в диспергирующих устройствах и в «грязных» бомбах. Ущерб стране от разрушения АЭС по площади поражения много больше, чем от уничтожения других объектов. Не менее страшные последствия, чем разрушение АЭС, может иметь разрушение пристанционных хранилищ ОЯТ в случае падения самолётов, метеоритов, цунами, обстрела ракетами и др. Существует сильная взаимосвязь между ядерными рисками, социально-политической и экономической стабильностью общества. Если произойдут одна или несколько крупных аварий, то общественность перестанет считать ЯЭ приемлемой.

17. Современные ядерные реакторы – достаточно безопасные установки, однако для АЭС (как для любой сложной технической системы) всегда существует вероятность отказа с непредсказуемыми последствиями. К серьёзной аварии на АЭС могут привести перебои в подаче электроэнергии, изношенность оборудования, несогласованность действий различных служб при одновременном отказе резервных дизель-генераторов. Невозможно предусмотреть и предупредить все случаи, в результате которых произойдёт выброс регулирующих стержней системы управления и защиты (СУЗ) из активной зоны и возникнет аварийная ситуация. Многочисленные

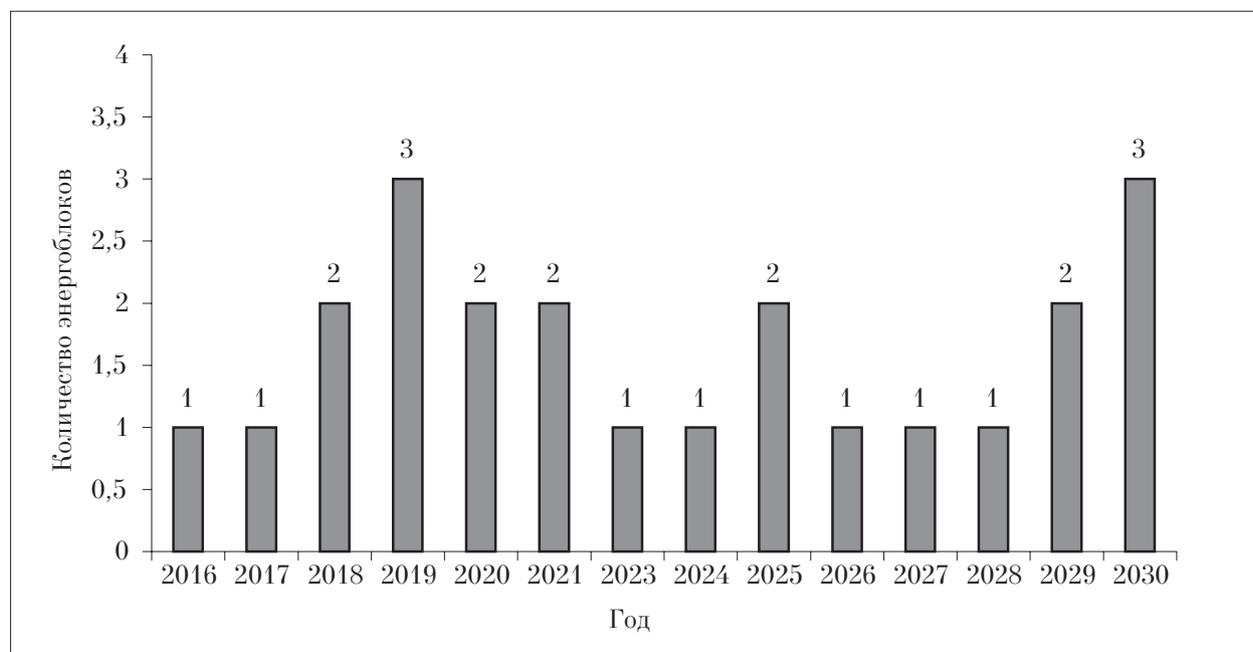


Рис. 3. Окончание срока эксплуатации с учётом продления проектного срока эксплуатации на 15 лет

примеры неполадок, повреждений, сбоев в работе и т. п. приведены во многих работах, и нет необходимости здесь на них останавливаться. Крупные аварии уже несколько раз в минувшие десятилетия ставили мир на грань экологической катастрофы [13].

18. Проблема человеческого фактора на ядерных объектах имеет исключительное значение для обеспечения безопасности. Какие бы невероятные усилия не предпринимались по внедрению новейших и совершеннейших технологических систем, управлять ими будет человек, и если уровень его ответственности и организованности не станет расти в пропорциях, соответствующих новым технологиям, нельзя быть уверенным в безопасности и надёжности ЯЭ.

При увеличении объёмов производства ЯЭ рассмотренные факторы будут неизбежно оказывать постоянно возрастающее давление на экономические показатели, индексы безопасности АЭС и уровень глобальной политической тревожности. Для многих стран, не имеющих инфраструктуры ЯТЦ, реализация планов сооружения АЭС при неизбежно жёстком выполнении ДНЯО может быть осложнена или отложена на неопределённое время. Таким образом, одной из наиболее актуальных задач ближайшего будущего является поиск и инженерное воплощение альтернативных топливных циклов и реакторных технологий – альтернативной ядерной энергетики без использования обогащённого урана и плутония.

Сегодня ЯЭ остро нуждается в свежих научных идеях и технологических инновациях. Вовлечение новых сил, знаний и опыта в решение этих задач – это крайне необходимая и актуальная задача. Если ЯЭ не будет развиваться, то изменение ЯТЦ (бридеры, переработка ОЯТ) через некоторое время потребует огромных финансовых вложений, масштаб которых трудно представить. Следует заняться исследованием и созданием структуры оптимального ЯТЦ с привлечением тория, электроядерных и термоядерных источников нейтронов, решить проблему создания безотходного по актинидам топливного цикла [2, 5, 7, 14 – 17]. Структуру ЯЭ необходимо оптимизировать с учётом минимизации количества нарабатываемых радионуклидов и следить за тем, чтобы их набор не оказался таким, что в будущем не хватит средств (нейтронов) на их «уничтожение». Для этого пора приступать к разработке реакторов-«мусорщиков», которые смогли бы перерабатывать трансураны, неприемлемые для обычных энергетических тепловых и быстрых реакторов, и которые были бы способ-

ны безопасно и эффективно работать без подпитки  $^{235}\text{U}$  в условиях постоянно изменяющегося нуклидного состава топлива [18]. Индия, Канада и Япония, например, исследуют множество вариантов развития ЯЭ. Недостаток, заключающийся в неопределённости в научных решениях и сомнениях, не должен рассматриваться как причина для сдерживания представляющихся заманчивыми целей. Технологическая революция всегда выгодна обществу.

Сегодня ЯЭ оказалась заложницей прошлых гигантских государственных вложений в урановый и уран-плутониевый циклы. Современная структура ЯЭ сдерживает практические шаги к масштабным разработкам новых гражданских типов реакторов, поскольку отвлекает на само-сохранение и масштабирование старого такие ресурсы, что на создание нового их практически не остаётся [17].

Коллективом учёных и сотрудников ФГУП ВНИИАМ с участием ведущих специалистов ряда профильных организаций России и Беларуси в инициативном порядке разработаны физико-технические основы принципиально новой схемы ядерной энергетики – тяжёло-ядерной релятивистской ториевой (ЯРТ) энергетики, способной решить проблемы ядерных отходов и нераспространения ядерного оружия. Комплексная программа работ по её созданию детально обсуждалась на целом ряде российских и международных научно-технических советов, конференций и форумов и положительно воспринята научной общественностью [5].

ЯРТ-энергетика является принципиально новой технологией, промышленная реализация которой возможна только на основе синтеза двух уникальных российских технологий. Это прямое сжигание  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  без промежуточных продуктов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{233}\text{U}$  (как это имеет место в бридерных программах) нейтронами с энергией более 10 МэВ, получаемыми при бомбардировке этих ядер релятивистскими протонами с энергией 10-50 ГэВ. Протоны генерируются компактным модульным трёхмерным ускорителем на обратной волне. В перспективе в качестве топлива ЯРТ-реакторов возможно использование ОЯТ.

При концентрации сил и средств в рамках государственной и международной программ реально создание головного блока на этих принципах в течение 10 лет. Затраты на реализацию программы сопоставимы со стоимостью 1000 МВт- блока современных АЭС [5].

Развитие работ в этих направлениях полностью соответствует доктрине, изложенной Президентом РФ В.В. Путиным на Саммите

тысячелетия в ООН и в ряде интервью, – созданию в XXI в. доступной для всех стран ЯЭ без использования обогащённого урана и плутония, исключаяющей распространение ядерного оружия.

В заключение следует сказать, что в целом ситуация в области использования ЯЭ в России непростая, весьма динамичная и многогранная. При всех сложностях и недостатках, которые существуют у сегодняшней технологической базы ЯЭ, её масштабное развитие на ближайшие 30-40 лет безальтернативно. Приоритеты ядерного энергопроизводства основаны на колоссальном удельном энергосодержании делящихся материалов, более чем в 2 млн. раз превышающего любые топлива химических энергоисточников. Это позволяет существенно снизить затраты на транспортировку энергоресурсов к местам их потребления, создать концентрированное производство электроэнергии и товарного тепла и решить задачу устойчивого энергообеспечения потребителей в регионах размещения АЭС. Ядерная энергетика делает Россию великой державой, с ней связаны прогрессивные технологии, поэтому актуальность её развития не вызывает сомнений. Ренессанс ЯЭ уже наступил, впереди – её эпоха [19].

Проблем развития атомной отрасли достаточно много, как их преодолеть – вопрос, в первую очередь, к научному сообществу атомной отрасли. Будущее – за экологически безопасной и надёжной ЯЭ и новыми технологиями.

### Литература

1. Федеральная целевая программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 – 2010 годы и на перспективу до 2015 года». Утв. Постановлением Правительства РФ от 6 октября 2006 г. № 605. 155 с.
2. Карелин А.И. Проблемы и перспективы развития ядерной энергетике // Радиохимия. Т. 38. Вып. 4. 1996. С. 289-299.
3. Нечаев А.Ф. Некоторые субъективные соображения к дискуссии об атомной энергетике, науке и образовании // II Междунар. ядерного форума: Матер. докл. СПб.: ФГОУ «ГРОЦ», 2007. С. 279-281.
4. Асмолов В.Г. Приоритетные программы ядерно-энергетического комплекса // Атомная энергия, общество, безопасность: Матер. общественного форума-диалога. М.: Российский Зелёный крест, 2007. С. 10-18.
5. Острецов И.Н. Современные энергетические проблемы человечества и релятивистская тяжёлая ядерная (ЯРД) энергетика // Атомная энергия, общество,

безопасность: Матер. общественного форума-диалога. М.: Российский Зелёный крест, 2007. С. 52-57.

6. Муратов О.Э., Довгуша В.В., Тихонов М.Н. Радиоэкологические аспекты обращения с радиоактивными отходами и облучённым ядерным топливом // Экологическая экспертиза. 2007. № 6. С. 2-15.

7. Муратов О.Э., Тихонов М.Н. Радиоэкологические и ресурсные аспекты уран-ториевого топливного цикла // Бюлл. по атомной энергии. 2007. № 11. С. 66-71.

8. Пономарёв-Степной Н.Н., Цибульский В.Ф. Оценка эффективности использования смешанного уран-плутониевого топлива в ВВЭР // Атомная энергия. 2007. Т. 103. Вып. 5. С. 275-277.

9. Нечаев А.Ф. Ядерная энергетика: томительное ожидание ренессанса с «широко закрытыми глазами» // Безопасность ядерных технологий: экономика безопасности и обращения с источниками ионизирующих излучений: Матер. VIII Междунар. конф. СПб.: ФГОУ «ГРОЦ», 2005. С. 21-25.

10. Тихонов М.Н., Муратов О.Э. Катастрофы как источники потери устойчивости национальных экономик государств // Проблемы устойчивости объектов экономики в чрезвычайных ситуациях: Матер. науч.-метод. семинара. Вып. 6. СПб.: СПбГПУ, 2007. С. 119-130.

11. Смоляр И.Н., Ермашкевич В.Н. Атомная энергетика: аргументы за и против // Приложение к журналу «Право и экономика». Минск, 2000. 84 с.

12. Попова Л.В., Меньщиков В.Ф., Яблоков А.В. Нерешённые проблемы атомной индустрии // Материалы общественного форума-диалога «Атомная энергия, общество, безопасность» М.: Российский Зелёный крест, 2007. С. 119-121.

13. Тихонов М.Н. Радиационная география России // Энергия: экономика, техника, экология. 2008. № 1. С. 12-16.

14. Герасимов А.С., Зарецкая Т.С., Киселёв Г.В., Рудик А.П. Атомная энергетика без плутониевых отходов: Препринт ИТЭФ-90-74. М.: ИТЭФ, 1990. 8 с.

15. Герасимов Л.Н., Кудинович И.В., Свистанов Ю.А., Струев В.П. Малогабаритная энергетическая электроядерная установка: возможные технические решения // Известия РАН. 2005. № 2. с. 3-15.

16. Шведов О.В., Волков Е.Б., Игумнов М.М. и др. Электроядерные системы – ядерные энергетические установки нового поколения // Атомная энергия. 2004. Т. 97. Вып. 2. С. 145-152.

17. Субботин С.А. Ториевый цикл. Выбираем реактор // Атомная стратегия – XXI. 2007. № 6 (32). С. 28-29.

18. Прусаков В.Н., Субботин С.А. Реактор-«мусорщик» и проблемы атомной энергетике // Энергия экология. 1998. № 12. С. 16-21.

19. Муратов О.Э., Тихонов М.Н. «Ядерный ренессанс»: новые возможности и проблемы // Ядерное общество. 2006-2007. № 6-1. С. 17-24.

## Геоэкологические проблемы селитебных северных территорий (на примере г. Якутска)

© 2009. М.М. Шац, к.г.н., в.н.с.,  
Институт мерзлотоведения СО РАН,  
e-mail: shatz@mpi.ysn.ru

Рассматриваются эколого-мерзлотные условия одного из наиболее северных в РФ городов – Якутске, их связь с состоянием окружающей среды и геологическими процессами и явлениями. Освещены проблемы улучшения условий жизни населения.

This paper examines the ecological and geocryological conditions in Yakutsk, one of the northernmost cities in the Russian Federation, as well as their relationship to the environment and frost-related processes and phenomena. It highlights the problems of improving the city's infrastructure.

Ключевые слова: селитебные северные территории, эколого-мерзлотные условия, многолетнемёрзлые породы, состояние окружающей среды

Одной из основных при рациональном природопользовании является проблема состояния северных селитебных (городских) территорий [1]. В их пределах все компоненты природной среды – атмосфера, гидросфера и литосфера подвергаются интенсивному комплексному воздействию и обычно отчётливо и негативно преобразуются.

До недавнего прошлого в представлении руководителей разного уровня и общественности преобладала необоснованная уверенность в высокой устойчивости северных природных систем. В результате широкомасштабного освоения в последние годы центрами техногенеза стали не только горно-добывающие комплексы, но и крупные населённые пункты.

Именно в их пределах функционируют масштабные промышленные объекты, часто базирующиеся на устаревших технологиях и обычно не подкреплённые общей культурой природопользования.

В результате сложилась современная ситуация, когда именно крупные населённые пункты стали очагами масштабного поражения природной среды Севера.

Особо осложняющими функционирование инфраструктур северных городов явлениями являются многолетнемёрзлые породы (ММП), именуемые обычно как «вечная мерзлота», в целом занимающие около 65% площади России. Освоение этой обширной территории ведётся в сложных геологических условиях и при суровом климате. В её пределах созданы такие крупные городские промышленные

комплексы, как Якутский, Воркутинский, Норильский и Магаданский. В них входят транспортные, гидротехнические, производственные и другие городские сооружения. Многолетнемёрзлое состояние геологической основы ещё более усугубляет проблемы их создания и эксплуатации.

Всё вышесказанное в полной мере относится к г. Якутску, в котором проживает около 30% населения республики. Город расположен в области сплошного развития многолетнемёрзлых пород. Это ещё более усложняет его геоэкологическую ситуацию.

В первую очередь очень кратко остановимся на природных условиях города, в которых функционируют основные, составляющие городскую инфраструктуру ПТК.

Якутск расположен на левом берегу среднего течения р. Лены, в широкой долине, представляющей собой плоскую террасированную равнину. Склоны долины удалены друг от друга на 17 – 20 км.

В тектоническом отношении территория города и его окрестностей относятся к зоне сочленения двух крупных структур Сибирской платформы – Алданской антеклизы и Вилюйской синеклизы.

Якутск находится в континентальной лесной области умеренной зоны. Континентальность климата связана с удалённостью района Якутска от Атлантического океана и защищённостью горными массивами от Тихого океана.

Годовое количество осадков в Якутске составляет в среднем 240 мм.

В Якутске и его пригородах насчитывается несколько десятков озёр. Наиболее крупные из них: Сайсары (площадь 0,6 кв. км, глубина до 5 м), Белое (0,8 кв. км, глубина до 7 м), Аласное и другие. Котловины озёр в основном имеют плоское дно и слабовыраженные склоны, заросшие камышом и осокой.

Хотя вся территория города относится к области сплошного распространения ММП, но под главным руслом реки Лены многолетнемёрзлые грунты отсутствуют и зафиксированы немёрзлые толщи горных пород. В частности под городской протокой породы дна оттаяли до глубины 30 м. Непосредственно под г. Якутском толща многолетнемёрзлых пород имеет мощность 250-300 м. Температура верхней части многолетнемёрзлых пород зависит не только от их строения и свойств, но и от возраста застройки города, и на глубине 10 м колеблется в пределах -2; -8 °С. На участках в удалении от города температура мёрзлых пород меняется от -2 до -6,5 °С, а их мощность возрастает до 450 м.

В пределах города мощность сезонно-талого слоя грунтов изменяется от 1,8 до 4,0 м, преобладают глубины 2,5 – 3,0 м.

Древнейшие пойменные гряды, прирусловые валы и центральные части иных поверхностей в большинстве случаев сложены мало льдистым песчаным материалом и относительно хорошо пропускают влагу. Именно такие участки имеют более благоприятные условия для строительства и иных видов освоения.

В старичных, межгрядовых и других древних пойменных понижениях преобладают грунты, состоящие из мельчайших частиц (илы, супеси, суглинки и пылеватые пески), характеризующиеся повышенной льдистостью. К этим же понижениям в основном приурочены и очаги заболачивания, в которых наблюдается высокая интенсивность развития мерзлотных процессов и явлений, а потому для освоения они неблагоприятны.

Основными мерзлотными процессами на территории г. Якутска являются просадки при таянии подземных льдов, морозобойное растрескивание, местное и площадное морозное пучение, заболачивание и подтопление, а также техногенное наледообразование. Активизация этих процессов при освоении неблагоприятно сказывается на функционировании городской инфраструктуры. В последние десятилетия отмечается расширение площадей распространения деструктивных криогенных

процессов. Это выражается в разрушении дорожных покрытий и коммуникаций, насыпей, фундаментов сооружений, формировании просадочных рытвин, увеличении зон заболачивания.

В пределах города, особенно в его центральной части, широко распространены засоленные грунты. Наиболее сильное засоление легкорастворимыми солями NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, а также CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> наблюдается у грунтов, развитых на I надпойменной террасе, менее засолены грунты II надпойменной террасы. Повышенное содержание солей магния делает грунты и грунтовые воды агрессивными по отношению к бетону [2].

Проведённые эколого-геохимические мониторинговые исследования свидетельствуют о том, что территория г. Якутска отличается высокой плотностью техногенного давления на экосистемы. Это обусловлено как неблагоприятными климатическими и геологическими условиями, так и ошибками, допущенными при создании и эксплуатации городской инфраструктуры. Техногенные геохимические аномалии фиксируются во всех природных средах: атмосфере, снежном покрове, почвах, природных водах, растительности.

Загрязнение атмосферы г. Якутска разнообразными выбросами охватывает не только непосредственно территорию городской застройки, но и распространяется далеко за её пределы. Аномальное геохимическое поле занимает площадь около 150 км<sup>2</sup>.

Основная масса загрязнителей приходится на пылеватые выпадения, объём которых в пригородных посёлках Жатай и Кангалассы достигает 92 – 96% от общего количества выпадений [2].

Попадание сточных вод в поверхностные водоёмы и их проникновение в почвы ведёт к частичному или полному изменению химического состава поверхностных и надмерзлотных подземных вод. Ухудшение санитарно-гигиенического состояния природных вод связано в основном с повышением минерализации воды за счёт концентрирования хлоридов магния и натрия, увеличением концентрации соединений азота и ряда токсичных элементов (марганца, стронция, хрома и других).

Характерным для г. Якутска является высокий темп активизации процессов перемещения веществ вглубь, вследствие которых происходит глубинное засоление многолетнемёрзлых грунтов и их переход в пластично-мёрзлое и немёрзлое состояние.

На отдельных участках города минерализация надмерзлотных и межмерзлотных вод – криопэгов (рассолов) увеличивается до 50–100 г/л. Температура замерзания грунтов, содержащих воды с такой минерализацией, достигает минус 3–5 °С, что приводит к возникновению отрицательно-температурных немёрзлых грунтов, на которых строительство затруднено, а чаще – невозможно. Коварным свойством криопэгов является способность «разъедать» материал несущих конструкций фундаментов зданий и сооружений. В городе немало участков, поражённых этими процессами. Глубина таликов, образовавшихся под некоторыми зданиями, достигает 12 – 16 м при обычной глубине заложения свай – 12 м. Поэтому количество участков, где происходят активные процессы засоления грунтов растёт стремительно.

Надмерзлотные грунтовые воды наблюдаются на глубине 0,2 – 0,8 м. Минерализация их варьирует в интервале 5,5 – 17,7 г/л.

Изучение специфики и масштабов формируемых в городе ареалов нарушений и загрязнений окружающей среды требует новых методов исследований – дистанционных, картографических и т. п., т. е. создания сети систематического геоэкологического мониторинга.

В частности, в результате проведённых сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН исследований [3,4] выявлены и проанализированы закономерности пространственно-временной изменчивости ряда основных компонентов природной среды города – древесной растительности и обводнённости поверхности за период с 1971 г. Именно в эти годы произошли наиболее значительные преобразования природной среды.

Суть используемого при этом подхода заключается в комплексном сравнительном анализе разновременных и разноплановых материалов – результатов фактических наблюдений, дистанционных съёмки и т. д.

Установлено, что древесная составляющая растительного покрова, представленная, главным образом сосной и берёзой, в меньшей степени елью и ивой, в последние годы неизменно сокращается.

Анализ современной ситуации свидетельствует, что значительные площади древесной растительности сохранились, главным образом, вблизи склона Маганской террасы, окаймляя различные образования системы озёр Ханынг-Юрях, а также озёра Сергелях и Сайсары.

Наиболее покрытыми лесом продолжают оставаться южная и юго-западная части города. Здесь значительные лесные массивы вблизи оз. Сергелях, хотя и изменили свою конфигурацию за счёт различных видов освоения, главным образом дачного строительства, но по площади сократились незначительно – на 0,1 км<sup>2</sup>. В то же время мелкие очаги растительности оказались уничтоженными.

В северной части города сокращение древесной растительности происходит наиболее интенсивно – на 0,3 км<sup>2</sup>. Особенно отчётливо это видно на примере Маганского тракта, где вдоль подножия одноименной террасы идёт интенсивная дачная застройка с одновременным уничтожением лесных покровов.

Оценка современного состояния обводнённости поверхности города позволила установить, что наибольшее развитие эти образования имеют в его северной и северо-восточной частях, где занимают около 30 – 35% отдельных участков.

Несколько меньшее развитие (15 – 30% площади) водоёмы застойного типа имеют в западной части центра города, где их воздействие на различные инженерные объекты весьма активно. В южной части города, несмотря на упомянутые общие тенденции, техногенные болота пока ограничены, в целом занимают не более 10% и приурочены, главным образом, к западной и восточной периферийным областям.

Практически для всех частей города совершенно очевидно прослеживается тенденция роста обводнённости, которая лишь несколько отличается по темпам роста (таблица).

Особенно тревожащим фактом является явное дальнейшее ухудшение ситуации, охватывающее и последние годы. При этом в районе аэропорта за последние 5 лет площадь обводнённых участков возросла ещё на 10–15%, и в связи с этим продолжают ухудшаться условия эксплуатации отдельных элементов комплекса. Зафиксированные ранее разрозненные очаги обводнения, окаймлённые полосами избыточно увлажнённых грунтов, превратились в обширные, площадью сотни квадратных метров водоёмы застойного типа с «зеркалами» поверхности, находящимися на разных уровнях. По состоянию на 2006 г. участки застойных водоемов и развития переувлажнённых грунтов составили уже 39% от всей площади комплекса. Это позволяет оценить геоэкологическую обстановку района как близкую к катастрофической.

Близкие тенденции и темпы негативного процесса обводнения поверхности свойственны ещё нескольким участкам в северной и северо-восточной частях города и пригородах (см. табл.).

К сожалению, ситуация если и меняется, то, очевидно, в худшую сторону. Об этом свидетельствуют многочисленные научные публикации и информация в СМИ, а также наши наблюдения. Анализ причин подобных, по сути, чрезвычайных ситуаций позволяет сгруппировать их следующим образом.

К первой группе отнесены причины общегородского или районного плана. К таковым, в первую очередь, мы относим местоположение города на относительно ровных поверхностях низких террас р. Лены, сложенных многолетнемёрзлыми супесями и суглинками. Это обуславливает своеобразный гидрологический режим грунтовых и поверхностных вод, застойный режим большинства городских водоёмов и развитость старичных образований. Последние подразделяются на **три типа**:

- **молодые**, участвующие в формировании современных гидрологических условий;
- **старые** – активизирующиеся и проявляющиеся на поверхности только при техногенных воздействиях;

– **древние** – не активизирующиеся и не влияющие на современную обстановку даже при интенсивном техногенном вмешательстве.

Очевидно, что наиболее активную роль играют старичные образования первого типа – существующие открытые водоёмы, хорошо прослеживаемые на местности и ещё лучше на материалах дистанционных снимков. Это старицы систем озёр Солёное, Хатынг-Юрях, Белое, Сайсарское и Сергелях, ручья Мархинка, протоки Красный Маяк и т. д. С приходом новой администрации города стали приниматься пока ещё очень робкие меры в виде мизерных избирательных штрафов за вырубку значительных лесных участков под дачное или иное строительство.

**Вторая группа факторов** имеет ограниченные ареалы воздействия и определяет геоэкологическую обстановку конкретных участков. Основными причинами негативных последствий при этом являются следующие:

- нарушение естественного режима и условий перемещения поверхностных, и грунтовых вод при промышленном и гражданском строительстве;
- отсутствие вертикальной планировки;

Таблица

Динамика обводнения ключевых участков г. Якутска

Местоположение участка	Площади обводнения, км <sup>2</sup>			Изменения (км <sup>2</sup> /%)		
	Годы			1971 – 1989	1989 – 2005	1971 – 2005
	1971	1989	2005			
Северо-восточная часть города	0,03	0,17	0,54	<u>0,14</u> 460	<u>0,37</u> 320	<u>0,51</u> 1600
Промышленная зона аэропорта	0,03	0,15	0,55	<u>0,12</u> 400	<u>0,40</u> 250	<u>0,52</u> 1640
Район оз. Хатынг-Юрях	0,01	0,11	0,20	<u>0,1</u> 1000	<u>0,09</u> 55	<u>0,19</u> 1680
Район аэродромного комплекса	0,02	0,21	0,53	<u>0,19</u> 950	<u>0,32</u> 130	<u>0,51</u> 2350
Район ГРЭС	0,02	0,12	0,28	<u>0,1</u> 500	<u>0,1</u> 160	<u>0,26</u> 1230
Район аэропортовской автотрассы	0,01	0,04	0,16	<u>0,03</u> 300	<u>0,12</u> 170	<u>0,15</u> 1300
Район ул. Якутской	0,01	0,05	0,1	<u>0,04</u> 400	<u>0,05</u> 60	<u>0,07</u> 900
Район ул. Кальвица	0,01	0,07	0,12	<u>0,06</u> 600	<u>0,05</u> 500	<u>0,08</u> 800
Район ДСК	0,03	0,12	0,21	<u>0,09</u> 300	<u>0,09</u> 800	<u>0,18</u> 700

– нарушение технологий при транспортном и ином строительстве и т. п.

Ухудшение гидрологического режима грунтов, усугублённое неразумным хозяйствованием, привело к отчетливому сокращению площадей развития древесной растительности. Ограниченные участки развития деревьев не оберегаются, бездушно уничтожаются на площадках дачного строительства, а порой и совершенно без смысла. Для их восстановления не принимается никаких мер.

Всё это приводит к интенсивному оттаиванию, засолению и обводнению грунтов в застроенной территории города, что в свою очередь вызывает неравномерные деформации грунтов оснований фундаментов. Вследствие постоянных утечек минерализованных агрессивных сточных вод из систем канализации происходит не только оттаивание мёрзлых грунтов, но и разрушение железобетонных несущих конструкций фундаментов.

Имеющиеся материалы позволили для всей территории города оценить динамику участков с проблемными эколого-гидрологическими условиями. Её анализ также свидетельствует о значительно ухудшающейся обстановке г. Якутска в конце XX и начале XXI веков.

В частности, в городе к ранее существовавшим и значительно увеличившимся районам активного подтопления в последнее время прибавился ряд новых. К ним относятся районы оз. Новое на территории областной больницы, пос. Геологов, ДСК и т. п. В последние несколько лет в связи с аномально большим количеством осадков данный негативный процесс принял угрожающий характер.

Масштабность развития подтопления и обводнения территории г. Якутска обуславливает высокую степень нарушенности и нестабильности мерзлотно-грунтовых условий оснований зданий, сооружений и коммуникаций, способствует активизации опасных криогенных процессов [5]. Именно обводнение является одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющих на потерю устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций. Причём обводнение происходит как пресными, так и минерализованными подземными водами – криопэгами.

Серьёзной геоэкологической проблемой зимой являются и техногенные наледи. Они обусловлены аварийными утечками из водопроводно-канализационных коммуникаций и являются массовым и непрерывным процессом [6]. Слой наледных вод в среднем на территории города составляет 50 мм в год.

В отдельных городских кварталах он достигает более 200 мм, что даже превышает сумму зимних атмосферных осадков. Наледи, минерализация льда которых достигает 1,5–2 г/л, являются одним из важных источников загрязнения городской территории, негативно влияют на качество грунтов и их инженерно-геологические свойства. Они способствуют заболачиванию территории, изменяют тепловой баланс и химический состав подстилающих отложений.

Наиболее интенсивное развитие мерзлотных процессов происходит в пределах линейных участков, приуроченных к древним пойменным и старичным понижениям, которые охватывают территорию города густой сетью и наиболее распространены на поверхности первой надпойменной террасы. В то же время древние пойменные гряды, напротив, характеризуются относительной стабильностью.

К числу наиболее динамичных явлений относятся сезонное пучение и просадки грунтов (в отдельных случаях до 15–20 см в год), вызванные техногенезом, а также термокарстовые просадки дна новообразованных озёр на северо-западе города (до 15–40 см в год).

Техногенные преобразования химического состава надмерзлотных вод в совокупности с мерзлотными процессами негативно отражаются на состоянии подземных коммуникаций, фундаментов, подвальных помещений, дорожного покрытия и других сооружений. Природно-техногенные геологические процессы и явления наносят прямой и косвенный ущерб городскому хозяйству, создают геоэкологические проблемы, угрожают устойчивости сооружений, вызывают деформации и разрушения жилых зданий, транспортных магистралей, служат причиной чрезвычайных ситуаций.

Основными причинами неудовлетворительного технического состояния зданий являются ухудшение мерзлотно-грунтовых условий, отсутствие надлежащей вертикальной планировки возле зданий, в кварталах и микрорайонах, отсутствие сети ливневой канализации как в пределах квартальной застройки, так и всего города, частые аварийные утечки воды из трубопроводных систем [7].

Всё это привело к широкому развитию в разных районах города водоёмов застойного типа, своего рода техногенных болот.

Никаких приемлемых решений по ликвидации или хотя бы уменьшению масшта-

бов и темпов этого негативного процесса пока не выработано. Не проводятся исследования влияния повышенной обводнённости на температуру и прочность грунтов оснований инженерных сооружений. И это при участившихся в последние годы случаях деформаций и частичных разрушений зданий [7]. Особенно тревожным является факт возникновения проблем со зданиями не только семидесятых – восьмидесятых годов, но и построенными в последние два-три года (жилой комплекс «Времена года», школа №13 в г. Якутске и т. д.).

Для выхода из сложившейся неблагоприятной, а по сути, кризисной геэкологической ситуации в городе следует провести следующие первоочередные мероприятия:

1. Разработать комплексную программу по изучению и последующему улучшению эколого-геокриологической обстановки города и начать её реализацию.

2. Создать на территории г. Якутска систему вертикальной планировки с ливневой канализацией и элементами эффективного дренирования надмерзлотного стока.

3. Активизировать деятельность по водоотведению в наиболее проблемных кварталах и распространить её на всю территорию города.

4. Усилить контроль за бессистемными сбросами твёрдых и жидких бытовых и промышленных отходов, создать комплексы по их очистке, сортировке и утилизации.

Реализация этих положений позволит хотя бы частично решить одну из важнейших социально-экологических проблем г. Якутска – улучшение его эколого-геокриологического состояния, а значит, и условий проживания населения.

### Литература

1. Шац М.М. Основные принципы систематизации эколого-геокриологической информации. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2007. 112 с.
2. Макаров В.Н. Геохимический атлас Якутска. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1985. 65 с.
3. Шац М.М. Дистанционные эколого-геокриологические исследования. Якутск. 1997. 78 с.
4. Шац М.М., Соловьёв В.С. Дистанционный мониторинг эколого-геокриологической обстановки Севера. Якутск: Изд-во ИМЗ, 2002. 89 с.
5. Шепелев В.В., Шац М.М. Геэкологические проблемы обводнения и подтопления территории г. Якутска // Наука и образование. 2000. № 3. С. 68-71.
6. Григорьев М.Н., Курчатова А.Н., Аносова Л.П. и др. Контроль состояния геотехнической системы Якутска на основе мерзлотно-геоморфологической систематизации // Якутск – столица северной республики: глобальные проблемы градосферы и пути их решения: Матер. науч.-практ. конф. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1997. Ч. II. С. 31-39.
7. Алексеева О.И., Балобаев В.Т., Григорьев М.Н., Макаров В.Н., Шац М.М. и др. О проблемах строительства в криолитозоне (на примере Якутска) // Криосфера Земли. 2007. № 2. С.76-83.

## Коллекция редких и исчезающих растений в ботаническом саду Вятского государственного гуманитарного университета

© 2009. Е.Н. Зимирева<sup>1</sup>, аспирант, Е.М. Тарасова<sup>2</sup>, директор, О.Н. Вострикова<sup>3</sup>, н.с.,

<sup>1</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,

<sup>2</sup>Государственный природный заповедник «Нургуш»,

<sup>3</sup>Ботанический сад Вятского государственного гуманитарного университета,  
e-mail: marinusikk@mail.ru

Приведены результаты культивирования редких и исчезающих растений местной флоры в условиях ботанического сада. Создана демонстрационная коллекция редких и исчезающих растений и сформирован семенной фонд для интродукции и репатриации.

The article presents the results of local rare and endangered plant species cultivation in the botanic garden. A demonstration collection of rare and endangered species and a seed fund for reproduction and repatriation are made.

Ключевые слова: ботанический сад, интродукция, редкие и исчезающие растения

Главными факторами, приводящими к исчезновению и вымиранию редких видов растений, является загрязнение окружающей среды, развитие туризма, вырубка лесов, неразумное, часто хищническое использование растительного сырья, особенно бесконтрольный сбор лекарственных и декоративных растений, интродукция чужеродных видов. Это приводит к сокращению площадей, занимаемых природной растительностью, и многие виды растений становятся редкими, а некоторые находятся на грани локального или повсеместного исчезновения.

Один из путей сохранения редких видов растений – их культивирование в ботанических садах [1].

Настоящая работа посвящена созданию в ботаническом саду Вятского государственного гуманитарного университета (ВятГГУ) демонстрационной коллекции и резервного фонда редких и нуждающихся в охране растений Кировской области.

### История создания

Ботаническому саду ВятГГУ в 2008 году исполнилось 95 лет. Это один из старейших садов северной зоны страны.

Частные ботанические сады в России стали возникать ещё в XVII веке. Однако до Великой Октябрьской социалистической революции было организовано всего 20 ботанических садов. Частным явился и сад, заложенный в г. Вятке Истоминым Алексеем

Андреевичем (1872—1920). Получив большое наследство и выйдя в отставку, бывший полковник решил на зависть всем горожанам на своей земле создать изящный красивый уголок с иноземными растениями. Закладка сада была начата 5 мая 1912 года по плану и проекту, разработанными в 1911 году художниками-садоводами и архитекторами из Санкт-Петербурга. В мае 1912 года была засыпана часть оврага и произведены посадки местных хвойных растений на месте будущего сада. Ели и пихты выкапывались в окрестностях города, перевозились и высаживались с соблюдением агротехнических правил. Эта часть сада получила название «тайги». В этом же году был выстроен дом, где позднее размещались лаборатория и контора ботанического сада. Основные посадки были проведены весной 1913 года. По железной дороге были доставлены и высажены в саду многие иноземные растения и кустарники. Летом выстроена теплица, парники, устроен бассейн «Черное море» с гротом и фонтаном. Поэтому 1913 год и считается годом создания ботанического сада в г. Вятке, хотя посадки деревьев и кустарников были продолжены и в 1914 году. Таким образом, за два года на месте свалки в овраге вырос сад с несколькими сотнями древесно-кустарниковых и декоративных растений. Площадь была сравнительно небольшая – 10258 кв. м, но это был один из самых зелёных и интересных уголков старой Вятки. К сожалению, горожанам не удавалось проникнуть внутрь сада, и его красотами мог-

ли любоваться лишь избранные – домочадцы и гости его владельца. Лишь революция 1917 года открыла дверь в этот загадочный уголок города. В 1918 году сад переходит в ведение естественнонаучной лаборатории Вятского губернского музея, а затем становится самостоятельным учреждением при Вятском губернском отделе народного образования. В начале 1923 года ботанический сад передаётся Вятскому педагогическому институту, ныне ВятГГУ, в ведении которого и находится до настоящего времени [2].

### Характеристика территории сада

В настоящее время площадь сада составляет 1,7 гектара. Сад находится в центре города Кирова. Кировская область расположена на невысокой холмистой местности вдоль берегов реки Вятки, в восточной части Восточно-Европейской равнины, в подзоне южной тайги [3].

Рельеф города определяется близостью волнистой осевой линии Вятского Увала. Он сложен рыхлыми глинами, мергелями и известняками. Благодаря разнообразию рельефа (высота его колеблется от 133 до 155 м над уровнем моря), территория сада удобна для экспозиций растений различных экологических групп [2].

Климат – континентальный, характеризуется холодной продолжительной зимой и тёплым, сравнительно коротким летом. Годовое количество осадков в северной части области – в среднем 600-700 мм. Вегетационный период – 150-160 дней [3, 4].

Почвенный покров преимущественно супесчаного механического состава [5].

### Материал и методика исследований

С целью решения проблемы сохранения редких видов растений местной флоры с сентября 2005-го по 2009 г. в ботаническом саду ВятГГУ ведутся работы по выращиванию растений, занесённых в Красную книгу Кировской области [6]. Эта работа осуществляется с участием сотрудников ботанического сада.

Для успешного культивирования растений в условиях ботанического сада подбираются рациональные режимы выращивания и размножения, изучаются биология и экология данных видов.

До начала работ в экспозиции ботанического сада было семь видов растений, охраняемых в Кировской области: *Paeonia*

*anomala* L., *Lilium martagon* L., *Primula macrocalyx* Bunge, *Agrostemma githago* L., *Betonica officinalis* L. *Geranium sanguineum* L., *Thalictrum aquilegifolium* L. и 11 видов растений, включённых в Красную книгу России: *Erythronium sibiricum* (Fisch. & C.A. Mey.) Krylov, *Paeonia tenuifolia* L., *Taxus baccata* L. и др., и в Красную книгу СССР: *Leon topodium alpinum* Cass, *Leucojum vernum* L., *Tulipa Kaufmanniana* Regel и др. [2].

Латинские названия даны по С.К. Черепанову [7].

Для оценки биологической приспособленности растений применяли шкалу интродукционной устойчивости, разработанную Трулевичем [8], и данные фенологических наблюдений, которые проводились по общепринятым методикам [9].

### Формирование коллекции редких растений

Создание демонстрационной коллекции редких растений осуществляется в несколько этапов [1]:

- сбор материала (семян или целых растений) в природе. Посадочный материал привлекался из природных, интродукционных популяций, по обмену из садов различных городов России. Собранный в экспедициях посадочный материал насчитывает: 25 видов, занесённых в Красную книгу Кировской области (1 вид включён в Красную книгу России), и 5 видов в Приложение 2 к Красной книге Кировской области;
- транспортировка живых растений или семян;
- обеспечение приживаемости доставленных растений;
- получение сеянцев из развитых семян;
- приживаемость посаженных сеянцев;
- подбор рациональных режимов выращивания;
- надёжное сохранение образца в культуре.

### Результаты и обсуждение

В результате трёхлетних работ по введению в культуру редких и уязвимых видов был создан коллекционный фонд из 27 видов растений, в том числе – 1 вид включён в Красную книгу России: *Stipa pennata* L. S. str., 23 вида из Красной книги Кировской

области: *Gentiana pneumonanthe* L., *Trifolium lupinaster* L., *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Primula macrocalyx* Bunge, *Schivereckia podolica* (Bess) Andiz.ex.DC. (S. Hyperborea L Berkut), *Paeonia anomala* L., *Agrostemma githago* L., *Lilium martagon* L., *Adonis vernalis* L., *Cortusa matthioli* L., *Geranium sanguineum* L., *Anemone sylvestris* L., *Koeleria glauca* (Spreng.) DC. s. l., *Eryngium planum* L., *Carex flava* L., *Astragalus falcatus* Lam., *Cerasus fruticosa* L., *Stipa pennata* L. S. str., *Thalictrum aquilegifolium* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Eupatorium cannabinum* L., *Digitalis grandiflora* Mill, *Filipendula vulgaris* Moench, 4 вида из Приложения 2 к Красной книге Кировской области: *Pyrethrum corymbosum* L., *Betonica officinalis* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mills., *Delphinium elatum* L.

Анализ интродукционной устойчивости 18 видов (рис. 1) показал, что для 12 культивируемых видов новые условия благоприятны. Устойчивыми оказались *Betonica officinalis* L., *Gentiana pneumonanthe* L., *Primula macrocalyx* Bunge, *Eupatorium cannabinum* L., *Schivereckia podolica* (Bess) Andiz.ex.DC. (S. Hyperborea L Berkut); *Geranium sanguineum* L., *Adonis vernalis* L., *Digitalis grandiflora* Mill; высокоустойчивыми – *Pyrethrum corymbosum* (L.), *Paeonia anomala* L., *Agrostemma githago* L., *Lilium martagon* L.

Неблагоприятными оказались условия для 6 видов, что проявляется, прежде всего, в снижении их репродукционной активности – самом важном показателе успешной интродукции. Неустойчивым оказался – *Gypsophila paniculata* L.; слабоустойчивыми оказались – *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Cortusa matthioli* L., *Trifolium lupinaster* L., *Stipa pennata* L. S. str., *Filipendula vulgaris* Moench. Через два года культивирования в генеративную стадию не вступили 2 вида: *Stipa pennata* L. S. str. и *Laser trilobum* (L.) Borkh. Не всходят семена

у *Filipendula vulgaris* Moench; регулярно цветёт, но не плодоносит *Trifolium lupinaster* L., до 2009 года не плодоносила и *Cortusa matthioli* L.

Данные об устойчивости ещё 9 видов могут быть получены лишь при дальнейших наблюдениях. Это обусловлено тем, что имеются молодые растения, не достигшие генеративного состояния, или тем, что время интродукционного испытания вида составляет менее чем один год.

**Выводы**

На основе проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. В некоторые Красные книги областей не включено значительное количество видов, нуждающихся в охране, что связано с расхождением мнений различных авторов. Поэтому из-за отсутствия полного списка нуждающихся в охране видов материалы книг не позволяют точно судить, насколько полно представлены в природе редкие и исчезающие виды, входящие в состав флоры того или иного региона. К тому же Красные книги устаревают уже к моменту выхода из типографии.

2. Выявлены некоторые экологические особенности территории ботанического сада, которые следует учитывать при культивировании:

- поздние заморозки весной и ранние осенью, затяжные дожди или засушливые периоды требуют проводить интродукционные работы своевременно и быстро;
- низкая обеспеченность элементами питания почв и избыточная кислотность.

3. Подбор интродуцентов осуществлялся с учётом биолого-экологических особенностей видов и условий Ботанического сада. Выбранные виды относятся к 17 семействам.

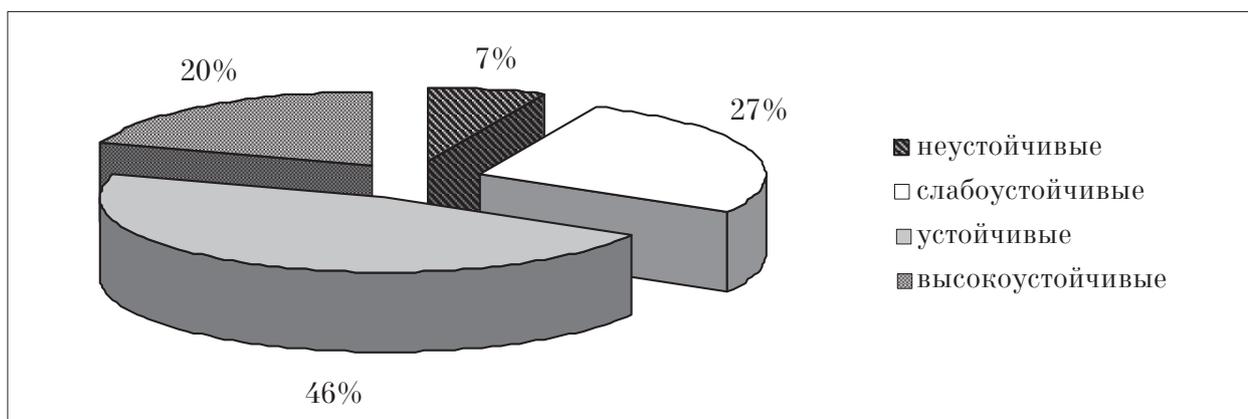


Рис. 1. Устойчивость в культуре интродуцированных видов

Наибольшее число видов относится к семействам: лютиковые (5 видов), бобовые (3 вида), злаковые, розоцветные, первоцветные и зонтичные (по 2 вида).

Большая часть культивируемых видов являются мезофилами (12 видов). Это естественно, поскольку условия сада характеризуются умеренным режимом увлажнения. Достаточно много ксеромезофилов (9 видов), что связано с тем, что эти виды обычно произрастают в разнообразных условиях влажности. Большое количество гигрофилов (3 вида) и мезоксерофилов (3 вида) обусловлено наличием на территории ботанического сада большого количества участков с повышенной влажностью.

4. В условиях культуры прошли полный цикл развития 10 видов: *Paeonia anomala* L., *Agrostemma githago* L., *Lilium martagon* L., *Gentiana pneumonanthe* L., *Eupatorium cannabinum* L., *Primula macrocalyx* Bunge, *Betonica officinalis* L., *Pyrethrum corymbosum* (L.), *Adonis vernalis* L. и *Filipendula vulgaris* Moench.

5. В результате трёхлетних работ по введению в культуру 27 видов была создана демонстрационная коллекция, выявлены перспективные для культивирования виды, отработаны методы культивирования, создан резервный фонд диаспор.

### Перспективы

Планируется продолжить работу в следующих направлениях:

- увеличение числа культивируемых образцов;
- репатриация редких видов в естественные местообитания и внедрение их в широкую культуру для ослабления антропогенного пресса на природные популяции;

– привлечение в коллекционный фонд для интродукционного испытания новые виды редких и исчезающих растений природной флоры. По данным Е.М. Тарасовой [10], в составе 120 особо охраняемых природных территорий области охраняется лишь 40 видов редких и сокращающихся в численности сосудистых растений, а 51 редкий вид не охраняется и является наиболее уязвимой частью флоры.

### Литература

1. Редкие и исчезающие виды природной флоры СССР, культивируемые в ботанических садах и других интродукционных центрах страны // Академия наук СССР. М.: Наука, 1983. 301 с.
2. Ботанический сад ВГГУ. Путеводитель [Электронный ресурс]. Киров, 2007.
3. Экологическая безопасность региона (Кировская область на рубеже веков) / Под ред. Т.Я. Ашихминой, М.А. Зайцева. Киров: Вятка, 2001. 416 с.
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: климат Кировской области. – (<http://www.meteo.nnov.ru/clauses/clauses.html?r=2&id=4>).
5. Тюлин В.В., Гущина А.М. Особенности почв Кировской области и их использование при интенсивном земледелии. Киров: «Темплан», 1989. 92 с.
6. Красная книга Кировской области: Животные, растения, грибы / Отв. ред. Л.Н. Добринский, Н.С. Корытин. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2001. 288 с.
7. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. 1995. 992 с.
8. Трулевич Н.В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 215 с.
9. Шульц Г.Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 186 с.
10. Тарасова Е.М. Флора Вятского края. Ч. I. Сосудистые растения. Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2007. 440 с.

## Эффективность использования цианоризобияльного консорциума при выращивании гороха посевного

© 2009. Л.В. Трефилова, к.б.н., старший преподаватель, М.Н. Патрушева, студент, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, e-mail: trefilovaev@rambler.ru

Исследовано действие монокультур *Nostoc paludosum* шт. 18, *Rhizobium leguminosarum* шт. 1022 и цианоризобияльного консорциума *N. paludosum*+ *R. leguminosarum* на развитие растений гороха посевного в лабораторных и полевых опытах. Показан положительный ростстимулирующий эффект консорциума, применяемого в виде цианоризобияльной пасты.

The influence of the monocultures *Nostoc paludosum* 18, *Rhizobium leguminosarum* 1022 and cyanorhizobium consortium *N. paludosum*+ *R. leguminosarum* on pea-plants development in laboratory and field experimental conditions is considered. Positive growth-stimulating effect of the consortium that is used in the form of a cyanorhizobium paste is shown.

Ключевые слова: цианобактерии, ризобиум, цианоризобияльный консорциум, корневые клубеньки

Среди процессов, от которых зависит биологическая продуктивность, одним из важнейших является фиксация микроорганизмами азота атмосферы. Проблема биологической азотфиксации относится к числу основных проблем сельскохозяйственной и биологической науки. Перед учёными стоит задача: изыскать возможности управления процессом азотфиксации и на этой основе увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Биологический азот может служить существенным дополнением азотного фонда почвы, способствуя повышению её плодородия, обеспечивая тем самым более экономное расходование технического азота – азота удобрений [1]. С минеральными удобрениями вносится лишь около 30% азота.

Многолетний отечественный и зарубежный опыт показывает, что эффективный бобово-ризобильный симбиоз – это не только залог получения высокого и качественного урожая бобовых культур, а, следовательно, и возможности решения проблемы пищевого белка, но и наиболее экологичный источник пополнения запасов азота в почве. Для использования дешёвого биологического азота в сельскохозяйственном производстве многих стран увеличивают посевные площади под бобовыми культурами, а также широко применяют предпосевную обработку семян препаратами клубеньковых бактерий, получаемых на основе активных штаммов *Rhizobium* [2].

Для активной симбиотической фиксации азота воздуха одно из главных условий – наличие специфического, вирулентного, активного штамма ризобий. Давно установлена роль клубеньковых бактерий (*p. Rhizobium*) в азотном питании бобовых растений и благодаря последним в формировании азотного фонда почвы. Вместе с тем известны и обстоятельства нестабильности эффекта инокуляции семян, обусловленные рядом причин: генотипом растений и азотфиксирующих микроорганизмов, ингибирующим действием экссудатов семян на бактерии, конкуренцией внесённого инокулята с аборигенными бактериями, потерей бактерий при прорастании семян, несовместимостью протравливания семян и инокуляции, затратами ручного труда, ограниченным временем внесения инокулята [3]. Одним из перспективных путей решения этих вопросов является совместное применение с клубеньковыми бактериями ассоциативных микроорганизмов, увеличивающих возможности использования бобовыми атмосферного азота [4].

Имеются единичные сообщения о том, что клетки цианобактерий (ЦБ), принадлежащие к роду *Nostoc* Vauch, обнаружены в клубеньках клевера египетского – *Trifolium alexandrinum* L. [5] и клубеньках других растений [6, 7]. Это предполагает видовую совместимость клубеньковых бактерий и ностока. Исследования показали, что носток не агрессивен к подсеваемым бактериям. Доказана его возможность

образовывать стабильные искусственные консорциумы.

На примере консорциума *N. paludosum* + *Rh. leguminosarum* показано, что подсеваемые к культуре фототрофа бактерии внедряются в околочлеточную слизь и распределяются вдоль цепочки клеток ностока. Консорциум сохраняется в искусственном состоянии в течение ряда лет при пассажах на свежую среду при разных гидротермических режимах [8].

Длительность их нахождения в клубеньках и роль пока не изучены. По всей вероятности, в искусственном консорциуме ЦБ предназначена роль не только носителя, агента, защищающего своего партнёра от конкурирующей аборигенной микрофлоры и энергогенератора, но и самостоятельное действие на почву и растение в качестве сильного азотфиксатора и стимулятора роста корней [9].

ЦБ находятся вне конкуренции с другими группами азотфиксирующих бактерий, так как благодаря фотолитотрофии не зависят от наличия органического вещества в почве. Размеры накопления ими азота не только соизмеримы, но в определённые периоды развития ЦБ становятся больше, чем у бактерий сапротрофного типа питания, достигая в дерново-подзолистых почвах от 20 до 40 кг/га азота в год [10].

ЦБ толерантны к смене эдафических факторов и к экстремальным условиям. Прижизненные выделения их клеток содержат, помимо продуктов фиксации азота, физиологически активные и фунгистатические вещества, что оказывает благоприятное влияние на рост растений [11, 12].

Вносимые в почву ЦБ не только не погибают и сохраняются на семенах, но и мигрируют в окружающую почву. При этом они выступают и как антагонисты к фитопатогенам [13].

### Создание биопрепаратов на основе цианобактерий

На кафедре ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э.А. Штиной ВятГСХА в последнее время ведётся разработка биопрепаратов, активной частью которых являются не только клубеньковые, но и цианобактерии.

Актуальность данной проблемы возрастает в связи с резким снижением производства азотных удобрений, с одной стороны, и с другой – выявлением неблагоприятных экологических последствий высоких доз их

применения: ухудшение свойств почвы, загрязнение окружающей среды, снижение качества сельскохозяйственной продукции из-за накопления в ней вредных для организма человека и животных повышенных концентраций нитратов.

Много негативных последствий имеет и такой процесс, как химизация защиты растений. Миграция пестицидов в окружающей среде – сильнейший фактор риска для благополучия человечества. Поэтому столь необходимы альтернативные, экологически безопасные средства повышения плодородия почвы и защиты растений от инфекций и вредителей. В этом плане огромный интерес представляют биопрепараты на основе бактерий-азотфиксаторов и микробов-антагонистов.

Однако производство препарата клубеньковых бактерий – сложный процесс. До сих пор не везде имеются чёткие представления о технологических и особенно биологических основах производства и применения клубеньковых бактерий. Одним из основных недостатков этих биопрепаратов является то, что они оказывают достоверный хозяйственный эффект лишь в 70% случаев в отличие от почти 100%-ного эффекта минеральных азотных удобрений [14].

Опытным путём было доказано, что ризобии не только совместимы с ЦБ, но и обладают способностью проникать в их околочлеточную слизь и таким образом сохраняться более длительное время в почве при посеве инокулированных семян, защищаясь от конкурирующего действия аборигенной микрофлоры и от экстремальных условий гидротермического режима; кроме того, бактериальная слизь, где находятся ризобии, – прекрасный агент прилипания к семени. Эффективность совместной обработки бобовых культур *N. paludosum* + *Rh. leguminosarum* была проверена и подтверждена на многих бобовых: лядвенце рогатом, клевере луговом и козлятнике восточном [15].

Создание искусственных микробных ассоциаций, обладающих экологической поливалентностью, является одним из перспективных направлений в разработке эффективных биопрепаратов. Интерес к изучению микробных ассоциаций обусловлен тем, что одновидовые системы, как и монокультуры в сельском хозяйстве, неустойчивы по своей природе, поскольку в условиях стрессов уязвимы для конкурентов, возбудителей болезней и других факторов, оказывающих влияние на их функционирование в агроценозах [16].

При изучении возможности культивирования ЦБ с агрономически значимыми бактериями, в том числе и с *Rhizobium leguminosarum* Frank шт. 102, на первом этапе для получения бактериально чистой культуры ЦБ было использовано несколько методов [8, 15, 17 – 20]. Вначале культура максимально очищалась от слизи путём фильтрации через асбестовый фильтр; далее цианобактерии подвергались ультрафиолетовому облучению, интенсивность и длительность которого подбирались экспериментально.

Следующий этап был связан с выделением спутников путём посева на селективные среды, затем чистые колонии пересевали на селективную среду. Далее на газоны накладывались кольца антибиотиков широкого спектра действия на грамположительные и грамотрицательные бактерии. По величине возникающих зон лизиса судили о чувствительности бактерий к данному антибиотику. После этого бактерии исключали с помощью найденного антибиотика, прибавляя его в очищаемую культуру цианобактерии [21]. Таким образом, получали аксеничную культуру ЦБ.

При определении оптимальных доз внесимых цианобактерий было показано, что для разных растений при проращивании семян вне почвы существует своя оптимальная доза инокулята, за нижними пределами которой ризогенный эффект может отсутствовать, за верхними – переходить в фитотоксичное действие. Последнее выражено у разных штаммов ЦБ в различной степени [21].

Третий этап был связан с подсевом к очищенной культуре ЦБ *Rhizobium leguminosarum* и с выяснением длительности жизни консорциума. На этом этапе работы было показано, что указанные бактерии сохраняются в слизи ЦБ, что даёт основу для размножения консорциума [22]. В дальнейшем наличие в слизи цианобактерий антибиотико-устойчивых штаммов бактерий позволило проследить их миграцию в ризоплану и ризосферу растений [20]. И только после этого консорциумы использовались в полевых и вегетационных опытах.

Эта методика приготовления инокулята на основе ЦБ для последующего использования является перспективной, так как иные существующие методы их совместного использования с другими микроорганизмами основаны на механическом смешивании разных культур. При использовании искусственных консорциумов в природных условиях неиз-

бежно происходит контакт ЦБ с аборигенной микрофлорой, то есть нарушение чистоты консорциума по количеству участников. Но без предварительного этапа по очистке ЦБ создание биопрепаратов направленного действия невозможно.

При разработке новых препаратов необходимо уделять внимание не только селекции или подбору штаммов микроорганизмов, но и усовершенствованию технологий их изготовления, применения и хранения. Оптимизация сочетаний различных свойств в биопрепаратах, в том числе и технологических, приводит к необходимости формирования нового направления исследований – «дизайна» микробных биопрепаратов (23).

Целью нашей работы было исследовать ростаивающий и ризогенный эффект цианоризобияльного консорциума на горохе посевном (*Pisum sativum* L.). В ходе исследования решали следующие задачи: 1. Исследовать оптимальные способы приготовления цианоризобияльных препаратов; 2. Выявить наиболее эффективные методы культивирования и применения ЦБ.

### Объекты и методы культивирования

В работе использовали ЦБ *Nostoc paludosum* шт. 18, который был выделен Перминовой Г.Н. из дерново-подзолистой почвы в 1969 году. Коллекционные штаммы поддерживали путём пересева через 1 – 2 месяца на свежие питательные среды и дальнейшем культивировании при освещённости 2 – 3 тыс. люкс и температуре не выше 20 °С на агаризованной (2%) среде Громова №6 без азота [24].

Накопительные культуры цианобактерий выращивали в колбах Эрленмейера объёмом 100 – 250 мл в зависимости от целей опыта (в жидкой безазотистой среде Громова №6) в люминостате при освещённости 2 – 3 тыс. люкс и 22 – 25 °С.

В опытах использовали 1,0-1,5-месячные культуры ЦБ в зависимости от целей опыта. Оптимальным сроком для вегетации ЦБ является период с марта до ноября. Систематически осуществляли контроль за чистотой культуры и её состоянием путём микроскопирования. На жизнеспособность ЦБ указывает отсутствие разрушенных лизированных клеток, характерная пигментация, высокое содержание гетероцист (клеток, в которых идёт процесс азотфиксации), малое содержание спор. В лабораторных и вегетационных опытах исполь-

зовали бактериально чистую культуру *Nostoc paludosum* (Kütz.) Elenk шт. 18 и природную смешанную цианобактериальную популяцию в полевых опытах.

ЦБ применяли в виде суспензии клеток, плёнок, культуральной жидкости (пропускали культуры через бактериальный фильтр), а также в виде смеси нескольких культур ЦБ, которую получали путём механического смешивания.

Для разработки технологии приготовления биопрепаратов рост ЦБ изучали на полужидкой (0,5% агара) среде Громова №6 без азота – цианобактериальной пасте.

Технология приготовления её следующая. Цианобактериальная паста готовилась в пластиковых контейнерах ёмкостью 200 мл, в которые помещали стерильную полужидкую (0,5% агара) безазотистую среду Громова №6 по 150 мл и в условиях микробиологического бокса вносили по 5 мл тщательно разбитой на горизонтальном шейкере суспензии клеток *N. paludosum* (титр –  $10^5$  кл/мл) на контейнер.

Обработанные цианобактериальной пастой семена быстро подсыхают, не теряют сыпучести, хорошо хранятся, агаризованная цианобактериальная плёнка, покрывающая семена, на наш взгляд, препятствует заражению не только в период посева и прорастания, но и в период хранения зерна [25, 26].

Сапротрофная культура бактерии *Rhizobium leguminosarum* шт. 1022 является перспективной для целей агробιοтехнологии, на основе которой во ВНИИСХМ созданы биопрепараты. Все указанные хемотрофные бактерии являются типичными представителями ризосферы большинства растений. Уже известная к началу нашей работы совместимость агробактерий в ассоциативных культурах облегчала задачу составления консорциумов на основе ЦБ. Количественный учёт ЦБ проводили под микроскопом на мазках [27].

Опыт снимали через неделю, подсчитывая число колоний *Rhizobium*, при этом предполагали, что каждая отдельная колония *Rhizobium* выросла из одной отдельной клетки. Поэтому, подсчитав число выросших колоний, мы можем узнать, сколько клеток попало в каждую чашку при посеве. Кроме *Rhizobium*, даже при очень чистом посеве, могут вырасти другие бактерии, которые являются спутниками ЦБ. Их мы считали отдельно, отличая от колоний *Rhizobium*. Колонии клубеньковых бактерий на бобовом агаре имеют округлую форму, вы-

пуклые, блестящие, слизистые, беловатые. Колонии другого вида и цвета к *Rhizobium* не относятся.

При составлении консорциумов (цианобактерии + ризобиум) брали наиболее благоприятную для доминантной формы ЦБ безазотистую среду Громова №6, но с добавлением бобового отвара 1-2 мл на 100 мл. Режим инокуляции был выбран исходя из результатов предыдущих опытов сотрудников кафедры [22]. Массу консорциумов определяли путём высушивания отфильтрованного материала.

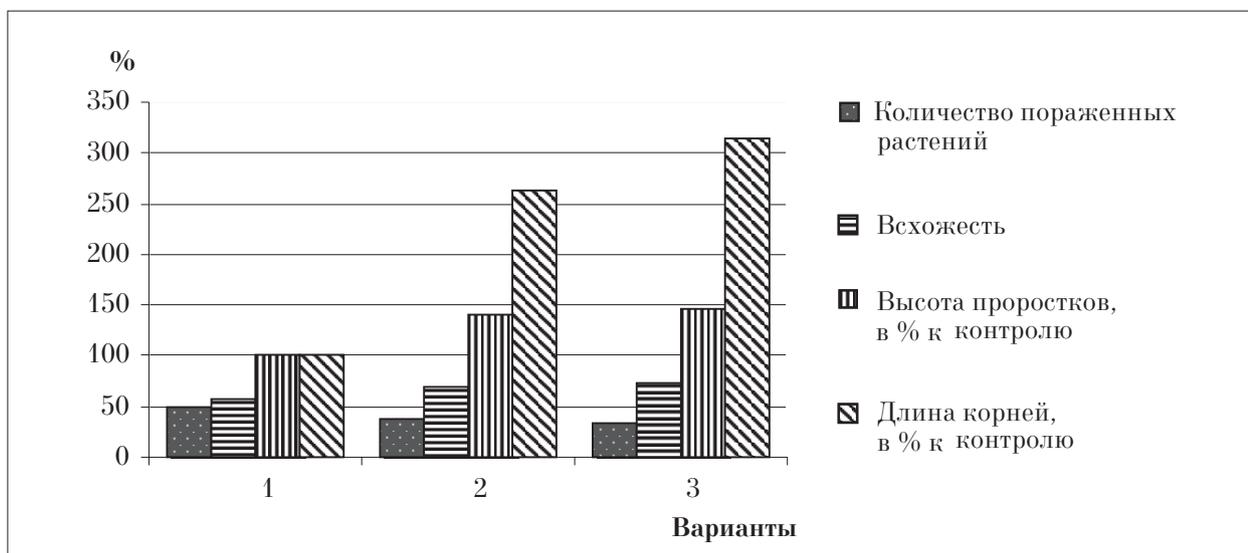
Для постановки лабораторных опытов использовали семена гороха сорта Альфа ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. Сорт Луцильный раннеспелый. Период от полных всходов до технической спелости 46 – 53 дня. Растение полукарликовое, высотой 50 – 55 см. Товарная урожайность бобов 8,5 – 20,8 т/га, горошка – 4,8 – 9,0 т/га. Относительно устойчив к фузариозу.

В полевых опытах использовали семена гороха сорта Лучезарный. Оригинатором является Фалёнская селекционная станция. Сорт Лучезарный районирован и предназначен для зернофуражного и укосного использования, а благодаря хорошим вкусовым качествам зерна и равномерной его разваримости может применяться в пищевой промышленности. Максимальная урожайность зерна 5,4 т/га, зелёной массы 49,2 т/га. Содержание белка в зерне 20 – 26,6%. Сорт среднеспелый, вегетационный период длится 73 – 86 дней. Главным достоинством является сочетание высокой урожайности зерна и зелёной массы с мелкосемянностью, что существенно снижает расход посевного материала, особенно при посеве на зелёный корм.

### Исследование влияния цианобактерий на рост растений гороха в лабораторных опытах

Варианты опыта в чашечных культурах были следующие: 1. Контроль без обработки. 2. Обработка семян культуральной жидкостью цианобактерий. 3. Обработка семян клетками цианобактерий *Nostoc paludosum* шт.18.

Семена гороха сорта Альфа после обработки их культуральной жидкостью (вариант 2) и клетками *Nostoc paludosum* шт.18 (вариант 3) выращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге и рулонным методом в люминостате. Через неделю проводили измерения высоты проростков и длины корней.



**Рис. 1.** Влияние цианобактериальной обработки семян гороха на развитие проростков. Варианты: 1 – контроль (полная питательная среда Кнопа); 2 – обработка культуральной жидкостью цианобактерий; 3 – цианобактериальная обработка семян

Самым удачным оказался третий вариант, в котором цианобактерии наносили непосредственно на семена. В чашках Петри, где было равномерное освещение семян и ЦБ, наиболее проявился ризогенный эффект в третьем варианте (рис. 1). Длина корней оказалась почти в три раза больше по сравнению с контролем.

### Изучение ростстимулирующего эффекта цианобактерий на проростках гороха в рулонных культурах

В рулонных культурах при недостаточном освещении из-за фильтровальной бумаги ростактивирующий эффект цианобактерий выразился в меньшей степени. Тем не менее по сравнению с контролем длина корней и высота проростков в третьем варианте были больше на 26 и 36%, соответственно (рис. 2).

### Изучение ростстимулирующего эффекта цианобактерий на проростках гороха в песчаных культурах

Опыт был заложен в пластиковых контейнерах с песком на горохе сорта Альфа. Контейнеры выдерживали в люминистате. Лабораторная всхожесть семян – 98%. При закладке опыта почву увлажняли средой Громова №6: полной в контроле, в остальных вариантах без азота.

Повторность опыта 3-кратная. В зависимости от способов обработки семян колебалась

и величина адгезии ЦБ. Так, во втором варианте количество прилипших клеток цианобактерий на 1 семя было  $0,5 \times 10^8$ , в третьем –  $1,5 \times 10^8$ , а в четвертом –  $3,28 \times 10^8$  (рис. 3). Инокуляция семян *Rh. leguminosarum* во всех вариантах проведена одинаково по общепринятой методике.

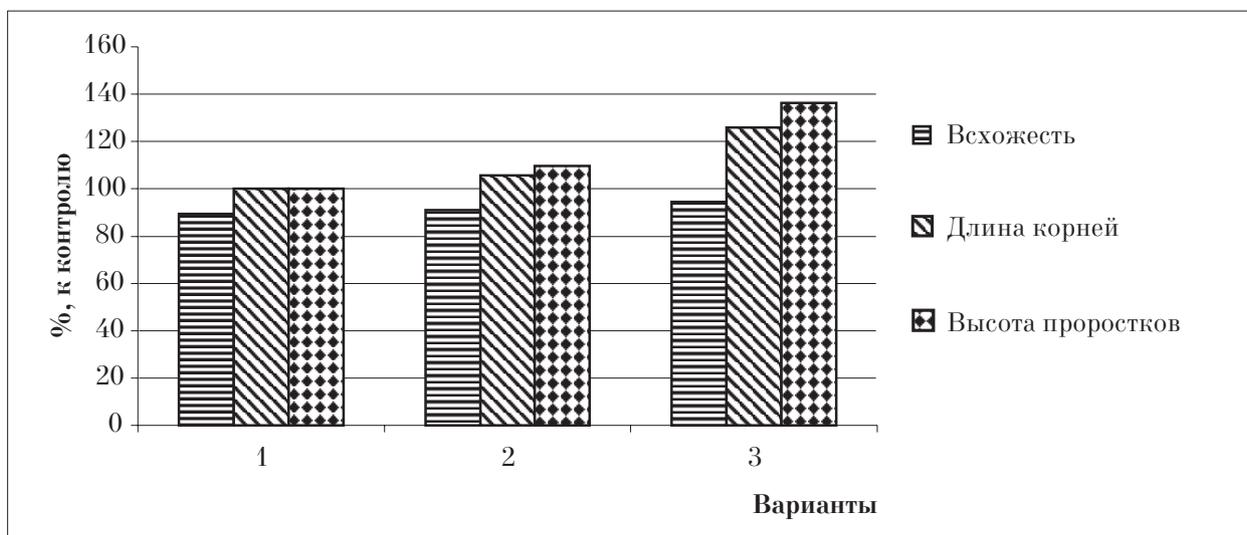
Первое измерение проводили через неделю, каждое последующее также через неделю.

Опыт снимали через 6 недель, при этом анализировали и степень развития корневой системы. Показатели объема корневой системы оказались практически одинаковы во всех вариантах, по сравнению с контролем отклонение составило  $\pm 1,33\%$  (рис. 4).

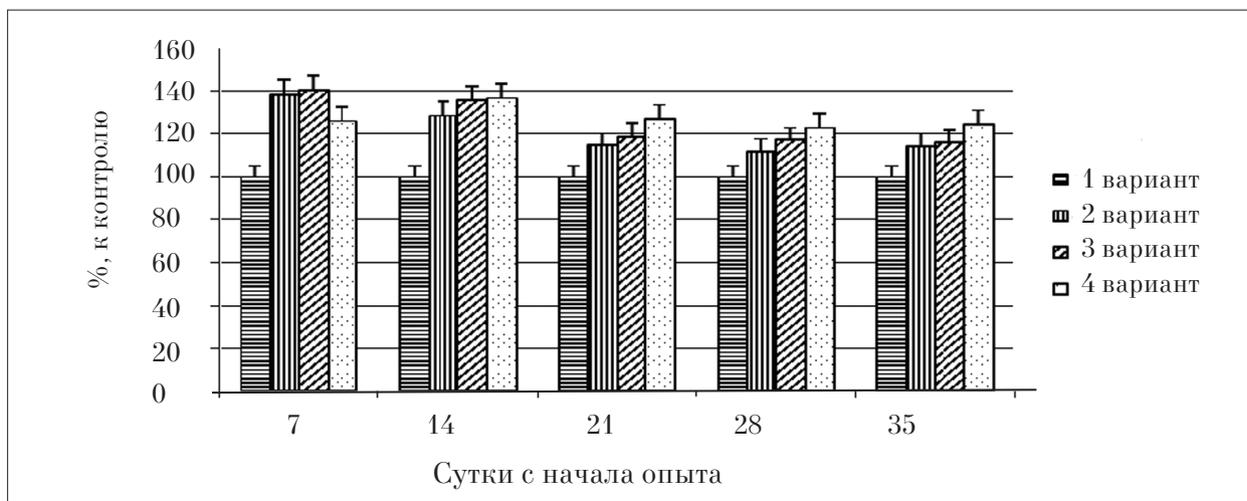
Таким образом, обработка семян цианобактериальной пастой привела к увеличению высоты проростков на 25% по сравнению с контролем.

### Изучение ростстимулирующего эффекта цианоризобияльного консорциума на растениях гороха в полевых экспериментах

В ходе исследования влияния цианобактерий и цианоризобияльного консорциума на рост гороха в 2008 г. был проведен полевой опыт, включающий следующие варианты (втрехкратной повторности): 1. Контроль без обработки. 2. Обработка семян *Rh. leguminosarum*. 3. Обработка семян *Rh. leguminosarum* + *N. paludosum* шт. 18 (цианоризобияльная паста). 4. Обработка семян *N. paludosum* шт. 18 (цианобактериальная паста).



**Рис. 2.** Влияние цианобактериальной обработки семян гороха на рост и развитие проростков. Варианты: 1 – контроль (полная питательная среда Кнопа); 2 – обработка культуральной жидкостью ЦБ; 3 – цианобактериальная обработка семян



**Рис. 3.** Динамика роста надземной части растений гороха при разных способах инокуляции семян. Варианты опыта: 1. Контроль (обработка семян *Rh. leguminosarum*). 2. Обработка семян культуральной жидкостью *Nostoc paludosum* шт. 18. 3. Обработка семян *Rh. leguminosarum*+суспензия *N. paludosum* шт. 18. 4. Обработка семян *Rh. leguminosarum*+цианобактериальная паста на основе *N. paludosum* шт. 18.

Место проведения полевого опыта – Ботанический сад ВятГСХА.

При снятии опыта с каждой делянки произвольно выкапывали вместе с корневой системой по 10 растений гороха. Таким образом, для исследований использовали по 10 растений каждой повторности или по 30 растений каждого варианта.

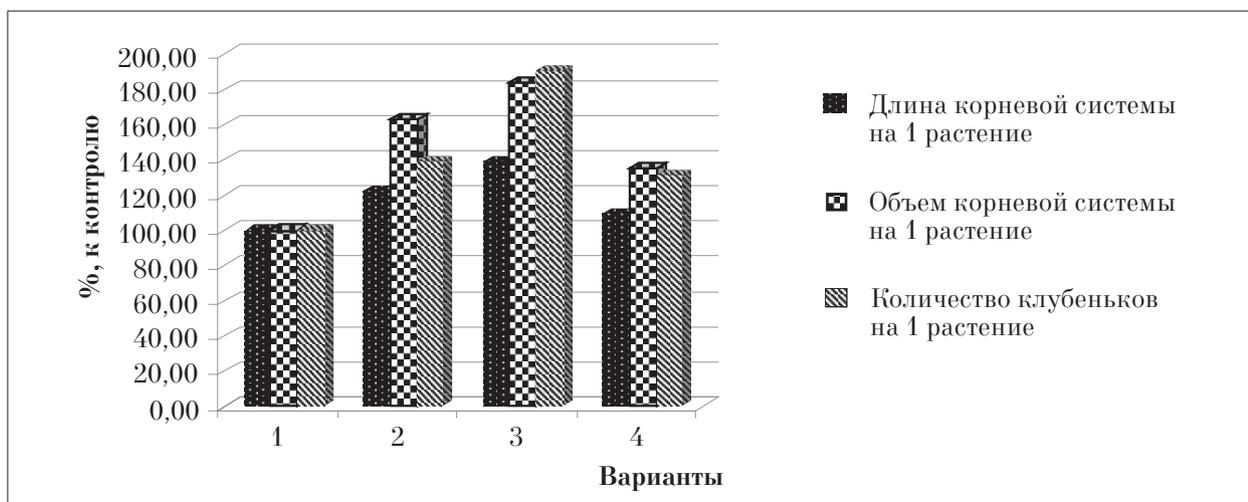
Результаты наблюдений показали, что наибольший эффект на всхожесть семян достигается при обработке цианоризобальным консорциумом (табл. 1).

ЦБ и ризобиум оказывают положительное влияние на рост и развитие корневой системы, а также на образование и форми-

рование клубеньков, тем самым увеличивая способность растений гороха к азотфиксации (рис.4).

Максимальный результат по анализируемым показателям был обнаружен в 3-м варианте (обработка цианоризобальным консорциумом). Здесь длина корневой системы превышала контроль почти на 40%, а её объём – на 83,52%, прибавка по клубенькам составила около 90% (рис. 4).

На формирование урожая оказывает большое влияние такой показатель, как площадь фотосинтетической поверхности листа и, как следствие, продуктивность фотосинтеза. Воздействие микробиологических препаратов на



**Рис. 4.** Влияние бактериальной обработки на корневую систему растений гороха. Варианты: 1. Контроль без обработки. 2. Обработка семян *Rh. leguminosarum*. 3. Обработка семян *Rh. leguminosarum* + *N. paludosum* шт. 18 (цианоризобияльная паста). 4. Обработка семян *N. paludosum* шт. 18 (цианобактериальная паста)

динамику листовой поверхности связано с ускорением формирования у растений гороха ассимиляционной поверхности и сохранением её в активном состоянии в ответственные периоды вегетации. При анализе данных, полученных по результатам полевого опыта, обнаружено, что наибольшая площадь листовой поверхности на 1 растение характерна для растений в 3-м варианте (обработка *Rh. leguminosarum* + *N. paludosum*), почти на 20% больше по сравнению с контролем (табл. 2).

Таким образом, цианобактерии и ризобиум при совместном использовании улучшают физиологическое состояние растений гороха, способствуя росту листовой поверхности и тем самым продуктивности фотосинтеза.

Основной целью использования бактериальной обработки семян при выращивании сельскохозяйственных культур является повышение урожайности, а также получение экологически чистой продукции. Данные по урожайности гороха отражены на рис. 5.

Максимальный результат по продуктивности был обнаружен в 3-м варианте (обработка *Rh. leguminosarum* + *N. paludosum* шт. 18). В данном варианте урожайность по зелёной массе превышала контроль на 13,25%, а по сухой массе – на 26,38% (рис. 5).

### Выводы

1. В ходе проведённых исследований было выявлено, что наиболее эффективным методом культивирования цианобактерий является цианобактериальная паста.
2. Оптимальной формой приготовления и применения цианоризобияльных препаратов является цианобактериальная паста на основе цианобактерий и ризобиума.
3. Наилучшие показатели по развитию надземной части в лабораторных опытах были выявлены в вариантах с обработкой семян гороха цианоризобияльной пастой.

Всхожесть семян гороха

Таблица 1

Вариант	Количество растений	
	шт./делянку	% к контролю
1. Контроль	81,00 ± 5,29	100,00
2. Обработка семян <i>Rh. leguminosarum</i>	88,33 ± 1,15	109,05
3. Обработка семян <i>Rh. leguminosarum</i> + <i>N. paludosum</i> шт. 18	91,00 ± 2,65	112,35
4. Обработка семян <i>N. paludosum</i> шт. 18	87,33 ± 2,08	107,82

Таблица 2

Влияние бактериальной обработки на площадь фотосинтетической поверхности листа растений гороха

Вариант	Количество листьев на 1 растение		Площадь листьев на 1 растение	
	шт.	% к контролю	см <sup>2</sup>	% к контролю
1. Контроль	87,77 ± 10,15	100,00	444,37 ± 8,54	100,00
2. Обработка семян <i>Rh. leguminosarum</i>	97,73 ± 13,81	111,35	510,42 ± 2,76	114,86
3. Обработка семян <i>Rh. leguminosarum</i> + <i>N. paludosum</i> шт.18	108,73 ± 14,67	123,88	536,76 ± 2,07	120,79
4. Обработка семян <i>N. paludosum</i> шт.18	94,70 ± 19,02	107,9	505,76 ± 1,04	113,82

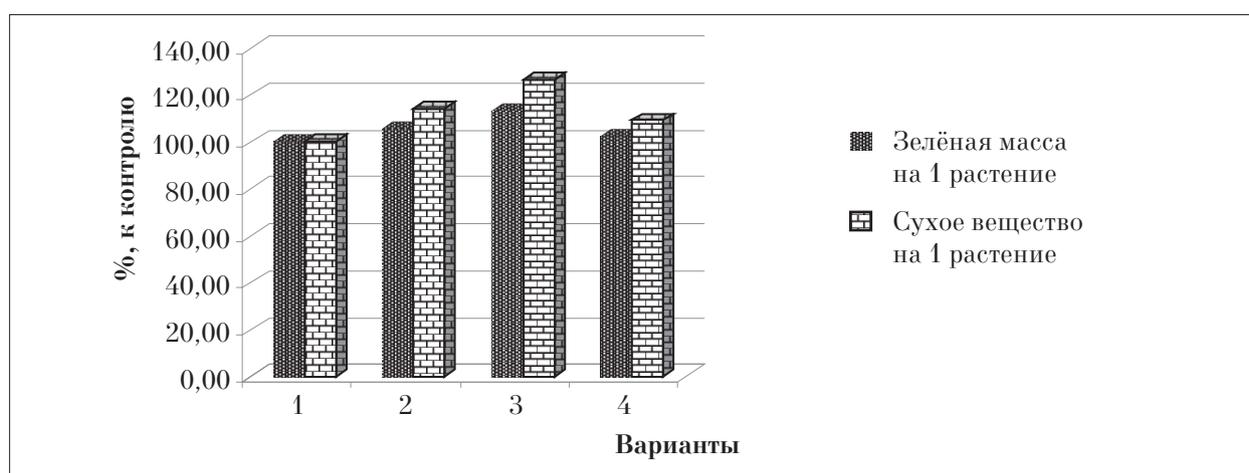


Рис. 5. Продуктивность гороха по зелёной массе и сухому веществу. Варианты: 1. Контроль без обработки. 2. Обработка семян *Rh. leguminosarum*. 3. Обработка семян *Rh. leguminosarum* + *N. paludosum* шт. 18 (цианоризобияльная паста). 4. Обработка семян *N. paludosum* шт. 18 (цианобактериальная паста)

4. В полевых опытах было установлено, что применение цианоризобияльного консорциума привело к повышению всхожести семян, роста и развития корневой системы, увеличению количества клубеньков на корнях, возрастанию площади листьев и повышению урожайности растений.

### Литература

1. Лесной Н.Н. Производство экологически чистых продуктов растениеводства. Учебно-практическое пособие. М. 2001. 34 с.
2. Спиридонов А.М. Многолетние бобовые травы как источник биологического азота в земледелии // Земледелие. 2007. № 3. С. 14-15.
3. Кожемяков А.П., Тихонович И.А. Использование инокулятов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве // Докл. РАСХН. 1998. № 6. С. 7-10.
4. Тихонович И.А. Создание высокоэффективных микробно-растительных систем // Сельскохозяйственная биология. 2000. № 1. С. 28-33.

5. Venkataraman G.S. Nitrogen fixation production of extracellular nitrogenous substance by an endophytic Nostoc strain, isolated from the root nodules of Egyptian clover (*Trifolium alexandrinum*) // Proc. Symp. Algology. Indian Council of Agricul. Res. New Delhi. 1979. P. 119.
6. Лобакова Е. С. Ассоциативные микроорганизмы растительных симбиозов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва. 2004. 44 с.
7. Баулина О.И. Ультраструктурная пластичность цианобактерий: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М. 2005. 48 с.
8. Панкратова Е.М., Зяблых Р.Ю., Калинин А.А., Ковина А.Л., Трефилова Л.В. Конструирование микробных культур на основе синезелёной водоросли *Nostoc paludosum* Kütz // Альгология. Т. 14. № 4. 2004. С. 445-458.
9. Гусев М.В., Никитина К.А. Цианобактерии. М.: Наука, 1979. 227 с.
10. Панкратова Е.М. Роль азотфиксирующих синезелёных водорослей (цианобактерий) в накоплении азота и повышении плодородия почвы // Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. 1981. 39 с.

11. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В., Домрачева Л.И., Третьякова А.Н. Подавление микопаразитов ели и грибных заболеваний сельскохозяйственных культур с помощью цианобактерий // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: Матер. междунар. конгресса. М. 2002. С. 172-175.
12. Калинин А.А., Домрачева Л.И., Третьякова А.Н., Трефилова Л.В. Антагонистическое действие почвенных цианобактерий на фитопатогенный гриб *Fusarium culmorum* и перспективы их использования для биологической защиты растений от заболеваний // Здоровье – Питание – Биологические ресурсы: Матер. междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 125-летию со дня рожд. акад. Н.В. Рудницкого. Киров. 2002. Т. 1. С. 377-383.
13. Панкратова Е.М. Основы и результаты функционирования цианобактерий в почвенных экосистемах // Экология и почвы. Пуцдино. 2006. С. 202-210.
14. Хотянович А.В. Методы культивирования азотфиксирующих бактерий, способы получения и применения препаратов на их основе (Методические рекомендации). Л.: ВНИИСХМ, 1991. 60 с.
15. Панкратова Е.М. Использование клубеньковых бактерий и цианобактерий в агробиотехнологии // Перспективы использования биологических технологий в животноводстве и растениеводстве Кировской области: Матер. междууз. науч.-практ. конф. Киров. 2005. С. 8-12.
16. Суховицкая Л.А., Сафронова Г.В., Клышко Г.М., Короленок Н.В. Выживаемость *Rhizobium* в монокультуре и бинарных популяциях с ризосферными бактериями // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38. № 1. С. 73-78.
17. Патрушева М. Н., Трефилова Л.В. Цианобактерии как стимуляторы роста гороха // Экология родного края – проблемы и пути их решения: Матер. I обл. науч.-практ. конф. молодёжи. Киров. 2006. С. 160-161.
18. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в естественных условиях и в конструируемых системах // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 4-14.
19. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В. Новый метод использования цианобактерий в агробиотехнологии в виде сложных микробных ассоциаций // Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям: Тез. докл. I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. М.: Макс Пресс, 2008. С. 86-88.
20. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В., Зяблых Р.Ю., Устюжанин И.А. Цианобактерия *Nostoc paludosum* Kütz как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий р. *Rhizobium* // Микробиология. 2008. Т. 77. № 2. С. 266-272.
21. Калинин А. А. Цианобактерии как возможные компоненты diaзотрофных микробных ассоциаций и их влияние на растение: Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. М. 1995. 23 с.
22. Ковина А.Л. Микробные агроконсорциумы на основе цианобактерий: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. М. 2001. 23 с.
23. Патыка В.Ф. Микробные биотехнологии в современном растениеводстве // Биотехнология – состояние и перспективы развития: Матер междунар. конгресс. М. 2002. С. 345.
24. Громов Б.В., Титова Н.Н. Коллекция культур водорослей лаборатории микробиологии Биологического института Ленинградского университета // Культивирование коллекционных штаммов водорослей. Л.: ЛГУ, 1983. С. 3-27.
25. Трефилова Л.В. Использование цианобактерий в агробиотехнологии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов. 2008. 25 с.
26. Панкратова Е. М., Калинин А. А. Цианобактерии как возможные организмы для создания бактериальных препаратов // Роль научных исследований в развитии сельскохозяйственного производства Кировской обл. Киров. 1991. С. 25-33.
27. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы в агроэко-системах и закономерности его развития: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. 1998. 45 с.

## Вторичное радиационное загрязнение территории посёлка Новое Муслимово

© 2009. В.М. Кузнецов<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, в.н.с., М.С. Хвостова<sup>1</sup>, к.г.н., с.н.с., С.П. Колотухин<sup>2</sup>, зав. лабораторией,

<sup>1</sup>Экологический центр Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, <sup>2</sup>ФГУ «ЦПБ ТЭК»,  
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru, marinakhvostova@list.ru

В статье приведены результаты радиационного обследования территории посёлка Новое Муслимово. Отмечается, что ввиду отсутствия входного радиационного контроля в посёлке выявлено вторичное радиационное загрязнение.

In article presents the radiation inspection results of the territory of the settlement of Novoje Muslimovo. It is stated, that due to absence of entrance radiation control in the settlement secondary radiating contamination was revealed.

Ключевые слова: Новое Муслимово, гамма-съёмка, мощность экспозиционной дозы

Экологическим центром Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН совместно с лабораторией радиационного контроля ФГУ «ЦПБ ТЭК» (аттестат аккредитации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 41761-2006 от 5 июня 2006 г.) в период с 22 сентября по 26 сентября 2008 г. было проведено инженерно-экологическое изыскание (обследование) территории посёлка Новое Муслимово.

Целью вышеуказанной работы явилось оценка радиационно-экологического состояния домовладений посёлка Новое Муслимово перед началом массового заселения его переселенцами из отселяемой части посёлка Староё Муслимово методом пешеходной гамма-съёмки местности.

Во время обследования проводилось сплошное гамма-прослушивание радиометром СРП-88 всего участка домовладения, возводимых хозяйственных построек и материалов, взятых переселенцами со своих ликвидируемых подворий Старого Муслимово. Прослушивались также стены коттеджа.

На каждом участке не менее чем в 6 точках измерялась мощность экспозиционной дозы (МЭД) внешнего гамма-излучения. Измерялась МЭД внутри дома, в некоторых случаях МЭД измерялась снаружи дома из-за невозможности попасть внутрь. Особое внимание обращалось на радиационное состояние фундамента дома. Измерение МЭД внешнего

гамма-излучения проводилось в общественных зданиях посёлка (средняя школа и детский сад).

Во время проведения изысканий было выявлено следующее.

МЭД на поверхности почвы домовладений колеблется от 0,07 до 0,45 мкЗв/ч.

На участках домовладений №№ 81, 82, 83, 84, 85, 86 – улица Парковая и №№ 187, 188, 189, 190, 193, 194 – улица Лесная выявлены локальные участки с уровнем гамма-излучения до 0,45 мкЗв/ч и превышающим среднюю МЭД посёлка Новое Муслимово. Эти участки чётко увязываются с красным гранитным щебнем, завезённым подрядной строительной организацией и использованным для отсыпки дорожек к домам и в строительных бетонных работах. МЭД с поверхности этих локальных участков с доверительной вероятностью 95% равна  $0,31 \pm 0,067$  мкЗв/ч.

Среднее значение МЭД без учёта локальных радиационных загрязнений равно 0,11 мкЗв/ч и с доверительной вероятностью 95% не превышает уровня 0,13 мкЗв/ч. Значение МЭД не превышает среднего значения МЭД по Челябинской области и соответствует ранее определённому в работах по договорам № РИ17/2 - 001 от 6 марта 2007 г. и № РИ18/2 от 10 мая 2007 г.

Проба гранитной щебёнки, отобранная у дома №187 была измерена в лабораторных

условиях на специализированной радиометрической установке УРС -71. Результаты измерения с 95%-ной доверительной вероятностью следующие:

Ra-226 – 150±21 Бк/кг;

Th-232 – 211±11 Бк/кг;

K-40 – 1043±189 Бк/кг;

$A_{эфф}$  – 517±42 Бк/кг.

Отмечено следовое присутствие в пробе U-238.

Из техногенных радионуклидов выявлен Cs-137 с удельной активностью менее 4 Бк/кг. Другие техногенные радионуклиды не обнаружены.

МЭД внутри коттеджей определяется в основном активностью гипсокартона обшивки.

В законченных домах МЭД колеблется от 0,07 и до 0,21 мкЗв/ч. Средняя МЭД домов с доверительной вероятностью 95% равна 0,12±0,014 мкЗв/ч.

МЭД от фундаментов и отливов коттеджей не превышает 0,21 мкЗв/ч. Большие значения соответствуют тем фундаментам и отливом, при строительстве которых был использован гранитный щебень.

В домовладении № 86 обнаружен старый печной кирпич, вывезенный хозяином участка из ликвидированных домовладений Старого Муслюмово. МЭД от кирпича равна 0,27 мкЗв/ч, что превышает среднее значение МЭД местности в 2,6 раза.

МЭД в помещениях средней школы и детского сада колеблется от 0,08 мкЗв/ч и до 0,2 мкЗв/ч и с доверительной вероятностью 95% равна 12±0,014 мкЗв/ч. Предельная надфоновая МЭД ни в одной точке средней школы и детского сада не превышает 0,1 мкЗв/ч.

МЭД игровых площадок детского сада и школьной территории равна средней МЭД посёлка Новое Муслюмово.

#### Выводы

Мощность экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения на поверхности почвы домовладений посёлка Новое Муслюмово без учёта локальных загрязнений не превышает установленные ТСН РБ 2003 МО (п. 5.6) значения (0,2 мкЗв/ч). Эти нормы выбраны как наиболее жёсткие в РФ.

Мощность экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения коттеджей посёлка Новое Муслюмово не превышает установленные ТСН РБ 2003 МО (п. 5.6) значения (0,2 мкЗв/ч). Надфоновая МЭД во всех домах менее 0,1 мкЗв/ч.

Мощность экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения средней школы, детского

сада и прилегающих к ним территорий не превышает установленные ТСН РБ 2003 МО (п. 5.6) значения (0,2 мкЗв/ч). Надфоновая МЭД во всех помещениях средней школы и детского сада менее 0,1 мкЗв/ч.

Ранее данные рекомендации (п.1 «Объединённый отчёт-договор РИ18/2 от 10 мая 2007 г.») о контрольных измерениях имущества и строительных материалов, перевозимых населением из отселяемых домовладений Старого Муслюмово, не выполняются, что уже привело к выносу активности и вторичному радиационному загрязнению первоначально чистых территорий посёлка Новое Муслюмово.

Радиационный контроль строительных материалов, применяемых строительными подрядными организациями, не проводился. Применение гранитного щебня привело к возникновению локальных участков с повышенным радиационным излучением на изначально чистой территории посёлка Новое Муслюмово.

Значение удельной эффективной активности естественных радионуклидов в гранитном щебне ( $A_{эфф.гр}$ ) превышает установленные в НРБ-99 (п. 5.3.4) и в ОСПОРБ-99 (п. 5.2.3) значения (370 Бк/кг). Данный материал в строительстве жилых и общественных зданий применяться не может.

Отмечено начало строительства населением погребов и других заглублённых в почву сооружений без необходимой противорадионной защиты.

Разъяснительная работа среди местного населения ведётся недостаточно. Уровень осознания радиационной опасности крайне низок и сводится к требованиям получения различных преференций и льгот, при этом часть населения широко использует запретные радиационно-загрязнённые территории в повседневной хозяйственной деятельности (использование поймы реки Течи и саму реку Течу для выпаса и водопоя домашнего скота, для водоплавающей птицы и для рыболовства).

#### Рекомендации:

- организовать централизованный перенос домовладения из зоны отселения с одновременным радиационным контролем перевозимых населением имущества, строительных материалов и т. п., обращая особое внимание на бутовой камень из фундаментов домов и кирпич, использовавшийся в печах;
- для каждого домовладения составить радиационный паспорт (свидетельство)

участка и дома, который вручать владельцу при вселении вместе с памяткой о правилах соблюдения радиационной безопасности в данной местности;

– данные этого паспорта могут служить контрольным уровнем гамма-излучения в случае дальнейших радиационно-экологических исследований и при разборе претензий и споров владельца с администрацией;

– провести радиационное исследование пастбищных угодий, нарезаемых жителям Нового Муслюмова, с назначением контрольных уровней по внешнему гамма-излучению и содержанию радионуклидов в траве и сене;

– составить и передать администрации посёлка Новое Муслюмово карту-схему ближайших окрестностей посёлка с указанием уровней внешнего гамма-излучения и содержания радионуклидов в почве;

– ознакомить жителей посёлка с результатами ранее выполненных инженерно-экологических изысканий Лабораторией радиационного контроля ФГУ «ТЭК» на территории строительства посёлка Новое Муслюмово;

– органам Роспотребнадзора Челябинской области совместно с администрацией посёлка Новое Муслюмово проводить с населением разъяснительную работу о недопустимости использования поймы реки Течи в любой хозяйственной деятельности;

– разработать комплекс наглядных пособий и документов, касающихся проживания и ведения хозяйственной деятельно-

сти рядом с загрязнёнными территориями для всех групп населения;

– начать систематическую радиационно-экологическую проверку продуктов питания, в частности молока и мяса, производимых населением посёлка Новое Муслюмово. Для этой работы привлечь местные органы санитарного надзора;

– провести восстановление ограждения зоны отчуждения поймы реки Теча, обновить знаки радиационной опасности;

– ускорить проведение защитных мероприятий с тем, чтобы пойма реки Теча потеряла для жителей в пределах жилых поселений хозяйственную привлекательность.

### Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. М.: Минздрав России, 1999. 115 с.
2. Инструкции и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязнённой территории. Изд. 2-е. Обнинск: НПО «Тайфун», 1993.
3. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населённых пунктах. Изд. 2-е. Обнинск: НПО «Тайфун», 1993.
4. Методика массового гамма-спектрометрического анализа проб природной среды / Под ред. А.Н. Силантьева, К.П. Махонько. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
5. Козлов А.И., Махонько К.П. Методические указания по использованию дозиметра ДРГ-01Т на радиометрической сети станций. Обнинск: НПО «Тайфун», 1989.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). М.: Агрохим, 2000.

**Модельные ассоциации актиномицетов и цианобактерии  
*Anabaena variabilis* Kütz и их способность к преобразованию  
структуры глинистых минералов**

© 2009. Г.М. Зенова<sup>1</sup>, д.б.н., профессор, Е.А. Иванова<sup>1</sup>, аспирант,  
Е.О. Омарова<sup>1</sup>, к.б.н., м.н.с., Г.М. Николаев<sup>1</sup>, к.б.н., с.н.с.,  
Е.С. Лобакова<sup>1</sup>, д.б.н., зав. кафедрой, Н.П. Чижикова<sup>2</sup>, д.б.н., в.н.с.,  
<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
<sup>2</sup>Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН,  
e-mail: zenova38@mail.ru

Установлено изменение свойств актиномицетов и цианобактерии в экспериментальных цианобактериально-актиномицетных ассоциациях по сравнению с монокультурами. В ассоциациях отмечено увеличение азотфиксирующей активности *Anabaena variabilis* и выявлены морфологические изменения её клеток, не наблюдаемые в монокультуре. Наблюдаются изменения антимикробных свойств таллома ассоциации по сравнению с монокультурами. Методом ядерного магнитного резонанса показано наличие свободной воды в лиофильно высушенных образцах ассоциации и отсутствие воды в монокультурах. Наблюдаются изменения в структуре глинистых минералов под влиянием роста экспериментальных цианобактериально-актиномицетных ассоциаций.

Quality changes of actinomycetes and cyanobacteria in experimental associations in comparison with monocultures were revealed. In the associations the increase of nitrogen fixation activity of *Anabaena variabilis* and morphological changes of its cells were found out, and they do not take place in monocultures. Anti-microbe effect of thallus is changed as compared with monocultures. By means of nuclear magnetic resonance there was shown presence of free water in lyophilic association patterns and absence of water in monocultures. Changes of clay minerals structure under the influence of cyanobacterial-actinomycetes associations growth were found out.

Ключевые слова: актиномицеты, цианобактерии, ассоциации,  
структурные состояния минералов

Для описания ассоциативных отношений между организмами в многокомпонентных системах применяется термин «ассоциативный симбиоз» [1 – 4]. В последнее десятилетие ассоциативные микроорганизмы выявлены в составе большинства изученных растительных симбиозов, однако среди исследователей нет единого мнения о том, какую роль они играют в процессе формирования, стабильного существования и продуктивности симбиозов (бобово-ризобияльного, актиноризного, микоризах, синцианозах). Примером многокомпонентного симбиоза может являться и синцианоз саговниковых растений [1]. Установлено, что в бактериальном ассоциативном сообществе микросимбионтов кораллоидных корней (инфицированных доминантным микросимбионтом-цианобактериями) саговниковых растений преобладают бактерии-гидролитики, в том числе актиномицеты [4].

Микробные сообщества с участием цианобактерий (ЦБ) и актиномицетов широко распространены в природе: циано-бактериальные сообщества, формирующиеся в пятнах «цветения» почвы [5], циано-бактериальные маты

гидротерм и лагун [6], альго-бактериальные ассоциации с лишайникоподобным талломом (актинолишайники) в местах первичного почвообразования на осадочных карбонатных породах [7, 8]. Повсеместно распространены как симбиозы азотфиксирующих цианобактерий с эукариотными организмами (простейшими, беспозвоночными животными, грибами, растениями) (синцианозы) [9 – 11], так и симбиозы актиномицетов с растениями (актиноризы) [12, 13], почвенными животными [7].

Принимая участие во многих биохимических процессах – накоплении органического вещества, разрушении минеральных субстратов, распределении и аккумуляции различных элементов – альго-цианобактериальные сообщества обуславливают изменение среды, ведущее к формированию почвы [14]. Почвообразующую деятельность современных цианобактериальных сообществ, проявляющуюся в формировании наскальных обрастаний и преобразовании минеральной части почвообразующей породы, отмечали многие исследователи [15 – 18]. Однако потенциал функ-

циональных проявлений цианобактериально-актиномицетных ассоциаций в природных сообществах полностью не изучен.

Целью настоящей работы является анализ изменения структурного состояния минералов пород под влиянием экспериментальных ассоциаций, состоящих из цианобактерии и актиномицетов.

### Материалы и методы

Объектами исследования служили следующие культуры. Аскеничная культура свободноживущей гетероцистообразующей цианобактерии *Anabaena variabilis* Kutz. ATCC 29413, полученная из музея кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Стрептомицеты, выделенные из апогеотропных корней саговникового растения *Strangeria eriopus* (G. Kuntze) Nash., идентифицированные как *Streptomyces cyaneofuscatus* шт. №1 и *Streptomyces pluricolorescens* шт. №2. Саговниковое растение выращивалось в условиях субтропического климата в оранжерее ГБС РАН им. Н.В. Цицина, возраст растения составлял 15 лет. Родовую и видовую принадлежность исследуемых актиномицетов проводили на основании фенотипических и молекулярно-генетических методов секвенирования фрагмента гена 16S рРНК.

В работе использовали образцы глинистых пород из музея кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Используются образцы тонкопылеватой размерности вермикулита, состоящего из вермикулита (Ca, Mg,...) (Mg, Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>[(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]·4H<sub>2</sub>O с примесью слюды; гумбина, со значительным количеством монтмориллонита (Ca, Mg, ...) (Al, Fe<sup>3+</sup>, Mg)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>[(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]·nH<sub>2</sub>O.

В работе использовали следующие методические приёмы. Выделение актиномицета проводили из предварительно растертых корней *S. eriopus* методом «рассыпки» на агаризованную питательную среду. Использовали среду минеральный агар 1 (Г1) [19]. Принадлежность актиномицета к роду *Streptomyces* определяли согласно определителю [20] по следующим морфологическим признакам: отсутствие фрагментации мицелия, наличие воздушного и субстратного мицелия, наличие цепочек спор на воздушном мицелии, отсутствие спор на субстратном мицелии. Видовую идентификацию проводили согласно определителю [19] по культуральным, морфологическим и физиологическим признакам.

Филогенетическое положение выделенных актиномицетов определяли на основании секвенирования гена 16S рРНК. Выделение ДНК из актиномицетов осуществляли согласно методу [21]. Концентрация полученных препаратов ДНК составляла 30-50 мкг/мл. РНК в полученных препаратах присутствует в следовых количествах (менее 1%, согласно данным электрофоретического анализа). Всего было получено 2 независимых препарата ДНК. Для проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР) и дальнейшего секвенирования ПЦР-фрагментов гена 16S рРНК была использована система универсальных праймеров [22].

Реакционная смесь для ПЦР включала: праймеры – по 25 пмоль каждого; 10хбуфер – 2,5 мкл; 2ММ dNTP – 2,5 мкл; BioTag-полимераза («Диалат», Москва, 5Е/мкл) – 0,2 мкл; ДНК – матрица – 50 нг; Н<sub>2</sub>O – 25 мкл. Реакцию проводили по следующей схеме: 30 циклов: 94 °С – 0,5 мин.; 45 °С – 1 мин.; 72 °С – 1 мин.; окончательная полимеризация – 7 мин.

Продукты ПЦР анализировали электрофоретически в 2% геле агарозы при напряжении электрического поля 6 В/см.

Первичный анализ сходства нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК изучаемых штаммов был проведён с помощью программы BLAST. Построение бескорневых филогенетических деревьев исследуемых актиномицетов производили с помощью методов, реализованных в пакете программ MEGA 4,0.

Монокультуру ЦБ поддерживали на среде BG-11 (среда Берджи) следующего состава (г/л): NaNO<sub>3</sub> – 1,5; K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 0,04; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O – 0,075; CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O – 0,036; лимонная кислота – 0,006; железо аммиачное лимоннокислое – 0,006; ЭДТА – 0,0011; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 0,02; р-р микроэлементов (1мл). Пересев монокультуры ЦБ проводили один раз в месяц (объём инокулята составлял ~ 10% от объёма свежей среды). Культивирование ЦБ проводили на жидких и плотных (2% агара) питательных средах в люминистате при постоянном освещении (780 лк, t<sup>0</sup> 24+1 °С) в течение 3 недель.

Стрептомицеты, выделенные из апогеотропных корней саговниковых растений и идентифицированные как *Streptomyces cyaneofuscatus* шт. 1 и *S. pluricolorescens* шт. 2, и *Anabaena variabilis* были предварительно проверены на отсутствие взаимного антагонизма методом «блоков» [19] и наличие положительного таксиса цианобактерии к стрептомицетам методом [29].

Для получения ассоциации в жидкой питательной среде смешивали биомассы стрептомицета и ЦБ (1:1), выращенные в погруженной культуре. Использовали среду ВГ-11. Культивирование смешанных культур проводили в люминостате при постоянном освещении (780 лк,  $t^{\circ} 24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ).

Антимикробную активность монокультур цианобактерии, стрептомицета *Streptomyces pluricolaroscens* и экспериментальной ассоциации определяли методом «блоков». Использовали следующие тест-культуры микроорганизмов: грибы – *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium* sp.; *Mucor hiemalis*; дрожжи – *Rhodotorula glutinis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Metchnikowia pulcherrima*; бактерии – *Flavobacterium* sp., *Bacillus brevis*, *Micrococcus* sp., *Jantirobacterium* sp., *Rhodococcus* sp., *Methylobacterium* sp.; актиномицеты – *Streptomyces pluriocoloroscens*, *S. cyaneofuscatus*, *S. odorifer*, *Streptomyces* sp. шт. 175.

Микроскопические исследования цианобактерий в монокультуре и ассоциациях со стрептомицетами проводили при помощи оптического Zeiss Axioscop и сканирующего электронного Hitachi 405 S (Япония) микроскопов. Фиксацию проб для изучения материала в сканирующем микроскопе проводили согласно методике [23]. Использовали инструментальное увеличение от 60 до 20000 и ускоряющее напряжение 15 кВ.

Наличие воды в лиофильно высушенной цианобактериально-актиномицетной ассоциации определяли по спектрам ЯМР высокого разрешения ( $^1\text{H}$  600 МГц) [24] на томографе ЯМР – Avance 600 фирмы Bruker учебно-научного межфакультетского и междисциплинарного Центра магнитной томографии и спектроскопии МГУ имени М.В. Ломоносова и по кривым спада спинного эха [25]. Для проведения измерений на установке ЯМР-спиновое эхо 0,5 г исследуемого образца помещали в ампулу. Частота работы установки ЯМР-спиновое эхо около 20 МГц, точность измерений 7%. С целью исключения влияния диффузии, измерение времени спин-спиновой релаксации протонов ( $T_2$ ) проводили с помощью метода Карр-Парселла-Мейбума-Джилла ( $90^{\circ}$ -п  $180^{\circ}$  импульсов) [26]. Для высушивания исследуемые образцы помещали в лиофильную установку, перед сушкой образцы замораживали – при  $20^{\circ}\text{C}$ , сушили в вакууме ( $10^{-3}$  торр, 10 ч.). На последних этапах сушки образцы нагревались до комнатной температуры.

Опыты по разрушению кристаллической решетки минералов проводили в стеклянных

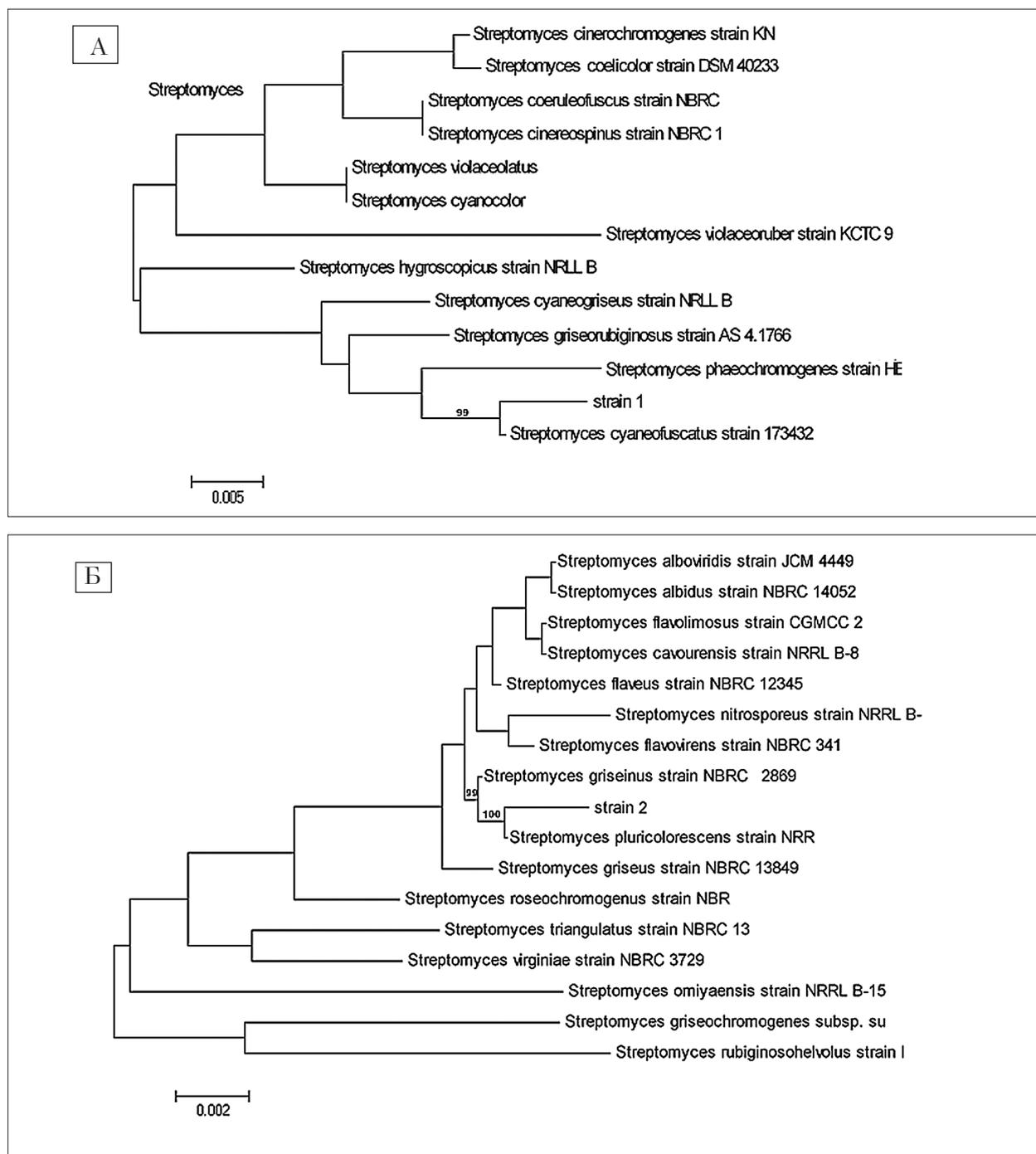
стаканах – фильтрах с впаянной пористой мембраной, на которую сначала накладывали фильтровальную бумагу, затем помещали слой (около 5 мм) измельченной до состояния порошка породы, на которую наносили в разных вариантах опыта слой биомассы цианобактерии, стрептомицета или ассоциации (около 5 мм). Для поддержания роста ЦБ и развития ассоциации слои прокапывали питательной средой ВГ-11 один раз в 2-3 дня в течение всего опыта. При этом свежая культуральная среда не только обеспечивала рост ЦБ, но и вымывала продукты метаболизма в слои минеральной фазы. Длительность проведения опытов составляла 1,5 месяца.

Минералогический состав пород определяли рентгенодифрактометрическим методом с помощью универсального рентгенодифрактометра XZG фирмы Carl Zeiss Yena (Германия). Режим работы аппарата в процессе съёмки сохраняли постоянным. Для выявления изменений структурного состояния минералов съёмка проведена при 30 кВ, 25 мА. Использовано медное излучение, фильтрованное никелем. Рентгенодифрактограммы получены для образцов: воздушно-сухих, для насыщенных этиленгликолем образцов и прокалённых при температуре  $550^{\circ}\text{C}$  в течение 2 часов. Диагностику минералов проводили по общепринятым руководствам [27, 28].

### Результаты и их обсуждение

Исследуемые штаммы актиномицетов на основании фенотипических признаков принадлежали к роду *Streptomyces* и были идентифицированы как *S. cyaneofuscatus* шт. 1. и *S. pluricolaroscens* шт. 2. Проведение предварительного BLAST- анализа секвенированного фрагмента гена 16S рРНК штаммов 1 и 2, соответствующего (*E. coli*) позициям с 36 по 1450, подтвердило, что исследуемые штаммы принадлежат к роду *Streptomyces* актиномицетной линии грамположительных бактерий. Наиболее близкими к полученной последовательности для штамма 1 были аналогичные последовательности типового штамма *Streptomyces cyaneofuscatus* и для штамма 2 – последовательности типового штамма *S. pluricolaroscens* (рис. 1).

Ассоциации стрептомицетов и цианобактерии давали активный рост как на жидких, так и агаризованных питательных средах, образуя таллом, состоящий из переплетённых нитей цианобактерии и гиф стрептомицета. При росте ассоциаций, сформированных из А.



**Рис. 1.** Филогенетическое положение изучаемых штаммов актиномицетов, выделенных из апогеотропных корней саговниковых растений. А – *S. cyanofuscatus* шт. 1, Б – *S. pluricolorescens* 2 шт. Масштаб показывает эволюционное расстояние, соответствующее 2-м нуклеотидным заменам на каждые 100 нуклеотидов. Цифрой показана достоверность ветвления, установленная с помощью «bootstrap»-анализа 100 альтернативных деревьев (значимыми признаются значения больше 70)

*variabilis* и *S. pluricolorescens* шт. 2, а также из *A. variabilis* и *S. cyanofuscatus* шт. 1, в жидкой питательной среде в условиях стационарного культивирования отмечали образование коагрегатов, состоящих из комочков стрептомицетного мицелия, оплетённых нитями ЦБ. Коагрегаты не разрушались при отмывании.

Сравнительный анализ антагонистической активности монокультур ЦБ *A. variabilis*

и стрептомицета *S. pluricolorescens*, а также таллома цианобактериально-актиномицетной ассоциации, состоящей из этих культур, демонстрирует изменение антимикробных свойств ассоциации по сравнению с монокультурами компонентов. Традиционно продуцентами антибиотиков считались актиномицеты. Однако в настоящее время известно образование широкого спектра токсинов цианобактериального

происхождения, обладающих антимикробным действием [9].

Отмечено проявление антимикробных свойств ассоциацией в отношении следующих тест-культур *Methilobacterium* sp., *Flavobacterium* sp., *Rhodococcus* sp., *Metchnikowia pulcherrima*, в то время как монокультуры цианобактерии и стрептомицета подобных свойств к перечисленным тест-объектам не проявляли (табл.). В случае использования в качестве тест-культур *Bacillus brevis*, *Micrococcus* sp., *Streptomyces* sp. шт. 175, *Saccharomyces cerevisiae* отмечается усиление антибиотической активности таллома ассоциации по сравнению с монокультурами.

Наблюдение за изменением значения рН культуральной жидкости в процессе роста ассоциации и составляющих её компонентов – стрептомицета *S. pluricologrescens* и ЦБ *A. variabilis* – показало, что в процессе роста цианобактериально-актиномицетной ассоциации происходит значительное подщелачивание среды: значения рН изменяются от 7,7 в начале опыта до 8,7 на 21-е сутки роста ассоциации.

В культуральной жидкости монокультур стрептомицета и цианобактерии значительных изменений рН среды в процессе роста не

происходит. Можно предположить, что интенсивность метаболических процессов в ассоциации усиливается по сравнению с монокультурами стрептомицета и ЦБ.

Отмечена стимуляция азотфиксирующей способности ЦБ *A. variabilis* в модельных ассоциациях со стрептомицетами по сравнению с монокультурой. Азотфиксирующая активность ЦБ в экспериментальных цианобактериально-актиномицетных ассоциациях оказалась в десятки раз выше азотфиксирующей способности монокультуры.

Стимуляция азотфиксирующей активности цианобактерии *A. variabilis* в ассоциации со стрептомицетами по сравнению с монокультурой ЦБ коррелирует с увеличением доли специализированных азотфиксирующих клеток – гетероцист в нитях ЦБ в ассоциации со стрептомицетом *S. pluricologrescens* шт. 2 по сравнению с монокультурой ЦБ. Доля (%) гетероцист от среднего числа клеток в трихомах цианобактерии в монокультуре составляет  $3,9 \pm 2,4$ , в ассоциации со стрептомицетом –  $9,5 \pm 2,9$ .

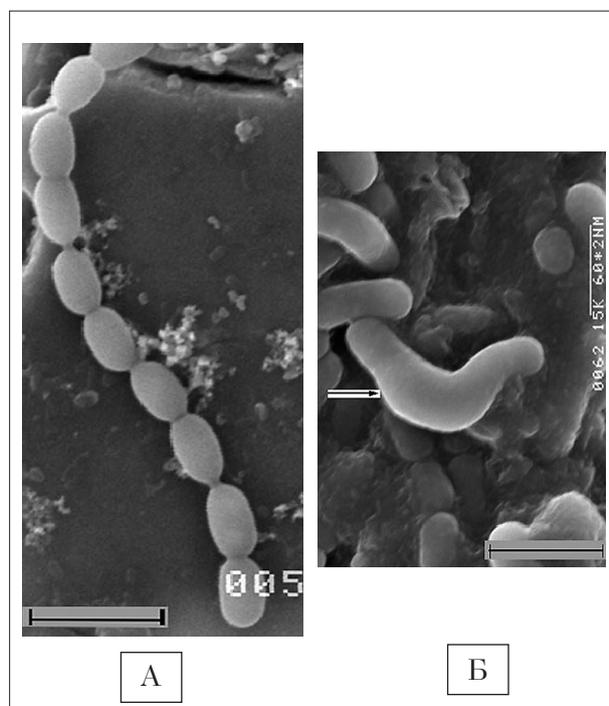
Таким образом, показано, что в экспериментальных ассоциациях, сформированных из цианобактерии *A. variabilis* со стрептомицета-

Антагонистические свойства монокультур цианобактерии *Anabaena variabilis*, стрептомицета *Streptomyces pluricologrescens* и таллома ассоциации

Таблица

Тест-культуры	<i>Streptomyces pluricologrescens</i>	<i>Anabaena variabilis</i>	Ассоциация
<i>Propionibacterium</i> sp.	0	0	0
<i>Janthinobacterium</i> sp.	11	4	12,5
<i>Methilobacterium</i> sp.	0	0	8
<i>Flavobacterium</i> sp.	0	0	9
<i>Rhodococcus</i> sp.	0	0	2
<i>Bacillus cereus</i>	0	0	0
<i>Bacillus brevis</i>	10	6	15
<i>Micrococcus</i> sp.	5	11	15
<i>Streptomyces. odorifer</i>	8	7	9
<i>S. cyaneofuscatus</i>	0	0	0
<i>S. pluricologrescens</i>	0	0	0
<i>Streptomyces</i> sp. шт. 175	6	0	13
<i>Rhodotorula glutinis</i>	0	0	0
<i>Metchnikowia pulcherrima</i>	0	0	5
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13	9	16,5
<i>Penicillium</i> sp.	0	0	0
<i>Fusarium</i> sp.	0	0	0

Примечание: цифры обозначают радиус (мм) зоны отсутствия роста тест-микроба вокруг «блока» с ростом испытуемой культуры.



**Рис. 2.** Морфологические формы цианобактерии *A. variabilis* ATCC 29413 в монокультуре (А) и формы несбалансированного роста цианобактерии *A. variabilis* ATCC 29413 в ассоциации со стрептомицетом *S. pluricolorescens* шт. 2 (Б). Стрелками обозначены ромбовидные (Б) клетки цианобактерии. Шкалы на фотографиях соответствуют 5 мкм.

ми, выделенными из природных синцианозов саговниковых растений – *S. cyanofuscatus* (шт.1) и *S. pluricolorescens* (шт.2) обнаружены черты симбиотического взаимодействия компонентов, проявляющиеся в увеличении азотфиксирующей активности цианобактерий, изменении антимикробных свойств таллома по сравнению с монокультурами.

В коагрегатах модельной ассоциации *A. variabilis* и *S. pluricolorescens* (шт. 2) при изучении в сканирующем электронном микроскопе, наряду с вегетативными клетками и гетероцистами, обнаружены формы несбалансированного роста цианобактерии в виде гигантских, дисковидных, изогнутых и ромбовидных клеток (рис. 2, Б). В монокультуре *A. variabilis* подобных морфологически измененных клеток не обнаружено (рис 2, А).

В коагрегатах ассоциаций доля гетероморфных клеток в трихомах цианобактерии составляла до 34% от среднего их числа в образце.

В экспериментальных ассоциациях на поверхности коагрегатов обнаружена гиперпродукция слизистого матрикса в виде мелковолоконистой сеточки, в которую оказываются погружены нити цианобактерии и гифы

стрептомицета, что свидетельствует о возникновении специфической ассоциативной морфоструктуры. Наличие поверхностного слизистого матрикса затрудняет диссоциацию таких агрегатов на компоненты при многократном отмывании.

Таким образом, морфологические особенности цианобактерий в составе модельных цианобактериально-актиномицетных ассоциаций свидетельствуют о том, что у ЦБ изменяются физиологические свойства, определяющие особенности их функционирования в составе симбиоза по сравнению со свободноживущими цианобактериями.

Морфологические изменения ЦБ (укорочение нитей, увеличение размеров клеток, возрастание доли гетероцист от числа вегетативных клеток) наблюдаются как в природных симбиозах с грибами (лишайники) [10, 29], высшими растениями [11], так и в модельных ассоциациях с культурами растительных клеток при компартиментации внутри тканей макросимбионтов [29, 30]. При росте в ассоциациях у цианобактерий обнаруживаются также признаки нарушения клеточного деления. В зонах локализации симбиотических цианобактерий в растительных синцианозах микросимбионты образуют клеточные формы, специализирующиеся на гиперпродукции слизеподобного вещества. Предполагается, что экстрацеллюлярные полимеры (преимущественно полисахаридной природы) играют роль в межклеточном транспорте метаболитов [11, 31, 32]. Такие изменения цианобионтов считаются типичными для природных симбиозов с высшими растениями. Можно предположить, что в сконструированных нами модельных ассоциациях в условиях тесного контакта с актиномицетом и воздействия его метаболитов у цианобактерий происходят сходные морфофизиологические изменения.

В наших исследованиях методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) высокого разрешения и ЯМР-спиновое эхо показано, что в лиофильно высушенных образцах цианобактериально-актиномицетной ассоциации, сформированной *A. variabilis* и стрептомицетом *S. pluricolorescens* шт. 1, присутствует фракция подвижных протонов (2,7% от веса образца,  $T_2 = 16$  мс), которая сохраняется и при низких температурах. На кривой спектра протонного резонанса лиофильно высушенного образца цианобактериально-актиномицетной ассоциации отмечен химический сдвиг от тетраметилсилана около 5-миллионных долей (м. д), характерный для протонов воды.

В лиофильно высушенных монокультурах стрептомицетов и цианобактерии, используемых в нашей работе для формирования цианобактериально-актиномицетных ассоциаций, вода отсутствует.

Известно (33, 34), что в лиофильно высушенных монокультурах стрептомицета и зелёной водоросли *Chlorella vulgaris* вода отсутствует, в то время как в лиофильно высушенном лишайникоподобном талломе, экспериментально сформированном этими организмами, регистрируется присутствие подвижных протонов воды (около 3%).

Присутствие подвижной воды в высушенных цианобактериально-актиномицетных ассоциациях способствует адаптации ассоциации к экстремальным факторам среды обитания [35]. Известна устойчивость микроорганизмов к стрессовым факторам в микробных консорциумах – биопленках [36]. Можно предположить, что в условиях ассоциации происходят значительные структурные изменения, которые и обуславливают появление фракции подвижных протонов в лиофильно высушенных образцах ассоциативного таллома.

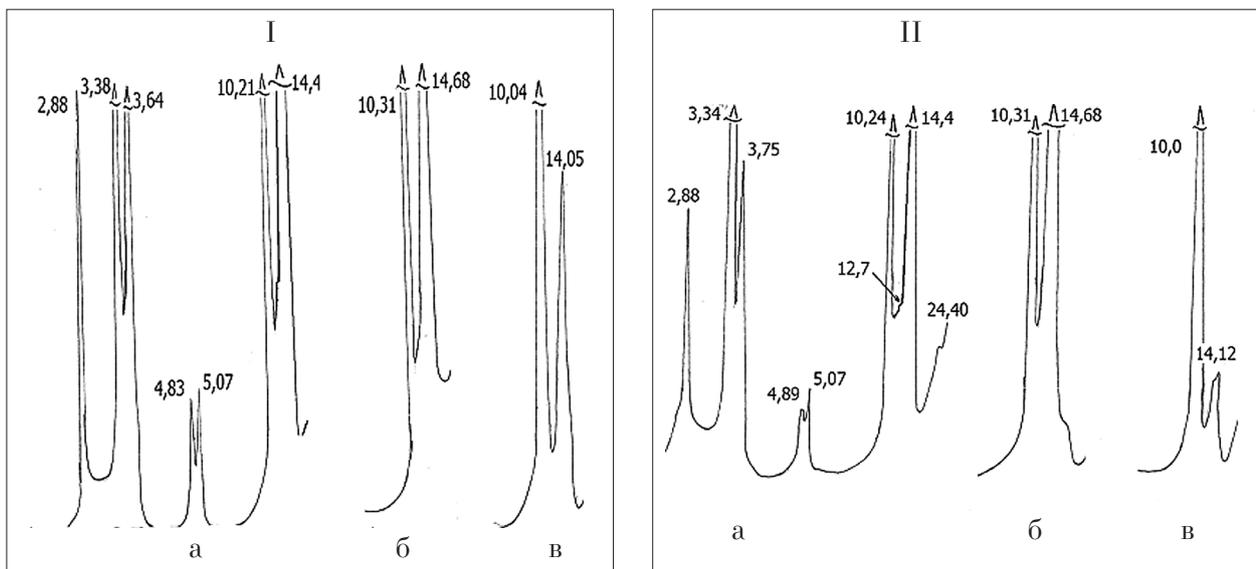
Полученные данные морфолого-физиологических изменений компонентов модельных цианобактериально-актиномицетных ассоциаций свидетельствуют о симбиотическом характере их взаимодействия.

Актиномицеты как ассоциативные симбионты могут оказывать позитивное воздействие

на развитие растения хозяина и на симбиоз в целом за счёт стимулирующего влияния на азотфиксирующую способность цианобактерии, защиты растения и симбиоза в целом от патогенных микроорганизмов за счёт выделения антибиотиков.

Культивировали ассоциацию, сформированную из *S. cyaneofuscatu* шт. 1 и *A. variabilis*, на породе, состоящей главным образом из двух компонентов – вермикулита и биотита. Диагностика вермикулита основана на наличии интенсивного отражения первого порядка, соответствующего межплоскостному расстоянию 14,4 Å и серии базальных рефлексов с наиболее сильными рефлексами 4-го и 5-го порядков, соответственно 3,64 и 2,88 Å (рис. 3, I, а). Насыщение образцов этиленгликолем не изменяет величин базальных межплоскостных расстояний (рис. 3, I, б). Прокаливание при 550 °С в данном случае не привело к полному сжатию до 10,0 Å решётки минерала, сохранился остаточный продукт, отличающийся значительным снижением интенсивности первого рефлекса (рис. 3, I, в).

Биотит диагностирован по наличию целочисленной серии отражений кратных 10,2 Å, а именно  $d_{002} = 5,07$  Å,  $d_{003} = 3,38$  Å (рис. 3, I, а). Эти отражения не изменяются при насыщении образца этиленгликолем (рис. 3, I, б) и при прокаливании образца при 550 °С в течение 2-х часов (рис. 3, I, в). Выращивание ассоциации, состоящей из *S. cyaneofuscatu*



**Рис. 3.** Рентген-дифрактограмма глинистых минералов в породе вермикулита: I – исходный образец вермикулита; II – образец после выращивания таллома ассоциации цианобактерии *Anabaena variabilis* и стрептомицета *Streptomyces cyaneofuscatu*. Условные обозначения здесь и далее: а – воздушно-сухой образец породы; б – образец после сольватации этиленгликолем; в – образец после прокаливании при 550 °С в течение 2 ч. Высота и ширина пика – интенсивность рефлекса минерала, цифры – межплоскостное расстояние минералов, выраженное в ангстремах

шт.1 и *A. variabilis*, привело к преобразованиям минералов, выраженным в уменьшении интенсивности рефлексов как вермикулита, так и биотита. Снижение интенсивности базальных отражений в области  $d_{001}$ ,  $d_{004}$  и  $d_{005}$  в три раза свидетельствует о процессе разрушения этого компонента породы (рис. 3, II, а). Интенсивность рефлексов биотита по сравнению с вермикулитом изменилась в меньшей степени. Однако здесь отмечается образование набухающей фазы – продукта трансформации биотита в смешаннослойное слюда-сметитовое образование, что диагностируется по наличию рефлексов 12,7 Å и 24,4 Å (рис. 3, II, а).

Сравнение результатов, полученных в экспериментах с вермикулитом, с данными, полученными ранее [37] в наших опытах с каолинитом, свидетельствует о различии в процессах преобразования глинистых минералов под влиянием продуктов жизнедеятельности ассоциации, компонентами которой являются *S. cyaneofuscatus* и *A. variabilis*, что связано с кристаллохимией минералов и их устойчивостью к процессам выветривания. По сравнению с каолинитом процесс преобразования вермикулита произошёл более интенсивно. Значительно сократилось количество вермикулита (уменьшилась интенсивность основных рефлексов).

Выявлено, что скорость процесса трансформации слюд в смешаннослойное образование зависит от их строения – триоктаэдрические слюды (биотит, входящий в состав вермикулита) трансформируются значительно быстрее, чем диоктаэдрические слюды (слюда, входящая в состав породы каолина [37]).

Рентгенографирование ориентированных препаратов породы гумбрин свидетельствует о том, что порода мономинеральна и состоит из минерала группы смектитов, а именно из монтмориллонита. В исходном воздушно-сухом состоянии минерал даёт отражения с межплоскостным расстоянием 14 Å. Этот рефлекс всегда интенсивен, последующая целочисленная серия рефлексов имеют незначительную интенсивность (рис. 4, I, а). Сольватация образца этиленгликолем привела к увеличению межплоскостного расстояния с 14 Å до 16,9 Å, здесь отмечается новая целочисленная серия отражений, чётко диагностируется рефлекс в области 8,6 Å (рис. 4, I, б). Прокаливание образца при 550° С привело к сокращению межплоскостного расстояния до 10,0 Å (рис. 4, I, в). Наличие рефлекса при 4,07 Å свидетельствует о примеси кристобалита, рефлекс 3,35 Å – о примеси кварца.

Исследование влияния жизнедеятельности микробных ассоциаций на минералы породы гумбрин проводили с использованием двух ассоциаций: ассоциации *A. variabilis* и *S. pluricologrescens* шт. 2 и ассоциации *A. variabilis* и *S. cyaneofuscatus* шт.1. Использование в качестве мицелиального компонента стрептомицета *S. pluricologrescens* привело к существенному снижению интенсивности основного (14 Å) рефлекса минерала (рис. 4, II, а). Одновременно в образце резко увеличилась интенсивность рефлексов 4,4; 4,07; 3,35 Å. Можно предположить, что произошло разупорядочивание структуры минералов, снижение ориентации кристаллов по оси с за счёт агрегирования минералов с продуктами

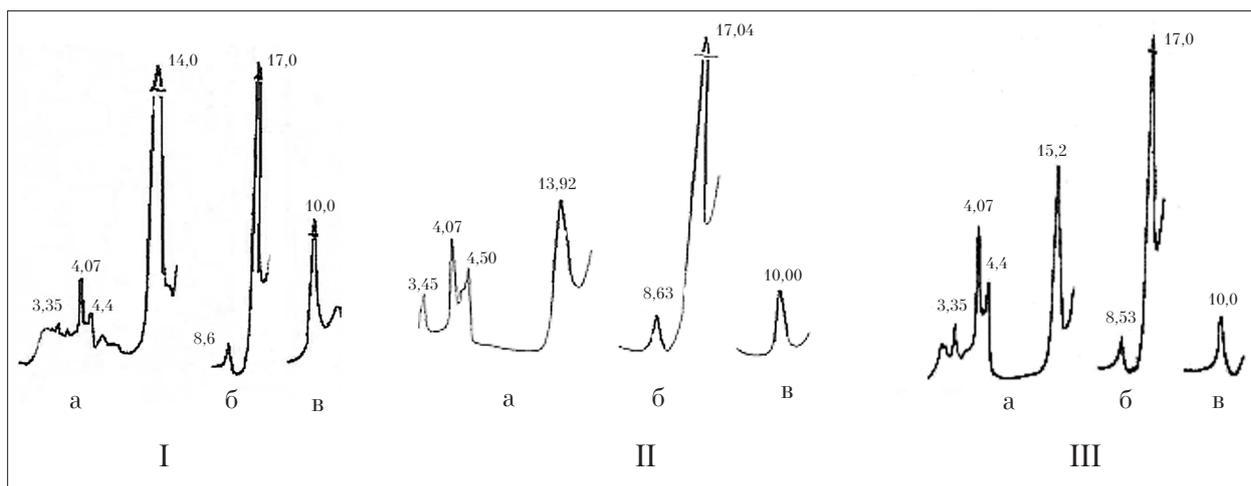


Рис. 4. Рентген-дифрактограмма глинистых минералов в породе гумбрин: I – исходный образец гумбрин; II – образец после выращивания таллома ассоциации цианобактерии *Anabaena variabilis* и стрептомицета *Streptomyces pluricologrescens*; III – образец после выращивания таллома ассоциации цианобактерии *Anabaena variabilis* и стрептомицета *Streptomyces cyaneofuscatus*. Другие обозначения см. рис. 3.

жизнедеятельности микробных сообществ. В пользу этого довода говорит увеличивающаяся интенсивность общего рефлекса 4,4 Å. Относительное снижение количества монтмориллонита также подтверждается увеличением кварца и кристобалита в образце (рис. 4, II, а). Сольватация образца этиленгликолем приводит к расширению, а прокаливанию при 550°C – к сжатию указанного выше межплоскостного расстояния до значений 17,04 и 10,00 соответственно (рис. 4, II, б, в).

Цианобактериально-актиномицетная ассоциация, в которой в качестве мицелиального компонента использовался стрептомицет *S. cyaneofuscatius*, оказала меньшее влияние на структурное состояние минеральной составляющей. Это выражается в уменьшении интенсивности и большей чёткости рефлекса монтмориллонита  $d_{001} = 15,2 \text{ \AA}$  (рис. 4, III, а). Результаты, полученные при сольватации и прокаливании образца, аналогичны описанным в предыдущем варианте (рис. 4, III, б, в).

Таким образом, показана способность экспериментальных ассоциаций цианобактерий с актиномицетами изменять структурные параметры глинистых минералов (вермикулита, биотита, монтмориллонита). Преобразования глинистых минералов происходят и в современных почвах. Взаимодействие почвенных организмов с минералами приводит к разупорядочиванию структуры минералов, совершаются трансформационные преобразования деградиационного типа и освобождение минеральных элементов, которые становятся достоянием микробных сообществ почв.

Можно предположить, что процессы преобразования породы могли происходить и в докембрии, когда начался гидрозёмный процесс почвообразования – первый этап единого почвообразовательного процесса на Земле, так как возраст циано-бактериальных сообществ, сохранившихся в виде литифицированных строматолитов, составляет примерно 3,5 млрд. лет. В результате этих процессов на сформированных субстратах поселялись более высокоразвитые организмы, в частности, растения, ускоряющие процесс почвообразования.

### Литература

1. Бухарин О.В., Лобакова Е.С., Немцева Н.В., Черкасов С.В. Ассоциативный симбиоз. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 264 с.

2. Емцев В.Т. Ассоциативный симбиоз почвенных diaзотрофных бактерий и овощных культур // Почвоведение. 1994. № 4. С.74-84.

3. Проворов Н.А. Генетико-эволюционные основы учения о симбиозе // Журн. общ. биологии. 2001. Т. 62. С. 472-495.

4. Лобакова Е.С., Оразова М.Х., Добровольская Т.Г. Структура микробных комплексов апогеотропных корней и прикорневой зоны саговниковых растений // Микробиология. 2003. Т. 72. С. 707-713.

5. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 333 с.

6. Бактериальная палеонтология. / Под ред. А.Ю. Розанова. М. 2002. 188 с.

7. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. М. ГЕОС. 2001. 257 с.

8. Kalakoutskii L.V., Zenova G.M., Soina V.S., Likhacheva A.A. Associations of Actinomycetes with Algae. // Actinomycetes. 1990. V. 1(2). P. 27-42.

9. Cyanobacteria in symbiosis / Eds. Rai A.N., Bergman B., Rasmussen U. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 368 p.

10. Rai A.N., Bergman B. Cyanolichens. // Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy. 2002. V. 102B (1). P. 19-22.

11. Adams D.G., Bergman B., Nierzwicki-Bauer S.A., Rai A.N., Schubler A. Cyanobacterial-Plant Symbioses // The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria 3d ed./ Eds. Dworkin M., Falkow S., Rosenberg E., Schleifer K.-H., Stackebrandt E. New York: Springer, 2006. V. 1. Symbiotic Associations, Biotechnology, Applied Microbiology. P. 331-363.

12. Калакуцкий Л.В., Шарая Л.С. Актиномицеты и высшие растения. Успехи микробиологии. 1990. Т. 24. С. 26-65.

13. Huss-Danell K. Actinorhizal symbioses and their N<sub>2</sub> fixation // New Phytol. 1997. V.136. P. 375-405.

14. Браун Т. Рентгеновские методы изучения структуры глинистых минералов. М.: Мир, 1965. 600 с.

15. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования // Ленинград: Наука, 1980. 187 с.

16. Сушкина Н.Н., Цюрупа И.Г. Микрофлора и первичное почвообразование. М.: Изд-во МГУ, 1973. 158 с.

17. Чижикова Н.П., Зенова Г.М., Манучаров А.С., Омарова Е.О., Орлеанский В.К. Изменения в структуре глинистых минералов под влиянием альгобактериальных сообществ // Почвоведение. 2005. № 8. С. 1012-1015.

18. Budel B., Weber B., Kuhl M., Planz H., Sultemeyer D., Wessels D. Reshaping of sandstone surfaces by cryptoeolith cyanobacteria bioalkalization causes chemical weathering in arid landscapes // Geobiology. 2004. V. 2(4). P. 261-268.

19. Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешникова М.А., Терехова Л.П., Максимова Т.С. Определитель актиномицетов. М.: Наука, 1983. 245 с.

20. Определитель бактерий Берджи. М.: Мир. 1997.
21. Булыгина Е.С. Выделение ДНК из бактерий // Микробиология. 2002. Т. 71. № 4. С. 500-508.
22. Edwards U., Rogall T., Bloeker H., Ende M.D., Boeettge E.C. Isolated and direct complete nucleotide determination of entire genes, characterization of gene coding for 16 S ribosomal RNA // Nucl. Acids Res. 1989. V. 17. P. 7843 – 7853.
23. Baulina O.I., Lobacova E.S., Korzhenevskaya T.G., Gusev M.V. Ultrastructure of ginseng cells and the cyanobacteria *Chlorogloeopsis fritschii* in the association cultivated in the dark // Moscow University Biological Sciences Bulletin (Vestnik Moskovskogo Universiteta/ Biologiya) / 1995. V. 50. № 2. P.1-11.
24. Лундин Ф.Г., Федин Э.И. ЯМР- спектроскопия. М.: Наука, 1986. 222 с
25. Фаррар Т., Беккер Э. Импульсная и Фурье-спектроскопия ЯМР. М.: Мир, 1973. 162 с.
26. Зорин В.Е., Лундин А.Г. Ядерный магнитный резонанс как метод исследования структуры и динамики в конденсированных средах // Вестник РФФИ. № 4 (54) июль-август. 2007. С. 25-49.
27. Градусов Б.П. Смешаннослойные минералы в почве. М.: Наука, 1976. 126 с.
28. Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Глинистые материалы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.
29. Stewart W.D.P., Rowell P. Modifications of nitrogen-fixing algae in lichen symbioses // Nature. 1977. V. 265. P. 371-372.
30. Gusev M.V., Baulina O.I., Gorelova O.A., Lobakova E.S., Korzhenevskaya T.G. Artificial Cyanobacterium-Plant Symbioses // In: Cyanobacteria symbiosis. A.N. Rai, B. Bergman, U. Rasmussen (Eds.). Kluwer Acad. Publ.: Dordmoot. 2002. P. 253-313.
31. Korzhenevskaya T.G., Baulina O.I., Gorelova O.A., Lobakova E.S. et al. Artificial Sycyanoses: the potential for modeling and analysis of natural symbioses. // Symbiosis. 1993. V. 15. P. 77-103.
32. Баулина О.И., Лобакова Е.С. Необычные клеточные формы с гиперпродукцией экстрацеллюлярных веществ в популяциях цианобионтов саговниковых // Микробиология. 2003. Т. 72. С. 792-805.
33. Зенова Г.М., Николаев Г.М., Сумарукова И.Г., Калакуцкий Л.В. Сохранение жизнеспособности компонентов актиномицетно-водорослевой ассоциации при низкой влажности // Биологические науки. 1986. № 6. С. 79-83.
34. Николаев Г.М., Зенова Г.М., Николаева Ю.Г., Савельев И.Б. Влияние высушивания и низких температур на водоросли, лишайники и искусственные ассоциации с лишайникоподобным талломом // Современные проблемы альгологии. Материалы международной научной конференции и VII Школы по морской биологии. Ростов-на-Дону. 2008. С. 248-249.
35. Аксёнов С.И., Николаев Г.М., Горячев С.Н. Изолированная подвижная вода как показатель устойчивости организмов к высушиванию. Торможение жизнедеятельности клеток. Рига: «Зинатне», 1987. С. 71-84.
36. Николаев Ю.А., Плакунов В.К. Биоплёнка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма // Микробиология. 2007. Т. 76. № 2. С. 149-163.
37. Иванова Е.А., Чижикова Н.П., Зенова Г.М., Омарова Е.О., Манучаров А.С. Биодegradация глинистых минералов под влиянием цианобактериально-актиномицетных ассоциаций // Вестник Московск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 3.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-04-90201-Монг-а, а также при частичном финансировании грантом Президента для поддержки ведущих научных школ РФ № НШ-8797. 2006.4*

## Относительное обилие альго- и микофлоры в почвах луговых фитоценозов

© 2009. Л.В. Кондакова<sup>1</sup>, к.б.н., зав. кафедрой, Л.И. Домрачева<sup>2</sup>, д.б.н., профессор, с.н.с.,

<sup>1</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,

<sup>2</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

e-mail: nm-flora@rambler.ru

Сравниваются количественные показатели обилия водорослей и микромицетов в различных типах почвы луговых фитоценозов. Показано, что грибная флора преобладает в дерново-подзолистых почвах. В аллювиальной дерновой и дерновой оглеенной почвах с повышенным уровнем увлажнения доминирование по биомассе переходит к фототрофному компоненту альго-микологических комплексов.

Quantity indices of the amount of algae and micromycetes are compared in different types of soil of meadow phytocenoses. It is shown that fungi flora prevails in sod-podzol soils. In alluvial sod soil and in sod gleyified soil with increased level of moistening phototrophic component of algae-mycological complexes dominate in biomass.

**Ключевые слова:** водоросли, грибы, биомасса, луговые фитоценозы

Характеристика лугов как своеобразных травянистых фитоценозов с анализом форм взаимодействия растений, структурной организации, специфики сукцессионных и флуктуационных процессов детально представлена в классических трудах Т.А. Работнова [1 – 3]. Показано, что в процессе естественного отбора у луговых растений возникли приспособления, обеспечивающие возможность благоприятного совместного произрастания с особями определённых видов. На давно существующих лугах в результате конкуренции происходит дифференциация экологических ниш видов, входящих в состав растительных сообществ, что приводит к ослаблению конкуренции между ними и обеспечивает возможность совместного произрастания большого числа видов и более полное использование растениями среды. Основными биогеоценотическими горизонтами лугов, определяющими структуру луговых биогеоценозов, являются травостой (надземная часть) и дернина (верхняя часть почвы, интенсивно пронизанная корнями). Среди биокомпонентов дернины определённую роль играют водоросли и грибы – микроорганизмы, выполняющие полярные функции в трофических круговоротах. Водорослям благодаря способности к фотолитотрофии принадлежит роль первичных продуцентов в педосфере, тогда как высшие растения выполняют эту функцию на поверхности почвы. Большинство почвенных микромицетов являются редуцентами органического вещества, возвращая в

круговорот основные необходимые элементы для корневого питания растений.

Первая информация о почвенных водорослях лугов содержалась в исследованиях Э.А. Штиной [4, 5]. Она отмечала, что почвы травянистых фитоценозов, как правило, богаче водорослями, чем лесные. В луговых ассоциациях дерново-подзолистой зоны благодаря устойчивой влажности почв и преобладанию дернового процесса формируются наиболее сложные сообщества водорослей, для которых характерно разнообразие видов. Почвенные водоросли, распространённые на лугах, – мезофиты, для них оптимальна влажность 60 – 80% от полной влагоёмкости почвы. Они используют плёнки воды на поверхности почвенных частиц, а также пары воды и воду, размещённые в порах почвы, и хорошо приспособлены к обитанию в условиях переменного увлажнения, свойственного поверхностному слою почвы. В исследованиях Т.С. Носковой [6] на примере травянистой растительности лугов прослежена связь сообществ водорослей с определёнными растительными ассоциациями. В частности, при переходе от рыхлокустового разнотравно-мятликового луга к лугу с господством плотнокустовых злаков снижается видовое разнообразие водорослей. Плотная дернина и большое количество неразложившихся растительных остатков оказывают тормозящее влияние на развитие водорослей.

Сведения о почвенных луговых микромицетах до сих пор носят разрозненный характер.

Безусловно, что грибы консортивно связаны со всеми видами растений, входящих в состав луговых фитоценозов. Как и в других экосистемах, на лугах различают следующие функциональные группы грибов: паразитирующие на травах, симбионты-микоризообразователи, эккрисотрофы – грибы ризосферы, сапротрофы, зоопаразиты и копротрофы (минерализаторы экскрементов животных). Сапротрофные грибы наряду с бактериями участвуют в процессах минерализации растительных и животных остатков, а также в процессах гумификации. Исследований, в которых проведено одновременное параллельное изучение водорослей и грибов, практически нет.

Цель данной работы – изучить особенности количественной структуры альго-микологических комплексов луговых фитоценозов различных типов почвы.

### Объекты и методы

Изучение количественной организации альго-микологических комплексов проводилось на 59 луговых фитоценозах в Кировской области. Исследовали следующие почвенные разности [7]: дерново-подзолистые супесчаные, дерново-подзолистые суглинистые, аллювиальные дерновые, дерновые оглеенные. Доминирующие виды луговой растительности на этих почвах представлены в таблице 1.

Пробы почвы для количественного учёта водорослей и грибов и определения состава альгофлоры отбирались с глубины 0-5 см по общепринятым методикам. Выявление видового состава водорослей проводили в водных и чашечных культурах [5]; определение численности клеток водорослей и их биомассы объёмно-расчётным методом проводили на мазках [8], длину грибного мицелия измеряли на тех же мазках с одновременным расчётом биомассы по методике [9].

### Результаты и обсуждение

В почвах изученных луговых фитоценозов выявлено 123 вида водорослей, в том числе: *Cyanophyta* – 36 (29,3%), *Bacillariophyta* – 12 (9,8%), *Xanthophyta* – 24 (19,5%), *Eustigmatophyta* – 3 (2,4%), *Euglenophyta* – 1 (0,8%), *Chlorophyta* – 47 (38,2%). По сводным данным Э.А. Штиной [10], в луговых экосистемах синезелёные водоросли составляют 33%, зелёные – 37%, жёлтозелёные – 21%, диатомовые – 8%, другие отделы – 1%. Общее число видов – 290. Отмечено, что в экотопах с сомкнутым растительным покровом преобладают зелёные и жёлтозелёные водоросли, и значительно меньше синезелёных и диатомей. Полученные нами данные в процентном отношении близки к этим результатам.

Изучение состава альгофлоры показало, что максимальное видовое обилие характерно для дерново-подзолистой супесчаной (71 вид) и дерново-подзолистой суглинистой почвы (69 видов). Меньшее видовое разнообразие отмечено для дерновой оглеенной почвы (58 видов) (табл. 2).

Во всех типах луговых почв по разнообразию видов преобладают зелёные и жёлтозелёные водоросли. Наибольшее видовое разнообразие синезелёных водорослей встречено в аллювиальной дерновой почве (табл. 3).

Повышенная влажность почвы, характерная для пойменных лугов (дерново-ogleенные и аллювиально-дерновые почвы), способствует развитию амфибиальных и гидрофильных видов водорослей, таких, как *Calothrix gracilis*, *Tichonema granulata*, *Oscillatoria splendida*, *Nitzschia palea*, *Pleurochloris inaequalis*, *Chlamydomonas conversa*, *Carteria sphagnicola*, *Lobomonas denticulata*, *Cylindrocystis crassa*, *C. brebissonii*, *Closterium pusillum*, *Cosmarium*

Доминирующие виды растений исследуемых луговых фитоценозов

Таблица 1

Почвы	Виды-доминанты
Дерново-подзолистая суглинистая	Овсяница луговая, тимофеевка луговая, ежа сборная, кострец безостый, лютик едкий, подмаренник мягкий, пижма обыкновенная.
Дерново-подзолистая супесчаная	Полевица тонкая, тимофеевка луговая, ежа сборная, овсяница красная, щучка дернистая, лютик едкий, смолка обыкновенная, нивяник обыкновенный, чина луговая.
Аллювиальная дерновая	Овсяница луговая, щучка дернистая, лисохвост луговой, таволга вязолистная, девясил иволистный, клевер средний.
Дерновая оглеенная	Вейник наземный, таволга вязолистная, вербейник обыкновенный, осока лисья.

Таблица 2

Видовое разнообразие водорослей в луговых фитоценозах

Тип почвы	Количество видов	Виды-доминанты
Дерново-подзолистая суглинистая	69	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>C. catenatum</i> , <i>Phormidium autumnale</i> , <i>Ph. formosum</i> , <i>Leptolyngbya frigidum</i> , <i>L. foveolarum</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Characiopsis minima</i> , <i>Ch. saccata</i> , <i>Pleurochloris pyrenoidosa</i> , <i>Xanthonema exilis</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Tetracystis aggregata</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i>
Дерново-подзолистая супесчаная	71	<i>Cylindrospermum muscicola</i> , <i>C. licheniforme</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Phormidium autumnale</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Eustigmatos magnus</i> , <i>Botrydiopsis eriensis</i> , <i>Xanthonema exilis</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum sp.</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i>
Аллювиальная дерновая	66	<i>Cylindrospermum muscicola</i> , <i>C. licheniforme</i> , <i>Phormidium boryanum</i> , <i>Ph. autumnale</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Pinnularia borealis</i> , <i>Stauroneis anceps</i> , <i>Characiopsis minima</i> , <i>Tribonema minus</i> , <i>Bumilleria klebsiana</i> , <i>Penium borgeanum</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i>
Дерновая оглеенная	58	<i>Trichromus variabilis</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Ch. gelatinosa</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Cylindrocystis crassa</i> , <i>C. brebissonii</i> , <i>Tetraëdron minimum</i> , <i>Klebsormidium dissectum</i>

Таблица 3

Соотношение отделов водорослей в луговых почвах разных типов

Тип почвы	Отделы водорослей								Всего видов
	Cyanophyta		Bacillariophyta		Xantophyta + Eustigmatophyta		Chlorophyta		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
Дерново-подзолистая суглинистая	15	15,6	5	7,8	21	32,8	28	43,8	69
Дерново-подзолистая супесчаная	17	16,9	6	9,2	18	27,7	30	46,2	71
Аллювиальная дерновая	23	25,9	6	8,6	15	25,9	22	39,7	66
Дерновая оглеенная	19	23,1	6	9,6	12	23,1	21	44,2	58

Примечание: 1 – число видов, 2 – процент.

*anceps*, *C. cucurbita*, *Penium borgeanum*, *Klebsormidium rivulare*, *Euglena mutabilis* и др.

В то же время в дерново-подзолистых почвах суходольных лугов преобладают эдафотфильные виды: *Cylindrospermum licheniforme*, *C. catenatum*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Nostoc punctiforme*, *N. muscorum*, *Hantzschia amphioxys*, *Luticola mutica*, *Pleurochloris pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*, виды родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Klebsormidium flaccidum*.

Количественные показатели развития альго- и микофлоры резко различаются в

зависимости от типа почвы (табл. 4). Так, минимальные показатели численности водорослевых клеток в дерново-подзолистых почвах (суходольные луга) составляют 66 тыс./г, а максимальные колеблются от 500 до 800 тыс./г.

В почвах пойменных лугов (аллювиальные дерновые и дерновые оглеенные) эти показатели существенно выше – 400-466 тыс. и 2000-3000 тыс. клеток/г соответственно. Однако если сравнить амплитуду колебаний показателей максимальной и минимальной численности ( $A_R$ ), выраженную как отношение

максимальной численности клеток водорослей к минимальной, то получаются очень близкие показатели: 7,2-12,1 (для суходольных лугов) и 5,2-7,1 (для пойменных лугов).

Показатели минимальной и максимальной длины мицелия в различных типах почвы сравнительно близки. Однако  $A_k$  длины грибного мицелия столь же высока, как и в случае с численностью клеток водорослей: 6,0-7,5 (для суходолов); 8,0-12,1 (для пойменных лугов).

Водоросли и микромицеты занимают разные звенья трофических цепей, выполняя различные функции: продукционную – водоросли и деструктивную – грибы. Поэтому весьма интересен вопрос о соотношении этих группировок в почвенных биоценозах. С этой целью была вычислена биомасса данных организмов, определены суммарные запасы водорослево-грибных комплексов, а также соотношение их фототрофного и сапротрофного компонента (табл. 4, 5).

Запасы водорослевой биомассы, как и численности клеток, в луговых фитоценозах также подвержены существенным колебаниям

с максимумом в 900 кг/га в переувлажнённых почвах. Но в то же время они не превышают запасы водорослевой биомассы, определённой нами для лесных фитоценозов [11], хотя ранее считалось, что биомасса водорослей в лесных почвах существенно ниже, чем в травянистых ассоциациях [12].

Степень развития почвенных микоценозов на лугах, выраженная в показателях длины мицелия и биомассы (табл. 3 и 4), действительно намного ниже, чем в лесных почвах [13]. Максимальные показатели длины мицелия – в пределах 300 м/г, а биомассы – около 1 т/га.

Суммарные запасы водорослево-грибной биомассы в луговых почвах достаточно велики, могут достигать 800-1800 кг/га. Эта биомасса лабильна, неоднократно обновляется в течение вегетационного сезона, повышая уровень всех биологических процессов, протекающих в почве (первичный продукционный процесс и накопление органического вещества, пул экзоферментов, активизация бактериальной микрофлоры, альго- и микофагов и т. п.). Хотя многими исследователями показано, что

**Таблица 4**

Количественные показатели альго-микологических комплексов в почвах луговых фитоценозов

Тип почвы	Численность водорослей, тыс. клеток/г		Длина мицелия, м/г	
	минимальная	максимальная	минимальная	максимальная
Дерново-подзолистая суглинистая	66±7,7	480±92,4	23,5±0,32	176,3±30,4
Дерново-подзолистая супесчаная	66±11,5	797±25,0	47,6±6,5	288,0±53,2
Аллювиальная дерновая	400±19,9	2067±171,6	16,3±2,4	130,2±14,5
Дерновая оглеенная	466±25,7	3310±246,0	29,4±4,6	355,2±64,0

**Таблица 5**

Показатели водорослево-грибной биомассы в почвах луговых фитоценозов (кг/га)

Тип почвы	Биомасса водорослей		Биомасса грибов		Суммарная биомасса	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
Дерново-подзолистая суглинистая	17,4	135,6	64,0	480,0	109,0	615,6
Дерново-подзолистая супесчаная	10,8	240,0	39,0	780	61,8	806,0
Аллювиальная дерновая	62,2	618,0	45,0	355,0	184,7	771,4
Дерновая оглеенная	139,4	902,4	45,0	966	184,7	1868,4

Таблица 6

Соотношение водорослевой и грибной биомассы в различных типах почвы луговых фитоценозов, %

Тип почвы	Водорослевая биомасса	Грибная биомасса
Дерново-подзолистая суглинистая	28,1	71,9
Дерново-подзолистая супесчаная	21,0	79,0
Аллювиальная дерновая	67,3	22,7
Дерновая оглеенная	48,2	51,8

в консортивных связях различных организмов в почве примат принадлежит в целом высшим растениям, с корнями которых связаны комплексы почвообитающих организмов [14], велика взаимообусловленность совместного развития водорослей и грибов [8]. В частности, экзометаболиты некоторых микрорифоторофов селективируют грибную микрофлору в сторону понижения запасов патогенов, стимулируют размножение сапротрофов. Грибы в свою очередь не только обеспечивают водоросли минеральными элементами питания, но способствуют их распространению и продвижению в почве за счёт прикрепления водорослевых клеток на поверхности мицелия (своеобразный «пассивный транспорт»), а также активно участвуют в формировании альго-циано-микологических биоплёнок, являясь их структурным элементом наряду с нитчатými формами фототрофов.

Уровень относительного обилия водорослей и грибов в почвенных биоценозах зависит от многих факторов: типа растительности, водно-воздушного, температурного и пищевого режимов почвы, pH, содержания и соотношения различных экзометаболитов. Проведённые нами исследования показали, что в изучаемых луговых фитоценозах структура альго-микологической биомассы варьирует в широких пределах (табл. 5). Так, в дерново-подзолистой почве в количественном плане преобладает грибная биомасса, составляющая 72-79%. Для дерновой аллювиальной и оглеенной почв характерно доминирующее развитие водорослей по сравнению с микромицетами – 48-67% в структуре биомассы.

Таким образом, исходя из полученных результатов, регулирующая роль в количественной структуре альго-микологических комплексов многолетних лугов реально

определяется типом почвы, в первую очередь, конкретной динамикой водного режима.

### Литература

1. Работнов Т.А. Луговедение. М.: Изд-во МГУ, 1984. 320 с.
2. Работнов Т.А. Экология луговых трав. М.: Изд-во МГУ, 1985. 176 с.
3. Работнов Т.А. Экспериментальная фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1987. 160 с.
4. Штина Э.А. Водоросли дерново-подзолистых почв Кировской области // Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. 2. Вып. 12. 1959. С. 36-141.
5. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. М.: Изд-во «Наука», 1969. 228 с.
6. Носкова Т.С. Сообщества водорослей некоторых почв Кировской области: дис. ... канд. биол. наук. Киров, 1968. 287 с.
7. Классификация почв России. М.: Почвенный ин-т РАСХН, 2000. 236 с.
8. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
9. Полянская Л.М. Микробная сукцессия в почве: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. 1996. 96 с.
10. Штина Э.А., Зенова Г.М., Манучарова Н.А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449-1461.
11. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Часть 2. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2007. 192 с.
12. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.
13. Домрачева Л.И., Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Ашихмина Т.Я. Количественная характеристика альго-микологических комплексов луговых и лесных почв // Вестник Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. 2005. № 8. С. 16-18.
14. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: МГУ, 1986. 136 с.

### Экологические аспекты освоения и сельскохозяйственного использования торфяных почв и выработанных торфяников

А.Н. Уланов, д.с.-х.н., директор, Е.Л. Журавлева, к.б.н., с.н.с.,  
ОНО «Кировская лугоболотная опытная станция»

Болотные комплексы занимают исключительное место в структуре почвенного покрова Кировской области.

Активная антропогенная деятельность коренным образом преобразует исходные компоненты болотных экосистем. Меняются микроклимат, параметры биогеохимических циклов углерода, азота и других биогенных элементов, происходит загрязнение атмосферы, почвы и получаемой продукции продуктами разложения торфа. Ухудшаются рельеф и структура почвенного покрова, уменьшается ландшафтное и биологическое разнообразие, уничтожаются традиционные местообитания болотных и околоводных птиц и зверей. В результате из ландшафта исчезают уникальные виды представителей флоры и фауны.

Однако сегодня, к сожалению, нет практической возможности оставлять болотные комплексы в их естественном состоянии. В связи с этим основная задача при использовании болот состоит в решении вопроса о том, в какой степени, где и как мы можем нарушать сложившиеся тысячелетиями экосистемы и каким образом торфяным богатством пользоваться с минимальным ущербом для будущих поколений.

ОНО «Кировская лугоболотная опытная станция» работает над проблемой осушения болот, освоения и использования в сельскохозяйственном производстве осушенных низинных и выработанных торфяников.

В настоящее время станция является крупнейшим научно-исследовательским центром Евро-Северо-Востока России по разработке научных основ кормопроизводства на торфяных и выработанных почвах, оригинальной системы кормления высокопродуктивного крупного рогатого скота (КРС) кормами, полученными с болотных почв.

Созданная в 1918 году как луговодно-семенное хозяйство станция за 90 лет научных исследований и производственной работы не изменила своего основного профиля – изучения вопросов рационального использования осушенных торфяников при максимальном сохранении торфяной залежи, получения

при этом экологически чистой продукции, в основном сырья для приготовления высококачественных кормов.

Учёные станции давно и успешно сотрудничают со многими российскими и зарубежными научными школами, профессионально занимающимися проблемами рационального использования торфяных ресурсов. Это Сибирская (г. Томск), Московская (МГУ, Почвенный институт, ВНИИГиМ), Санкт-Петербургская (Государственный аграрный университет, г. Пушкин), Белорусская (Институт мелиорации НИИ), ВНИПТИОУ (г. Владимир) и другие научные школы.

Основные объекты исследований:

- целинные, осушенные, освоенные и выработанные торфяные месторождения южно-таёжной подзоны Евро-Северо-Востока;
- низинный торфомассив «Гадовское»;
- полевые мелиоративно-болотные стационары, на которых непрерывные наблюдения проводятся в течение 20-70 лет;
- высокопродуктивный мясомолочный крупный рогатый скот;
- система кормопроизводства и кормления животных.

Системные комплексные исследования станции позволяют создать систему, модель природопользования, отвечающую принципам биосферосовместимости. Производство сельскохозяйственной продукции базируется на встраивании агросистем в антропогенно нарушенный болотный массив.

На полевом стационаре, заложенном в 1975 году, изучают агроэкологические основы создания и совершенствования кормовых почвозащитных севооборотов, позволяющих снизить биологическую и техногенную нагрузку торфа до минимальных размеров.

Длительные наблюдения за динамикой естественного зарастания, вторичного заболачивания и современного торфонакопления на выработанных торфяниках, выведенных из сельскохозяйственного использования, ведутся с 1970 года.

Сотрудниками станции проводится разработка функционирующих моделей восстановления и комплексного использования нарушенных болотных экосистем в народном хозяйстве. Решается проблема «самовосстановления» нарушенных торфодобывающей промышленностью болотных экосистем. Практически на любом, даже полностью выработанном торфяном массиве имеются довольно большие площади, где по разным причинам нет возможности регулировать водный режим. Исследованиями установлено, что процесс «саморекультивации», когда реализуется исключительно природный потенциал бывшего болота, протекает крайне медленно, непредсказуемо и очень часто сопровождается большими потерями органического вещества. В таком случае даже незначительное вмешательство человека (разовое внесение удобрений, искусственная посадка аборигенных болотных кустарников, искусственное подтопление грунтовыми водами) существенно ускоряют болото- и торфообразование на выработках.

Изучается средообразующая и почвозащитная роль луговой монокультуры на торфяной почве, используемой более 70 лет в бессменном пастбищном режиме.

Производится сравнительная оценка техногенной, комбинированной, техногенно-органической систем удобрений на полностью выработанных почвах под многолетними укосными злаковыми и бобовыми травостоями.

На длительном стационаре в течение 35 лет изучается влияние различных сочетаний минеральных удобрений на плодородие выработанной почвы и продуктивность укосной злаковой травосмеси в зависимости от погодно-климатических условий.

Все выводы базируются на результатах наблюдений за пищевым, водным, температурным режимами торфяных и выработанных почв; микроклиматом приземного слоя воздуха; физическими, водно-физическими и агрохимическими свойствами, биологическим состоянием почв и трансформацией органического вещества.

Систематический контроль качества растений и кормов по широкому набору показателей позволяет своевременно корректировать количество и сроки внесения органических и минеральных удобрений, сроки заготовки разных видов кормов – качественных по химическому составу и экологически чистых от избыточного содержания нитратов, тяжёлых металлов и т. п.

Продолжается серия лабораторных и научно-производственных опытов по совершенствованию системы кормления высокопродуктивного КРС, поиску новых способов повышения качества кормов, полученных с торфяных почв, дальнейшему совершенствованию технологии их заготовки.

Постоянно ведутся исследования по оптимализации системы кормления высокопродуктивного КРС кормами с торфяных почв, разработка рецептов премиксов и апробация их при пастбищном содержании КРС. Изучаются различные виды консервантов (использование химических и биологических препаратов) при заготовке объёмистых кормов.

Широкий спектр длительных многовариантных и многофакторных исследований и наблюдений, применение в производстве оптимальных вариантов позволили разработать и внедрить в производство ряд технологий:

- технология освоения и окультуривания выработанных торфяников при возделывании кормовых культур. Применение мелиорантов, навоза, возделывание однолетних культур и многолетних бобовых трав ускоряют сроки их окультуривания, выравнивают почву, устраняют пестроту травостоя, повышают общую продуктивность до 6-7 тыс. кормовых единиц с 1 га;
- технология возделывания кормовых культур на осушенных торфяных почвах. Разработанные севообороты при регулировании водного режима обеспечивают стабильно высокую продуктивность при максимальном сохранении органического вещества почвы;
- технология создания и использования долговременных культурных пастбищ (ДКП) на торфяных почвах: системы залужения, удобрения, принцип порционного стравливания и система ухода за травостоем, пастбищеоборот. Установлено влияние пастбищного корма на продуктивность животных и качество молока;
- разработаны зелёный и сырьевой конвейеры на основе многолетних бобовых и злаковых трав с использованием однолетних кормовых культур;
- технологии приготовления разных видов кормов;
- система кормления высокопродуктивного крупного рогатого скота кормами с торфяных почв. Разработана системы защиты и повышения уровня протеина концентратов в рационах высокопродуктивных коров;

Более 30 лет ведётся целенаправленная работа по вторичному лесовосстановлению на вырубках. Установлено, что чем ближе подстилающая порода к поверхности (т.е. меньше слой торфа), тем быстрее формируется товарный древостой. Определены наиболее продуктивные виды: сосна, ель. Установлена климаторегулирующая роль лесных полос при формировании лесолуговых болотных агроландшафтов.

Организация охотхозяйственной деятельности на рекультивируемых выработанных торфяных почвах позволила увеличить ресурсы охотничьих животных и улучшить их продуктивные свойства путём создания более благоприятных условий обитания и селекционного воздействия на популяции. Анализ изменения среды обитания и ресурсов промысловых животных на территории выработанного торфомассива «Гадовское» позволил определить пути воспроизводства охотничьих ресурсов: кормовых – для растительноядных животных, дополнительное регулирование водного стока по системе осушительных каналов искусственного расселения ондатры.

Итогом научно-исследовательской работы являются многократные издания сборников научных работ, рекомендаций и технологических схем по освоению и использованию осушенных торфяных и выработанных почв под кормовые культуры, ДКП, укосные травостой и др.

Учёные станции активно участвуют в областных, межрегиональных, российских, международных научных конференциях.

Структура научного подразделения станции включает 3 лаборатории:

- лаборатория почв и болотных агроландшафтов, в неё входят группы почвенной и растительной диагностики;
- лаборатория лугов и пастбищ;
- лаборатория приготовления и использования кормов.

Общая численность работающих в научных подразделениях – 16 человек, в т. ч. 7 научных сотрудников, из них 6 имеют учёную степень кандидата наук. Готовится к защите ещё одна диссертация.

Практической оценкой результатов научных исследований и использования их в производстве служит высокая продуктивность многолетних травостоев и однолетних кормовых культур, ДКП (5-7 тыс. кормовых единиц с 1 га), высокоудойное племенное стадо КРС (7,5 тыс. кг молока на корову). Создан и утверждён новый высокопродуктивный конкурентоспособный внутривидовой тип чёрно-пёстрого скота «Вятский». В 2007 году получен патент на селекционное достижение в разведении этого типа.

Незнание экологических аспектов взаимосвязи сельскохозяйственного производства на болотах и окружающей среды не только снижает потенциал органических почв, но и наносит прямой вред природе. Результаты многолетних комплексных исследований станции позволяют судить о направленности и интенсивности биогеоценотических процессов, могут служить теоретической основой оптимизации торфяно-болотных ландшафтов, обеспечивают правильный выбор путей рекультивации, прогноз устойчивости формирующегося культурного ландшафта, определяют оптимальный уровень общей продуктивности торфяно-болотных экосистем.

## ОБЩЕСТВЕННЫЙ ФОРУМ-ДИАЛОГ «АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ, ОБЩЕСТВО, БЕЗОПАСНОСТЬ»

21 – 22 апреля 2009 г. в городе Санкт-Петербурге в зале заседаний гостиницы «Октябрьская» проходил третий международный общественный форум-диалог «Атомная энергия, общество, безопасность».

Организаторами форума были Госкорпорация «Росатом», Общественный Совет Госкорпорации «Росатом», общественная организация Международный и Российский Зелёный Крест. Участниками форума являлись представители всех сегментов общества: федеральных ведомств, региональных органов власти, научно-исследовательских институтов, средств массовой информации, общественных организаций. Форум-диалог проходил с участием иностранных представителей различных ведомств и организаций из США, Швеции, Германии, Финляндии, Франции.

Форум-диалог открыл сопредседатель Российского экологического конгресса, президент Российского Зелёного Креста, заместитель председателя Общественного Совета Госкорпорации «Росатом» С.И. Барановский.

С приветствием к участникам форума-диалога выступил генеральный директор Госкорпорации «Росатом» С.В. Кириенко. В своём выступлении Сергей Владленович отметил важность проводимого мероприятия, являющегося ценным механизмом общения специалистов, учёных, представителей общественных организаций по проблемам развития атомной энергетики, реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Он отметил, что масштаб строительства объектов АЭС не изменяется. До 2015 года в России планируется ввести 26 энергоблоков по производству электроэнергии. В 2008 году на действующих мощностях выработка электроэнергии составила 162,3 млрд. кВт·час электроэнергии. Заказов на потребление электроэнергии много, спрос превосходит совокупные возможности строительства АЭС. В настоящее время основное потребление энергии у нас в стране обеспечивается за счёт получения её на 80% из органических продуктов – нефти, газа, угля, количественный природный ресурс которых уменьшается. В ближайшее десятилетие прерогатива будет по-прежнему принадлежать углеводородному топливу, цены на которое будут расти. Однако современному обществу с развивающейся промышленностью, новыми технологиями без АЭС не обойтись. За два-четыре ближайших года в атомной энергетике будут проведены мощ-

нейшие видоизменения. Будет обеспечиваться полноценная интеграция в мировое сообщество. К российским технологиям в ядерной энергетике добавится немецкий контроль. Предстоит много сделать в области законодательного обеспечения. Для реализации программы ядерной безопасности будет выделено 17 млрд. руб., из них бюджетных средств планируется 14 млрд. руб.

С докладами на пленарном заседании выступили К.Б. Зайцев (зам.председателя Госдумы по атомной энергетике) о законодательной базе в области развития атомной энергетики, В.В. Шаталов (генеральный директор ОАО ВНИИТ) об обращении с отходами, М.Л. Глинский (первый заместитель генерального директора ФГУП «Гидроспецгеология») о концепции объектового мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом», В.А. Грачёв (советник генерального директора Госкорпорации «Росатом», член Общественного Совета Госкорпорации «Росатом») о глобальных экологических проблемах и их решении путём широкомасштабного внедрения атомной энергетики нового поколения.

В ходе проведения форума-диалога состоялись тематические пленарные заседания «Состояние и перспективы развития атомной энергетики. Научно-техническая политика», «Международное сотрудничество и глобальное партнёрство», «Атомные объекты, безопасность, общественное мнение», «Здоровье и радиация», «Отработавшее ядерное топливо, радиоактивные отходы, наследие холодной войны», на которых с докладами выступили В.М. Муругов – директор Международного Центра ядерного образования МИФИ (Университет, г. Москва), И.В. Конышев – директор департамента по работе с общественными организациями и регионами, ответственный секретарь Общественного Совета Госкорпорации «Росатом», Т.Д. Щепетина – начальник лаборатории Института ядерных реакторов Российского научного центра «Курчатовский институт». Всего было прослушано 39 докладов, среди которых были докладчики из Посольства Франции Патрис Бернар, Посольства США Майкл Данкли, старший менеджер проектов Европейского банка реконструкции и развития С.Г. Бочаров, представители Швеции – Ролан Тернер, Финляндии – Юха Раутярви, специалисты, учёные из различных регионов и городов России – Томска, Мурманска, Ростова, Костромы, Москвы, Татарстана, Балаково, Челябинска, Саратова, Кирова и др.

После каждого пленарного заседания проходила дискуссия по обсуждаемой теме. Участников дискуссии интересовал прогноз и планы развития атомной энергетики; решение вопросов по консервации атомных станций, подводных лодок; по утилизации жидких и твёрдых радиоактивных отходов. Они указывали на необходимость получения достоверной информации об изменении окружающей природной среды и состоянии здоровья людей, работающих на объектах и проживающих вблизи действующих ядерно-промышленных комплексов.

В работе форума-диалога состоялась и общая дискуссия по теме: «Устойчивое развитие, атом и гражданское общество», вели которую С.И. Барановский, сопредседатель Российского экологического конгресса, и А.Г. Назаров – заместитель председателя Общественного Совета Госкорпорации «Росатом». В ходе данной дискуссии состоялся активный диалог по вопросам будущего атомной энергетики, её историко-научных аспектах, особенностях работы с населением, о результатах социологических исследований, об эффективности взаимодействия гражданского общества с РОС-

АТОМом, участии общественности в контроле над радиационно опасными объектами, формировании культуры населения по экологической безопасности в атомной энергетике и др.

В заключение форума-диалога С.И. Барановский отметил высокий уровень его проведения, выразил надежду на дальнейшее проведение таких мероприятий, призвал к единению в понимании и решении вышеотмеченных проблем. Особое внимание он обратил на создание системы экологической безопасности действующих и законсервированных объектов, проведение экологического мониторинга окружающей природной среды и санитарно-гигиенического мониторинга здоровья населения.

Материалы форума-диалога «Атомная энергия, общество, безопасность» планируется издать в виде сборника научных статей.

*Т. Я. Ашихмина, зав. кафедрой химии  
ВятГУ, зав. лабораторией биомониторинга  
Института биологии Коми НЦ УрО РАН,  
д.т.н., профессор*

## НОВЫЙ ТОМ ЭНЦИКЛОПЕДИИ ЗЕМЛИ ВЯТСКОЙ\*

В конце 2008 г. вышел из печати очередной, 10-й, том Энциклопедии земли Вятской, посвящённый промышленности, энергетике, строительству, транспорту. Книга написана в лучших традициях краеведческой литературы.

Разделы книги построены в хронологической последовательности: от начала зарождения отдельных отраслей промышленности до современности. Если заглянуть в глубь веков, то можно убедиться, что основополагающими для экономики нашей области была лесная и деревообрабатывающая, металлургическая, кожевенно-обувная и меховая, пищевая промышленность.

Практически любая отрасль промышленности для своего существования и развития требует наличия определённого сочетания природных условия и ресурсов. Отрасли добывающей промышленности являются базой и предпосылкой для развития и других направлений – химической и нефтехимической отраслей, электроэнергетики. Именно поэтому авторы начали своё изложение с характеристики природно-ресурсной базы области.

Первый раздел, который назван «Ростки предпринимательства», характеризует самые первые шаги в развитии промышленности Вятской губернии в конце XIX – начале XX веков. Рассказывается о первых династиях купцов-промышленников, слободском купце К.А. Анфилатове. Особое место уделено развитию кустарных промыслов. В этом разделе можно найти множество интересных исторических фактов, например, в 1910 г. Вятская губерния занимала первое место по числу кустарей, а ремёслами кормились часто целые деревни. На основе архивных материалов показано развитие городской и деревенской ремесленной промышленности, структура ремесленного производства в городах Вятской губернии, характеристика отхожих промыслов и многое другое.

Большой раздел посвящён становлению металлургического производства в Вятской губернии – Кирсинского, Белохолуницкого, Климковского, ну а в связи с этим – строительству плотин и водохранилищ, развитию населённых пунктов, возведению церквей, учебных заведений. О ка-

\* *Промышленность, энергетика, строительство, транспорт / Сост. Ю.М. Смолин, А.В. Сутырин; Под общ. ред. В.А. Ситникова. Киров: О-Краткое, 2008. – 560 с. (Энциклопедия земли Вятской; т.10, кн. 2).*

честве продукции Холуницких заводов говорят следующие строки: «Холуницкое железо известно было в торговле под названием «молодого соболя» и славилось своей добротой». Спрос на белохолуницкое сырьё в то время был огромным.

В следующем разделе отражено развитие производственного сектора с 1917 г. и период НЭПа (1921 – 1928 гг.), когда выдвигались задачи всемерного развития тех отраслей, которые уже существовали в Вятской губернии, особенно развитие отраслей, относящихся к тяжёлой промышленности.

Структура и содержание самого обширного раздела «Возникновение и развитие различных отраслей промышленности» сгруппировано по отраслям: металлургия, деревообработка и бумагоделание, машиностроение, химическая промышленность, энергетика, транспорт, строительство, лёгкая и пищевая промышленность.

История многих заводов и предприятий Кировской области началась в трудное военное время. Среди них машиностроительное предприятие «Авитек», ОАО «Электромашиностроительный завод «Лепсе», заводы «Электропривод», «Сельмаш», «Маяк». Большинство из этих предприятий долгое время работали на оборонный комплекс нашей страны, выпуская в военное и послевоенное время изделия для ВПК. За последние годы на большинстве предприятий наблюдался рост производства, что связано с повышением спроса на выпускаемую продукцию. Она представлена оборудованием для современных самолётов Су-27М, Бе-200, катапультными креслами К-36, зенитными управляемыми ракетами класса «земля-воздух», ракет-мишенями и другой продукцией гражданского назначения. Всем этим предприятиям посвящены отдельные статьи.

Очень важной составляющей для развития экономики Кировской области являются её природное богатство – леса, на основе которых развивалась и существует на сегодняшний день лесная и деревообрабатывающая промышленность. В книге лесопромышленному комплексу посвящён ряд материалов.

Рассказывая о химической промышленности Вятки, авторы не могли обойти вниманием Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), днём рождения которого считается 8 октября 1946 г. Основное производство завода началось с выпуска химической продукции на основе фтора и хлора, получения фтористого водорода, гексафторида урана (сырьё для атомной промышленности), тетрафторида урана, политетрафторэтилена (тефлон) и других материалов. Сегодня в стране

почти 70% фторопластов (Ф-4) выпускается КЧХК, в том числе более 50% продукции идёт на экспорт. Современный ассортимент продукции завода очень разнообразен и востребован.

Особое место в разделе «Химическая промышленность» занимает материал о ФГУ «48-й Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации» – головном и старейшем научно-исследовательском учреждении в Вооружённых силах России по разработке медицинских средств защиты войск и населения от биологического оружия. Учёными 48-го ЦНИИ МО РФ созданы эффективные средства борьбы, вакцины против ряда особоопасных инфекций: чумы, сибирской язвы, бруцеллёза, туляремии и др. Многие препараты и вакцины являются уникальными и превосходят зарубежные аналоги.

Рассказывая об истории любого завода, промышленного предприятия, авторы старались показать личности людей профессионалов, жизнь и работа которых была тесно связана с развитием предприятия. Отдельные разделы книги – о тех, чьим трудом приумножалась слава Вятского края.

Книга содержит подробный список людей, в разное время удостоенных звания Герой Социалистического труда, лауреатов Государственных премий за достижения в разработке новых технологий, препаратов, производств.

Нельзя не отметить, что развитие промышленности всегда связано с воздействием на природный комплекс. Об основных экологических проблемах Кировской области, вызванных развитием промышленности региона, рассказывается в разделе «Окружающая среда». Отмечена динамика выбросов загрязняющих веществ в крупнейших промышленных центрах региона – городах Кирове и Кирово-Чепецке, показано состояние водных ресурсов области. Отмечено, что в деле охраны природы необходимо основные усилия направить на разработку системы экологической безопасности региона.

Книга может быть интересна преподавателям и студентам различных специальностей (экономика, история, география), специалистам и краеведам, руководителям предприятий, широкому кругу читателей, которым интересна история развития промышленности Вятского края.

*И.А. Жуйкова, к.г.н., доцент кафедры географии Вятского государственного гуманитарного университета*

К публикации принимаются статьи в соответствии с тематикой журнала, объёмом (включая подписи к рисункам, таблицы, аннотацию и список литературы) до 16 машинописных страниц.

В предлагаемых для публикации научных статьях должно содержаться:

- обоснование актуальности,
- чёткая 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 (объёмом до 400 знаков), **ключевые слова (до 6 слов и словосочетаний)**. 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 (А4). 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 абзачного 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. Кабилов 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 cyano-bacterial 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. Тяжёлые 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 подри-суночных 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 чётким, 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 двух 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. **Рецензия авторам предоставляется.** Решение о принятии их для публикации в журнале принимается на заседании редколлегии.

Экземпляр журнала с опубликованной статьёй авторам не высылаётся и распространяется только по подписке. Гонорар не выплачивается. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**

Электронный вариант и бумажная копия статьи автору не возвращаются.