

Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

№ 4, 2010

Журнал включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук

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 ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого РАСХН

Ответственный секретарь

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

Журнал издаётся при поддержке ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии в рамках ФЦП «Уничтожение запасов химического оружия в РФ»

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»

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

Подготовлен к печати в издательстве ООО «О-Краткое» 610000, г. Киров, Динамовский проезд, д. 4, оф. 3
Тел./факс (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru
Оригинал-макет, дизайн – Татьяна Коршунова, Ирина Макарова
Фото на обложке – Александр Широких
Перевод – Ирина Кондакова
Выпускающий редактор – Мария Зелаева
Директор издательства «О-Краткое» Евгений Дрогов

Подписано в печать 20.12.2010. Формат 60x84¹/₂. Печать офс. Бумага офс. Усл.п.л. 12,5. Тираж 1150 экз. Заказ № 1984.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных материалов в ООО «Кировская областная типография» 610000, г. Киров, Динамовский проезд, 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, заместитель председателя Общественного Совета «Росатом», президент РЭК

Г.А. Баталова

д.с.-х.н., член-корреспондент Россельхозакадемии, ГНУ 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, директор Центра инноваций 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 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 профессор, директор Института микологии Цзилинского аграрного университета,

В.А. Малинников

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

А.Г. Назаров

д.б.н., профессор, заместитель председателя Общественного Совета «Росатом»,

Ю.Г. Пузаченко

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

А.Ф. Радченко

руководитель Аппарата ФГУ Общественная палата

В.П. Савиных

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

В.А. Сысуев

дважды Герой СССР д.т.н., академик Россельхозакадемии, директор ГНУ Зональный научно-исследовательский институт

В.И. Теличенко

сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого

В.И. Теличенко

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

Т.А. Трифонова

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

А.И. Фокин

депутат Государственной думы, зам. председателя комитета Государственной думы по природным ресурсам,

В.Т. Юнглод

природопользованию и экологии д.и.н., профессор, ректор Вятского государственного гуманитарного университета

О.В. Яковенко

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

О.В. Яковенко

По вопросам размещения рекламы и публикации статей обращаться: 610002, г. Киров, ул. Свободы, 122, тел./факс 8 (8332) 37-02-77.

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

119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29,

тел./факс 8(499) 129-28-31. E-mail: info@ecoregion.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

М. К. Бакулин, С. В. Дармова, В. М. Бакулин Теория и практика использования перфторуглеродов «голубой крови» при глубинном культивировании биодеструкторов 4
С. А. Сладкопечев Развитие и взаимосвязи биоэкологии и геоэкологии 9

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ

А. В. Садов, С. Г. Павлов, О. Б. Наполов Технологии диагностики геоэкологического состояния природно-техногенных газотранспортных систем 15

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е. А. Новикова, Т. Я. Ашихмина Геоэкологическая оценка влияния строительства объекта уничтожения химического оружия на природный комплекс в районе его расположения 26

И. Б. Арчегова, Е. Г. Кузнецова, Ф. М. Хабибуллина, А. Н. Паниюков Особенности изменения почв и растительности в процессе самовосстановительной сукцессии в подзоне средней тайги 32

Т. А. Мусихина, А. Д. Клиндухова Некоторые аспекты влияния отходов производств фторполимеров и минеральных удобрений на качество воды реки Вятки в зоне санитарной охраны Кировского водозабора 39

ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД И ОБЪЕКТОВ

А. А. Дымов, Е. М. Лаптева, А. В. Калашников, С. В. Денева Фоновое содержание тяжёлых металлов, мышьяка и углеводов в почвах Большеземельской тундры 43

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

А. А. Масленников, Н. Г. Британов, Б. Н. Филатов, С. А. Демидова Эколого-токсикологическая оценка опасности загрязнения мышьяком отходов строительных конструкций объектов по уничтожению химического оружия кожно-нарывного действия 49

АГРОЭКОЛОГИЯ

И. Г. Широких, О. Н. Шуплецова, С. Ю. Огородникова, А. А. Широких Реакция каллусной культуры и регенерантных растений ячменя на бактеризацию *Methylobacterium mesophylicum* 54

А. В. Бакулина, С. В. Дармова, В. М. Бакулин К проблеме контроля над распространением и использованием трансгенных растений 62

В. И. Филатов, В. Н. Мельников, Т. Ф. Лугинина, Н. В. Слабжешинова Влияние физиологически активных соединений на продуктивность разновозрастных посевов козлятника восточного в условиях Центрального региона России 71

ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Г. В. Железнова, Т. П. Шубина Мхи естественных среднетаежных растительных сообществ южной части Республики Коми 76

А. И. Видякин, С. Н. Санников, И. В. Петрова Изменчивость индексов шишек сосны обыкновенной в популяциях Сысоло-Вычегодской равнины 83

А. Н. Ляпунов, Е. В. Паниюкова О роли имаго кровососущих комаров (*Diptera, Culicidae*) в питании рукокрылых (*Chiroptera Vespertilionidae*) Кировской области 87

ХРОНИКА

Международная научно-практическая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения профессора Э. А. Штиной «Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах» 94

Круглый стол «Приведение в безопасное состояние радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ ФГУП «РосРАО» 97

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS of ECOLOGY

- M. K. Bakulin, S. V. Darmova, V. M. Bakulin* Theory and practical use of perfluorocarbons 'Blue blood' for deep cultivation of biodestructors 4
- S. A. Sladkovtsev* Development and interconnection of Bioecology and Geocology 9

METHODOLOGY And METHODS of RESEARCH. MODELS And FORECASTS

- A. V. Sadov, S. G. Pavlov, O. B. Napolov* Diagnostics Technologies of geo-ecological state of natural-technogenic gas-transport systems 15

MONITORING of ANTHROPOGENICALLY DAMAGED TERRITORIES

- E. A. Novikova, T. Ya. Ashikhmina* Geoecological evaluation of the impact of constructing a chemical weapon decommission plant on the natural complex in its vicinity 26
- I. B. Archegova, E. G. Kuznetsova, F. M. Habibullina, A. N. Panyukov* Changes of soil and vegetation state in the process of self-remedial succession in middle taiga sub-zone 32
- T. A. Musihkina, A. D. Klindukhova* Some aspects of fluoropolymers and fertilizers industry waste impact on the quality of water in the Vyatka river in the sanitary zone of Kirov water intake 39

CHEMISTRY of NATURAL ENVIRONMENT And OBJECTS

- A. A. Dimov, E. M. Lapteva, A. V. Kalashnikov, S. V. Deneva* Background amount of heavy metals, arsenic and hydrocarbons in the Bolshezhamskaya tundra 43

ECOTOXICOLOGY

- A. A. Maslennikov, N. G. Britanov, S. A. Filatov, S. A. Demidova* Ecologo-toxicological evaluation of the danger of polluting 49

AGRICULTURAL ECOLOGY

- I. G. Shirokikh, O. N. Shupletsova, S. Yu. Ogorodnikova, A. A. Shirokikh* Reaction of the callus culture and regenerative plants of barley on bacterization with *Methylobacterium mesophylicum* 54
- A. V. Bakulina, S. V. Darmova, V. M. Bakulin* To the problem of a control over transgenic plants spreading and usage 62
- V. I. Filatov, V. N. Melnikov, T. F. Luginina, N. V. Slabzhninova* Influence of physiologically active compounds on productivity of uneven crop of eastern kozlyatnik in conditions of the central part of Russia 71

ECOLOGY of POPULATIONS

- G. V. Zheleznova, T. P. Shubina* Mosses of natural middle taiga vegetation communities of the southern part of the Komi Republic 76
- A. I. Vidyakin, S. N. Sannikov, I. V. Petrova* Changeability of indexes of *Pinus sylvestris* L. in the populations of the Sisolo-Vichegodskaya plain 83
- A. N. Lyapunov, E. V. Panyukova* On the role of adult mosquitoes (*Diptera, Culicidae*) in the diet of bats (*Chiroptera Vespertilionidae*) of Kirov regiont 87

CHRONICLE

- International scientific-practical conference dedicated to 100th anniversary of Pr. Emilia Andrianovna Shtina Algae and Cyanobacteria in Natural and Agricultural Ecosystems 94
- Bringning to safe state the radiation hazardous facilities of the Kirov-Chepetsk branch of the subsidiary «Privilzhskii territorial district «FSDP «RosRAO» 97

УДК 502.6:631.618:631.86

Теория и практика использования перфторуглеродов «голубой крови» при глубинном культивировании биодеструкторов

© 2010. М. К. Бакулин, д.м.н., профессор, С. В. Дармова, аспирант,
В. М. Бакулин, к.т.н., н.с.,
 Вятский государственный университет,
 e-mail: ВМК953@mail.ru

В обзоре рассматриваются теория и практика использования перфторуглеродов (ПФУ) при глубинном выращивании культур биодеструкторов. Показано, что кроме способности к транспорту газов, ПФУ обладают еще рядом уникальных для биотехнологии микроорганизмов свойств: химической устойчивостью и отсутствием токсичности для прокариот и эукариот, способностью модифицировать клеточные мембраны, улучшать транспорт питательных веществ. Добавление в среду ПФУ обеспечивает существенное увеличение скорости роста биодеструкторов, утилизации ксенобиотиков, фиксации азотобактером молекулярного азота на синтетической среде и многократное повышение выхода целевого продукта.

The investigation deals with theory and practical use of perfluorocarbons (PFU) for deep cultivation of biodestructors' cultures. It is shown that in addition to ability to transport gases, PFU possess a number of characteristics unique for biotechnology: chemical stability, absence of toxicity for eukaryotic and prokaryotic microorganisms, ability to modify cells' membranes, improve nutritious substances transporting. Addition of PFU to the medium provides a considerable increase of growth rate of biodestructors, utilization of xenobiotics, fixing molecular nitrogen by means of azotobacter in the synthetic media and repeated increase of the ultimate product output.

Ключевые слова: перфторуглероды (ПФУ), «голубая кровь», биотехнология, микроорганизмы, биодеструкторы, глубинное культивирование

Key words: perfluorocarbons (PFU), «blue blood», biotechnology, microorganisms, biodestructors, deep cultivation

Разработка кровезаменителей на основе эмульсий перфторуглеродов (ПФУ) с газотранспортной функцией почти одновременно началась в разных странах в конце 60-х начале 70-х гг. XX столетия. Перечень основополагающих в этом направлении публикаций включает работы, принадлежащие Л. Кларку (L. Clark), Р. Гейеру (R. Geyer), Ф. Голлану (F. Gollan), Р. Найто (R. Naito), К. Якояме (K. Yokoyama) [1 – 3].

В нашей стране исследования по созданию кровезаменителей такого рода стали возможными в 70 гг. XX столетия, когда «группа химиков-фтороргаников под руководством академика Ивана Людвиговича Кнунянца стала искать медико-биологическое приложение своей продукции» [цит. по 4]. Эти поиски вылились в крупномасштабную программу «Перфторуглероды в биологии и медицине», к которой были привлечены 40 академических институтов и предприятий СССР. Программу возглавили биофизик Г. Р. Иваницкий, врач Ф. Ф. Белоярцев и химик И. Л. Кнунянц. В 1982 г. отечественный препарат был разработан и получил название перфторан. Это – эмульсия, имеющая на

просвет голубоватый оттенок, который связан с рассеянием белого света малыми частицами (средний размер 70 нанометров) перфторуглеродов. Поэтому в средствах массовой информации перфторан получил название «голубая кровь», а его газотранспортные компоненты – перфторуглероды (ПФУ) названы «голубыми алмазами перфторана» [5].

В этот же период в результате работ учёных разных стран с использованием перфторуглеродов был создан целый ряд кровезаменителей с газотранспортной функцией: Oxygent, Liqui Vent, Therox, Oxyfluor (США); Fluosol-DA (Япония); Emulsion II (Китай) [6, 7]. Следует отметить, что, несмотря на превосходство перфторана по своим характеристикам над зарубежными аналогами, его ожидала длительная и трагическая борьба с чиновниками от науки и многочисленными недругами, не желающими верить в отечественный препарат. Трагическая история разработки перфторана была описана во многих научных изданиях, средствах массовой информации, в том числе и в журнале «Nature» [8, 9]. В конечном итоге препарат всё-таки был зарегистрирован Фармкомитетом России в 1995 г.,

и ещё через два года Министерством здравоохранения России была выдана лицензия разработчикам препарата на его массовое производство. Необходимо отметить, что сочетание уникальной отечественной технологии получения кровезаменителя и свойства наночастиц (размер эритроцита крови человека в сто раз превышает средний размер ПФУ-частиц перфторана) перфторуглеродов в эмульсии, сделало российский препарат непревзойдённым по своей лечебной эффективности среди лучших мировых аналогов. Перфторан зарекомендовал себя в качестве исключительно полезного препарата в Центре медицины катастроф Кузбасса при спасении шахтёров. Руководитель этого Центра – профессор Ильгиз Галеев – в интервью автору статьи [10] отмечает, что «именно кровезаменитель, а не кровь были нужны в первую очередь на месте трагедии во время пожара в «Хромой лошади» ... и, если бы, пострадавшим при террористическом акте в «Норд Осте» и во многих других местах, где была нужна скорая помощь и «где кровь не могла идти в лёгкие» из-за угарного или других газов, баротравм или ожогов, «...экстренно был введён перфторан, многих удалось бы спасти!». Однако, несмотря на многочисленные положительные отзывы и заключения отечественных и зарубежных специалистов о высокой эффективности этой уникальной разработки Российских учёных, признающих перфторан лучшим среди аналогов этого рода, он остаётся до наших дней на правах «Золушки» в Министерстве здравоохранения и социального развития РФ и Федеральном медико-биологическом агентстве.

Следует отметить, что исследования, проведённые при разработке кровезаменителей типа перфторана, подняли новые пласты научных данных, свидетельствующих о широких возможностях применения ПФУ в различных областях медицины: кардиологии, пульмонологии, гематологии, гепатологии, травматологии, трансплантологии, онкологии, иммунологии, при шоковых состояниях различного генеза, токсикологии и многих других [11 – 13]. Достойное применение перфторуглероды находят и при производстве косметических средств. Так, компания Faberlic включает в них, кроме эксклюзивных биологически-активных добавок, уникальную эмульсию «Аквафтем», которая представляет собой эмульгированные перфторуглероды, обеспечивающие доставку молекулярного кислорода в глубокие слои кожи [14, 15].

К сожалению, в период разработки перфторана, а тем более в последние годы область изучения ПФУ была и остаётся сугубо медицинской. Существенно сдерживает расширение областей применения ПФУ то, что научная литература по соединениям этого класса и механизмам их действия является библиографической редкостью и доступна в настоящее время ограниченному кругу учёных. Об этом свидетельствует тот факт, что 99% всех научных публикаций в этой области имеют исключительно клиническую направленность. Такое сужение направленности исследований перфторуглеродов лишь областью медицины и созданием кровезаменителей существенно обедняет результативность и возможности их использования для практических нужд. Вне внимания учёных осталась такая обширная область приложения перфторуглеродов, как биотехнология.

Как показали результаты исследований, проведённых сотрудниками Вятского государственного университета, главному объекту биотехнологии – микроорганизмам – тоже нужна «голубая кровь» [16 – 21].

Кровь – жидкая «ткань», осуществляющая в организме транспорт химических веществ (в т. ч. кислорода), благодаря которому происходит интеграция биохимических процессов, протекающих в различных клетках и межклеточных пространствах, в единую систему» [22]. Если провести аналогию этого определения, приведённого в медицинской энциклопедии, с глубинным культивированием микроорганизмов, то по своей сути, кровь является той культуральной средой, в которой размножаются, живут, развиваются и выполняют свои функции клетки макроорганизма. Кровь выполняет газотранспортную, защитную, терморегуляторную, питательную, гомеостатическую и другие функции. Несмотря на выполнение многих функций в организме газотранспортная или дыхательная функция поставлена при описании физиологии крови на первое место. Транспорт газов, осуществляемый кровью, представляет сложную уникальную систему обеспечения каждой клетки макроорганизма кислородом и удаления газообразных продуктов метаболизма.

Многим микроорганизмам (прокариотам и эукариотам) жизненно необходим кислород [5]. Он непосредственно участвует в различных биохимических реакциях, обеспечивающих процессы жизнедеятельности микробов. Кислород является важнейшим элементом, используемым микроорганизмами для построения структурных компонентов микробной

клетки и получения энергии, его доля в сухом веществе клетки составляет 30–35%, в активных вегетативных клетках его содержание за счёт кислорода воды, углеводов, липидов, белков, нуклеиновых кислот достигает 82–90%.

Кислород поступает в клетки в составе воды, диоксида углерода и органических соединений. Кроме того, он содержится в CO₂ и многих органических соединениях. Однако подавляющему большинству используемых в биотехнологии микроорганизмов крайне необходим молекулярный кислород (O₂). Кислород является наиболее реакционноспособным компонентом воздуха. Сухой воздух у поверхности Земли содержит 78,1% азота, 20,9% кислорода, 0,03% углекислого газа, 1% инертных газов, но не все микроорганизмы обладают способностью ассимилировать кислород из воздуха, они потребляют кислород, растворённый в воде, питательных средах и других субстратах. Главная функция O₂ состоит в том, что он служит конечным акцептором электронов при аэробном дыхании. При этом O₂ восстанавливается до воды. В структурные компоненты клетки атомы кислорода включаются только в том случае, если источниками углерода служат метан, углеводороды с длинной цепью или ароматические углеводороды [23].

Изучение потребности микроорганизмов в кислороде началось с открытия Луи Пастером факта использования кислорода дрожжами для окисления источников углерода и энергии. Количественное исследование этого явления началось в первой половине XX века с внедрением инструментальных методов контроля интенсивности дыхания и стехиометрии окисления субстрата. С середины прошлого столетия, с развитием глубинного культивирования разнообразных микробов, проблема обеспечения глубинных культур кислородом стала одной из основных при разработке управляемого выращивания микроорганизмов [24].

При выращивании микроорганизмов в промышленных условиях обеспечение кислородом (или его удаление для анаэробов) является одним из важнейших факторов, определяющих продуктивность процесса накопления биомассы.

Присутствующие в питательных средах растворённые вещества (сахара, минеральные соли и др.), как правило, уменьшают растворимость кислорода. Для микроорганизмов, растущих на агаре или в тонких слоях жидкости в присутствии воздуха, кислорода обычно достаточно. В жидких средах при большом объёме жидкости аэробные микроорганизмы мо-

гут расти только на поверхности, так как в более глубоких слоях по мере удаления от поверхности условия приближаются к анаэробным. Для нормального роста аэробных микроорганизмов в глубоких слоях жидкой культуры требуется аэрация. Литр воды при 20°C и нормальном атмосферном давлении содержит всего лишь 6,2 мл или 0,28 ммоль кислорода. Такого количества достаточно для окисления не более 0,046 ммоль или 8,3 мг глюкозы (т. е. примерно одной тысячной общего количества глюкозы, содержащейся в обычных питательных средах). Поэтому в среде невозможно создать значительный запас O₂ и его приходится добавлять в жидкую среду непрерывно.

Для аэрации жидких культур используются либо обычным воздухом, либо смесью кислорода, азота и диоксида углерода. Потребление кислорода микроорганизмами зависит от индивидуальных особенностей культуры, состава среды, физиологической активности клеток, фазы развития популяции, концентрации кислорода в среде. Скорость перехода молекулярного кислорода в раствор возрастает с повышением парциального давления и с увеличением поверхности раздела между газовой и жидкой фазами. Необходимость своевременного и качественного обеспечения микробных клеток кислородом при глубинном культивировании заставляет биотехнологов прибегать к разнообразным дорогостоящим ухищрениям, которые, однако, не обеспечивают во многих случаях равномерное и полноценное снабжение всей популяции микробов кислородом и удаление отработанных газообразных продуктов из среды.

Мы подошли к решению проблемы улучшения транспорта газов в глубинных культурах микроорганизмов с нетривиальной позиции, а именно, – используя общие закономерности процессов обеспечения клеток и тканей организма человека с помощью крови для решения вопросов снабжения кислородом культивируемых микробов с помощью аналогов крови с газотранспортной функцией на основе перфторорганических соединений [16].

Результаты исследований показали, что при культивировании эукариотных и прокариотных микроорганизмов, являющихся источниками различных биологических продуктов, и обладающих более интенсивным обменом, чем организмы человека и животных, и, следовательно, повышенной потребностью в кислороде, весьма эффективно применение перфторуглеродов. По-видимому, ПФУ не только обеспечивает увеличение концентрации кислорода в среде, но и улучшает достав-

ку его клеткам, модифицирует клеточные мембраны, стимулируя транспорт питательных веществ и газовый обмен у микроорганизмов в глубинных культурах [16 – 21].

Перфторорганические соединения (ПФОС) отличаются высокой устойчивостью к действию физических и химических факторов; отсутствием токсичности для одноклеточных и многоклеточных организмов в широком диапазоне концентраций в среде; большой способностью растворять газы, доставлять их клеткам и тканям; модифицировать клеточные мембраны; ускорять процессы массопереноса; улучшать метаболизм клеток и скорость их роста. Так, внесение в жидкую питательную среду перфтордекалина, карбогала, перфторметилдекалина или «Перфторана» – кровезаменителя, содержащего в своём составе перфтордекалин и перфторметилциклогексилпиперидин, приводило к повышению уровня продукции микроорганизмами антибиотиков, скорости их роста, утилизации ими ксенобиотиков.

Нами было проведено культивирование микроорганизмов прокариотов, относящихся к энтеробактериям, псевдомонадам, бациллам, актиномицетам, цианобактериям, ярровиям, родококкам, и эукариотов, относящихся к простейшим и микромицетам, при этом было показано, что добавление в среду ПФУ с газотранспортной функцией во многих случаях значительно ускоряет рост и развитие микроорганизмов в разных условиях культивирования.

С точки зрения экологии особый интерес представляют исследования, проведённые с биодеструкторами нефтепродуктов. К биодеструкторам нефтепродуктов относят значительное число микроорганизмов – представителей разных таксономических групп: псевдомонад, бацилл, родококков, микобактерий, микромицетов и других микробов, которые выращивают в производственных условиях для интродукции в контаминированную нефтью среду [25, 26].

Результаты многочисленных лабораторных и полевых исследований процессов микробной деструкции углеводородов нефти и сопряжённых с ними процессов трансформации углеводородов в загрязнённых нефтепродуктами почвах показали, что активность углеводородокисляющих микроорганизмов находится в прямой зависимости от интенсивности аэрации почвы или культуральной среды, обеспечивающей поступление с воздухом из атмосферы кислорода и азота, и активности связывания последнего азотфиксирующими бактериями [25 – 27]. Азотсодержащие минеральные удобрения (аммиачная селитра, азофос

и др.), традиционно применяемые для рекультивации земель нефтезагрязнённых районов в средних дозах от 500 до 1000 кг/га, приводят к подавлению функционирования аборигенной азотфиксирующей микрофлоры, инактивации процессов биологической азотфиксации в почвах сельскохозяйственных угодий и к значительным потерям азота минеральных удобрений в результате усиления процессов денитрификации [27].

Для улучшения транспорта кислорода и снабжения им клеток микроорганизмов-нефтедеструкторов в культуральных средах, содержащих высокие концентрации углеводородов нефти и нефтепродуктов, было предложено вносить в них различные концентрации жидких перфторорганических соединений (ПФОС) с газотранспортной функцией и других переносчиков кислорода [27 – 29].

Результаты проведённых экспериментов свидетельствовали о перспективности использования перфтордекалина (в меньшей степени карбогала) для получения биомассы микроорганизмов – биодеструкторов нефти в ассоциации с азотфиксирующими бактериями. При этом возможно использование более дешёвой синтетической среды со сниженной более чем в 20 раз концентрацией азотсодержащего компонента (однозамещенного фосфорнокислого аммония), обычно применяемого для выращивания нефтедеструкторов на синтетических средах с нефтью. Использование ПФУ способствовало возрастанию нитрогеназной активности азотобактера и увеличению количества фиксированного из воздуха азота. Показана возможность существенной интенсификации биодеструктивной активности грамположительных и грамотрицательных бактерий из разных таксономических групп, а также микромицетов рода *Fusarium* в комбинации с азотобактером при добавлении в среду культивирования перфтордекалина и карбогала [20 – 28].

Результаты исследований, показали, что с помощью перфторуглеродов, обладающих газотранспортной функцией, возможно решение общих и частных вопросов микробиологического синтеза физиологически активных веществ, создания новых систем микробиологической деградации экотоксикантов, производства разнообразных биопрепаратов.

Не надо быть большим пророком, чтобы предвидеть в ближайшее десятилетие прорыв в применении перфторуглеродов именно в области биотехнологии, основанной на глубинном культивировании культур микроорганизмов. Относительная дороговизна ПФУ стори-

цей окупится результатами их применения в различных областях промышленной биотехнологии и экобиотехнологии.

Литература

1. Clark L. Survival of mammals breathing organic liquids equilibrated with oxygen at atmospheric pressure // *Science*. 1966. V. 152. № 3730. P. 1755–1756.
2. Geyer R.P. Fluorocarbon artificial blood substitutes // *New Engl. J. Med.* 1973. V. 289. P. 1077–1082.
3. Naito R. On the perfluorodecalin – phospholipid emulsion as the red cell substitute // *Proc. X-th Int. Congr. Nutz-Symp. Perfluorochemical Artificial Blood*. Kyoto. 1975. P. 55–72.
4. Иваницкий Г.Р. Дар жизни или поцелуй смерти // *Вестник РАН*. 1999. № 3. С. 273–276.
5. Иваницкий Г.Р. Биофизика на пороге нового тысячелетия: перфторуглеродные среды и газотранспортные кровезаменители // *Биофизика*. 2001. Т. 46. № 1. С. 5–33.
6. Иваницкий Г.Р. Биофизические основы создания перфторуглеродных сред и газотранспортных кровезаменителей (обзор) // *Перфторорганические соединения в биологии и медицине*. Пуццино. 2001. С. 4–48.
7. Иваницкий Г.Р. Переливание крови: против, за и альтернатива // *Наука и жизнь*. 1999. № 2. С. 14–19.
8. Rich V. Scandal over Soviet artificial blood research project // *Nature*. 1988. V. 335. № 6186. P. 107.
9. Маевский, Е.И. О некоторых проблемах внедрения наукоемких продуктов на примере истории препарата перфторан // *Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии: Материалы XIII Международной конференции*. Пуццино. 2004. С. 32–48.
10. Попова Н. «Кислородная подушка» для углекислого газа // *Аргументы недели*. 2010. № 211. С. 10–11.
11. Артамонова В.С. Эпоха перфторуглеродов // *Химия и жизнь – XXI век*. 1998. № 7. С. 14–19.
12. Богданова Л.А., Маевский Е.И., Иваницкий Г.Р., Пушкин С.Ю., Аксенова О.Г. Краткий обзор применения перфторана в клинике // *Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии: Материалы XIII Международной конференции*. Пуццино. 2004. С. 18–32.
13. Жукаускас Г.Ю., Дапшис К.Л. Многофункциональное применение перфторуглеродов // *Физиологически активные вещества на основе перфторуглеродов в экспериментальной и клинической медицине*. С.-Петербург: ВМА, 2001. С. 18–20.
14. Краснова В. Российская компания решила создать косметический брэнд мирового класса. Для этого ей понадобился инновационный продукт и техника сетевого маркетинга // *Эксперт*. 2002. № 20. С. 26–34.
15. Faberlic – кислородная косметика. Каталог компании Faberlic. 2002. 40 с.
16. Бакулин М.К., Кучеренко А.С., Золотарев А.Г., Кривошеина Н.А. Нужна ли «голубая кровь микроорганизмам»? // *МВФ. Медицина. Фармация*. 2003. № 2. С. 7–11.
17. Бакулин М.К., Кучеренко А.С., Бакулина Л.В., Шведов В.В. Влияние перфторорганических соединений на рост стрептомицетов и биосинтез ими антибиотика даунорубицина // *Антибиотики и химиотерапия*. 2003. Т. 48. № 12. С. 5–8.
18. Бакулин М.К., Захаров В.Ю., Чеботарев Е.В. Интенсификация биodeградации нефти и нефтепродуктов под влиянием перфтордекалина // *Прикл. биохимия и микробиология*. 2004. Т. 40. № 3. С. 317–322.
19. Бакулин М.К., Дармов И.В., Кучеренко А.С., Бакулина Л.В. «Голубая кровь» в биотехнологии глубинного выращивания культур бактерий на синтетической среде с нефтью // *Биотехнология*. 2004. № 3. С. 55–62.
20. Бакулин М.К., Чеботарев Е.В., Кучеренко А.С. Использование перфторуглеродов для интенсификации микробной деградации ксенобиотиков на примере нефти и нефтепродуктов // *Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии: Материалы XIII Международной конференции*. Пуццино. 2004. С. 175–186.
21. Бакулин М.К., Дармов И.В., Кучеренко А.С., Грудцына А.С., Плетнёва А.Ю. Интенсификация скорости роста бактерий и микромицетов в глубинных культурах под влиянием перфторорганических соединений // *Биотехнология: состояние и перспективы развития: Материалы II Московского международного конгресса в 2 ч*. Москва. 2003. Ч. 1 С. 317–318.
22. Балаховский И.С., Борисов, Мовшев Б.Е. *Кровь: Большая медицинская энциклопедия*. М.: Изд-во: Сов. Энциклопедия, 1980. Т. 12. С. 93–132.
23. *Промышленная микробиология* / Под ред. Н.С. Егорова. М.: Высш. школа, 1989. 688 с.
24. Шлегель Г.Г. *Общая микробиология* М.: Мир. 1987. 568 с.
25. Киреева Н.А. *Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах Уфа: Изд-во БашГУ*. 1995. 172 с.
26. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Бойко Т.Ф., Галимзянова Н.Ф. Использование биогенных добавок совместно с препаратом «Деворойл» для рекультивации нефтезагрязненных почв // *Биотехнология*. 2002. № 2. С. 57–65.
27. Терещенко Н.Н., Лушников С.В., Пышьева Е.В. Биологическая азотфиксация как фактор ускорения микробной деструкции нефтяных углеводородов в почве и способы ее стимулирования // *Биотехнология*. 2004. № 5. С. 69–79.
28. Бакулин М.К., Плетнева А.Ю., Грудцына А.С. Биологическая фиксация азота и рост бактерий рода *Azotobacter* в жидких средах в присутствии перфторуглеродов // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2007. Т. 43. № 4. С. 443–449.
29. Бакулин М.К., Плетнева А.Ю., Грудцына А.С. Медико-биологические аспекты использования перфторуглеродов с газотранспортной функцией в медицине и ветеринарии // *Ветеринарная медицина*. 2006. № 2–3. С. 25–27.

Развитие и взаимосвязи биоэкологии и геоэкологии

© 2010. С. А. Сладкопевцев, д.т.н., профессор,
Московский государственный университет геодезии и картографии,
e-mail: vp@miigaik.ru

В обзоре рассматриваются пути развития и достижения двух направлений экологии: биоэкологии и геоэкологии. Рассмотрено взаимодействие между этими направлениями.

The survey deals with the ways and achievements of development of two directions of ecology: bioecology and geoecology. The article considers interaction between these directions.

Ключевые слова: биоэкология, геоэкология, лесная растительность.

Key words: bioecology, geoecology, forest vegetation

Растительный покров Земли, также как и животный мир, при решении проблем экологии играет двоякую роль. Как объект исследования, находящийся под влиянием ряда природных и антропогенных факторов, он представляет интерес для *биоэкологии*. С другой стороны, являясь компонентом природной среды и влияя на состояние климата, гидрографии, почв и рельефа, растительность активно изучается в исследованиях *геоэкологического* направления. Учитывая тесные взаимосвязи двух указанных направлений экологии, можно дать оценку роли достижений биоэкологии в решении геоэкологических задач и, напротив, успехов геоэкологии в расширении аспектов биоэкологических исследований.

Ниже анализируются результаты исследований растительного покрова, полученные преимущественно за последние 10 лет в процессе подготовки докторских и кандидатских диссертаций. На наш взгляд, именно подобные результаты, как труднодоступные для широкого круга пользователей, заслуживают изучения и интерпретации в интересах двух упомянутых направлений экологии.

В фундаментальной и основополагающей для экологии работе В. Г. Горшкова [1] рассмотрены основы организации, устойчивости и эволюции биосферы как условий жизни. Физиология и развитие организмов и их сообществ являются предметом рассмотрения и представляют собой теоритические основы биоэкологии. В то же время исследования и выводы, сделанные в работе, имеют непосредственное отношение к вопросам антропогенных изменений экосистем и охраны природы, т.е. к проблемам геоэкологии. Труд В. Г. Горшкова представляет собой показательный при-

мер тесных связей основных функций биосферы – биоэкологической (самоорганизация, регуляция, энергетика) и геоэкологической (влияние на окружающую среду и её стабилизацию, передача внутренних возмущений на внешние условия).

Оценка современного состояния и состава растительного покрова Верхневолжья, тенденции его изменения под влиянием комплекса антропогенных факторов – цель работы Л. П. Груздовой [2]. Ценность работы – во всестороннем анализе антропогенных воздействий: вырубка, пожары, подтопление, сенокосение, рекреационное использование, загрязнение. Геоэкологические аспекты работы заключаются в изучении влияния растительности на формирование качества природных вод, процесса заболачивания, и зарастания водохранилищ. В результате представлена полноценная картина образования и развития природно-техногенных экосистем бассейна Верхней Волги с рекомендациями по программам рационального природопользования и охраны природы.

Ретроспективный анализ изменения лесов Подмосковья за последние три столетия проведён в работе С. Н. Голубчикова [3]. При рассмотрении экологических последствий лесопользования обращается внимание на омоложение лесов, расширение площадей хвойных и берёзово-осиновых культур за счёт липово-дубовых, ухудшение свойств лесных почв, расширение сезонной мерзлоты, возрастание поверхностного стока и исчезновение 30% родников и малых рек. Таким образом, изменение лесов стало мощным фактором дифференциации ландшафтной структуры региона.

Крупный вклад в биоэкологию внесён исследованиями болотных систем В. В. Пановым [4]. В числе основных решаемых задач можно назвать определение структуры болот (фации и вертикальная зональность торфяников), факторов их развития (рост, саморегулирование, круговорот вещества), процессов торфообразования (классификация и диагнез торфа, его водно-минеральное питание). Предложена классификация структурных моделей торфяника, предложены модели, в которых отражены форма и неоднородность торфяной залежи, её прочность, распределение напряжений и характер роста. Особенности болотных систем, их структура, динамика и способность к адаптации, определяют их реакцию на внешнее воздействие, в том числе антропогенное. В связи с этим дана геоэкологическая оценка состояния выработанных торфяных болот и их классификация. Одновременно с определением ранга техногенного воздействия рассчитаны примерные скорости восстановления болот. Исследования завершаются схемами регенерации торфяных болот и их основными условиями. Дана многоплановая оценка последствий эксплуатации и регенерации торфяников для природопользования, восстановления биоразнообразия, условий жизнедеятельности и экологической безопасности.

Проблемам создания и сохранения экологических сетей (каркасов) на примере Орловской области посвящена работа О. М. Пригоряну [5]. Представлен анализ растительных сообществ лесного, лесостепного и лугово-степного типов с оценкой доли редких и охраняемых видов растений. Составлены карты экологических ядер и коридоров, образующих сети. Результатом исследований явилось выделение зон наилучшей нагрузки на природные экосистемы, территории перспективные с точки зрения сохранения биоразнообразия, а также разработка системы охраняемых природных территорий Орловской области.

Фитоценотическое разнообразие и динамика лесной растительности Московской области оценены в работе Я. Набиоллах [6]. В результате инвентаризации и картографирования в разных масштабах выявлены ландшафтные связи и состояние растительного покрова, определены экологические функции лесов. Даны рекомендации для организации заповедного режима территорий разного статуса в целях создания их экологического каркаса.

В работе О. Н. Липки [7] на примере Северо-Западного Кавказа было проведено ботанико-географическое изучение флористического богатства и биоразнообразия растительности. Уточнена высотно-поясная структура и обоснована уникальность экосистем региона. Значение работы для геоэкологии заключается в оценке антропогенных факторов, воздействующих на растительность: пожаров, вырубок лесов, добычи полезных ископаемых, прокладки дорог, выпаса и сбора редких растений. По степени нарушения были выделены 4 категории растительных сообществ. На этом основании даны рекомендации по охране природы и рациональному природопользованию.

Инвентаризация типологического разнообразия биома восточно-европейских широколиственных хвойных лесов позволила Е. В. Булдановой [8] выявить основные особенности фитоценотической структуры лесного покрова и его региональных подразделений. По материалам исследования был разработан унифицированный паспорт биома, а также система карт как научная база для обеспечения мониторинга лесов. Интересам геоэкологии отвечает оценка репрезентативности существующей сети особо охраняемых природных объектов и рекомендации по расширению этой сети.

В процессе изучения бореальных лесов европейской территории России М. В. Зминым [9] были предложены новые методические подходы. Для оценки экологических функций лесов была выявлена закономерность сочетания параметров продуктивности и депонирования углерода. Изучение средообразующих функций лесов позволило подойти к решению задач рационального природопользования, управления территориями и обоснований инвестиций в строительство хозяйственных объектов. Комплексное рассмотрение вопроса экологических функций растительного покрова базируется на учёте влияния климата, геологического строения, рельефа и почв. Экологические принципы, используемые в работе, придают ей ярко выраженную геоэкологическую направленность.

Рассмотрим ряд работ, где использование аэрокосмических методов в решении задач биоэкологии и геоэкологии является приоритетным и приводит к новым важным выводам. Работами охвачены различные регионы России и соседних государств.

Структура лесных фитоценозов, их восстановительная и возрастная динамика с ис-

пользованием аэрофотоснимков изучалась Н. Н. Зинчуком [10] на примере ряда труднодоступных залесённых регионов Европейской России и Сибири. При этом в качестве важного показателя состояния и возраста древостоев выбрано расстояние между деревьями. Этот показатель определяется путём микрофотометрического анализа аэрофотоснимков и поэтому обеспечивает оценку древостоев на больших площадях. Используемая методика применялась для уточнения топографического картографирования лесов, оценки их бонитета и состояния в качестве критерия экологической обстановки природно-техногенных экосистем.

Изучение распространения лесов, изменений их площадей за последние 100–200 лет и причин этого – важные вопросы биоэкологии и геоэкологии. Один из эффективных путей решения этих задач – совместный анализ старых картографических материалов и разновозрастных космических снимков. Подобную работу выполнила И. В. Кукса [11] для европейской территории России. Основным результатом работы явилась карта, где показаны площади уменьшения лесистости в связи с лесозаготовками и сельскохозяйственным освоением и площади увеличения лесов на заброшенных пахотно-сенокосных угодьях. Подсчитано, что доля сократившихся лесных площадей в целом равна доле появившихся. Обезлесение характерно для территории северной и средней тайги, а появились преимущественно южнотаёжные и широколиственные леса.

На примере залесённых и заболоченных земель Беларуси Ю. М. Обуховским [12] была разработана система ландшафтных индикаторов. Экстраполяция дешифровочных признаков, полученных на эталонных участках, позволила провести районирование территорий страны. Результатом работы явилось также изучение внутриландшафтных связей природно-территориальных комплексов и особенностей морфогенеза в нарушенных лесоболотных ландшафтах (деградация торфяной залежи, трансформация нанорельефа, активизация склоновых процессов). По архивным и картографическим материалам прослежена динамика комплексов за последние 200 лет, по снимкам за период 40–45 лет. По перспективным планам развития даны сообщения прогнозного характера.

В целях разработки системы мониторинга лесных пожаров Е. Н. Куликом [13] было проведено изучение структуры лесов Новоси-

бирской области. Дана оценка условий и степени пожароопасности, проведён расчёт вегетационных индексов и площадей поражения лесов. На региональном уровне разработана методика выявления сезонных изменений вегетации и построения прогнозных карт по индексам зеленоцветности. Показано, что методы дистанционного зондирования эффективны при картографировании контуров пожаров через слой дыма и полог древостоя, при обнаружении естественных преград тушения крупных очагов, при оценке послепожарного состояния лесов. Таким образом, данная работа нацелена на одновременное решение биоэкологических, геоэкологических, ресурсных и природоохранных задач.

Леса охраняемых природных объектов – национальных парков, заповедников – представляют собой предмет особого внимания биоэкологов как территории сохранившегося генофонда растительного покрова и мало изменённых природных экосистем. В этих целях на площадях национальных парков Куршская коса, Водлозерский и Лосинный остров С. В. Князевой [14] были определены такие показатели как лесистость и целостность лесопокрываемых ареалов, доля коренных пород и обнажённых площадей, заболоченность. Использование методов автоматизированного дешифрирования показало, что достоверность определения перечисленных показателей довольно высока и варьирует в пределах 65–90%. Основой распознавания состава насаждений было составление гистограмм распределения значений вегетационных индексов. Были установлены связи индексов с породным составом лесов, их возрастом и высотой, диаметром стволов и крон. Изучение экосистем Куршской косы завершилось созданием весьма информативной карты с полноценным отражением всех компонентов природной среды. Оригинальным выглядит разделение экосистем на две части – фитоценозы и экотопы (грунты, рельеф, почвы, увлажнение). Обеспечение экологического мониторинга представлено разнообразными картами динамики, которые оценивают роль естественных (ветровалы, заболачивание) и антропогенных (облесение и закрепление песков) факторов состояния экосистем на протяжении ряда лет.

Изучение структуры и состояния зелёных насаждений мегаполисов позволяет оценить их роль в создании микроклимата и качества среды обитания городского населения, а также их архитектурно-эстетические

функции. Подобная работа была выполнена Н. А. Подгорной [15] на примере московской городской агломерации. Среди решаемых задач следует отметить составление экологических паспортов площадей зелёных насаждений и разработку информационного обеспечения аэрокосмического мониторинга объектов «зелёного пояса» Москвы. В процессе мониторинга рекомендуется увязывать физико-биологические свойства растений с градостроительными характеристиками озеленённых территорий и общим состоянием окружающей среды.

В южных регионах Западной Сибири мелколиственные леса подвержены вымоканию – деградации под влиянием длительного застоя воды, подъёма уровня грунтовых вод, заболачиванию и засолению почв. С использованием материалов более ранних исследований и технологии дистанционных методов А. С. Черепановым [16] были составлены карты динамики распространения лесов за период 1987–2006 гг. и площадей лесов, находящихся на разных стадиях вымокания. Выявлена связь ареалов вымокания с транспортными магистралями, а также с древними долинами и ложбинами поверхностного стока.

Наглядными примерами того, как меняются в сторону расширения задачи биоэкологии, служат исследования лесов на территориях активного освоения и сильного антропогенного воздействия на природную среду. С использованием методов дистанционного зондирования такие работы были проведены в московской области С. С. Барталёвым [17]. Оценивались структура лесных насаждений, изменения их породного состава и лесистости в результате пожаров и вырубок. Были получены относительные показатели обеспеченности растений хлорофиллом и влагой, что в значительной степени определяет физиологическое состояние лесов. Особенно ярко это проявляется у хвойных насаждений, которые более чувствительны к загрязнению окружающей среды. Важным результатом исследования явились карты лесов – инвентаризационная и экологическая, которые целесообразно использовать как базу данных для организации системы мониторинга и решения задач охраны природы.

Бореальные леса планеты выполняют ресурсную и экологическую роль на глобальном уровне, но также значимые социальные и экономические последствия. Решение задач оценки, сохранения и прочного состояния се-

верных лесов на огромных площадях невозможно без использования автоматизированных технологий мониторинга по спутниковым данным. Методика и реализация подобных исследований представлена на примере разработки системы мониторинга растительного покрова Северной Европы В. А. Егоровым [18]. Новизной работы является комбинированное использование спектральных и температурных характеристик залесенных площадей. Полученные результаты вошли в общую систему мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства Министерства природных ресурсов РФ.

Появление и быстрое размножение насекомых-вредителей, в частности Сибирского шелкопряда приводит к повреждению и последующей гибели лесов. Эти процессы меняют состояние древостоя и спектральные характеристики растительности, что дешифрируется на космических снимках. В целях совершенствования технологии дистанционных методов Н. В. Королёвой [19] были проведены исследования поражённых лесов на территориях Красноярского края и Иркутской области. Эксперименты показали, что снимки низкого разрешения (1–4 км) дают значительные погрешности в определении площадей повреждения, а использование высокоточной информации локального уровня (10–30 м) затрудняет экстраполяцию данных на большие площади. Наиболее эффективным оказалось использование снимков с разрешением 25–1000 м, позволяющее одновременно решать задачи регионального и национального масштаба. Общая достоверность определения площадей повреждения составила 96,03%. При этом ошибки пропуска цели и ложных тревог составляют 3,97% и 0,87% соответственно.

Переход на исследование лесов в крупнорегиональном и глобальном масштабах требует более внимательного учёта неоднородности спектрально-отражательных и ряда физических характеристик однотипных видов растительного покрова. В ряде случаев необходимы методы объединения объектов по сходным признакам и создание локально-адаптивной системы классификации признаков дешифрирования. На примере залесённых территорий России подобная работа была проведена И. А. Уваровым [20] с использованием спутниковой информации среднего разрешения (250–1000 м). Итогом исследования явилась карта растительного покрова России, превосходящая по детальности ранее составленные.

Представленный программный комплекс позволяет получать временные серии карт аналогичного типа, что может служить основой государственной и глобальной систем экологического мониторинга.

В целях освещения актуальных проблем геоэкологии К. И. Лопатиным и С. А. Сладкопевцевым [21] были рассмотрены их типы, причины появления, масштабность во времени и пространстве, вероятность решения. Такие аспекты как классификация и границы экосистем, их устойчивость и прогноз развития, территориальные проблемы и системы охраны природы относятся к сфере интересов биоэкологии. Вопросы нормативов и показателей напряжённости экологических обстановок, оценки антропогенного влияния на окружающую среду, проблемы городов в большей мере отвечают интересам геоэкологии. Подчёркивается, что оба направления экологии используют современные методы исследования и совместно обеспечивают системы экологического образования.

На основании приведённого выше обзора можно сделать следующие выводы:

- В рассмотренных работах отражены новейшие достижения в решении задач экологии. Об этом свидетельствует широкое использование современных методов исследования: дистанционных, картографических, создание систем мониторинга, автоматизированных банков данных, экологических паспортов и моделей.
- В свою очередь успехи науки и запросы практики стимулируют совершенствование применяемых и появление новых методов.
- Важные в методическом и практическом отношении достижения расширяют круг интересов биоэкологии. Фитоценозы и биомы рассматриваются с позиций их динамики, антропогенных изменений, устойчивости к внешним воздействиям, создания систем охраны и управления природой.
- Результаты исследований указывают на последовательное сближение интересов биоэкологии и геоэкологии, их взаимное обогащение. Для биоэкологии – это прежде всего получение огромной информации о влиянии техногенеза на состояние растительности. Для геоэкологии важны данные о влиянии антропогенно-изменённых растительных сообществ на грунты, рельеф, почвы, поверхностный сток и в целом на состояние экосистем.

Задачи биоэкологии и геоэкологии сближаются также при решении социально-экономических вопросов.

– Не отрицая важности конкретных узкоспециализированных исследований, следует констатировать возрастающее значение решений комплексных задач, где используется потенциал не только экологии в целом, но и многих смежных наук. Стимулом для подобной интеграции являются усложняющиеся экологические проблемы регионального, континентального и глобального масштабов.

Литература

1. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М. 1995. 470 с.
2. Груздева Л.П. Растительный покров бассейна Верхней Волги – состав, динамика, картографирование, стратегия охраны: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. 1992. 58 с.
3. Голубчиков С.Н. Лесопользование как фактор формирования экологической среды Западного Подмосковья: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. 1996. 30 с.
4. Панов В.В. Геоэкологические основы регенерации торфяных болот: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. 2003. 44 с.
5. Пригоряну О.М. Биогеографические основы экологической сети Орловской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2004. 24 с.
6. Яралидарани Набиоллах. Динамика и современное состояние хвойно-широколиственных лесов Московской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2004. 24 с.
7. Липка О.Н. Ботаническое разнообразие и современное состояние растительности хребта Маркотх (Северо-Западный Кавказ): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2006. 24 с.
8. Булдакова Е.В. География ботанического разнообразия биомы восточноевропейских широколиственных лесов: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2009. 24 с.
9. Зимин М.В. Разработка методики картографирования средообразующих функций бореальных лесов европейской России: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2009. 24 с.
10. Кукса И.В. Исследование динамики распространения лесов по космическим снимкам и старым картам: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 1993. 24 с.
11. Зинчук Н.Н. Структурный анализ аэрофотоснимков при изучении динамики и картографировании лесной растительности: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 1989. 22 с.
12. Обуховский Ю.М. Дистанционная индикация лесо-болотных ландшафтов Белоруси: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. 1997. 34 с.

13. Кулик Е.Н. Разработка и исследование системы мониторинга лесных пожаров по материалам космических съёмки (на примере Новосибирской области): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2000. 24 с.

14. Князева С.В. Картографо-аэрокосмический мониторинг лесов национальных парков: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2006. 26 с.

15. Подгорная Н.А. Разработка информационного обеспечения аэрокосмического мониторинга зелёных насаждений мегаполиса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2008. 24 с.

16. Черепанов А.С. Методика картографирования вымывания лесов по космическим снимкам (на примере территории Курганской области): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2008. 24 с.

17. Барталёв С.С. Разработка методики региональной экологической оценки состояния лесов по данным

спутниковых наблюдений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2006. 24 с.

18. Егоров В.А. Мониторинг повреждений растительного покрова Северной Евразии пожарами по данным спутниковых наблюдений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2006. 24 с.

19. Королёва Н.В. Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки космических снимков с целью оценки степени повреждения лесов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2009. 24 с.

20. Уваров И.А. Разработка и использование технологии локально-адаптивной классификации данных спутниковых наблюдений для распознавания типов земного покрова. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2010. 24 с.

21. Лопатин К.И., Сладкопеев С.А. Проблемы геоэкологии. Москва: МДВ, 2008. 258 с.

Технологии диагностики геоэкологического состояния природно-техногенных газотранспортных систем

© 2010. А. В. Садов¹, д.г.-м.н., профессор,
С. Г. Павлов², к.т.н., начальник лаборатории, О. Б. Наполов², к.т.н., с.н.с.,
¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
² ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
e-mail: s-pavlov@vniigas.gasprom.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с технической диагностикой геоэкологического состояния природно-технических газотранспортных систем. Приведены научно-методические принципы диагностики газотранспортных систем, рассматривается структура организации работ по диагностике трубопроводов, дается характеристика используемых дистанционных методов при диагностике газотранспортных систем.

The article deals with problems connected with technical diagnostics of geo-ecological state of natural-technical gas-transport systems. It states scientific methodological principles of gas-transport systems diagnostics, considers the structure of organization of pipe diagnostics, characterizes the distance methods used at diagnostics of gas-transport systems.

Ключевые слова: газотранспортная система, диагностика, природно-технические системы, аэрокосмические методы

Key words: gas-transport system, diagnostics, natural-technical systems, aero-cosmic methods

Диагностике состояния газотранспортных систем на газопроводах посвящены работы [1 – 4]. Первоочередной задачей диагностики является вывод о возможности дальнейшей эксплуатации газопровода. Не менее важными задачами являются: определение соответствия фактических характеристик газотранспортной природно-техногенной системы (ПТС) расчётным; необходимость ремонта или реконструкции; выявление негативных тенденций газотранспортной ПТС; определение наиболее опасных участков и ранжирование их по степени опасности; рекомендации по проведению профилактических работ.

Схема использования информации, полученной в результате диагностики представлена на рис. 1. Данные о состоянии газотранспортной ПТС передаются контролирующим, эксплуатирующим, научным и проектным организациям для выработки «управляющих воздействий», которые могут изменить характеристики ПТС и их новые значения будут получены в результате следующей диагностики. Особое внимание в этой цепочке следует обратить на использование геоинформационных систем (ГИС), применение которых даёт наиболее наглядное представление о состоянии ПТС на карте.

Из задач, которые должны решаться при проведении диагностических работ и имеющегося опыта, диагностирования трубопроводов, можно сформулировать *научно-методические принципы диагностики*:

- принцип системного геосистемного подхода;
- принцип рационального комплексирования методов диагностики состояния газопроводов и окружающей среды;
- принцип структурной организации исследований;
- принцип повторности и периодичности исследований;
- принцип прогноза и оценки рисков возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций;
- принцип унификации и автоматизации исследований.

Принцип системного и геосистемного подхода заключается в рассматривании объектов искусственного или естественного происхождения, как сложно организованной системы, учитывающей взаимосвязи и взаимобусловленность изучаемых объектов и явлений, прослеживание внутренних и внешних факторов с оценкой их эффектов. Применительно к изучению состояний объектов газопроводов весьма перспективным является

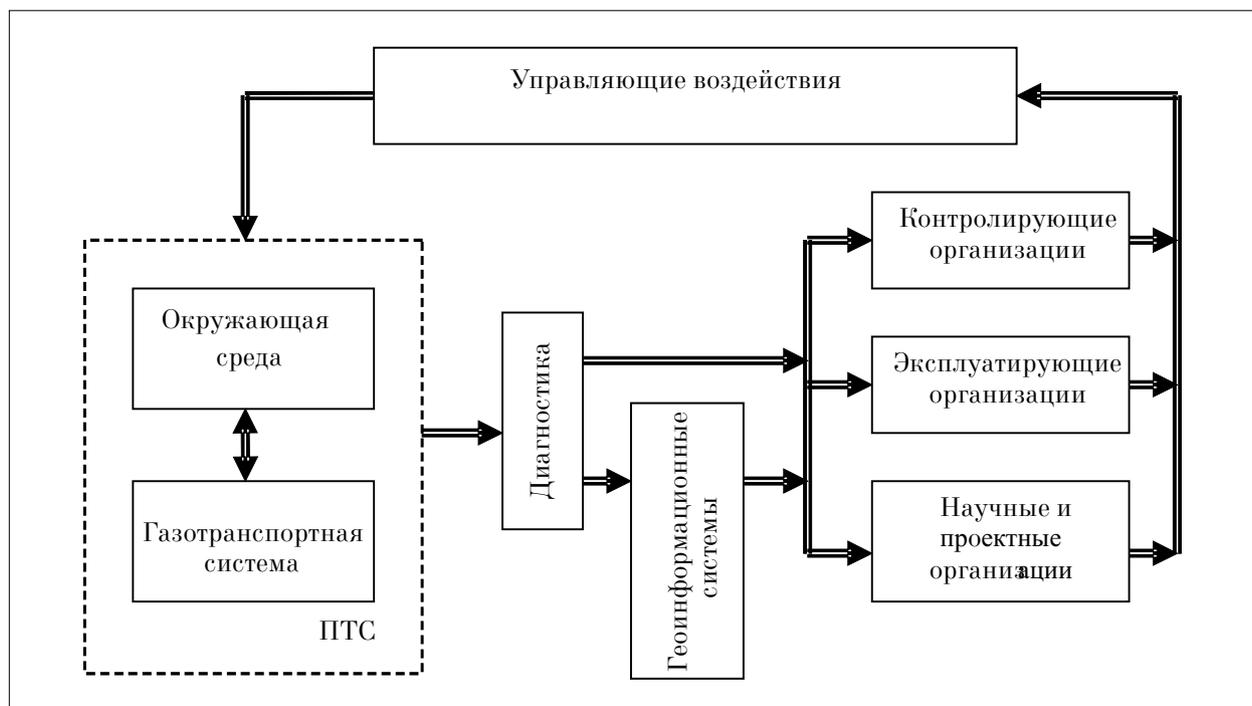


Рис. 1. Схема использования информации, полученной в результате диагностики

использование научной концепции существования природно-техногенной системы, совокупность состояний которой определяется взаимодействием природной среды и линейных сооружений. При этом выделяются два аспекта исследований. Первый – это геотехнический контроль и анализ состояния ПТС на стадии постоянной эксплуатации, особенно на старых газопроводах, с целью оценки надёжности и выявления предаварийных и аварийных ситуаций и обоснования технологий и объёмов капитального ремонта на потенциально опасных участках. Техническая надёжность инженерных сооружений определяется их ресурсными характеристиками, режимом эксплуатации, а также влиянием на них неблагоприятных природных процессов.

Второй аспект состоит в геоэкологическом анализе состояния окружающей среды в зонах строительства и эксплуатации инженерных сооружений, заключающийся в изучении техногенной нарушенности ландшафтов вследствие активизации природных и природно-техногенных процессов и ухудшения состояния окружающей среды за счёт изменения природных компонентов и геохимического загрязнения атмосферы, воды, почв и грунтов и, как следствие этого, снижение качества и истощение ресурсной основы среды обитания.

Системный подход заключается в том, что современная газотранспортная сеть образует

«систему», в которой участки газопроводов не равноценны и отключение некоторых из них в результате аварий или ремонтных работ может привести к значительным недопоставкам газа потребителям. Так, например, существуют участки газопроводов, по которым транспортируется до 90% добываемого газа. Естественно, что полный выход из строя такого участка на длительное время имел бы катастрофическое последствие для всей газотранспортной системы. Такие участки должны в первую очередь подвергаться диагностическим работам для выявления возможной опасности. Поэтому выбор участков для диагностики и возможного ремонта должен осуществляться с учётом значимости участков газопроводов для всей системы в целом.

Принцип рационального комплексирования методов диагностики состояния газопроводов и окружающей среды. Накопленный опыт диагностирования трубопроводов в сложных условиях показывает, что для всесторонней оценки их состояния невозможно ограничиться каким-либо одним «абсолютным» методом диагностирования. Это объясняется объективной необходимостью наблюдения и измерения качественно разнородных по физической природе признаков и параметров, а также теми ограничениями, которыми располагают существующие методы и средства. Диагностика состояния протяжённых трасс трубопроводов, построенных и экс-

платирующихся в экстремальных и трудно-доступных условиях, может быть эффективной только при условии использования современных информационных технологий, базирующихся на применении многоспектрального аэрокосмического зондирования, мобильных и стационарных наземных исследований, применения ландшафтных, индикационных, инженерно-геотехнических и экологических методов получения информации о состоянии окружающей среды и неразрушающих методов контроля технического состояния сооружений с помощью построения прогнозно-информационных моделей и оценки состояния газопроводных систем с применением ГИС технологий.

Принцип структурной организации работ предусматривает изучение состояния трубопроводных систем и окружающей среды в зоне их воздействия в едином технологическом процессе, взаимозависимых и достаточно строго

соподчиненных и проводимых в определённой последовательности видов, этапов, стадий, работ и отдельных операций.

Принцип повторяемости и периодичности исследований используется для получения информации о динамике технических характеристик состояния газопроводов (коррозионных повреждений металлических труб, качества сварных швов, стыков, повреждений изоляционного покрытия, превышения нормативного радиуса упругого изгиба трубы и пр.), а также, изменении параметров окружающей среды (просадочности, пучинистости грунтов, активизации оползней, селей на участках газопроводов, где зафиксированы проявления неблагоприятных процессов).

Принцип прогноза и оценки риска возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций на газопроводах осуществляется для определения потенциально опасных участков газо-

Таблица 1

Структура организации работ по диагностике трубопроводов

Этап	Тип работ	Состав работ
Подготовительный	Сбор и подготовка материалов	Анализ состояния газотранспортной ПТС, выбор участка диагностирования Анализ геоэкологической ситуации Анализ технической документации Подбор исходных материалов Постановка задачи и разработка программы испытаний
Полевые и натурные исследования (основной)	Аэрокосмическое диагностирование состояния ПТС газопровода	Проведение специальных аэрокосмических съёмок Дешифрирование материалов Сопоставление и интерпретация данных дистанционного зондирования Выявление потенциально опасных участков и точек отбора проб для наземного контроля Аэровизуальное наблюдение и анализ состояния газотранспортной ПТС Составление предварительных тематических карт
	Наземное диагностирование ПТС газопровода	Позиционирование объектов с использованием GPS и ГЛОНАС Ландшафтно-индикационные исследования Определение загрязнения атмосферы, воды, грунтов и почв с использованием экспресс-методов Выявление опасных природных и природно-техногенных процессов и явлений, их характеристик, масштабов и продолжительности воздействия Проведение диагностики технического состояния трубопровода
Анализ и обработка информации	Камеральная обработка материалов диагностики	Расчёт остаточного ресурса газопровода Расчёт риска эксплуатации газопровода Составление результирующих тематических карт Оценка геоэкологического состояния зоны воздействия газопровода Оценка технического состояния газопровода Составление отчёта, выдача заключений и рекомендаций

пропускной системы, местоположения и масштабов возможных аварий (неисправностей) и катастроф, где вероятность их возникновения велика.

Принцип унификации и автоматизации состоит в использовании стандартной сертифицированной аппаратуры для проведения диагностирования автоматизированных систем контроля технического состояния газопровода и комплекса взаимосвязанных правил, методов и алгоритмов при обработке полученной информации представленной в аналитической, табличной, векторной, картографической и другой форме.

Технология диагностики природно-техногенных газотранспортных систем (ГТС) должна разрабатываться с учётом вышеизложенных принципов, только в этом случае результаты диагностики будут отражать объективное состояние ПТС.

Технология диагностики включает в себя три основных этапа: подготовительный, основной и завершающий (табл. 1) [5].

На первом этапе, при определении участка диагностирования и состава работ, особенно важно соблюдение принципов, описанных выше. В условиях «недофинансирования» или «оптимизации затрат», в которых постоянно работает любая газотранспортная компания при рыночной экономике, выбор участка диагностики и разработка программы работ имеет первостепенное значение.

Состав работ и методов диагностики на конкретном участке зависит от: конструктивных особенностей и технического состояния сооружений; условий их эксплуатации; сроков службы трубопроводов; ландшафтно-экологических и инженерно-геологических условий региона.

В зависимости от срока службы, условий его эксплуатации и технического состояния предусматриваются следующие виды диагностирования: плановые и внеочередные.

Плановое диагностирование осуществляется в условиях безаварийной эксплуатации при достижении нормативного срока или истечении срока службы трубопровода.

Внеочередное диагностирование производится в случаях: перевода газопровода на более высокое давление; аварий, связанных с нарушением технической конструкции газопровода; воздействия неблагоприятных внешних факторов, которые приводят к деформации грунта и нарушению устойчивости и прочности сооружений; после землетрясений свыше 6 баллов по шкале Рихтера.

Сбор необходимой информации осуществляется в архивах специально уполномоченных государственных органов в области охраны окружающей среды, центрах по гидрометеорологии мониторингу окружающей среды Росгидромета, в фондах проектно-изыскательских организаций ОАО «ГАЗПРОМ» и РАН, а также при изучении ежегодных территориальных государственных докладов о состоянии окружающей среды.

Для соблюдения принципа «комплексирования» важен индивидуальный подбор методов диагностики для каждого участка, включая аэрокосмические методы и технические средства диагностики трубопроводов, сведения о которых приводятся ниже.

Отличительной особенностью аэрокосмических методов (АКМ) является одновременный охват больших территорий, что позволяет получить качественно новую картину происходящих природных и природно-техногенных процессов. Общая картина складывается из возможности зафиксировать в момент съёмки состояние ПТС в различных частотных диапазонах, а также сопоставить это состояние с геологическим строением территории, геодинамическими процессами и другими явлениями, которые могут повлиять на состояние ПТС.

Целью АКМ являются определение технического состояния объектов газопровода и экологического статуса окружающей среды, степени их отклонения от гомеостаза, запаса устойчивости; своевременное обнаружение возникновения предкризисных, кризисных и катастрофических ситуаций, а также оценка их последствий.

Принципы функционирования средств ДЗ основаны на регистрации полей спектральной яркости или любых других пропорциональных ей величин (радиояркостной температуры, удельной эффективной поверхности рассеяния, параметров Стокса и т. п.), соответствующих энергетическим характеристикам излучения, восходящего от элементов разрешения зондируемой поверхности и на обращении этих величин в значения параметров, интересующих пользователя, которые часто называют предметно-специфическими характеристиками (ПСХ). Это, например, влажность почвы, глубина залегания грунтовых вод, запасы минерального сырья и многое другое.

В настоящее время эксплуатируется достаточно много космических аппаратов, обладающих необходимым разрешением, несколькими спектральными каналами и в целом соответствующих требованиям экологи-

ческих исследований: Quick Bird-2 (2001 г., США), IKONOS (1999 г., США), Terra (1999 г., США), Agua (2002 г., США), Landsat-7 (1994 г., США), SPOT-4 (1998 г., Франция), SPOT-5 (2002 г., Франция), RADARSAT (1995 г., Канада), ENVISAT (2002 г., Европа), TopSat-1 (2005 г., Великобритания), «Монитор-Э» (2005 г., Россия), «Метеор-ЗМ-1» (2000 г., Россия), IRS-1C (1995 г., Индия), IRS-1D (1997 г., Индия), IRS-P6 (2003 г., Индия), ResourceSat-1 (2003 г., Индия) и др.

Для получения всесторонних данных при диагностировании газопроводных систем применяется набор взаимно дополняющих друг друга технических средств и методов контроля, включающих: космическую съёмку, авиационную, тепловую съёмку, аэровизуальные наблюдения и др. При этом могут быть использованы следующие средства дистанционного зондирования: пассивная многоспектральная оптическая аппаратура; видеоспектрометры и гиперспектрометры; лидарные системы, основанные на использовании различных физических механизмов взаимодействия лазерного излучения с веществом; аппаратура дистанционной пространственно-частотной спектрометрии; радиолокационные средства и другие.

Аппаратура дистанционного зондирования позволяет работать в широком диапазоне спектра электромагнитного излучения от ультрафиолетового до радиодиапазона. При дистанционном зондировании в видимом диапазоне спектра обычно используются методы спектрофотометрии (с применением многоспектральной трассерной и сканирующей аппаратуры), многозонального фотографирования, радиолокационной съёмки, лидарного зондирования, телевизионной съёмки (в том числе с применением тепловых сканеров).

Характеристики основных съёмочных космических систем и радиолокационной аппаратуры показаны в таблицах 2 и 3 [6].

В зависимости от используемого диапазона электромагнитных волн и типа приёмника, дистанционные исследования подразделяются на большую группу методов. Для применения в диагностике трубопроводных ПТС могут быть рекомендованы фотографические, в том числе многозональная, и нефотграфические – тепловая инфракрасная, микроволновая, сканерная, телевизионная, лазерная, радиолокационная съёмки и аэровизуальные обследования.

Материалы космической съёмки (в сочетании с результатами аэросъёмок) в первую очередь должны использоваться при тема-

тическом картировании изучаемой территории. Такое сочетание позволяет производить большую часть работ в камеральных условиях, при этом сокращаются полевые исследования, приобретающие характер контрольных наблюдений, а не съёмочных маршрутов.

Аэро- и космофотосъёмка в настоящее время – самый универсальный и наиболее широко используемый вид дистанционного зондирования природной среды. Эффективность применения фотосъёмок связана с высокой степенью пространственного и спектрального разрешения, что имеет особую важность в определении закономерностей пространственно-временного изменения природно-технических условий эксплуатации и технического состояния трубопровода.

Благодаря большому объёму получаемой информации, относительной простоте применения, достаточному уровню развития, фотографические методы заняли ведущее место в комплексе работ по изучению состояния трубопроводных геотехнических систем.

Космическая фотосъёмка (КФС) относительно недорога, покрывает всю изучаемую территорию и производится регулярно, что позволяет, используя минимальное количество опорных наземных данных, осуществлять контроль за состоянием действующих трубопроводов и давать прогноз их взаимодействия с окружающей средой на огромных территориях.

Многозональная съёмка – фотографирование местности одновременно несколькими фотокамерами или многоканальными блоками, имеющими идентичные светотехнические характеристики объективов, в различных спектральных диапазонах. Для выделения спектральных зон перед объективами устанавливаются узкополосные (иногда интерференционные) светофильтры, подобранные под характеристики светочувствительных материалов.

Методика многозональной съёмки базируется на существующих технологиях съёмки на цветные и чёрно-белые фотоплёнки. За счёт универсальности она расширяет возможности фотографических методов. Получение исходных черно-белых изображений с опорным фотометрическим сопровождением в узких спектральных интервалах видимого и ближнего ИК-диапазонов повышает информацию о различии оптических плотностей изучаемых объектов, что позволяет получить более полные и достоверные данные о состоянии окружающей среды и техническом состоянии трубопровода (обводнение, увлажнение грунта,

Таблица 2

Современные космические спутниковые системы (видимый и ИК-диапазоны)

Разрешение, м	Длина волны, км	IKONOS Quick bird Orbview-3	LANDSAT-7 (ETM+)	Ресурс-ДК-1	Rapid Eye	ASTER			World View-2	Hyperion
						VNIR	SWIR	TIR		
Полоса съёмки, км	0,4	1 канал	1 канал		1 канал				1,8	30
	0,5	2 канал	2 канал	1 канал	2 канал				16,4	
	0,6	3 канал	3 канал	2 канал	3 канал			1 канал		1 канал
	0,7	4 канал		3 канал	4 канал			2 канал		2 канал
	0,8	4 канал	4 канал		5 канал			3 канал		3 канал
	0,9									4 канал
	1,5									
	1,6		5 канал					4 канал		
	1,7									
средний ИК	1,8									220 каналов
	1,9									
	2,0									
	2,1									
	2,2		7 канал							
	2,3							5 канал		
	2,4							6 канал		
	7,0							7 канал		
	8,0							8 канал		
	9,0							9 канал		
тепловой ИК	10,0									10 канал
	11,0		6 канал							11 канал
										12 канал
	12,0									13 канал
										14 канал

изменение уровня грунтовых вод, разрушение насыпи и обвалования, обнажение и деформация трубопровода, зарастание трассы и т. д.).

Тепловые съёмки. В зависимости от используемого диапазона электромагнитных волн различают инфракрасную (ИК) тепловую и радиотепловую (микроволновую) съёмки. ИК-съёмка проводится в первом $\lambda = 2,0-5,6$ мкм и втором $\lambda = 8,0-12,5$ мкм окнах прозрачности атмосферы. Радиотепловая (РТ) съёмка проводится в микроволновом (МВ) диапазоне $\lambda = 0,1/30$ см.

Тепловые съёмки целесообразно применять для изучения проявлений геодинамических и гидрогеологических процессов на трассах трубопроводов, связанных с увлажнением, водонасыщением и переносом тепла (обводнение, заболачивание, оттаивание мерзлоты и т. д.). Такие участки обнаруживаются на тепловых снимках по тепловым аномалиям. Существует возможность выявления обнажённых и близких к поверхности участков трубопроводов.

Телевизионная съёмка. Создание высококачественной видео-телевизионной техники открыло новые возможности широкого использования телевизионной съёмки для изучения и документирования состояния трубопроводных ГТС.

Телевизионную (ТВ) съёмку с искусственных спутников Земли (ИСЗ) целесообразно применять для контроля за развитием геодинамических процессов в районе прокладки трасс трубопроводов, обнаружения и оценки масштабов крупных аварийных ситуаций.

ТВ-съёмка с ИСЗ обеспечивает оперативное и периодическое получение изображений большой обзорности на одну и ту же территорию. Наиболее употребительны ТВ-снимки масштабов от 1:1000000 до 1:2500000. Существенным недостатком телевизионных изображений является их более низкая разрешающая способность по сравнению с космическими фотоснимками.

Аэротелевизионная съёмка – перспективный метод крупно-масштабной аэросъёмки трасс трубопроводов.

Видеозапись трассы трубопровода должна использоваться в текущей работе эксплуатационного персонала для оценки состояния объектов линейной части, принятия обоснованных решений по их эксплуатации и ремонту. Её привлечение значительно облегчает дешифрирование материалов аэросъёмки.

Аэротелевизионная съёмка позволяет проводить совещательный просмотр и анализ за-

писи в камеральных условиях необходимое число раз.

Радиолокационная съёмка (РЛС) является активным средством зондирования, основанным на использовании отражения зондирующих сигналов, излучаемых передатчиком РЛС от земной поверхности, и ведётся в диапазоне 0,3-100 см (100 ГГц-300 МГц).

Материалы РЛС применяют для создания и обновления топографических и тематических карт. С помощью радиолокационных изображений анализируют сушу и водные пространства. Используя их, составляют структурные геологические карты; определяют точное местоположение; границы зон подтопления и береговую линию; выделяют всплывшие участки трубопроводов. В зависимости от состояния подстилающей поверхности (сухая, увлажненная, заснеженная) возможно некоторое подпочвенное зондирование поверхности, глубина которого зависит от длины волны. Существуют радиолокационные станции бокового обзора метрового диапазона с возможностью подпочвенного зондирования на глубину до 2 м, что позволяет получить информацию о положении трубопровода относительно поверхности, карстовых явлениях и др. Основными преимуществами РЛС по сравнению с другими видами дистанционного зондирования являются: независимость от метеорологических условий и времени суток; принципиальная независимость разрешающей способности на местности от расстояния до объектов, большая полоса захвата на местности (с малых высот); возможность обнаружения всплывших трубопроводов по радиолокационным контрастам; возможность цифровой записи информации в момент съёмки и её передачи с борта носителя по каналу связи на значительные расстояния.

Лазерную съёмку (ЛС) можно применять: для получения изображений поверхности местности (в том числе в ночное время); поиска утечек перекачиваемого продукта; оценки загрязнения местности и воздушного бассейна; зондирования состояния дна и трубопроводов при обследовании подводных переходов. Возможность обнаружения утечек перекачиваемого продукта, оценки загрязнения местности и воздушного бассейна основана на способности лазера давать мощное излучение в узких зонах поглощения и испускания веществ. Сигналы в этих зонах регистрируются специальными датчиками. На этом принципе основано большое количество лазерных газоанализаторов.

Целью технической диагностики магистральных трубопроводов является определение технического состояния трубы и возможности её дальнейшей эксплуатации, а также выявление дефектов оборудования, которые не могут быть выявлены другими методами и установление причин их появления. В конечном счёте, своевременная техническая диагностика приводит к продлению срока службы газопровода и повышению экологической безопасности его эксплуатации.

В настоящее время применяются следующие виды диагностики: оптический, акустический, оптический, магнитный, радиоволновой, радиационный, тепловой и вихревой. Из них наиболее применяемыми являются акустический, оптический и магнитный.

Акустический метод основан на индикации акустических колебаний, возбуждаемых в контролируемом объекте, грунте или окружающей газовой среде (воздухе) при вытекании пробного газа или жидкости через сквозные дефекты. Молекулы пробного вещества взаимодействуют со стенками сквозных дефектов объекта и генерируют в нем колебания звукового и ультразвукового диапазонов. Эти колебания фиксируются с помощью устанавливаемого на поверхности объекта ультразвукового или виброакустического датчика, преобразовывающего ультразвуковые колебания в электрические сигналы, передаваемые далее на показывающие и записывающие устройства. В настоящее время акустические методы занимают важнейшее место в контроле герметичности трубопроводов.

Оптический метод основан на взаимодействии электромагнитного излучения с контролируемым объектом и регистрации результатов этого взаимодействия. Методы, относящиеся к оптическому контролю по ГОСТ 2452 1-80, различаются длиной волны излучения или их комбинацией, способами регистрации и обработки результатов взаимодействия излучения с объектом. Общим для всех методов является диапазон длин волн электромагнитного излучения, охватывающим диапазоны ультрафиолетового (УФ), видимого (ВИ) и инфракрасного (ИК) излучения, а также информационные параметры оптического излучения, которыми являются пространственно-временное распределение его амплитуды, частоты, фазы, поляризации и степени когерентности.

Оптические методы неразрушающего контроля разделяют на три группы. В первую группу входят визуальный и визуально-измерительный методы, которые являются наи-

более простыми и доступными, имеют наибольшее распространение и обязательны для применения при диагностировании технических устройств и объектов всех типов. Ко второй группе относятся фотометрический, денсиметрический, спектральный и телевизионный методы, которые основаны на результатах измерений с использованием электронных приборов. К третьей группе относятся интерферометрический, дифракционный, рефрактометрический, нефелометрический, поляризационный, стробоскопический и голографический методы, использующие волновые свойства света и отличающиеся наивысшей точностью измерения – с точностью до десятых долей длины волны излучения, но сложностью в реализации.

Для контроля внутренних поверхностей и обнаружения дефектов в труднодоступных местах используют промышленные эндоскопы. В нефтегазовой промышленности применяют следующие типы промышленных эндоскопических систем: жёсткие эндоскопы, гибкие оптоволоконные эндоскопы, видеоэндоскопы. Они состоят из источника света для освещения объекта (блока подсветки), передающей оптической системы, насадки или дистального конца, изменяющих направление и размеры поля зрения прибора, объектива с окулярами для визуального наблюдения и подключения фото или видеокамеры, механизм фокусировки объектива и управления насадкой или артикуляции дистального конца.

Магнитный метод заключается в измерении потоков рассеяния дефектов контролируемого участка трубопровода, намагниченного постоянным магнитным полем. Причиной намагничивания считаются постоянные токи, существующие в молекулах и атомах ферромагнитного вещества. Магнитные характеристики таких материалов являются информативными параметрами, так как зависят от их физико-механических свойств, химического состава, вида механической и термической обработки, а также от размеров и сплошности изделий.

По способу получения первичной информации различают следующие методы магнитного контроля:

- магнитопорошковый (МП), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с использованием в качестве индикатора ферромагнитного порошка или магнитной суспензии;
- магнитографический (МГ), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния с использованием в качестве индикатора ферромагнитной плёнки;

- эффекта Холла (ЭХ), основанный на регистрации магнитных полей датчиком Холла;
- индукционный (И), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния по величине или фазе индуцируемой ЭДС;
- пондеромоторный (ПМ), основанный на регистрации силы отрыва (притяжения) постоянного магнита или сердечника электромагнита от контролируемого объекта;
- магниторезисторный (МР), основанный на регистрации магнитных полей рассеяния магниторезисторами;
- магнитооптический (МОП), основанный на визуализации доменной структуры материала с помощью феррит-гранатовой пленки с зеркальной подложкой.

Внутритрубная диагностика для определения характеристик труб и факторов увеличения нагрузки использует внутритрубные снаряды-дефектоскопы с КИП на основе принципа рассеяния магнитного потока (MFL), окружного рассеяния магнитного потока (CMFL) или недавно разработанным инструментом для дефектоскопии трещин с помощью электромагнитного акустического преобразователя (ЕСД) на основе использования электромагнитного действия ультразвука. В дополнение к одному из вышеупомянутых инструментов или в комбинации с ним следует использовать внутритрубный снаряд-дефектоскоп с высоким разрешением (XGP) для получения профиля трубы.

На этапе полевых натурных исследований (основной этап) выполняются аэрокосмические работы и проводятся комплексные полевые обследования, запланированные на первом этапе.

В первую очередь происходит уточнение объектов с использованием GPS или ГЛОНАС навигации. Основной принцип использования системы – определение местоположения путём измерения расстояний до объекта от точек с известными координатами – спутников. Расстояние вычисляется по времени задержки распространения сигнала от послышки его спутником до приёма антенной GPS-приёмника. То есть, для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно знать расстояние до трёх спутников и время GPS системы. Таким образом, для определения координат и высоты приёмника используются сигналы как минимум с четырёх спутников. Основой системы являются навигационные спутники, движущиеся вокруг Земли по 6 круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каж-

дой), на высоте 20180 км. Спутники излучают сигналы в диапазонах: L1=1575,42 МГц и L2=1227,60 МГц, последние модели также на L5=1176,45 МГц. Навигационная информация может быть принята антенной (обычно в условиях прямой видимости спутников) и обработана при помощи GPS-приёмника.

При выполнении наземных работ на трассе проводятся ландшафтно-индикационные исследования, осуществляются полевое дешифрирование материалов аэросъёмки, визуальные наблюдения и наземное фотографирование характерных участков трассы, выполняется детальное изучение эталонных и потенциально опасных участков, в процессе которого проводятся: оборудование участка; инженерно-геологические, геокриологические и гидрогеологические исследования; топографо-геодезические работы; режимные наблюдения за геодинамическими процессами; исследования параметров технического состояния магистральных газопроводов.

При выполнении работ на этом этапе возрастает роль систематизации и классификации данных. Для решения этой задачи на современном уровне должны использоваться геоинформационные системы.

В общем комплексе *камеральная обработка материалов* является завершающим этапом, в ходе которого осуществляются систематизация, сопоставление, анализ и обобщение материалов исследований. На данном этапе проводятся окончательное дешифрирование полученных ранее материалов, оцениваются параметры технического состояния газотранспортных систем, уточняются схемы природно-технического районирования, оценивается активность геодинамических зон, выполняется оценка состояния трассы и окружающей среды, проводится подготовка и обработка данных на ЭВМ с целью выявления, инвариантных зависимостей взаимодействия трубопровода с окружающей средой; выполняется экстраполяция полученных зависимостей на всю исследуемую территорию, составляются прогнозные карты местности по природно-техническим условиям эксплуатации; вырабатываются рекомендации по ремонту и реконструкции магистральных трубопроводов.

Для того, чтобы получить и обработать данные о состоянии ПТС в минимально короткие сроки, особенно если речь идет о ПТС, занимающих большие площади или имеющих значительное линейное протяжение, охватывающих несколько регионов, различные ландшафтные комплексы и природные зоны, не-

обходимо использование современных технологий, основанных не только на дистанционных методах получения информации, но и на применении интегрированных автоматизированных систем обработки данных. Ярким примером интегрированных систем автоматизированной обработки данных являются геоинформационные системы, изучающие взаимодействие человека и природы в территориальном аспекте.

Литература

1. Бухгалтер Э.Б., Самсонов Р.О., Будников Б.О., Пыстина Н.Б., Загородняя А.А. Экология газового комплекса. М.: Научный мир, 2007. 383 с.

2. Башкин В.Н. Управление экологическим риском. М.: Научный мир, 2005. 368 с.

3. Гриценко А.И., Акопова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. М.: Наука, 1997. 598 с.

4. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии. М.: Недра, 1979. 19 с.

5. Хренов Н.Н. и др. Аэрокосмическое диагностирование в системе экологической безопасности взаимодействия природы и сооружений М.: Наука, 2006. 258 с.

6. Гафаров Н.А., Баранов Ю.Б., Ванярхо М.А., Филатов Д.М., Денисевич Е.В., Кантемиров Ю.И., Кулапов С.М., Фейгин А.Е., Горянов М.С., Киселевский Е.В., Никифоров С.Э. Использование космической информации в газовой промышленности. М.: «Газпром экспо», 2010. 132 с.

УДК 502.57+504.064.37:528.8

Геоэкологическая оценка влияния строительства объекта уничтожения химического оружия на природный комплекс в районе его расположения

© 2010. Е. А. Новикова¹, инженер, Т. Я. Ашихмина², д.т.н., зав. лабораторией,

¹Региональный центр государственного экологического контроля и мониторинга по Кировской области,

²Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми научного центра УрО РАН и ВятГГУ, e-mail: ecolab2@gmail.com

В статье представлена геоморфологическая и геологическая характеристика района строительства объекта уничтожения химического оружия «Марадиковский» в Кировской области, дана геоэкологическая оценка влияния строительства объекта на природный комплекс. Показано, что риск загрязнения природного комплекса в результате поэтапного уничтожения отравляющих веществ ниже, чем при одновременной их детоксикации. С помощью аэрокосмических методов установлено, что постепенно углубляется техногенная трансформация ландшафтного комплекса. Внесены предложения по оптимизации программы экологического мониторинга окружающей среды в зоне влияния объекта и информационного сопровождения мониторинга.

The article presents geomorphological and geocological characteristics of the construction area of the chemical weapon decommission plant 'Maradikovski' in Kirov region. Geoecological evaluation of its impact on the natural complex is given. Risk of natural complex pollution as a result of gradual poison substances decommission is lower than in case of immediate detoxicity. With the help of aerocosmic methods it is shown that technogenic transformation of the natural complex still increases. It is suggested to improve the ecological environmental monitoring program within the plant and to increase the informational support of the monitoring.

Ключевые слова: геолого-геоморфологическая и геоэкологическая оценка, риск, инженерно-строительные сооружения, химическое оружие

Key words: geological-geomorphological evaluation, risk, engineering constructions, chemical weapon

При проведении оценки изменения состояния окружающей среды под воздействием инженерно-строительных работ в районе расположения объекта уничтожения химического оружия (УХО) необходимо использовать комплексный подход, который предполагает изучение динамики структуры ландшафтного комплекса исследуемой территории под воздействием совокупности инженерно-строительных сооружений с точки зрения геологии, геоморфологии и геоэкологии. В ходе поэтапного строительства объекта уничтожения химического оружия «Марадиковский» в Оричевском районе Кировской области крайне актуальными становятся исследования, направленные на определение влияния строительных работ на грунты, развитие экзогенных процессов, изменение гидрологической обстановки, рельефа, почв, а также изучение воздействия на растительный и животный мир.

В геоморфологическом отношении территория строительства и функционирования объекта УХО «Марадиковский» расположе-

на в левобережной части современной долины р. Вятки на стыке со Средневятской низменностью и представляет собой равнину, имеющую общий наклон к западу и северо-западу. Преобладающие абсолютные высоты в долине р. Вятки – 100–110 м. Склады хранения химического оружия и объект УХО находятся в основном на второй надпойменной террасе. Рельеф долины в этом районе представляет пологосклонную котловину, дно которой опущено по отношению к водоразделам до 80–100 метров. Слабая расчленённость рельефа местности, где расположен объект УХО, затрудняет дренаж на большей части данной территории. В условиях влажного климата в концентраторах стока развивается заболачивание. Эти морфометрические особенности исследуемого района придают ему в целом высокую способность к самоосаждению и местной аккумуляции различного рода загрязняющих веществ. Климат района умеренно-континентальный. Большая часть осадков выпадает в тёплое время года [1, 2].

В структурно-геологическом отношении участок находится в тектонически нестабильной зоне. На район расположения объекта уничтожения химического оружия приходится сложное пересечение разноориентированных глубинных тектонических разломов и ослабленных зон фундамента [1]. На данной территории преимущественно распространены верхнетатарские отложения с маломощным чехлом четвертичных отложений и неглубоким залеганием уровня грунтовых вод, что может способствовать их загрязнению [2].

Арсенал хранения химического оружия «Марадыковский» располагается на территории Оричевского района Кировской области в 80 км западнее областного центра и в 20 км восточнее г. Котельнич, в 1,5 км от пгт. Мирный. Площадка под объект УХО находится рядом с объектом хранения химического оружия.

На космических снимках со спутника Landsat 7 (рис. 1) до начала строительства объекта и после возведения промышленной площадки (2000 и 2005 гг.) видно, что участок, занимаемый объектом УХО, представляет собой прямоугольник (длины сторон 710 355 м), вытянутый с юга на север, вдоль восточного периметра арсенала хранения химического оружия. В 200 м от района расположения объекта хранения и уничтожения химического оружия проходит железная дорога, связывающая г. Киров с г. Нижним Новгородом, Москвой, Екатеринбургом. Проложенная от объекта УХО дорожная сеть (рис. 1, 2005 г.)

соединяет его с населёнными пунктами в зоне защитных мероприятий. С юго-западной стороны от объекта УХО расположен посёлок городского типа Мирный с численностью населения около 4 тыс. человек, а в 3,5 км севернее протекает р. Вятка.

Строительство объекта вызвало значительные изменения в использовании земель лесного и сельскохозяйственного назначения. Для сокращения изымаемых земель по технико-экономическому обоснованию проекта строительства объекта УХО «Марадыковский» [1] основные подъездные автомобильные и железные дороги проложены на одном землеполотне. Ширина полос отвода в этом случае составила 34 м. В этой полосе также проложены основные инженерные коммуникации. На участках раздельного трассирования транспортных путей ширина полосы отвода для автомобильных дорог принята 20 м, для железных дорог 24 м. Для создания промышленной площадки выделено 28 га земли. Под первоначальное строительство объекта УХО изъято 26 га земли (помимо участков, отчуждённых под дорожное полотно и др. технические сооружения).

Одной из особенностей действующего объекта УХО «Марадыковский» является то, что данное высоко опасное химическое предприятие строится поэтапно, и уничтожение химического оружия проводится параллельно со строительством объекта. Под каждое отравляющее вещество (ОВ) строится своя специфици-



2000 г.



2005 г.

Рис. 1. Синтезированное изображение по 6-ти спектральным каналам (Landsat 7, разрешение 30 м). Район объекта УХО «Марадыковский»

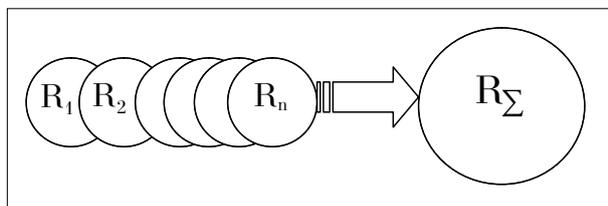


Рис. 2. Возрастание суммарного риска (R_{Σ}) загрязнения природного комплекса и ухудшения состояния здоровья людей в результате увеличения количества рисков ($R_1 \dots R_n$) с расширением перечня выбрасываемых ЗВ и объемов выбросов

ческая линия уничтожения с учётом технологических особенностей, расширяются складские помещения для хранения образующихся продуктов детоксикации. После завершения строительства первой очереди объекта, вводится технологическая линия уничтожения одного отравляющего вещества, и одновременно начинается возведение следующей очереди строительства под другое ОВ. До начала уничтожения отравляющих веществ на объекте хранения химического оружия в Кировской области находились боеприпасы с фосфорорганическими ОВ типа Vx (простой и сложной конструкции), зарином и зоманом; а также мышьяк содержащими органическими веществами – двойными ипритно-люизитными смесями.

Однако первоначально возведение данного объекта в утвержденном ТЭО на строительство от 1999 г. [1] было запланировано в одну очередь. Соответственно планировалось параллельное уничтожение различных отравляющих веществ. Так в первый год началось бы уничтожение зарина, зомана, вещества типа Vx и двойных смесей. Во второй год планировалась одновременная детоксикация зарина, зомана, вещества типа Vx, а в последующие три года – зарина и вещества типа Vx.

Однако из-за недостатка финансирования Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» в ТЭО от 2004 г. [3] было решено разбить строительство объекта УХО «Марадыковский» на две очереди, включающих несколько этапов. В результате началось постепенное уничтожение отравляющих веществ, характеризующееся одновременной промышленной и строительной деятельностью на объекте. В сентябре 2006 года на объекте «Марадыковский» построена первая очередь и введена линия уничтожения отравляющего вещества типа Vx. Параллельно проходило строительство сооружений под

термическую обработку реакционных масс и боеприпасов, а также строительство линии для детоксикации зарина. По итогам 2009 года на данном объекте уничтожены ОВ типа Vx, зарин. В 2010 году построен и уже отработал отдельный цех для нейтрализации ипритно-люизитной смеси, образовавшиеся реакционные массы после нейтрализации смеси будут в дальнейшем подвергнуты битумированию и захоронению. Начало уничтожение зомана, ещё предстоит уничтожить боеприпасы сложной конструкции с веществом типа Vx.

В результате поэтапного уничтожения ОВ сокращается перечень загрязняющих веществ (ЗВ), выбрасываемых в атмосферу. Так, например, по данным Проекта нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на 2008 год [4] был запланирован выброс 33 загрязняющих веществ, в то время как при одновременном уничтожении ОВ перечень ЗВ составил бы в первый год 48 наименований [4, 5].

Так же при поэтапном уничтожении ОВ в целом сокращаются объёмы выбросов ЗВ. Например, выбросы углерода оксида в 2008 г. при уничтожении только вещества типа Vx составили 358,26 т, азота диоксида – 91,32 т [4]; а при одновременном уничтожении были запланированы выбросы 422,1 т углерода оксида, 159,51 т азота диоксида [1].

При увеличении объёмов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при одновременном уничтожении нескольких ОВ возрастает химическая нагрузка на окружающую среду. С увеличением химической нагрузки в свою очередь увеличивается риск загрязнения природного комплекса и ухудшения здоровья рабочего персонала и населения, проживающего в районе расположения объекта УХО (рис. 2).

Одной из характеристик риска является индекс опасности (И), который можно представить как сумму коэффициентов опасности для отдельных компонентов смеси веществ, загрязняющей атмосферу (HQ_i) [6]:

$$И = \sum HQ_i \quad (1)$$

Коэффициенты опасности для отдельных ЗВ в свою очередь можно рассчитать как отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия [6]:

$$HQ = C / RfC, \quad (2)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества, мг/м³, RfC – референтная (безопасная) концентрация (ПДК, ОБУВ), мг/м³.

Индекс опасности (ИИ) с учётом всех не канцерогенных ЗВ, выбрасываемых в атмосферу, в результате производственной деятельности объекта УХО «Марадыковский» при одновременном уничтожении ОВ в первый год работы объекта составил бы 3,63, а при уничтожении только одного ОВ типа Vx в 2008 году ИИ равен 2,27. Исходные данные для расчёта взяты из ТЭО строительства объекта уничтожения химического оружия на территории Кировской области от 1999 г. [1] и Проекта нормативов предельно-допустимых выбросов для объекта УХО «Марадыковский» на 2008 г. [4].

Поэтапная технология уничтожения ОВ снижает риски загрязнения окружающей среды и, как результат, ухудшения здоровья населения, поскольку вследствие уничтожения лишь одного вида отравляющего вещества уменьшается перечень загрязняющих веществ и объёмы их выбросов в окружающую среду. Кроме того, данный подход в эксплуатации объекта позволяет уменьшить площади земель при создании технологических сооружений, мощности которых одновременно используются для уничтожения разных ОВ. В то же время, нельзя не учитывать тот факт, что при одновременном возведении инженерно-строительных сооружений и уничтожении отравляющих веществ на объекте увеличивается количество рабочего персонала с различным профилем деятельности (строители, электрики, слесари, технологи, инженеры, контролеры и др.). При этом накладываются и строительные, и производственные риски неблагоприятного воздействия на природный комплекс, возрастает роль человеческого фактора, увеличивается психогенная нагрузка, как на работающий персонал, так и на население, проживающее в зоне защитных мероприятий объекта. Всё это требует особого подхода в информационном сопровождении экологического мониторинга окружающей среды в районе строящегося и функционирующего объекта УХО, как в плане постоянного обновления данных о ходе работ на объекте «Марадыковский», так и оперативного анализа динамики состояния природного комплекса в районе эксплуатируемого объекта и своевременного информационного обеспечения контролируемых организаций и населения.

Для оценки изменения площадей промышленной и урбанизированной территории

в санитарно-защитной зоне объекта УХО «Марадыковский» нами проведен сравнительный анализ результатов автоматизированного дешифрирования космических снимков со спутника Landsat 5 (1992 г.) и Landsat 7 (2000, 2005, 2007, 2008, 2009 г.г.) СЗЗ объекта УХО (рис. 3, табл. 1).

Дешифрирование осуществлялось с помощью программного продукта Erdas Imagine 8.4, по результатам которого выявлена динамика площадей, занятых инженерно-строительными сооружениями на данной территории и установлено их постоянное увеличение с 1992-го по 2009 г. В ходе строительства и эксплуатации объекта УХО под отчужденные земли попадают как промышленные площади, так и сеть автомобильных дорог, связывающая объекты строительства, хранения, уничтожения химоружия с населёнными пунктами. За период с начала строительства и эксплуатации объекта произошло увеличение отчуждённых земель в 1,58 раз, что свидетельствует о нарастающей техногенной нагрузке на ландшафтный комплекс района размещения объекта УХО.

По данным ТЭО строительства объекта УХО «Марадыковский» [1, 3] в процессе возведения промышленной площадки объекта произошло существенное изменение геологической среды: привнесено на площадь строительства 387000 м³ насыпного грунта; пробурено 13 инженерно-геологических скважин для обеспечения контроля за уровнем стояния грунтовых вод, их физико-химическим и бактериологическим составом в районе расположения складов с отходами I и II классов опасности; поднят уровень строительной площадки и подъездных путей на 1,5 м из-за высокого уровня стояния грунтовых вод и заболоченности местности. Также произошло изменение рельефа местности при отборе грунта для строительства, возведении промышленной площадки и автодорог.

По анализу данных дистанционного зондирования территории СЗЗ объекта УХО «Марадыковский» установлено, что в результате строительства объекта и дорожного полотна, связывающего его с населёнными пунктами, вырублено 46 га прилегающих лесов (под промышленную площадку, дополнительные инженерные сооружения и дороги), уничтожен почвенно-растительный покров на застраиваемой площади. Возведение дорожного полотна может привести к сокращению ареалов обитания различных видов животного мира, вследствие пересечения магистраля-

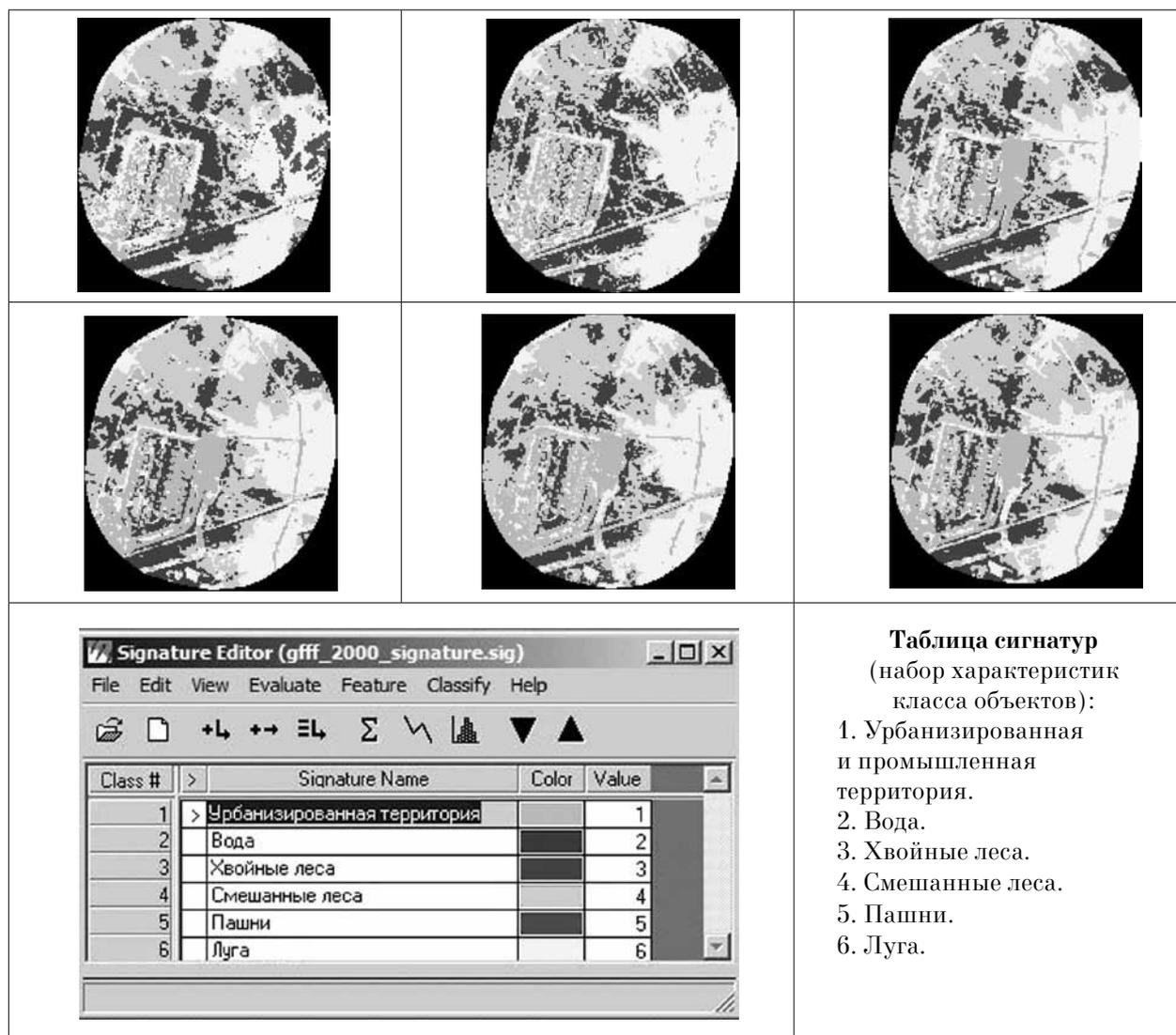


Рис. 3. Результаты тематической обработки (дешифрирования) космических снимков территории СЗЗ объекта УХО «Марадыковский» с 1992-го по 2009 г. Метод максимального правдоподобия. М:1:100 000

ми биокоридоров ограничивается или становится невозможным свободное перемещение животных [7]. Так, например, чёрные медведи в Северной Каролине меняют свой ареал обитания, уходя из районов с высокой плотностью дорог; лось предпочитает места весеннего питания в стороне от видимых дорог. Ограни-

Таблица 1
Площадь урбанизированной и промышленной территории в СЗЗ объекта УХО «Марадыковский»

Год	Площадь, км ²
1992	1,45
2000	1,79
2005	2,38
2007	2,77
2008	2,81
2009	2,82

чение жизненного пространства, нарушение естественных миграционных путей, сокращение кормовых угодий, загрязнение окружающей среды – факторы, которые могут способствовать вырождению многих видов. При эксплуатации дорожной сети происходит загрязнение прилегающих компонентов ландшафта, изменение микроклимата, повышение уровня шума [8].

В ходе поэтапного строительства объекта УХО «Марадыковский» и постепенного возрастания площадей инженерно-строительных сооружений происходит увеличение воздействия на природный комплекс, включающего вырубку деревьев, уничтожение почв, также можно предположить рост механической нагрузки зданий и сооружений на горные породы, уплотнение насыпного грунта, загрязнение окружающей среды в ходе строитель-

го производства (смыв загрязнений со строительной площадки, образование свалок строительного мусора, шумовая нагрузка, выбросы автотранспорта и других механизмов, действующих в зоне строительства). Изменение поверхностного стока вследствие поднятия уровня до 1,5 м при строительстве объекта и подъездных путей может способствовать развитию экзогенных процессов.

Выявлено, что в природном комплексе в районе расположения объекта УХО «Марадыковский» наблюдается тенденция увеличения загрязнения в связи с его производственной деятельностью с течением времени и по мере приближения к объекту. По результатам исследования создана карта-схема устойчивости лесного массива санитарно-защитной зоны данного техногенного объекта к регулярному техногенному загрязнению в зависимости от соотношения хвойных и лиственных пород. По данному критерию установлено, что более 20% лесов СЗЗ можно отнести к неустойчивым. Определена динамика площадей пахотных земель, лугов, лесов, промышленных территорий в районе расположения объекта. Установлено, что наибольшее влияние процесса строительства объекта УХО «Марадыковский» на динамику структуры природного комплекса на территории СЗЗ проявилось в период с 2000-го по 2005 г. за счёт строительства вблизи арсенала хранения химического оружия объекта уничтожения химического оружия, в результате чего были вырублены значительные площади хвойных лесов. Влияние строительных работ на изменение природного комплекса в результате поэтапного строительства можно описать как синусоидальную кривую с уменьшающейся амплитудой воздействия, но нарастающую в пространственно-временном масштабе. Влияние производственного процесса на изменение состояния природно-техногенной системы можно охарактеризовать как поступательно нарастающее вследствие накопления загрязняющих веществ в природных средах и увеличение ареалов техногенного загрязнения окружающей среды. Отмечено, что воздействие инженерно-строительных

работ носит преимущественно локальный характер.

Всё это свидетельствует о необходимости оптимизации программы государственного экологического мониторинга окружающей среды в зоне влияния объекта и его информационного сопровождения с включением особого раздела по оценке влияния инженерно-строительных работ и сооружений на динамику состояния природного комплекса исследуемой территории.

Литература

1. Корольков Ю. Б., Трегубов В. М., Канзюба В. Н. Техничко-экономическое обоснование строительства объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) на территории Оричевского района Кировской области: Отчет Т. 1–41. М.: «СОЮЗПРОМНИИПРОЕКТ», 1999.
2. Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.
3. Проект строительства цеха уничтожения химического оружия методом детоксикации Vx в корпусах боеприпасов с выделением первой очереди строительства промзоны объекта уничтожения химического оружия в Оричевском районе Кировской области (объект 1726), Т. 03. М.: «СОЮЗПРОМНИИПРОЕКТ», 2004.
4. Проект нормативов предельно-допустимых выбросов для 1205 объекта хранения и уничтожения химического оружия. Саратов: ФГУ «ГосНИИЭНП», 2008. 193 с.
5. Корольков Ю. Б., Канзюба В. Н. Техничко-экономическое обоснование строительства объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) на территории Кировской области: Отчет Т. 01.5. М.: «СОЮЗПРОМНИИПРОЕКТ», 2001.
6. Кайдакова Н. Н. Сравнительная характеристика методик оценки влияния производственной деятельности на здоровье населения // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 8. С. 114–116.
7. Stephen C. Trombulak, Christopher A. Frissell. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities // *Conservation Biology*. 2000. V. 14. № 1. С. 18-30.
8. Винокурова Н. Ф., Колосова Н. И., Смирнова В. М. *Геоэкология: Учебное пособие*. Н. Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии гос. службы, 2002. 197 с.

УДК 631.4:581.524.34(1-924.82)

Особенности изменения почв и растительности в процессе самовосстановительной сукцессии в подзоне средней тайги

© 2010. И. Б. Арчегова, д.б.н., в.н.с., Е. Г. Кузнецова, к.б.н., с.н.с.,
Ф. М. Хабибуллина, д.б.н., с.н.с., А. Н. Панюков, к.б.н., н.с.,
Институт биологии Коми научного центра УрО РАН,
e-mail: archeгова@ib.komisc.ru, kuznecova@ib.komisc.ru

Обсуждаются результаты комплексных исследований процесса самовосстановления посттехногенной экосистемы в таёжной зоне Республики Коми. Установлено, что на стадии замещения травянистого сообщества древесными растениями морфологическое строение и химические свойства почв, характеристика микробиоты, химический состав кроновых и лизиметрических вод отражают парцеллярную структуру растительного сообщества формирующейся лесной экосистемы. Показано, что формирование и изменение почвы непосредственно связано с изменением типа растительного сообщества.

The results of complex research of post-technogenic ecosystem self-remediation in the Komi republic taiga zone are discussed. It is stated that morphologic structure and chemical properties of soil, microbiota characteristics and chemical structure of crown and lysimetric water reflect the parcel structure of plant the community of the forming forest ecosystem at the stage of grass community substitution with woody plants. It is shown that forming and changing of soil is connected with the change of plant community type.

Ключевые слова: лесная экосистема, самовосстановительная сукцессия, почва, растительность, микробиота, парцелла, кроновые и лизиметрические воды

Key words: forest ecosystem, self-remediation succession, soil, vegetation, microbiota, parcel, crown and lysimetric water

Введение

В таёжной зоне Республики Коми промышленные рубки леса, строительство дорог и другие виды техногенного воздействия приводят к уменьшению площадей коренных хвойных лесов на значительной территории. В результате экзогенных сукцессий происходит смена пород – на вырубках формируются смешанные или почти чистые древостой лиственных пород (берёзы и осины). На техногенных пустошах самовосстановление экосистем может происходить, начиная с пионерных травянистых группировок.

При изучении восстановительной сукцессии особую актуальность приобретают комплексные исследования в системе биота-почва, основанные на системном подходе. Биогеоценоз рассматривается нами как целостное образование, состоящее из взаимосвязанных и взаимообусловленных структур: растительного сообщества, зоо-микробного комплекса, трансформирующего органические остатки, и продуктивного слоя, т. е. почвы [1]. Компоненты экосистемы в единство связывает механизм биологического оборота органического вещества и энергии. В комплекс-

ных исследованиях важное место занимает изучение химического состава атмосферных осадков, проходящих через растительный покров. Дождевые воды, проникая через кроны древесных пород, изменяют свой химический состав вымыванием разнообразных продуктов жизнедеятельности растений и техногенного воздействия и влияют на биологический оборот веществ в экосистемах, на процесс почвообразования [2]. Сопряжённые исследования позволяют оценить роль каждого из компонентов, изучить их взаимосвязь и взаимовлияние в формировании таёжных экосистем.

Цель работы заключалась в установлении особенностей состояния растительного сообщества, почвы и почвенной микробиоты, выявлении трансформации атмосферных осадков под влиянием растительности в процессе самовосстановления посттехногенной таёжной экосистемы.

Объекты и методы

Исследования проводили в подзоне средней тайги на стационаре, расположенном в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара. Объект исследований – многолетнее разнотравно-

злаковое сообщество, которое сформировалось в процессе самовосстановительной сукцессии в течение 20–25 лет на техногенном суглинистом субстрате (покровные суглинки, вскрытые и оставшиеся после реконструкции автодороги). В последние 10 лет разнотравно-злаковое сообщество замещается лесным в процессе естественного возобновления сосны, берёзы, ивы, образующих группы – парцеллы.

Описание растительности выполняли по общепринятым в геоботанике методам [3]. Химический анализ почвенных образцов осуществляли в соответствии с современными методами исследования почв [4].

Для изучения состава микробного населения почв пробы отбирались из верхнего горизонта почв на участке с травянистым покровом и в парцеллах. Комплекс типичных видов микромицетов определяли на основе пространственной и временной встречаемости по методу Т. Г. Мирчинк [5]. Бактерии учитывались на мясо-пептонном агаре (МПА), актиномицеты – на крахмально-аммиачном агаре (КАА), сахаролитические грибы – на среде Чапека, целлюлозолитические – на среде Гетчинсона. Идентификацию микроскопических грибов осуществляли по культурально-морфологическим признакам в соответствии с определителями [6 – 8].

На площадке для сбора вод были установлены пластмассовые сосуды с воронками диаметром 12 см в трёхкратной повторности под кронами сосны, берёзы и ели, а также на открытом участке – в многолетнем разнотравно-злаковом сообществе. В четырёх разрезах под гор. А0А1, АдерА1 были заложены в трёх повторностях лизиметры – сосуды с воронками, водосборная площадь которых составляла 50 см². Сбор и анализ кроновых и лизиметрических вод осуществляли в начале и в конце вегетации, кроме того, кроновые воды собирали в течение лета после сильных дождей (преимущественно в июле). В водах определяли рН и содержание Сор_г, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻. Величину рН определяли потенциометрически, содержание NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ – фотометрически, Cl⁻ – меркурометрически, K⁺ – на спектрометре SP-90А (Великобритания), Ca²⁺, Mg²⁺ – на атомно-адсорбционном спектрофотометре фирмы Hitachi (Япония), С_{орг} – по методу Тюрина.

Результаты и их обсуждение

К началу наших наблюдений (1996 г.) на техногенном субстрате сформировалось

разнотравно-злаковое растительное сообщество с преобладанием многолетних злаков – полевицы гигантской (*Agrostis gigantea*), тимофеевки луговой (*Phleum pratense*), щучки дернистой (*Deschampsia cespitosa*), вейника седеющего (*Calamagrostis canescens*) и других типичных луговых видов с характерной примесью эксплерентов (сорно-рудеральных растений) – пырея ползучего (*Elytrigia repens*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), мать-и-мачехи (*Tussilago farfara*) и др. [9]. Сообщество было полидоминантным, господствующий вид не выделялся, однако преобладание луговых злаков определяло «луговой» тип экосистемы.

В последующие годы участок постепенно колонизировался древесными растениями – берёзой пушистой (*Betula pubescens*), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), видами ив (*Salix*), распространяющимися группами. В 2009 г. было отмечено, что в процессе замещения травянистой экосистемы на лесную большая часть стационарной площадки занята группами древесных растений – парцеллами.

В парцелле сосны (сосна высотой 5–6 м, диаметр ствола 6–10 см) с примесью ивы травянистый ярус разрежен, общее проективное покрытие около 40%, в нём ведущую роль играют лесные и опушечные виды: хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), золотарник (*Solidago virgaurea*), иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*). Кроме того, присутствуют остаточные элементы лугового сообщества – щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa*), полевица гигантская (*Agrostis gigantea*). Единично представлены внедрившиеся опушечные виды – земляника лесная (*Fragaria vesca*), черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*). Под травами развит маломощный моховой покров, на поверхности почвы формируется слой хвойно-лиственной подстилки, количество травянистого опада невелико.

В парцелле берёзы пушистой сомкнутость крон 0,5–0,7, берёза достигает 3 м в высоту, диаметр ствола 3–5 см. Парцелла, по-видимому, находится на стадии формирования, поскольку в травянистом ярусе ещё господствуют луговые виды: клевер ползучий (*Amoria repens*) и хвощ полевой (*Equisetum arvense*). Из элементов высокотравья, в отличие от чистых травянистых участков, присутствует только золотарник (*Solidago virgaurea*). Отмечено единичное появление некоторых лесных и опушечных видов – земляники лесной (*Fragaria vesca*), чины весенней (*Lathyrus vernus*).

Несмотря на то, что древесный ярус ещё не достиг зрелости, он уже оказывает существенное влияние на облик молодой экосистемы. Вследствие изменения условий освещения и увлажнённости часть ранее произраставших типичных луговых видов не зафиксирована – это вейник седеющий (*Calamagrostis canescens*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), мятлик болотный (*Poa palustris*), хвощ луговой (*Equisetum pratense*), канареечник (*Phalaroides arundinacea*). Другие виды в парцеллах (особенно сосновой) существенно снижают обилие (до 1–5%): нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa*). В целом можно констатировать, что травянистое сообщество трансформируется в направлении образования сомкнутого мелколиственного древостоя с участием сосны и постепенным выпадением в напочвенном покрове видов травянистой стадии самовосстановительной сукцессии.

Следует отметить, что на участке с сохраняющимся травянистым покровом состав его также изменяется в сторону снижения участия злаков. Под травами развивается моховой слой, дернина деградирует.

В связи с изменением состава растительного сообщества происходит преобразование почвы. Как отмечено выше, древесные растения располагаются группами. Вдоль участка с одной стороны сохранилось травянистое сообщество, в травостое которого при этом снижается доля злаков-задернителеев. Под травами развиты мхи, образующие с опадом трав маломощную (до 0,5 см) подстилку, под которой почва имеет следующее строение:

А _{дер} 0-2(4) см	Среднесуглинистый слой, сероватый, слабо уплотнён, много корней, местами слой разрушен, крошится, его мощность уменьшается до 2 см (остаточный дерновый слой)
А _{дер} А1 2(4)-5 см	Средний суглинок, коричнево-серый (гумусирован), ещё часто корни, переход по цвету ясный
III сл. 5-10 см	Средний суглинок, коричневый, слабо уплотнен, крошится на ореховатые отдельности, корни единично (остаточный гумусовый одернованный слой)

Сравнение данной почвы с почвой ранее развитого на этом участке травянистого сообщества [9] позволяет достаточно ясно выявить происходящую деградацию одернованного гумусового слоя, снижение мощности органо-аккумулятивного слоя. Почва в группах древесных растений (парцеллах), представленных берёзой, сосной, ивой, характеризуется сходным строением – наличием ясно выраженной, хотя ещё малой толщины, слабо (средне) разложившейся подстилки.

Почва берёзовой парцеллы имеет следующее строение профиля:

А0 0-1,5(2) см	Бурая, слабо(средне) разложившаяся подстилка, корни, уплотнена
А0А1 1,5(2)-5 см	Суглинок средний, серо-коричневый, часто корни, уплотнён, бесструктурный, переход ясный по цвету
III сл. 5-10(12) см	Суглинок средний, коричневатый, рассыпается на ореховатые отдельности, единично корни

Физико-химические показатели (табл. 1) рассматриваемых почв в целом отражают происходящее их преобразование. В группах древесных растений выражена аккумуляция грубого гумуса в формирующейся подстилке и элементов-биогенов, что характерно для почв лесной экосистемы. Те же признаки можно отметить и в почве деградирующей травянистой экосистемы.

Как видно из таблицы 1, в почве под травами содержание С_{орг.} дифференцировано, тогда как ранее оно постепенно снижалось в пределах биогебно-аккумулятивного слоя: в гор. А_{дер} – 1,6%, А_{дер} А1 – 1,5%, с 10 до 20 см – 1–0,8% [9].

Данные таблицы 2 показывают существенное изменение состава гумуса в почве преобразующейся травянистой экосистемы – снижение доли гуминовых кислот (ГК) и, соответственно, уменьшение показателя Сгк : Сфк с 2 до 0,6–0,5, что свидетельствует о преобразовании гуматного органического вещества в фульватный.

Под влиянием внедрившихся на участок древесных растений – сосны, берёзы, ивы изменился состав почвенной микробиоты.

В слабо одернованном слое почвы под травами выявлено 15 видов грибов (табл. 3). Большинство видов – типичные сапротрофы из класса *Deuteromycetes*. Наиболее представительная их часть принадлежит семейству

Таблица 1

Физико-химические свойства почв

Местоположение	Горизонт, глубина, см	pH _{вод.}	C _{орг.} %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг/100г			ммоль/100г	
Разнотравно-злаковое сообщество	A _{дер} 0-2(4)	6,5	7,2	30,8	7,7	160,2	20,5	5,8
	A _{дер} A1 2(4)-5	5,8	1,3	5,9	16,0	92,0	8,5	3,6
	III слой 5-10	5,5	0,4	2,5	14,9	25,2	6,4	3,1
Сосновая парцелла	A0 0-1,5	6,5	8,9	22,4	6,4	37,7	31,3	9,6
	A0A1 1,5-5	5,6	0,8	3,1	15,0	33,5	7,1	3,6
	III слой 5-10	5,4	0,2	1,4	19,3	11,7	6,0	3,3
Берёзовая парцелла	A0 0-1,5(2)	6,7	6,8	15,7	18,2	28,5	21,6	4,9
	A0A1 1,5(2)-5	6,0	1,2	4,5	14,3	30,0	5,9	2,4
	III слой 5-10	5,4	0,8	3,6	11,1	15,2	2,7	1,1

Таблица 2

Состав гумуса в почве разнотравно-злакового сообщества

Горизонт	Глубина, см	Сорг, %	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Нерастворимый остаток	Сгк/Сфк
			1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма		
A _{дер}	0-2(4)	5,4	5,5	7,9	6,6	19,9	6,1	13,2	4,6	7,7	31,6	48,5	0,6
A _{дер} A1	2(4)-5	0,6	1,9	7,5	1,9	11,3	5,6	3,8	5,7	7,5	22,6	66,1	0,5

Moniliaceae (роды: *Cephalosporium*, *Geomyces*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Penicillium*). Из семейства *Dematiaceae* был отмечен только вид рода *Cladosporium*. Помимо указанных были также выявлены представители других таксонов из классов *Zygomycetes* (роды: *Mucor*, *Mortierella*). С высокой частотой выделялись темноокрашенные и бесцветные стерильные колонии *Mycelia sterilia*.

Под влиянием внедрившихся древесных растений – сосны, берёзы, ивы изменился видовой состав микромицетов. В почве сосновой парцеллы выделено 20 видов грибов, относящихся к 13 родам трёх классов, при этом общими с микобиотой под травами являются 9 видов. Из почвы под сосной в качестве специфических обитателей выделены виды *Mortierella vinacea*, *Monocillium humicola*, *Trichothecium roseum*, *Nigrospora sp.*, *Fusidium terricola*, *Paecilomyces farinosus*. Микобиота под ивой и берёзой отличается в меньшей степени от микобиоты под травами. Общими видами с травянистым сообществом являются в берёзовой парцелле 8 видов, под ивой – 7. Отметим, что виды, доминирующие в травянистой экосистеме, в парцеллах переходят в разряд редких. Под древесными растениями виды-доминанты не выделяются, что характеризует формирующиеся микобиоты парцелл. Специфическими видами в почве под берёзой являются грибы *Trichoderma fertile*, *T. viride*, под ивой – *T. croceum*.

В преобразуемом верхнем горизонте (0-2(4)см) почв преобладают усваивающие органический азот аммонифицирующие бактерии, учтённые на питательной среде МПА (табл. 4). Наибольшее их количество отмечено в почве под берёзой. Микроорганизмы, использующие минеральный источник азота (на КАА), также преобладают в почвах под листовыми древесными растениями, что, видимо, связано с качеством древесного опада.

В почвах под берёзой было выделено достаточно большое количество олиготрофов и олигонитрофилов, учтённых на средах Виноградского и Эшби, соответственно. Сахаролитики, выросшие на среде Чапека, также в большем количестве выделены под листовыми породами. При этом в почве под сосной они в основном представлены мицелиальными и дрожжевыми грибами, под травами и листовыми породами – актиномицетами и бактериями. На среде Гетчинсона целлюлозолитики во всех почвах представлены дрожжами из рода *Candida* и актиномицетами из рода *Streptomyces*.

В соответствии с изменением состава растительности и микробного сообщества выявлены особенности состава кроновых, а также лизиметрических вод, мигрирующих из биогенно-аккумулятивного слоя.

Атмосферные осадки, собранные под пологом трав разнотравно-злакового сообщества и под кронами деревьев, характеризовались довольно

Таблица 3

Видовой состав почвенных микромицетов

Виды грибов	Под берёзой	Под сосной	Под ивой	Травянистое сообщество
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arnaud	–	–	Р	Р
<i>Monocillium exolum</i> Batista et Heine	Р	Ч	–	–
<i>Monocillium humicola</i> Barron	–	Р	–	–
<i>Mortierella verticillata</i> Linnem	Р	Р	Р	Д
<i>M. vinacea</i> Dixon-Stewart	–	Ч	–	–
<i>Mucor</i> sp.	–	–	–	Р
<i>Nigrospora</i> sp.	–	Р	–	–
<i>Fusarium</i> sp.	–	С	С	–
<i>Fusidium terricola</i> Miller	–	Р	–	–
<i>Cephalosporium terricola</i> Kamyschko	–	–	–	Р
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fres.) de Vries	–	–	–	Р
<i>Geomyces pannorum</i> (Link) Hugkes	Р	Р	Ч	Р
<i>Geothrichum</i> sp.	–	Р	Р	–
<i>Penicillium kursanovii</i> Chalabuda	Р	Р	Р	Р
<i>P. tardum</i> Thom	–	Р	–	Р
<i>P. jensenii</i> Zal.	–	Р	–	Р
<i>Paecilomyces lilacinus</i> (Thom) Samson	–	Р	–	–
<i>P. farinosus</i> (Holm) Brovn et Smith	–	Р	–	–
<i>Paecilomyces</i> sp.	Р	–	–	Р
<i>Phoma</i> sp.	Р	–	–	Р
<i>Rhinocladiopsis vesiculosa</i> Kamyschko	–	С	Р	Р
<i>Trichoderma album</i> Preuss	Р	Р	–	Р
<i>T. croceum</i> Bissett	–	–	Р	–
<i>T. fertile</i> Bissett	Р	–	–	–
<i>T. viride</i> Pers.: Fr.	Р	С	–	–
<i>Trichothecium roseum</i> Link ex Fries	–	С	–	–
<i>Mycelia sterilia</i> c/o	Р	Р	Ч	Р
<i>Mycelia sterilia</i> т/о	Р	Р	Ч	Д
Всего	11	20	10	15

Примечание: Д – доминирующий вид, Ч – частый, Р – редкий, С – случайный (по Т. Г. Мирчинк, 1988); «–» – не обнаружен.

Таблица 4

Количественная характеристика основных трофических групп почвенных микроорганизмов

Местоположение	Количество микроорганизмов в млн. КОЕ / г воздушно-сухой почвы на питательных средах					
	МПА	КАА	Виноградского	Эшби	Гетчинсона	Чапека
Травянистое сообщество	84,7	18,2	3,5	2,9	0,08	9,1
Под сосной	86,8	6,9	1,9	4,9	0,03	7,6
Под берёзой	263,3	121,4	16,8	15,5	0,08	97,2
Под ивой	155,7	121,9	15,3	14,0	0,15	121,9

ясным сезонным колебанием содержания элементов биогенного происхождения (табл. 5), что было отмечено и ранее в 2006–2008 гг. [10]. Так, от весеннего к осенним срокам возрастала в основном концентрация органического углерода, кальция, магния, калия, азота

(аммиачная и нитратная формы), фосфат-иона, особенно под листовыми деревьями, что связано с фазой развития растений в течение вегетационного периода. Содержание сульфат-иона и хлора связано главным образом с загрязняющим влиянием промышленных объектов [10].

Таблица 5

Химический состав атмосферных осадков (средние значения), мг/л

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Разнотравно-злаковое сообщество										
25.05.2009 г.	8,5	0,53	0,42	1,44	4,83	0,04	15,04	1,89	3,52	1,27
29.07.2009 г.	6,8	2,86	0,29	н/о	1,59	0,13	26,08	1,74	4,55	1,55
02.10.2009 г.	6,7	3,53	1,11	2,16	3,38	0,05	23,0	5,45	4,78	2,62
Под кронами берёзы										
25.05.2009 г.	7,3	0,27	0,15	5,29	6,33	0,03	15,37	0,97	4,96	1,95
29.07.2009 г.	7,6	0,66	0,56	н/о	1,59	0,13	22,04	1,74	4,41	1,77
02.10.2009 г.	6,9	0,95	0,81	3,82	4,77	2,12	24,35	16,9	4,36	2,96
Под кронами сосны										
25.05.2009 г.	8,8	0,57	0,38	6,25	15,34	н/о	20,8	2,06	7,43	3,23
29.07.2009 г.	8,1	0,7	0,52	н/о	1,99	0,16	29,8	4,79	6,89	3,36
02.10.2009 г.	7,2	3,77	1,77	4,33	9,54	0,91	53,11	18,6	8,38	5,51
Под кронами ивы										
25.05.2009 г.	7,2	0,44	0,18	3,36	4,03	0,01	10,7	0,84	4,24	1,32
29.07.2009 г.	8,4	0,48	0,54	1,2	2,39	1,94	23,53	20,5	6,31	2,79
02.10.2009 г.	7,3	1,21	1,15	6,73	4,97	3,26	28,71	38,1	10,9	5,35
Приствольные воды										
02.10.2009 г. (сосна)	6,1	4,47	3,11	4,33	7,55	0,01	71,8	3,9	17,4	3,63
02.10.2009 г. (ива)	7,6	2,6	1,52	3,37	1,80	5,63	30,84	59,4	12,9	5,58

Примечание: н/о – не обнаружено.

Атмосферные осадки, проникающие под кроны сосны, берёзы и ивы, отличаются по химическому составу от вод, собранных под травами, повышенным содержанием, прежде всего, C_{орг.}, а также элементов-биогенов – K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, что связано с вымыванием этих веществ из листьев и хвои. Кроновые воды сосны содержат большее количество органических и некоторых минеральных компонентов, чем кроновые воды лиственных пород. При этом кроновые воды сосны выделялись более чётким, чем воды под лиственными породами сезонным изменением концентрации C_{орг.}, а именно, её увеличением осенью.

В осенний срок 2009 г. были собраны приствольные воды сосны и ивы, которые характеризовались более высокими концентрациями большинства определяемых элементов по сравнению с кроновыми водами. Причём, в приствольных водах сосны особенно высока концентрация C_{орг.}, а ивы – K⁺.

Таким образом, с кроновыми водами в почву в заметных количествах поступает водорастворимое органическое вещество, в меньшем количестве – минеральные элементы-биогены (кальций, калий). Состав атмосферных осадков преобразуется древесными

растениями в зависимости от их вида. Такие элементы, как сера и хлор отражают наличие атмосферного загрязнения, связанного с деятельностью промышленных предприятий.

Содержание элементов-биогенов изменяется по сезонам и связано с развитием растений в течение вегетации, увеличиваясь от весны к осени. Кроновые воды сосны характеризуются большей концентрацией органических и некоторых минеральных компонентов, чем воды под кронами лиственных пород.

Поступающие с кроновыми водами вещества мигрируют в лесную подстилку, просачиваются в лежащие ниже почвенные слои, участвуя в почвообразовательном процессе.

Ниже приведён химический состав лизиметрических вод, поступающих в минеральную толщу из биогенно-аккумулятивного горизонта (табл. 6).

Выявлено, что из органогенного слоя почв в минеральные горизонты мигрируют воды, имеющие слабокислую реакцию. В составе лизиметрических вод преобладает органический углерод, содержание которого в водах осеннего срока возрастает, что подтверждается, хотя и небольшим, подкислением вод в этот период. Концентрация минеральных элементов-

Таблица 6

Химический состав лизиметрических вод (средние значения), мг/л

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Разнотравно-злаковое сообщество										
25.05.2009 г.	6,3	0,76	0,34	1,91	4,22	0,03	13,05	1,43	3,10	1,31
02.10.2009 г.	5,9	0,66	1,02	1,20	2,04	0,05	25,0	1,37	3,74	2,75
Берёзовая парцелла										
25.05.2009 г.	6,9	1,21	1,22	2,88	6,90	0,14	20,04	2,64	2,25	1,66
02.10.2009 г.	5,7	1,50	1,13	2,86	3,08	0,11	41,60	2,40	2,19	1,06
Сосновая парцелла										
25.05.2009 г.	6,1	0,71	0,97	2,64	8,34	0,02	17,33	1,74	2,68	1,78
02.10.2009 г.	5,9	0,77	0,88	2,16	4,97	0,10	45,21	1,92	2,03	0,95

биогенов (кальция, калия, магния) на порядок ниже, и не отмечено заметных сезонных изменений в их содержании, что даёт основание заключить о большем воздействии на верхние минеральные слои осенних вод, обогащённых органическим веществом.

В лизиметрических водах под биогеоаккумулятивным слоем концентрация ионов аммония, нитрат-ионов и фосфат-ионов в основном снижается, что обусловлено их закреплением в органогенном горизонте биотической компонентой. В связи с изменением типа растительного сообщества следует отметить более высокое содержание водорастворимого органического вещества в лизиметрических водах, собранных в берёзовой и сосновой парцеллах, по сравнению с разнотравно-злаковым сообществом.

Количество сульфат-иона и, особенно, хлора, несколько повышено в лизиметрических водах весеннего периода, что хорошо согласуется с их содержанием в кроновых водах, обусловленным загрязнением атмосферных осадков, и свидетельствует о загрязнении не только органогенного горизонта почв.

Таким образом, результаты комплексных исследований позволяют выявить уже на ранних стадиях формирования лесной экосистемы связь изменения биоты и преобразования почвы. Формирующееся растительное сообщество характеризуется парцеллярной структурой, что проявляется в пространственной неоднородности почвенного покрова, становящейся характерной чертой почвенного покрова лесной экосистемы.

Выводы

1. В процессе развития самовосстановительной сукцессии лесная экосистема формируется на участке с разнотравно-злаковым сообществом путем дифференциации отдельных парцелл, приуроченных к разным груп-

пам древесных растений. В соответствии с изменением состава растительного сообщества преобразование почвы проявляется в ослаблении дернины и одернованного гумусового горизонта, аккумуляции грубого гумуса в формирующемся слое лесной подстилки.

2. Почвенная микробиота отражает парцеллярное преобразование травянистого растительного сообщества. Микробиота в почве сосновой парцеллы в основном представлена мицелиальными и дрожжевыми грибами, под травами и листовыми породами – актиномицетами и бактериями. Наибольшее количество аммонифицирующих бактерий отмечено в почве берёзовой и ивовой парцелл.

3. Состав атмосферных осадков преобразуется древесными растениями в зависимости от их вида (типа парцеллы). Изменение содержания элементов-биогенов в кроновых водах связано с развитием растений в течение вегетации. С осенними водами из органогенного слоя мигрируют более агрессивные органические вещества, особенно под сосной, что вызывает постепенно накапливающиеся изменения минеральной массы под биогеоаккумулятивным слоем.

Литература

1. Арчегова И.Б., Федорович В.А. Методологические аспекты изучения почв на современном этапе. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 92 с.
2. Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М.: РЭФИА, 1997. 325 с.
3. Полевая геоботаника. М.-Л.: Наука, 1964. 532 с.
4. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
5. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М. 1988. 220 с.
6. Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam-N.-Y.-Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.

7. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the fungi. 8th ed. / Eds. D. L. Hawksworth et al. CABI Bioscience. 1995. 540 p.

8. Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.

9. Посттехногенные экосистемы Севера. СПб.: Наука, 2002. 160 с.

10. Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере. Сыктывкар. 2009. 176 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 23 «Биологическое разнообразие».

УДК. 561.26

Некоторые аспекты влияния отходов производств фторполимеров и минеральных удобрений на качество воды реки Вятки в зоне санитарной охраны Кировского водозабора

© 2010. Т. А. Мусихина¹, к.г.н., доцент, А. Д. Клиндухова², аспирант,

¹Вятский государственный университет,

²Вятский государственный гуманитарный университет,
e-mail: mtamta1@mail.ru

Приведены данные мониторинговых наблюдений в зоне санитарной охраны Кировского водозабора с 1996–2010 гг. Выявлены закономерности интенсивности загрязнения воды от уровня р. Вятки в периоды паводка, показаны основные загрязнители. Предложена региональная система управления рисками для обеспечения экологической безопасности населения г. Кирова.

The article gives the monitoring data in the sanitary zone of Kirov water intake during the period of 1996–2010. The dependence of intensity of water pollution on the flood periods in the Vyatka is shown, the main pollutants are presented. Regional risk management system for the sake of ecological safety of the population of Kirov is suggested.

Ключевые слова: Кировский водозабор, загрязнение воды, природно-техногенные риски, прогнозные модели

Key words: Kirov water intake, water pollution, natural-technogenic risks, forecast patterns

В качестве мер повышения безопасности населения областного центра – г. Кирова, предлагается совершенствование региональной системы управления природно-техногенными рисками путем создания прогнозной модели химического сверхнормативного загрязнения воды относительно санитарных норм и правил [1, 2] в зоне санитарной охраны источника питьевого водоснабжения г. Кирова на основе имеющихся в регионе за весь период наблюдений мониторинговых данных, материалов государственного и локального экологического мониторинга и контроля в среднем течении реки Вятки, специальных научно-исследовательских работ по изучению миграции, аккумуляции и трансформации химических веществ в районе загрязнённой территории и оперативных данных субъ-

ектов экономики (ТЭЦ-3; Кировские коммунальные сети (ККС); Энергосберегающая компания Кирово-Чепецкого химкомбината (ООО «ЭСО КЧХК»)), представленных в Законодательное Собрание Кировской области.

Река Вятка является единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения областного центра. Используемые в Кировской области типовые технологические схемы водоподготовки питьевой воды (одноступенчатая на контактных осветлителях и двухступенчатая на скорых фильтрах) в условиях повышенного загрязнения природных вод не всегда обеспечивают требуемое качество очистки.

В условиях отсутствия научно-технических решений по исключению загрязнения реки Вятки от природно-техногенного объек-

та – территории, загрязнённой опасными отходами бывшей деятельности Кирово-Чепецкого химкомбината (ОАО КЧХК) площадью около 25 км², и как следствие – практически ежегодного сезонного превышения фоновых значений и гигиенических нормативов качества воды на водозаборе областного центра по азоту аммонийному, представляется актуальным создание информационно-прогнозной системы наступления этого события (угрозы химического загрязнения питьевой воды). Азот аммонийный в данном случае, безусловно, является маркером, который информирует о прохождении пятна загрязнения с набором выносимых с загрязнённой территории химических и радиоактивных веществ.

На основе анализа мониторинговых наблюдений и специальных научных работ, регулярно проводимых в зоне санитарной охраны (ЗСО) кировского водозабора с 1996 г., установлено:

- интенсивность и режим выноса загрязнений во многом зависит от гидрологических, гидрохимических и метеорологических условий в приоритетные фазы водного режима водотоков;
- практически ежегодно, начиная с 1996 г., отмечаются превышения фоновых значений, а в большинстве случаев и гигиенических нормативов качества воды на водозаборе областного центра;
- дата наступления опасных периодов варьирует с декабря по июнь, а продолжительность их составляет от 1 до 7 дней.

Таким образом, временной период наступления угрозы длится с декабря до начала лета, что соответствует 3 фазам водного режима – зимняя межень, начало половодья, половодье до пиковых показателей.

Формирование устойчивых загрязнений грунтовых вод на данной территории происходит по следующим показателям: азот нитратный, азот аммонийный, кальций-ион, натрий-ион, хлорид-ион, сульфат-ион, стронций-ион, ртуть. Кроме того, грунты загрязнены радионуклидами, а также Cs-137, Pu-239, Am-241, U-238 и Sr-90, ртутью.

Внешние условия миграции для всего спектра загрязняющих химических веществ в данной зоне идентичные (температура, степень электролитической диссоциации, рН, окислительно-восстановительный потенциал, степень разбавления речными водами и т. д.), однако внутренние факторы каждого вещества, зависящие от радиуса иона, кристаллической решетки, способности образо-

вывать комплексные соединения, консервативность и т. д. – различные, поэтому створа водозабора вещества достигают с разной концентрацией.

Наиболее интенсивный вынос азота аммонийного и других ЗВ происходит в период весеннего половодья. Это событие во многом зависит от интенсивности подъема уровня воды в реке Вятке в репрезентативных створах водозаборов ТЭЦ-3 и ООО «ЭСО КЧХК» и как следствие – изменения при этом гидрологических режимов в половодье на затопляемой пойме в исследуемом районе.

Превышение нормативов качества воды на водозаборе фиксируется практически ежегодно, поэтому можно найти закономерности вероятного наступления этого события.

Согласно собственным визуальным наблюдениям авторов, данным мониторинговых наблюдений региональной сети во время половодья (за период с 2002-го по 2009 г.), данным Кировского территориального органа Росгидромета, гидрологическим данным ТЭЦ-3 и ООО «ЭСО КЧХК» по прохождению половодья в зоне санитарной охраны кировского водозабора значительное загрязнение, приводящее к превышению нормативов качества воды на кировском водозаборе (данные КЧС), происходит при определенных гидрологических условиях. Это условие – резкое поднятие уровня воды в реке Вятке, которое приводит к изменению естественной линии водораздела на затопляемой в районе химкомбината территории и как следствие – изменение направления движения водных масс по затопленной пойме в районе бывшего ОАО КЧХК на противоположное, а за счет этого – сокращение расстояния до водозабора. Образующаяся в таких условиях подпора «волна» одновременно выносит из озер и карьеров, расположенных по разные стороны линии водораздела, значительную массу загрязненных вод с концентрацией до десятков ПДК_{х/п}. Тем самым объединяются в единое целое несколько образовавшихся в водной массе над карьерами «пятен загрязнения», которые, двигаясь ранее в разных направлениях, соединяются и устремляются к водозабору города Кирова по сокращенному пути вне русла реки при меньших степенях разбавления и достигают водозабора с повышенной концентрацией.

По гидрохимическим данным ООО «ЭСО КЧХК» был построен график (рис.), на котором показаны максимальные уровни реки Вятки в приоритетный период половодья. Наступление превышения нормативов про-

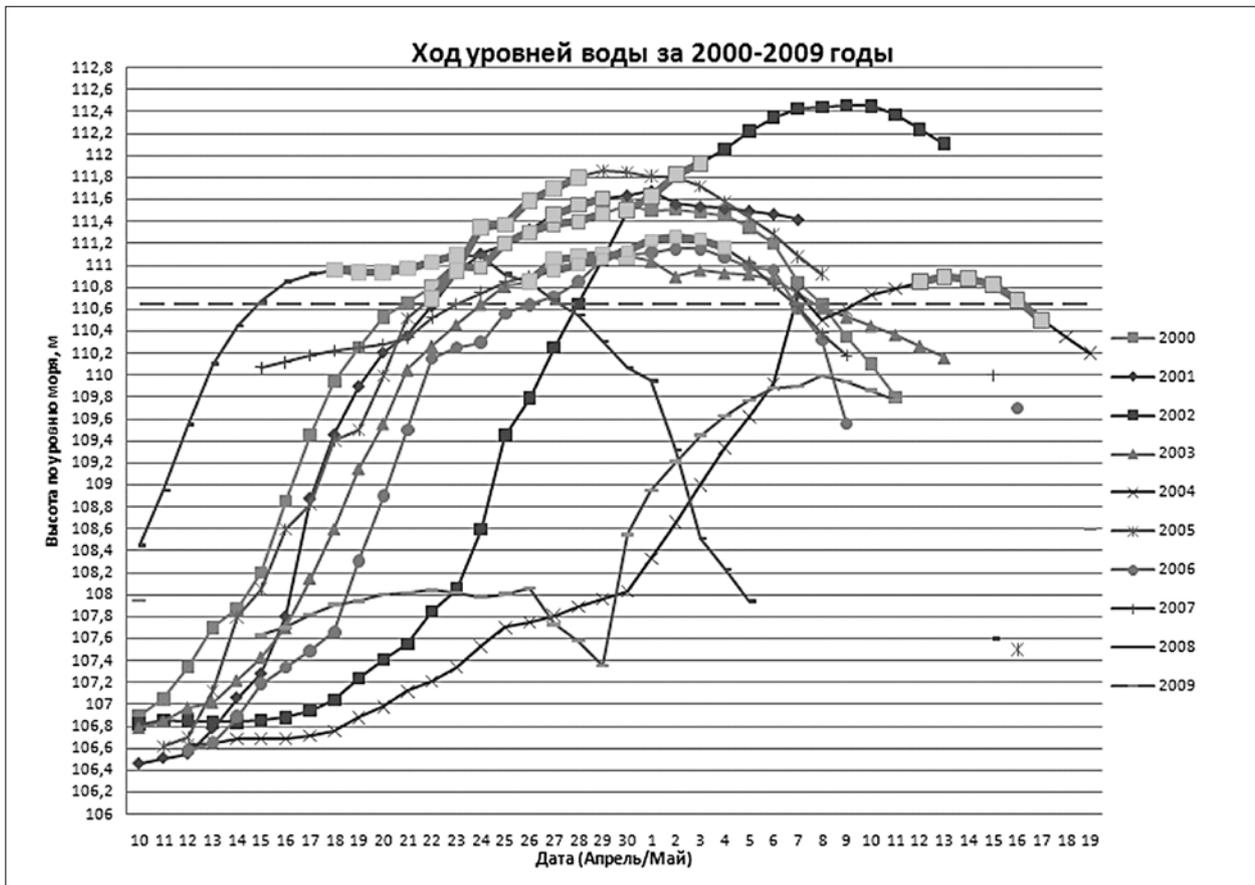


Рис. Ход уровней воды реки Вятки по годам в створе ООО «ЭСО КЧХК»

исходит до наступления пика уровней воды при резком подъеме воды после преодоления уровня значения 110,6 м.

В результате исследования выявлены следующие закономерности наступления события по превышению допустимой концентрации на водозаборе по азоту аммонийному (далее – событие) во время весеннего половодья на р.Вятке:

- 1) событие наступает в период весеннего половодья в сроки с 19 апреля (2008 год) по 11 мая (2004 год);
- 2) продолжительность события – от 1 дня до 7 дней;
- 3) минимальный уровень воды на водозаборе ООО «ЭСО КЧХК» (ТЭЦ-3) при наступлении события за весь период наблюдений – 110,64 м (выше самой высокой отметки на исследуемой территории, т. е. при условии полного ее затопления);
- 4) как правило, событие наступает после резкого повышения уровня воды после достижения уровня воды на водозаборе ООО «ЭСО КЧХК» 110,5 м;
- 5) событие всегда наступает в фазе подъема уровня воды до достижения пиковых значений;

б) отсутствие превышения ГН (концентрация азота аммонийного не превышала 0,79 мг/л при ПДКх.п=1,5 мг/л, фон=0,1-0,3 мг/л) за десятилетний период наблюдалось в 2006 и 2009 гг. В 2006 г. – максимальный уровень воды был выше среднего. При этом следует отметить, что изменение концентрации на водозаборе отмечено в пределах санитарного норматива, но поднималось до значений в 5 раз выше фоновых. Кроме того, просматривается прямая зависимость уровня концентрации приоритетных веществ от уровня воды реки Вятки (в створе водозаборов ООО «ЭСО КЧХК» и ТЭЦ-3). В 2006 г. содержание азота аммонийного в самом начале половодья на измерительном лотке при впадении в реку Просницу отмечено на уровне 1,7 ПДК, что соответствовало средним значениям за период с 2001-го по 2009 г. Отсутствие превышений нормативов в 2006 г. может быть объяснено и тем, что в предыдущий год в половодье произошёл рекордный вынос массы азота аммонийного из озёр и карьеров, превышающий средние значения в 2 раза. Второй причиной может быть изменение

траектории миграции пятен загрязнения из-за изменения гидрологических характеристик рек Просницы и Никульчинки, впадающих в Вятку ниже по течению загрязнённой территории (данные выводы требуют дополнительной проработки при изучении информации о гидрологии упомянутых рек в исследуемый период).

В 2009 г. резкий подъём воды наблюдался при низких отметках, а максимальный уровень (110,05 м) в 2009 г. вообще не достиг предела в 110,60 м, который способствует интенсивному перемешиванию загрязнённых водных масс с разных сторон водораздела (максимальная отметка водораздела соответствует 109,2 м).

В отличие от техногенных факторов, где представляется реальным управлять связанными с ними экологическими рисками, регламентировать, сократить или предотвратить природные процессы загрязнения водных объектов на практике невозможно. Однако, получив необходимую достоверную информацию, построив прогнозную модель с использованием найденных закономерностей, можно принимать управленческие решения

по исключению употребления населением заведомо некондиционной воды для питьевых нужд и тем самым снизить степень природно-техногенного риска от влияния отходов производств фторполимеров и минеральных удобрений на качество воды реки Вятки в зоне санитарной охраны Кировского водозабора в приоритетные периоды.

Литература

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25.11.2002 N40 «О введении в действие санитарных правил «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. СанПиН 2.1.4.1175-02» (вместе с «Санитарно - эпидемиологическими правилами и нормативами «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. СанПиН 2.1.4.1175-02», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 12.11.2002)
2. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» СанПиН 2.1.5.980-00

Фоновое содержание тяжёлых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры

© 2010. А. А. Дымов¹, к.б.н., н.с., Е. М. Лаптева¹, к.б.н., зав. отделом, А. В. Калашников², к.б.н., доцент, С. В. Денева¹, к.б.н., н.с.,
¹ Институт биологии Коми научного центра УрО РАН,
² Архангельский государственный технический университет,
e-mail: aadymov@gmail.com

В работе представлены результаты оценки содержания тяжёлых металлов, мышьяка и углеводородов в верхних генетических горизонтах основных типов целинных почв Большеземельской тундры. Показано, что содержание ртути, свинца, меди, цинка и никеля в почвах фоновых ландшафтов значительно меньше установленных ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК). Региональной геохимической спецификой территории является повышенное содержание мышьяка, приближающееся, а в некоторых случаях превышающее ОДК, в торфяных, аллювиальных и автоморфных почвах, развитых на песчаных почвообразующих породах.

The article presents the results of evaluating the amount of heavy metals, arsenic and hydrocarbons in the upper genetic horizons of the most typical types of virgin soil of the Bolshezamelskaya tundra. It is shown that the amount of mercury, lead, copper, zinc, nickel in background landscapes' soil is much less than it is assigned by the tentatively permissible concentrations (TPC). Regional geochemical specifics of the territory consists in the increased amount of arsenic that is close and in some places even over TPC in peat, alluvial and automorphic soils on sand soil-forming rocks.

Ключевые слова: Большеземельская тундра, тяжёлые металлы, содержание загрязняющих веществ в почвах

Key words: Bolshezamelskaya tundra, heavy metals, amount of pollutants in soil

Почвы – один из ключевых компонентов наземных экосистем. Они в значительной степени регулируют химический состав поверхностных и грунтовых вод, приземного слоя атмосферы, биоты и в целом определяют устойчивость экосистем к различным типам антропогенного воздействия. Почвы субарктики, наземные экосистемы которой испытывают в последние десятилетия существенное усиление антропогенного прессы, наиболее ранимы и быстро деградируют под влиянием техногенного фактора [1 – 3]. Изменение почв на территории Большеземельской тундры, в первую очередь, связано с нефтегазовой промышленностью [4 – 6]. Для качественной оценки возможного химического загрязнения природной среды необходимо представление о фоновом содержании загрязняющих веществ в основных компонентах нативных экосистем – почвах, растительности, воде, донных отложениях и т.д. К настоящему времени детально исследовано содержание и профилное распределение тяжёлых металлов (ТМ) в почвах таёжных экосистем европейского Северо-Востока [7, 8], установлены нормативы фонового содержания ТМ и углеводородов в почвах южных районов Республики Коми [9].

Цель данной работы заключалась в оценке содержания мышьяка, тяжёлых металлов и углеводородов в основных типах целинных почв Большеземельской тундры.

Объекты и методы

Исследования проводили в Воркутинском районе Республике Коми (РК) и Ненецком автономном округе (НАО). Согласно почвенно-географическому районированию, территория проведения исследований входит в Канино-Печорскую провинцию тундровой европейской области [10]. Фоновые участки для отбора проб подбирали таким образом, чтобы исключить возможное антропогенное загрязнение почвенного покрова. Диагностику и идентификацию почв проводили согласно [11]. В процессе сбора материала осуществляли геохимическое опробование как верхних генетических горизонтов (до глубины 20–30 см), которые в первую очередь исследуются при проведении инженерно-экологических изысканий [12], так и опорных разрезов, которые закладывали в наиболее типичных ландшафтах. Количественный химический анализ почв

выполнен в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Гранулометрический состав определен по Качинскому с диспергацией и кипячением в присутствии NaOH [13], рН водной и солевой суспензий – потенциометрически со стеклянным электродом [14]. Определение содержания металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, ртути) и мышьяка проведено в соответствии с аттестованными методиками [15]. Нефтепродукты экстрагировали гексаном с последующим определением на анализаторе «Флюорат-2» [16].

В совокупности исследованы почвы 115 фоновых участков. Статистическая обработка полученного массива данных проведена с учётом типа почвы, генетического горизонта, гранулометрического состава почвообразующих пород.

Результаты и обсуждение

Почвенный покров исследуемой территории характеризуется значительной пестротой и комплексностью. Здесь распространены преимущественно болотно-тундровые торфянисто- (торфяно)-глеевые, тундровые остаточноторфяные мерзлотные, болотные верховые торфяные мерзлотные и тундровые поверхностноглеевые почвы, на долю которых в сумме приходится более 80 % территории. При этом на территории Воркутинского района РК основную площадь занимают болотно-тундровые торфянисто- (торфяно)-глеевые и тундровые поверхностноглеевые почвы, а на территории НАО преоблада-

ют тундровые остаточноторфяные мерзлотные и болотные верховые торфяные мерзлотные с возрастанием доли тундровых иллювиально-гумусовых оподзоленных и болотно-тундровых торфянисто- (торфяно)-глеевых почв (рис. 1).

Почвы обследованной территории характеризуются низким региональным уровнем содержания свинца и меди, низким и средним – никеля, цинка и ртути, средним и повышенным – кадмия и мышьяка. Для пространственного распределения тяжёлых металлов выявлена положительная асимметричность, обусловленная тем, что практически для всех тяжёлых металлов основная часть вариаций приходится на значения ниже среднего арифметического. Аналогичная зависимость была отмечена и для почв таёжной зоны европейского Северо-Востока [7]. Практически во всех типах тундровых почв наблюдается надмерзлотное накопление меди и никеля с минимальным его содержанием в верхних органогенных горизонтах и 2-3-кратным повышением в нижних (рис. 2). Аллювиальные почвы отличаются относительной аккумуляцией всех тяжёлых металлов и мышьяка, что обусловлено спецификой их формирования. Почвы пойменных террас – природные геохимические барьеры на пути миграции химических элементов в ландшафтах [18]. Содержание углеводородов в природных почвах Большеземельской тундры низкое.

Медь. Пределы варьирования содержания меди (Cu) в почвах Большеземельской тундры составляют 0,5–19,2 мг/кг. Полученные данные, в соответствии со шкалой экологического нормирования ТМ для геохимической ассоциации

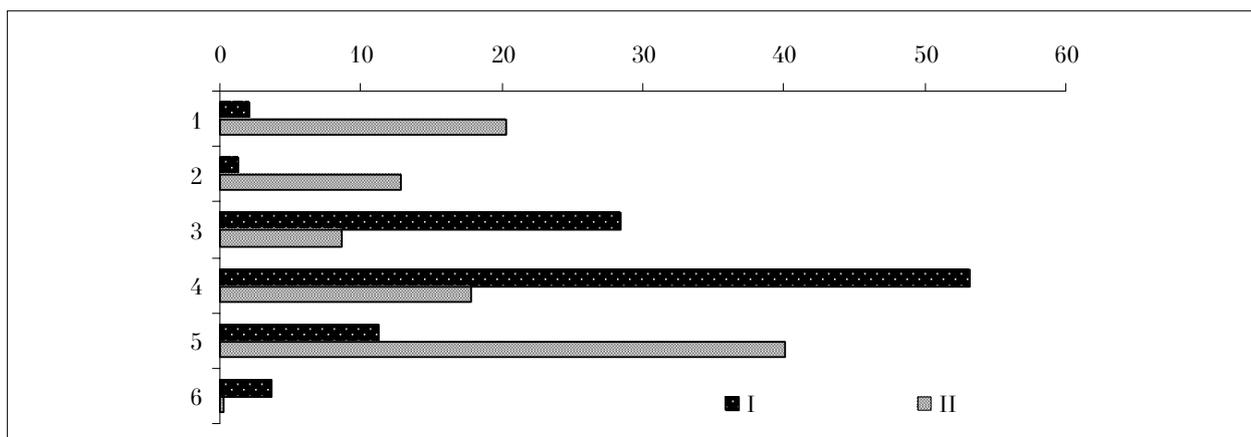


Рис. 1. Соотношение площадей почв в исследованных районах Большеземельской тундры (расчёт проведён на основании [17]).

Почвы: 1 – тундровые иллювиально-гумусовые (в том числе оподзоленные); 2 – болотно-тундровые торфянисто(торфяно)-глеевые иллювиально-гумусовые (в том числе оподзоленные); 3 – тундровые поверхностноглеевые; 4 – болотно-тундровые торфянисто(торфяно)-глеевые; 5 – тундровые остаточноторфяные мерзлотные и болотные верховые торфяные мерзлотные; 6 – аллювиальные. I – Воркутинский район Республики Коми, II – Ненецкий автономный округ.

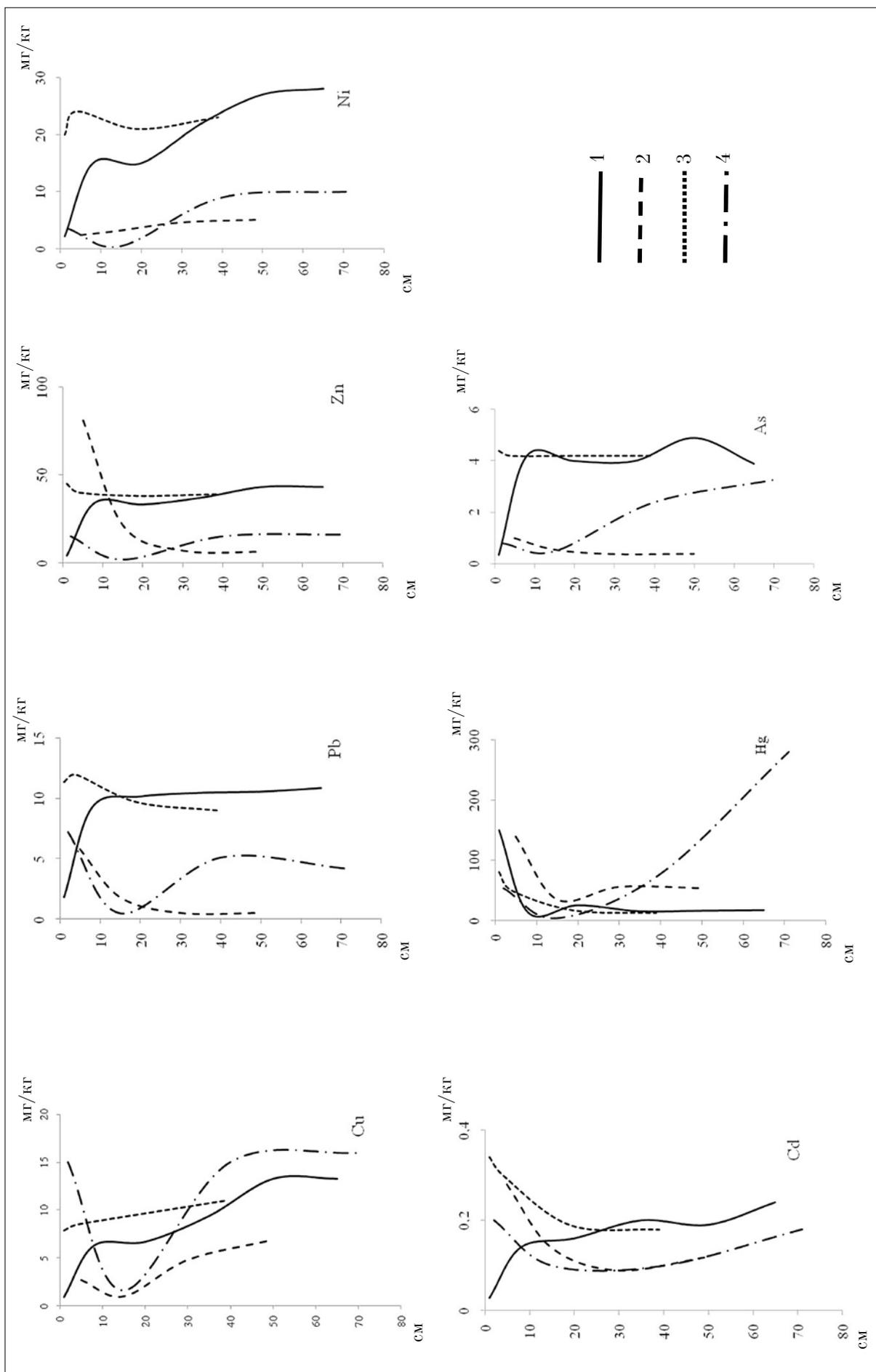


Рис. 2. Распределение тяжёлых металлов и мышьяка в почвах: 1 – тундровая поверхностно-глеевая; 2 – тундровые остаточно-горфяные; 3 – аллювиальные; 4 – тундровые иллювиально-гумусовые оподзоленные. По оси абсцисс – %, по оси ординат – глубина, см

почв со слабокислой и кислой реакцией [19], соответствуют низкому региональному уровню фоновому содержанию Cu. Органогенные горизонты всех исследованных почв близки по содержанию меди. В её профиле распределении чётко прослеживается возрастание концентрации вниз по профилю и надмерзлотная аккумуляция практически во всех типах почв. Максимальным содержанием меди отличаются почвы аллювиальных ландшафтов ($7,9 \pm 1,2$ мг/кг).

Свинец. Содержание свинца (Pb) в исследованных почвах варьирует от 1,2 до 24,0 мг/кг, что соответствует низкому и среднему региональному уровню [19] и существенно меньше ОДК [20]. При этом верхние горизонты всех типов почв статистически близки по содержанию Pb (табл. 1). В почвах автоморфного ряда, в отличие от полу- и гидроморфных, наблюдается некоторое возрастание массовой доли свинца вниз по профилю.

Цинк. Для цинка (Zn) отмечен более широкий диапазон варьирования концентраций в тундровых почвах – от 2,8 до 118,0 мг/кг. Основной массив данных характеризуется низким и средним уровнем содержания цинка (до 70 мг/кг), однако в единичных образцах его концентрация может достигать 100–118 мг/кг, что соответствует повышенному уровню. В почвах суглинистого гранулометрического состава, как правило, наблюдается относительное накопление элемента в минеральных горизонтах, в торфяных почвах – аккумуляция в верхних органогенных горизонтах (рис. 2). Для почв, сформированных на песчаных почвообразующих породах, характерен элювиально-иллювиальный тип профилевого распределения Zn. В аллювиальных почвах распределение Zn по профилю практически не дифференцировано.

Никель. Содержание никеля (Ni) в почвах Большеземельской тундры соответствует преимущественно низкому уровню со средними величинами $8,3 \pm 5,2$ мг/кг. Распределение Ni в тундровых почвах аналогично поведению меди и тесно коррелирует с её распределением в профилях исследованных почв (коэффициент корреляции $r = 0,86$). Для почв водоразделов характерно низкое содержание элемента в верхних органогенных горизонтах с увеличением его концентрации вниз по профилю. Наиболее ярко такой тип распределения проявляется в автоморфных почвах, развитых на суглинистых отложениях (рис. 2). Для дерновых горизонтов аллювиальных почв отмечены наиболее высокие значения концентрации никеля – $18,3 \pm 4,0$ мг/кг, их минеральные горизонты характеризуются величинами близкими к среднему содержанию никеля в почвах плакоров – $9,2 \pm 4,0$ мг/кг.

Кадмий. Содержание кадмия (Cd) в тундровых почвах варьирует от 0,03 до 0,76 мг/кг, в среднем составляя $0,21 \pm 0,03$ мг/кг. Относительно повышенной концентрацией Cd отличаются органогенные горизонты аллювиальных и полугидроморфных тундровых почв. Профильное распределение данного элемента в почвах Большеземельской тундры тесно коррелирует с поведением в них мышьяка и свинца (коэффициенты корреляции соответственно 0,92 и 0,83).

Ртуть. Концентрация ртути (Hg) в тундровых почвах определяется величинами от 8 до 270 мкг/кг, что значительно меньше ОДК (табл. 1). Максимальным содержанием отличаются оторфованные горизонты тундровых поверхностно-глеевых (168 ± 11 мкг/кг) и торфянисто-(торфяно)-глеевых (118 ± 14 мкг/кг) почв тяжёлого гранулометрического состава. Торфяные горизонты болотных и дерновые горизонты аллювиальных почв, равно как и почвы, развитые на песчаных отложениях, по содержанию ртути в среднем соответствуют низкому уровню фоновому содержанию данного элемента в почвах со слабокислой и кислой реакцией. Для большинства органогенных горизонтов исследуемых почв наблюдается превышение медианального значения над средним, что свидетельствует об особом характере аккумуляции элемента. В почвах легкого гранулометрического состава отмечено увеличение содержания элемента с глубиной, в остальных типах тундровых почв – её биогенное накопление в органогенных горизонтах (рис. 2).

Мышьяк. Фоновое содержание мышьяка (As) варьирует от 0,2 до 25,3 мг/кг. Для большинства исследованных полугидроморфных и гидроморфных тундровых почв выявлено превышение ОДК по содержанию As в органогенных (торфянистых) горизонтах. Для основной части почв выборки отмечено преимущественное накопление мышьяка в минеральной части профиля. Исключением являются аллювиальные почвы, для которых установлено относительно равномерное распределение As по профилю. По всей видимости, высокое содержание данного элемента в почвах Большеземельской тундры связано с региональными особенностями почвообразующих пород.

Углевородороды. Концентрация углеводородов в проанализированном массиве проб варьирует от 3 до 140 мг/кг. Это один из наиболее вариативных показателей (коэффициенты вариации для органогенных горизонтов представлены величинами 66–98%). Наиболее высоким содержанием углеводородов характеризуются торфяные горизонты болотных верховых, тундровых

Таблица 1
Фоновое содержание ($\bar{X} \pm S$)* тяжёлых металлов, мышьяка и углеводородов в верхних горизонтах почв Большеземельской тундры (числитель), значения медиан – $X_{0,5}$ (знаменатель)

Тип почвы	п***	мг/кг										УВ***, мг/кг
		As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	Hg, мкг/кг				
Тундровые иллювиально-гумусовые (в том числе оподзоленные)	A0	2,1±0,8 1,7	10,5±0,8 10,8	35±13 23,2	5,4±0,8 5,5	8,6±1,9 6,1	0,12±0,04 0,082	20±4 24	24±9 20			
	Bh	2,0±0,4 2,0	9,6±0,6 9,8	19,3±4,0 14,6	5,8±0,9 6,6	9,4±3,0 6,9	0,05±0,01 0,046	11±6 13	19±6 10			
Болотно-тундровые торфянисто(торфяно)-глеевые иллювиально-гумусовые (в том числе оподзоленные)	A0	1,5±0,3 1,3	7,9±1,1 7,7	26,8±7,0 19,5	6,2±0,7 6,3	7,64±1,3 7,2	0,23±0,04 0,187	72±12 77	38±11 27			
	A0	1,33±0,23 0,6	6,9±0,7 6,2	17,6±2,4 15	3,5±0,6 2,2	5,3±0,8 3,3	0,19±0,02 0,160	168±11 190	17±7 27			
Тундровые поверхностно-глеевые	Bgh	3,42±0,16 3,3	7,1±0,3 6,7	22,9±1,2 22,5	5,2±0,5 4,3	10,6±0,7 10	0,11±0,1 0,09	21,4±1,3 18,5	10±7 8			
	A0	1,40±0,28 1,0	8,0±1,3 7,0	20±4 14,3	4,1±0,7 3,7	5,4±1,1 4,2	0,19±0,04 0,11	118±14 140	20±3 38			
Болотно-тундровые торфянисто(торфяно)-глеевые	Bgh	3,05±0,29 3,2	7,5±0,3 7,0	23,3±1,9 22,0	6,0±0,5 5,7	15,5±2,5 14,0	0,12±0,01 0,11	24±3 21	11,2±0,8 4			
	T1	4,9±0,8 3,6	6,3±0,8 5,5	27±4 19,2	6,9±0,7 5,5	7,8±1,0 6,1	0,12±0,02 0,14	57±8 41	30±5 27			
Тундровые остаточные мерзлотные и болотные торфяные мерзлотные	Ад	5,8±1,2 4,1	9,3±0,6 9,4	35±5 34,0	7,9±1,2 7,1	18,3±4,0 14,5	0,23±0,05 0,26	42±5 46	12±4 29			
	ОДК***	2,0/5,0	32/65	55/110	33/66	20/40	0,5/1,0	2100	–			

Примечание: * \bar{X} – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение среднего арифметического; ** n – объём выборки; *** УВ – углеводороды; **** в числителе – ОДК для песчаных (суфесчаных), в знаменателе – для суглинистых (глинистых) почв, рН<5,5 (согласно ГН 2.1.7.2042-06 [20]).

остаточно-торфяных почв и болотно-тундровых торфянисто (торфяно)-глеевых иллювиально-гумусовых. Следует отметить, что содержание углеводов в почвах Большеземельской тундры несколько выше по сравнению с таёжными почвами южных районов Республики Коми [9].

Заключение

Таким образом, в результате проведённых исследований установлен региональный уровень фонового содержания тяжёлых металлов, мышьяка и углеводов в верхних генетических горизонтах почв Большеземельской тундры. Показано, что содержание ртути, свинца, меди, никеля, цинка и кадмия в почвах фоновых ландшафтов значительно меньше установленных ориентировочно-допустимых концентраций. Отмечено в ряде случаев превышение ОДК по содержанию мышьяка. Полученные данные могут быть использованы при проведении экологического мониторинга и работ по оценке антропогенного воздействия на компоненты природной среды Большеземельской тундры.

Литература

1. Крючков В.В. Чуткая субарктика. М.: Наука, 1976. 136 с.
2. Васильевская В.Д., Григорьев В.Я., Погожева Е.А. Взаимосвязи характеристик почвенно-растительного покрова тундр как основа показателей его устойчивости, деградации и восстановления // Почвоведение. 2006. № 3. С. 352–362.
3. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
4. Русанова Г.В., Денева С.В. Содержание нефтепродуктов и тяжёлых металлов в почвах территорий буровых скважин (бассейн р. Ортина, Большеземельская тундра) // Природные ресурсы северных территорий: проблемы оценки, использования и воспроизводства: Матер. Всерос. конф. Архангельск. 2002. С. 238–241.
5. Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Лодыгин Е.Д. Экологическая оценка почв в районе эксплуатации нефтяных месторождений в условиях Севера // Сохраним планету Земля. СПб. 2004. С. 144–147.
6. Габайдуллин М.Г., Калашников А.В., Макаровский Н.А. Оценка и прогнозирование экологического состояния геологической среды при освоении севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Архангельск: АГТУ, 2008. 270 с.
7. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фонового содержания тяжёлых металлов в почвах европейского северо-востока России // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070.

8. Атлас почв Республики Коми. Сыктывкар. 2010. 350 с.
9. Об установлении нормативов фонового содержания химических элементов и углеводов в почвах республики Коми. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми № 529 от 25.11.2009 г.
10. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: МГУ, 2004. 460 с.
11. Государственная почвенная карта СССР (м-б 1:1000000). Объяснительная записка к листу Q-40 (Печора). М., 1987. 51 с.
12. ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почва. Общие требования к отбору проб».
13. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
14. ГОСТ 26483–85–ГОСТ 26490–85. Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1994. 48 с.
15. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. М. 1998.
16. ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». 2007. М. 2007. 24 с.
17. Государственная почвенная карта России (м-б 1:1000000). Объяснительная записка к листу Q-41 (Воркута). Сыктывкар. 2010. 82 с.
18. Добровольский Г.В. Генезис, эволюция и охрана почвенного покрова пойм Нечерноземной зоны РСФСР // Научные основы оптимизации и воспроизводства плодородия аллювиальных почв Нечерноземной зоны РСФСР: Научн. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М. 1991. С. 3–14.
19. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2006. 334 с.
20. ГН 2.1.7.2041-06 ГН 2.1.7.2042-06 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОБН РАН «Почвенно-функциональные ресурсы биосферы европейского Северо-Востока и биолитогенные экотоны – фундаментальная основа охраны и мониторинга почвенно-земельного фонда».

УДК 623.459

Эколого-токсикологическая оценка опасности загрязнения мышьяком отходов строительных конструкций объектов по уничтожению химического оружия кожно-нарывного действия

© 2009. А. А. Масленников, д.б.н., зав. лабораторией, Н. Г. Британов, к.м.н., зав. лабораторией, Б. Н. Филатов, д.м.н., зав. лабораторией, С. А. Демидова, к.б.н., н. с., Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии Федерального медико-биологического агентства, e-mail: maslennikov@rihtop.ru

Установлены пороговые и подпороговые концентрации мышьяка в отходах строительных конструкций объектов по уничтожению химического оружия кожно-нарывного действия по общесанитарному, транслокационному, миграционному водному показателям вредности. Лимитирующий критерий вредного действия вещества – транслокационный. Предельно допустимая концентрация мышьяка в отходах строительных конструкций установлена на уровне 10,0 мг/кг.

Limit and sub-limit concentrations of arsenic in wastes of buildings of blister agents chemical weapon decommission plants with arsenic are stated as for the general sanitary, translocation, migration and water harm indications. The limiting criterion of poisonous effect of a matter is a translocation one. Maximum permissible concentration of arsenic in building construction wastes is 10,0 mg/kg.

Ключевые слова: мышьяк, отходы строительных конструкций, недействующие концентрации
Key words: Arsenic, building construction wastes, inactive concentrations

Введение

В последний период времени обращение с отходами во всем мире определено как одна из значимых проблем. Это обусловлено тем, что неизбежным следствием любого производственного процесса, наряду с выбросами загрязняющих веществ, является образование токсичных отходов, представляющих угрозу для окружающей среды и человека [1].

Одним из важнейших источников образования отходов, содержащих высокотоксичные вещества, служат объекты по уничтожению химического оружия, в том числе кожно-нарывного действия [2].

Ликвидация указанных промышленных сооружений может сопровождаться негативным воздействием на здоровье как персонала, выполняющего работы по демонтажу оборудования и зданий, так и на население, проживающее в районах размещения рассматриваемых предприятий или складирования строительных и технологических отходов.

Кроме того, указанные отходы, в частности производств по уничтожению люизита, способны оказывать негативное воздействие на основные экосистемы, вследствие содержания большого количества соединений мышьяка.

Цель данного исследования – определение допустимого содержания мышьяка в отходах строительных конструкций, образующихся при демонтаже сооружений объектов по уничтожению люизита.

Материалы и методы

В процессе выполнения работ использован натрий мышьяковистокислый орто 3-замещенный 1-водный ($\text{Na}_3\text{AsO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) с массовой долей основного вещества 59,0%.

Данное соединение представляет собой светло-серый гигроскопичный порошок. Молекулярная масса – 210,00. Вещество растворяется в воде [3].

Исходя из результатов предварительных опытов с основными материалами, используемыми в строительстве – бетоном (марка 400), силикатным кирпичом и цементным раствором, в процессе экспериментального обоснования гигиенического норматива мышьяка в отходах строительных конструкций, в качестве модельного строительного эталона (МСЭ) использовали измельченный силикатный кирпич, обеспечивающий максимальную миграцию из него различных токсикантов в основные экосистемы и представляющего, в этой связи, наибольшую опасность при контакте с ним [4].

На момент выполнения работ отсутствовали утверждённые в законодательном порядке инструктивно-методические документы по экспериментальному обоснованию предельно допустимой концентрации токсиканта при его содержании в строительных конструкциях. В этой связи в процессе проведения исследований использовали действующие «Санитарные правила...», «Методические рекомендации...» и руководство [5 – 7].

При выборе методов исследований исходили из того, что все неорганические соединения мышьяка, в том числе и арсенит натрия – кристаллические вещества с температурой плавления выше 300 °С, имеющие чрезвычайно низкую летучесть [3]. С учётом данного обстоятельства, а также, принимая во внимание тот факт, что воздушно-миграционный показатель не являлся лимитирующим признаком вредного действия при обосновании ПДК мышьяка в почве (норматив обоснован по транслокационному показателю вредности) [8], в настоящих исследованиях оценку способности токсиканта мигрировать в воздух не проводили.

В то же время учитывали, что рассматриваемый токсикант, содержащийся в строительных материалах (при возможном их складировании и хранении на открытой местности), способен мигрировать в подземные воды и далее в источники водопотребления, а также оказывать негативное влияние на общесанитарное состояние грунта и растения, употребляемые в пищу человеком и животными. Исходя из этого, проводили водно-миграционные исследования, а также анализировали состояние микробоценоза почвы и влияние вещества на рост и развитие корневой системы высших растений.

С целью создания экстремальных условий все эксперименты, за исключением изучения общесанитарного режима почвы, выполнены на модельном почвенном эталоне (МПЭ). В качестве МПЭ использовали подготовленный средне-мелкозернистый карьерный песок, отобранный с глубины не менее 3-х метров от поверхности грунта, который обеспечивал максимальную фильтрацию и минимальную сорбционную способность [6, 7].

Для оценки состояния микробоценоза почвы при воздействии нормируемого соединения применяли модельную дерново-карбонатную лесную почву (верхний слой 0 – 25 см), отобранную с заведомо не загрязнённых токсикантом участков [6] района размещения одного из объектов по уничтожению отравляющих веществ кожно-нарывного действия, расположенного в г. Камбарка Удмуртской Республи-

ки, воспроизводящую характерный для данного грунта качественный и количественный состав микробоценоза.

Предварительно оценивали необходимые физико-химические свойства МПЭ, модельной почвы и их смеси: механический состав, полную влагоемкость, содержание углерода по Тюрину, рН водной вытяжки [6, 7].

Для аггравации условий эксперимента, моделирующих попадание токсиканта в грунт с минимальным содержанием углерода (например, в песчаный), в исследованиях по воздействию нормируемого соединения на самоочищающую способность и микробоценоз использовали смесь модельной почвы и МПЭ (в соотношении 1:2), обеспечивающую уровень указанного химического элемента 0,5%, что в минимальной степени способствует ускоренному распаду токсиканта с учётом биологического фактора [7].

Оценку миграционной водной опасности МСЭ, загрязнённого токсичным веществом, выполняли, используя в качестве водопроницаемого слоя модельный почвенный эталон, который помещали в миграционные колонки [6, 7].

В опытах по воздействию строительных материалов на микробоценоз почвы определяли численность бактерий, микромицетов и мицелиальных бактерий – актиномицетов, выращиваемых на соответствующих питательных средах [6, 7].

За критериально-значимую величину принимали выход показателей в опыте за пределы 50% отклонений от таковых в контроле [6, 7].

В ходе выполнения исследований фитотоксичности МСЭ, содержащего оцениваемое соединение, использовали семена ячменя и овса [6, 7], имевших сертификат качества.

Критериально значимыми считались отклонения показателей в опыте, выходявшие за пределы 20% отличий соответствующих контрольных значений [6, 7].

Полученные в процессе исследований результаты подвергали статистической обработке с использованием критерия t – Стьюдента-Фишера [9].

Результаты и обсуждение

При постановке опытов по оценке водно-миграционной опасности токсиканта использовали водные вытяжки из МСЭ, загрязнённого мышьяком в концентрациях 50,0, 10,0 и 2,0 мг/кг (величина ПДК вещества в почве). Продолжительность эксперимента составила 12 суток.

Анализ полученных результатов позволил установить, что при содержании в материалах

строительных конструкций в достаточно высокой концентрации – 50,0 мг/кг на 10 сутки опыта зафиксировано однократное присутствие вещества в фильтрационных водах на уровне 0,01 мг/л (величина ПДК воды водоёмов). При загрязнении строительных отходов более низкими уровнями токсикант в фильтрационных водах не обнаружен.

С учётом выше изложенного сделан вывод о том, что в условиях проведённого опыта минимально действующая (пороговая) концентрация мышьяка не установлена. В то же время в качестве максимально недействующего уровня вещества в строительных отходах по водному миграционному показателю следует признать величину 50,0 мг/кг, обеспечивающую его миграцию в фильтрационные воды на уровне ПДК воды водоёмов.

Помимо указанного, дополнительно, с целью определения количества токсиканта, попадающего в почву вследствие его вымывания естественными осадками из отходов строительных конструкций в случае их складирования на открытой местности, в лабораторных условиях

выполнены соответствующие модельные опыты. В результате проведенных экспериментов установлено, что из МСЭ, содержащего различные концентрации вещества, в гравитационные воды попадает около 15,0 % мышьяка.

Исследование фитотоксического действия химиката при его миграции из МСЭ позволило установить, что в течение 3 суток вещество на уровне 50,0, 10,0 и 2,0 мг/кг не оказывало негативного влияния на всхожесть семян тест-растений (табл. 1).

Однако в более продолжительных опытах (7–10 суток), вероятно вследствие известной способности токсиканта к накоплению в растительных и животных тканях, вещество при его содержании в строительных отходах в максимальной концентрации оказывало негативное влияние на рост и развитие корневой системы ячменя и овса (табл. 2). При снижении уровней воздействия вещества до 10,0 мг/кг и ниже фитотоксического действия не выявлено. С учетом изложенного, при оценке транслочационного показателя вредности мышьяка, содержащегося в строительных отходах,

Таблица 1

Энергия прорастания семян ячменя и овса под воздействием мышьяка, содержащегося в водном экстракте МСЭ

Период наблюдения, сутки	Концентрация мышьяка в водном экстракте МСЭ, мг/кг	Ячмень		Овёс	
		Проросшие семена, %	Отличие от контроля, %	Проросшие семена, %	Отличие от контроля, %
3	Контроль (МСЭ)	86,67	–	95,67	–
	50,0	83,33	3,85	91,33	4,54
	10,0	93,33	7,69	93,33	2,45
	2,0	80,0	7,69	94,67	1,04

Таблица 2

Влияние мышьяка, содержащегося в водном экстракте МСЭ, на развитие корней тест-растения, см

Период наблюдения, сутки	Тест-растение	Концентрация мышьяка в водном экстракте МСЭ, мг/кг						
		Контроль (МСЭ)	50,0		10,0		2,0	
		M±m	M±m	отличие от контроля, %	M±m	отличие от контроля, %	M±m	отличие от контроля, %
7	Ячмень	16,57 ± 0,47	12,00 ± 0,47	27,58*	14,91 ± 0,41	10,02	14,44 ± 0,59	12,85
	Овёс	14,57 ± 0,47	11,34 ± 0,77	22,17*	12,97 ± 0,71	10,98	13,77 ± 0,87	5,49
10	Ячмень	19,23 ± 1,41	15,33 ± 1,05	20,28*	17,91 ± 0,91	6,86	18,74 ± 0,99	2,55
	Овёс	17,75 ± 1,04	14,17 ± 0,87	20,17*	16,09 ± 0,83	9,35	17,09 ± 1,03	3,72

Примечание: символом (*) отмечены достоверные отличия, выходящие за пределы соответствующих критерияльных значений

Таблица 3

Численность микрофлоры под воздействием **мышьяка**, содержащегося в водном экстракте МСЭ, (тыс. Кое/ г почвы с учетом влажности)

Объект исследования	Сутки от начала опыта	Контроль (МСЭ)	Содержание мышьяка в водном экстракте МСЭ, мг/кг					
			100,0		50,0		10,0	
			M±m	отличие от контроля, %	M±m	отличие от контроля, %	M±m	отличие от контроля, %
Сапрофитные бактерии	0 (фон)	4995,01 ± 345,31	–	–	–	–	–	–
	1	3721,38 ± 219,43	4211,04 ± 249,95	13,16	4325,42 ± 244,29	16,23	3949,91 ± 217,68	6,14
	3	6374,23 ± 564,02	2024,83 ± 109,56	68,23*	4951,36 ± 184,37	22,32	6072,24 ± 432,08	4,74
	7	5092,81 ± 342,38	1994,85 ± 78,25	60,83*	3823,35 ± 212,48	24,93	4782,29 ± 292,13	6,10
	10	3950,47 ± 149,21	1875,24 ± 92,44	52,53*	3015,43 ± 215,36	23,67	4010,25 ± 249,73	1,51
	14	2908,75 ± 134,43	1502,38 ± 74,89	48,35	2405,94 ± 144,35	17,29	2693,34 ± 153,39	7,41
Микромицеты	0 (фон)	7,23 ± 0,55	–	–	–	–	–	–
	1	6,37 ± 0,31	4,21 ± 0,12	33,91	4,17 ± 0,25	34,54	5,72 ± 0,31	10,20
	3	7,51 ± 0,42	3,47 ± 0,22	53,80*	4,39 ± 0,27	41,55	6,94 ± 0,42	7,59
	7	6,01 ± 0,52	2,97 ± 0,17	50,58*	4,47 ± 0,32	25,62	5,32 ± 0,38	11,48
	10	5,44 ± 0,32	3,72 ± 0,24	31,62	4,28 ± 0,29	21,32	5,40 ± 0,42	0,74
	14	3,32 ± 0,10	2,94 ± 0,15	11,45	2,84 ± 0,19	14,46	3,38 ± 0,28	1,81
Актиномицеты	0 (фон)	352,03 ± 29,42	–	–	–	–	–	–
	1	544,78 ± 51,21	632,44 ± 40,16	16,73	621,32 ± 52,38	14,68	504,03 ± 44,25	6,97
	3	494,62 ± 32,22	224,31 ± 19,92	54,65*	292,62 ± 21,73	40,84	345,05 ± 30,21	30,24
	7	356,61 ± 28,83	189,38 ± 11,29	46,89	284,63 ± 20,52	20,18	300,21 ± 21,64	15,82
	10	292,34 ± 19,42	210,42 ± 18,41	28,02	234,02 ± 18,32	19,95	254,63 ± 21,74	12,90
	14	221,07 ± 15,53	198,74 ± 15,62	10,10	229,32 ± 20,41	3,73	210,79 ± 17,44	4,65

Примечание: символом (*) отмечены достоверные отличия, выходящие за пределы соответствующих критерияльных значений

в качестве максимально недействующей принята концентрация 10,0 мг/кг.

Исходя из результатов ранее выполненных исследований, свидетельствующих о том, что используемые в опытах основные представители почвенной микрофлоры по разному реагируют на негативное воздействие токсичных химикатов [4], с целью более точного определения порогового и подпорогового уровня по общесанитарному признаку вредности вещества испытывали в более высоких концентрациях: 100,0, 50,0 и 10,0 мг/кг.

В ходе выполнения 14 суточных экспериментов установлено негативное воздействие испытываемого соединения на различные виды микрофлоры почвы, носившее прямолинейную зависимость концентрация – эффект. В частности, при миграции в почву мышьяк с 3 по 10 сутки опыта только в наибольшей концентрации оказывал токсическое влияние на все исследуемые тест-микроорганизмы, достоверно снижая численность их колоний (табл. 3).

При понижении содержания вещества в строительных материалах до значений 50,0 и 10,0 мг/кг статистически значимых отличий от контрольных показателей не выявлено.

С учётом изложенного уровень мышьяка 100,0 мг/кг, содержащегося в МСЭ, определён как пороговый, а концентрация 50,0 мг/кг – в качестве подпороговой по воздействию на микробиоценоз почвы.

Обобщая результаты проведённых исследований, можно констатировать тот факт, что мышьяк, присутствующий в материалах строительных конструкций, способен мигрировать в воду водоёмов и оказывать негативное влияние на высшие растения и микробиоценоз почвы.

Экспериментально установленные недействующие (допустимые) концентрации мышьяка в отходах строительных конструкций составили по транслокационному показателю вредности 10,0 мг/кг, общесанитарному – 50,0 мг/кг, миграционному водному – 50,0 мг/кг.

Из приведённых данных следует, что наиболее опасным является транслокационный показатель вредности, который и принят в качестве лимитирующего фактора при обосновании гигиенического норматива. Исходя из этого, в качестве предельно допустимой концентрации мышьяка в отходах строительных конструкций предложена величина 10,0 мг/кг.

Принимая во внимание выше представленные данные о 15,0 % миграции мышьяка из строительных конструкций в гравитационные воды, можно констатировать, что установленный уровень ПДК вещества в указанных отхо-

дах в полной мере гарантирует безопасное его содержание в почве, не превышающее установленную величину гигиенического норматива токсиканта в рассматриваемой экосистеме – 2,0 мг/кг [8].

Выводы:

1. Мышьяк при поступлении из строительных отходов в почву приводит к существенному негативному изменению её биогеоценологических функций.
2. Лимитирующим показателем вредного действия исследуемого вещества является транслокационный.
3. Экспериментально обоснованная предельно допустимая концентрация мышьяка в отходах строительных конструкций составляет 10,0 мг/кг.

Литература

1. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. Учебное и справочное пособие. М.: Финансы и статистика, 2005. 670 с.
2. Российская Федерация. Законы. Об уничтожении химического оружия от 2 мая 1997г., № 76 – ФЗ: федер. закон : принят Гос. Думой 7 апреля 1997 г. : одобр. Советом Федерации 15 апреля 1997 г. М.: Приор, 1997. 37 с.
3. Вредные вещества в окружающей среде. Элементы VI — VIII групп периодической системы и их неорганические соединения. / Под ред. В.А. Филова. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. С. 95–121.
4. Разработка регламентов безопасности и обеспечения контроля качества обеззараживания загрязнений зданий, сооружений (включая оборудование) и почвы территорий объектов по уничтожению отравляющих веществ кожно-нарывного действия: отчет о НИР (итоговый) / НИИ ГТП рук. Б. Н. Филатов; исполн.: Н.Г. Британов и др. Волгоград, 2008. 110 с. Инв. № 763.
5. СП 2.1.7.1386-03. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления: утв. гл. гос. сан. врачом РФ Г.Г. Онищенко 20 апреля 2003 г., введены в действие 30 апреля 2003 г., Регистр. № 4755, М. 25 с.
6. Методические рекомендации по обоснованию ПДК химических веществ в почве. М., 1982. Изд. 2-е, Гос. № 2609-82. 57 с.
7. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве: Руководство. М.: Медицина, 1986. 132 с.
8. ГН 2.1.7.2041-06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. Дата введения 01.04.2006 — утв. гл. госуд. сан. врачом РФ 19 января 2006 года.
9. Елисеева И.И., Юзбашев Н.Н. Общая теория статистики. М.: Статистика, 1991. С. 118–121.

Реакция каллусной культуры и регенерантных растений ячменя на бактеризацию *Methylobacterium mesophylicum*

© 2010. И. Г. Широких^{1,2}, д.б.н, зав. лабораторией, в.н.с., О. Н. Шуплецова¹, к.б.н., с.н.с., С. Ю. Огородникова², к.б.н., с.н.с., А. А. Широких¹, д.б.н., в.н.с.,

¹ ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого РАСХН,

² Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми научного центра УрО РАН и ВятГГУ, e-mail: irgenal@mail.ru

Изучали влияние искусственной бактеризации каллуса ячменя метилотрофными бактериями на морфогенетические процессы в условиях стресса, обусловленного токсичностью ионов алюминия и водорода. Установлена способность природных изолятов *Methylobacterium mesophylicum* вступать в устойчивые ассоциации с каллусной тканью, а также увеличивать частоту регенерации растений. У растений-регенерантов, полученных в селективных стрессовых системах, при выращивании в условиях искусственного климата определяли степень проявления симптомов окислительного стресса. В листьях растений-регенерантов, ассоциированных с *M. mesophylicum* 3-345, по сравнению с растениями-регенерантами, не подвергнутыми *in vitro* бактеризации, снижалось содержание малонового диальдегида, изменялось содержание низкомолекулярных антиоксидантов – аскорбиновой кислоты и антоцианов.

The influence of artificial bacterization of barley callus with methylotrophic bacteria on morphogenetic processes in conditions of stress caused by aluminum and hydrogen ions toxicity was considered. The ability of natural isolates *Methylobacterium mesophylicum* 3-345 to have stable associations with callus tissue and to increase the frequency of plant regeneration is stated. The symptoms of oxidative stress of the plants-regenerants in selective stress systems at planting in artificial climate conditions were determined. In the leaves of regenerate-plants associated with methylotrophic bacteria the amount of malondialdehyde decreased as compared with the regenerant-plants without bacterization *in vitro*, the amount of malondialdehyde decreased, the amount of low molecular weight antioxidants such as ascorbic acid and anthocyanin changed.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), каллус, токсичность алюминия, морфогенез, *Methylobacterium mesophylicum*, растения-регенеранты, окислительный стресс

Key words: Barley (*Hordeum vulgare* L.), callus, aluminum toxicity, morphogenesis, *Methylobacterium mesophylicum*, regenerant-plants, oxidative stress

Введение

Процесс культивирования растительной ткани *in vitro* на искусственных питательных средах служит источником разного рода изменений, многие из которых наследуются в потомстве растений-регенерантов, т. е. ведут к появлению новых форм – соматклонов. Наличие полезных мутаций среди соматклонов позволяет использовать соматклональную изменчивость для создания новых сортов растений, в том числе устойчивых к стрессовым факторам [1]. Для отбора устойчивых форм используются селективные среды, которые, имитируя естественные стрессовые условия, обеспечивают экспрессию признака устойчивости и дают возможность отбирать нужные варианты с последующей регенерацией фертильных растений. Соматклональная изменчивость находит всё более широкое применение в селекции зерновых культур [2, 3].

Известно, что частота соматклональных вариантов среди растений-регенерантов из каллусных тканей возрастает с увеличением продолжительности культивирования [1, 3]. Однако с увеличением периода культивирования каллусная ткань теряет свою способность к морфогенезу и регенерации, благодаря чему возможность получить ценные в селекционном отношении растения-регенеранты сводится к минимуму. Для увеличения выхода растений-регенерантов в результате клеточной селекции необходимы исследования, направленные на повышение морфогенетического потенциала каллусной ткани, в том числе в стрессовых условиях селективных систем.

К числу специфических сигналов, способных индуцировать начало морфогенетических превращений в культуре *in vitro*, относятся фитогормоны, возможности применения которых могут быть расширены за счет вовлечения в процесс регенерации растений микробного

потенциала фитогормональных воздействий. К настоящему времени в литературе накоплено немало фактов, свидетельствующих о влиянии на формирование морфогенетических структур *in vitro* как микробных метаболитов, так и непосредственно микробных клеток. Так, в ряде работ, посвящённых вопросам клеточной селекции злаков на устойчивость к фитотоксинам, отмечалось, что добавление в культуральные среды в низких дозах неочищенных фильтратов культуральной жидкости (КЖ) фитопатогенных грибов *B. sorokiniana* [2, 4], *Septoria tritici*, *Pseudocercosia polella herpotrichoides* [5], сопровождалось морфорегуляторными эффектами. Инфицирование каллусов мягкой пшеницы возбудителем твёрдой головни *Tilletia caries* инициировало у них ризогенез [6], что авторы связывают со способностью гриба продуцировать ауксины. Стимулирующее действие на регенерационные процессы культуры ткани табака и пшеницы были способны оказывать представители сапротрофных бактерий рода *Klebsiella* (*K. tectigena* и *K. planticola*), а также отдельные штаммы условно патогенных бактерий (*K. ozaenae*, *K. pneumoniae*, *K. oxytoca*, *K. rhinoscleromatis*) [7]. Неспецифический токсин, выделенный из *Pseudomonas syringae*, стимулировал процесс закладки корней и побегов у эмбрионов пшеницы и тем самым увеличивал выход числа растений-регенерантов [8]. В последнее десятилетие было показано, что стимуляции роста и морфогенеза растений *in vitro* могут способствовать облигатные метилотрофные бактерии *Methylovorus mays* [9] и метанотроф *Methylomonas methanica* [10], имеющие с растениями тесные симбиотические отношения, благодаря функционированию «метанольного цикла», т. е. образованию и выделению растениями метанола, который используется аэробными метиловыми бактериями как источник углерода и энергии [11].

Данные о влиянии факультативных метилотрофов – бактерий рода *Methylobacterium* на рост и регенерацию растений *in vitro* в доступной нам литературе отсутствуют, хотя сообщалось об обнаружении у представителей этого рода способности к синтезу цитокининов [12], а у вида *M. mesophylicum* показано образование зеатина/зеатинрибозида [13] и ауксинов [14].

Целью данной работы было изучение влияния искусственной бактериализации каллусов ячменя факультативными метилотрофными бактериями на морфогенетические процессы в условиях стресса, обусловленного токсично-

стью ионов алюминия, а также на биохимические показатели полученных в ассоциациях с бактериями растений-регенерантов.

Методика

Каллусные культуры. Объектом для эксплантации служили сорта ячменя (*Hordeum vulgare* L.) 1457-96, 781-04, 999-93 и гибридная комбинация Дуэт×Биос, выращенные в полевых условиях. В качестве эксплантов для индукции каллуса использовали незрелые зародыши на 12-15-е сутки после цветения, помещая их на питательную среду МС [15], содержащую 30 г/л сахарозы. Для получения каллусной ткани в питательную среду вводили 2 мг/л дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), для пролиферации полученного каллуса содержание 2,4-Д в среде снижали до 1 мг/л, для регенерации из каллуса растений в среду добавляли 0,1 мг/л гибберелловой кислоты (ГК), 1 мг/л кинетина, 0,5 мг/л индолил-3-уксусной кислоты (ИУК).

При отборе линий, устойчивых к токсическому действию алюминия, селективные условия создавали добавлением в питательную среду сульфата алюминия в количестве, обеспечивающем концентрации 20 и 40 мг/л ионов Al^{3+} , pH 3,8-4,0. Каллус выращивали при температуре 20–24 °С, 16-часовом фотопериоде и освещенности 8000 лк.

Морфологические характеристики каллусов (наличие морфогенных очагов, ризоидов и пр.) и их совместных культур с метилотрофными бактериями оценивали на 21 сутки после бактериализации.

Бактериальные культуры. Для бактериализации каллуса использовали природные изоляты розовоокрашенных факультативных метилотрофных (РОФМ) бактерий, выделенные из растений тритикале (шт. Тр 4, Тр 2), овса (шт. 3-536, 3-543) и ячменя (шт. 2-549) на агаризованной среде Канада, содержащей (г/л): KH_2PO_4 – 2; $(NH_4)_2SO_4$ – 2; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,125; NaCl – 0,5; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,002; дрожжевой автолизат – 0,1; метанол 1% (об./об.). По совокупности общепринятых фенотипических показателей и данных о нуклеотидных последовательностях генов 16S рРНК и *mxaF*, (кодирующего большую субъединицу метанолдегидрогеназы) [16], все культуры были идентифицированы как *Methylobacterium mesophylicum*.

Количественное определение индолилуксусной кислоты (ИУК) в жидких метаболитах бактерий проводили методом высоко-

эффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе фирмы Shimadzu (модель LC-20AD), снабжённом ультрафиолетовым детектором, при 280 нм. В качестве элюента использовали смесь вода-ацетонитрил-уксусная кислота в соотношении 83:17:0.2 (об) [17]. Скорость подачи элюента 0.9 мл/мин, температура колонки 33°. В качестве стандарта использовали ИУК («Fluca», Швейцария).

Цитокининовую активность разбавленных водой (1:200) культуральных жидкостей бактерий определяли с помощью биотеста, основанного на сохранении хлорофилла в листовых сегментах 10-суточных проростков ячменя (сорт Фермер) под действием цитокининов [18]. Гиббереллиновую активность – с использованием биотеста, основанного на определении величины прироста гипокоты проросших семян салата (*Lactuca sativa* L.) сорта Московский парниковый под действием ГК [19].

Бактерии для инокуляции выращивали в жидкой среде приведённого выше состава в течение 5 суток на качалке (180 об/мин) до плотности суспензии 10^7 кл./мл. Инокулировали каллусы ячменя, нанося культуру бактерий стерильной кисточкой на всю поверхность каллуса. Опыты проводили в 20-кратной повторности.

Для количественной оценки колонизации метиловыми бактериями каллусной ткани и интактных растений ячменя использовали спонтанный антибиотикорезистентный мутант *M. mesophylicum* Tr4^{str+}.

Условия выращивания растений-регенерантов. Полученные в ассоциациях с метилотрофными бактериями в контрольных и селективных условиях растения-регенеранты высаживали в вегетационные сосуды, наполненные смесью из почвы, песка и торфа в равных объёмах и выращивали до получения семенного потомства в климатической камере «Шка» (Германия) со следующим режимом: температура днём 20–22°C, ночью 16–18°C, фотопериод 16 часов. Контролем служили одновозрастные растения, полученные из каллуса ячменя, не подвергнутого бактериализации.

Определение биохимических показателей проводили, отбирая смешанные пробы листьев от 2-3 растений в фазы трубкования, цветения и молочной спелости. Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), образующимся в процессе ПОЛ [20].

Антоцианы экстрагировали из листьев 1% раствором соляной кислоты. Количественное определение антоцианов проводили в соответствии с методикой [21] при 510 и 657 нм. Аскорбиновую кислоту выделяли из растительных тканей растворами метафосфорной кислоты и ортофосфата натрия. Содержание аскорбиновой кислоты в центрифугате определяли спектрофотометрически при длине волны 265 нм [22].

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами с помощью встроенного статистического пакета EXCEL (MS Office 2007).

Результаты и обсуждение

Регенерационные процессы начинались в каллусной ткани ячменя после первого пассажа, когда в составе питательной среды вдвое снижали содержание 2,4-Д – дедифференцирующего фактора. В неорганизованной массе клеток появлялись организованные структуры – морфогенные очаги, частота возникновения которых сильно варьировала в зависимости от генотипа донорного растения. Чаще всего это были монополярные структуры, развивающиеся в последующих пассажах по типу стеблевого или корневого морфогенеза (рис. 1 а и б). Если в первом случае за стеблевым морфогенезом следовал корневой, и формировались растения-регенеранты, то во втором случае получить растения-регенеранты, как правило, не удавалось. Реже в каллусной ткани наблюдали формирование биполярных зародышеподобных структур, из которых одновременно развивались побеги и корни (рис. 1 в). Часть регенерантов, получаемых от различных исходных генотипов, представляла собой полностью или частично бесхлорофильные растения (рис. 1 г), которые, как сообщалось в литературе, появляются в культуре ткани злаков вследствие делеции части хлоропластной ДНК [23] или её инактивации транспозонами [24]. Вторичная дифференцировка каллусных клеток не всегда заканчивалась морфогенезом и регенерацией растений. Иногда каллусная ткань претерпевала нормальный цикл развития, старела и некротизировалась без признаков морфогенеза (рис. 1 д). В отдельных случаях каллусная ткань сильно разрасталась, увеличиваясь в объёме, но не переходила к вторичной дифференцировке, по-видимому, превращаясь в опухолевую (рис. 1 е).

Непредсказуемость направления и результатов морфогенеза *in vitro* осложнялась

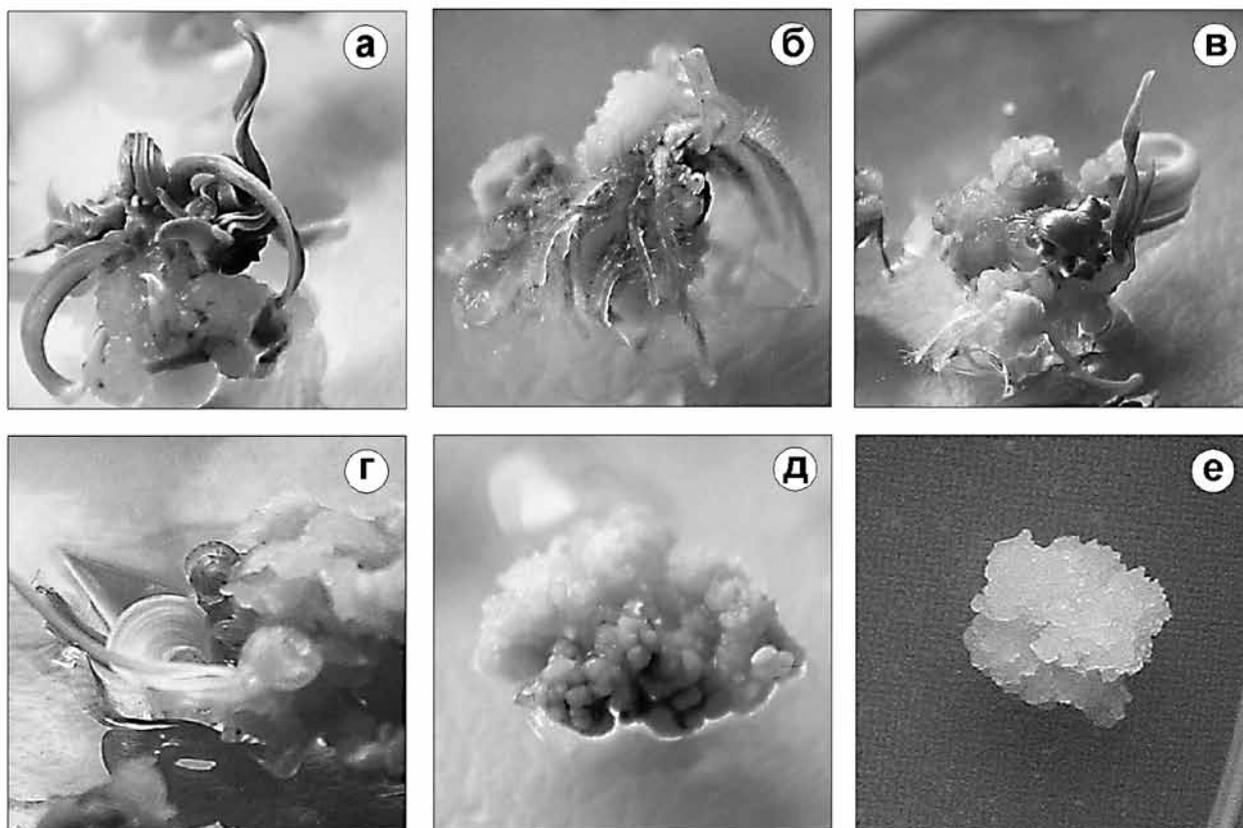


Рис. 1. Различные типы морфогенеза в каллусной культуре ячменя 781-04: *а* – стеблевой морфогенез, *б* – корневой морфогенез (ризогенез), *в* – стеблевой и корневой морфогенез одновременно, *г* – альбино-вариант стеблевого морфогенеза, *д* – каллусная культура в стационарной фазе роста (неморфогенный каллус), *е* – превращение каллуса в опухолевую ткань (способна расти на среде без гормонов).

при увеличении общей продолжительности культивирования снижением морфогенетической компетентности каллусных клеток. Утрата клетками компетентности в процессе старения каллуса цитологически проявляется в увеличении степени конденсации хроматина в ядрах, перераспределением в нём транскрипционной активности [25], сопровождаемой потерей синтеза рибосомальной РНК в ядрышках [2, 26]. Однако компетентность клетки не связана с изменениями базовой структуры ДНК, и поэтому может быть необходимым образом модифицирована, например, путём изменения количественного соотношения эндогенных ауксинов и цитокининов.

Для выяснения возможности ассоциированных с растениями РОФМ бактерий выступать в качестве продуцентов и поставщиков в каллусную ткань фитогормонов из различных растительных субстратов были выделены в чистую культуру более 30 штаммов. Последующий скрининг изолятов по способности к биосинтезу фитогормонов позволил выявить перспективные в этом отношении культуры *M. mesophilicum* из растений тритикале (шт.

Тр 4, Тр 2), овса (шт. 3-536, 3-543) и ячменя (шт. 2-549). Методом ВЭЖХ установлена способность этих бактерий к биосинтезу из триптофана ИУК, в количествах 1,45–8,63 мкг/мл (табл. 1). Наряду с биосинтезом ауксинов у изолятов *M. mesophilicum* 3-543, 3-536, Тр4 и 2-549 методом биотестов установлена цитокининовая активность, а у изолятов *M. mesophilicum* 2-549, 3-536, 3-543 – гиббереллиновая активность культуральной жидкости.

Экспериментальные бактериально-растительные ассоциации для выяснения возможности повышения регенерационной способности ячменного каллуса в кислых селективных системах с 40 мг/л ионов алюминия, были созданы на основе генотипов ячменя 1457-96 и 781-04. Количество растений-регенерантов, индуцированных генотипами 1457-96 и 781-04 в селективных условиях при бактериализации каллусной культуры штаммами *M. mesophilicum* 2-549, 3-543, Тр 2, существенно превышало частоту регенерации растений в контроле без бактериализации, тогда как в оптимальных по кислотности условиях, положи-

Таблица 1

Продуцирование регуляторов роста растений природными изолятами мезофильных бактерий

Источник выделения	Штамм	Биосинтез, мкг/мл		
		ИУК	Цитокинины	Гибберелловая кислота
Листья ячменя	2-549	8,63	0,50	0,15
Листья овса	3-536	5,68	0,39	0,11
	3-543	6,45	0,55	0,14
Листья тритикале	Тр 4	1,45	0,08	0
	Тр 2	6,50	0	0

тельный эффект от бактериализации наблюдался только для штаммов 3-543 и Тр 2 и только в отношении одного сорта 1457-96 (рис. 2).

Положительные результаты тестирования на наличие мезофильных бактерий в клетках каллуса (10^7-10^8 КОЕ/г), а также в листьях растений – регенерантов (10^2-10^4 КОЕ/г), позволяют говорить о формировании устойчивых ассоциаций *M. mesophylicum* с растениями ячменя и о возможном влиянии на рост и морфогенез растений посредством микробных метаболитов.

Под воздействием бактериализации изменялось также соотношение количества каллус-

ных линий, реализующих в процессе вторичной дифференцировки стеблевой, корневой и одновременно стеблевой и корневой типы морфогенеза. Так, в результате бактериализации штаммами *M. mesophylicum* Тр 2, 3-543, 2-549 каллусных культур, индуцированных тремя различными генотипами ячменя на кислых селективных средах с 20 мг/л ионов алюминия, доля морфогенных каллусов в селективных условиях была в большинстве случаев выше, чем в контроле без бактерий (табл. 2).

От генотипов ячменя Дуэт×Биос и 781-04 количество каллусов, реализующих одновременно стеблевой и корневой тип морфогенеза, под влиянием *M. mesophylicum* 3-543 увеличилось на 20% по сравнению с контролем без инокуляции. При этом сократилось на 19 и 11% соответственно количество каллусных культур с полным отсутствием морфогенных очагов. Бактериализация штаммом *M. mesophylicum* 2-549 привела к возрастанию частоты морфогенеза по стеблевому (на 7%) и стеблевому и корневому типу одновременно (на 18%) в каллусной культуре ячменя 999-93.

Из плотных морфогенных участков бактериализованных и исходных каллусов развивались зелёные листообразные структуры (инициалии), а спустя 2-3 недели формировались растения-регенеранты, которые были высажены в почву для дальнейшего сравнительного изучения. В условиях искусственного климата у растений-регенерантов определяли некоторые биохимические показатели, тестирующие степень проявления симптомов окислительного стресса.

Оценка степени окислительных повреждений по накоплению в листьях МДА показала, что ассоциированные с *M. mesophylicum* 3-543 регенерантные линии ячменя 781-04 характеризовались более низкой ($33,8 \pm 1,51$ нмоль МДА/г) интенсивностью ПОЛ по сравнению с исходными регенерантными линиями ($53,06 \pm 5,25$ нмоль МДА/г) без бактериализации (рис. 3). На первом этапе развития

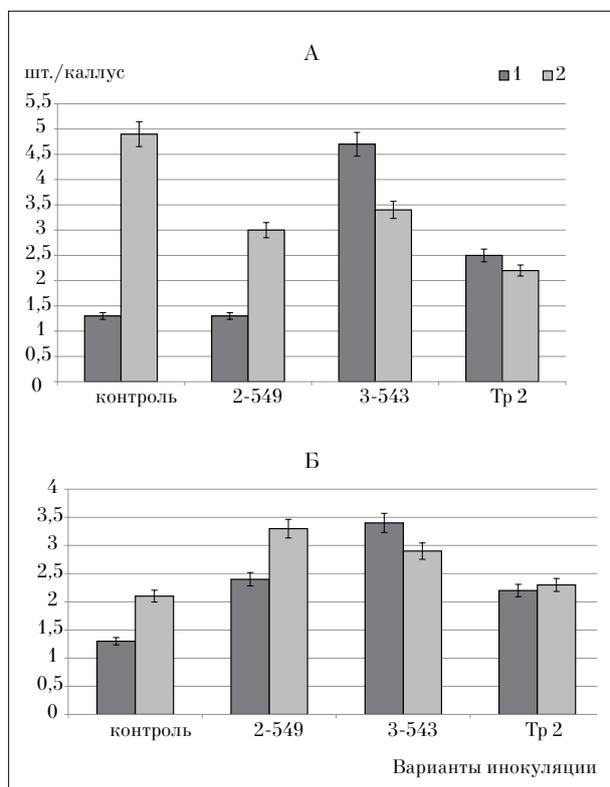


Рис. 2. Количество растений-регенерантов, индуцированных в каллусной культуре ячменя сортами 1457-96 (1) и 781-04 (2), при инокуляции различными штаммами мезофильных бактерий в контрольных (А) и селективных (Б) условиях.

Таблица 2

Изменение направленности морфогенеза в каллусной культуре ячменя под воздействием бактериализации метилобактериями на контрольной и селективной средах

Генотип растения	Вариант, штамм	Среда	Доля (%) каллусных культур, реализующих различные типы морфогенеза			
			стеблевой и корневой одновременно	стеблевой	корневой	отсутствие морфогенных очагов
Дуэт×Биос	Контроль без бактериализации	контрольная	33,2	22,8	12,7	31,3
		селективная	16,9	40,6	0	42,5
	M. mesophilicum 3-543	контрольная	24,6	57,9	10,8	6,7
		селективная	36,8	39,7	0	23,5
	M. mesophilicum Тр 2	контрольная	10,6	60,4	25,6	3,4
		селективная	49,5	19,3	12,4	18,8
M. mesophilicum 2-549	контрольная	37,2	18,5	30,6	13,7	
	селективная	23,3	46,0	10,4	20,3	
999-93	Контроль без бактериализации	контрольная	24,9	28,3	35,6	11,2
		селективная	19,5	30,4	28,7	21,4
	M. mesophilicum 2-549	контрольная	23,4	41,0	14,9	20,7
		селективная	33,7	37,3	0	29,0
	Контроль без бактериализации	контрольная	64,6	19,2	16,2	0
		селективная	32,5	35,1	6	26,4
781-04	M. mesophilicum 3-543	контрольная	30,5	46,8	16,4	6,3
		селективная	52,3	22,4	9,6	15,7
	M. mesophilicum Тр 2	контрольная	33,7	36,0	15,0	15,3
		селективная	45,4	25,2	0	29,4

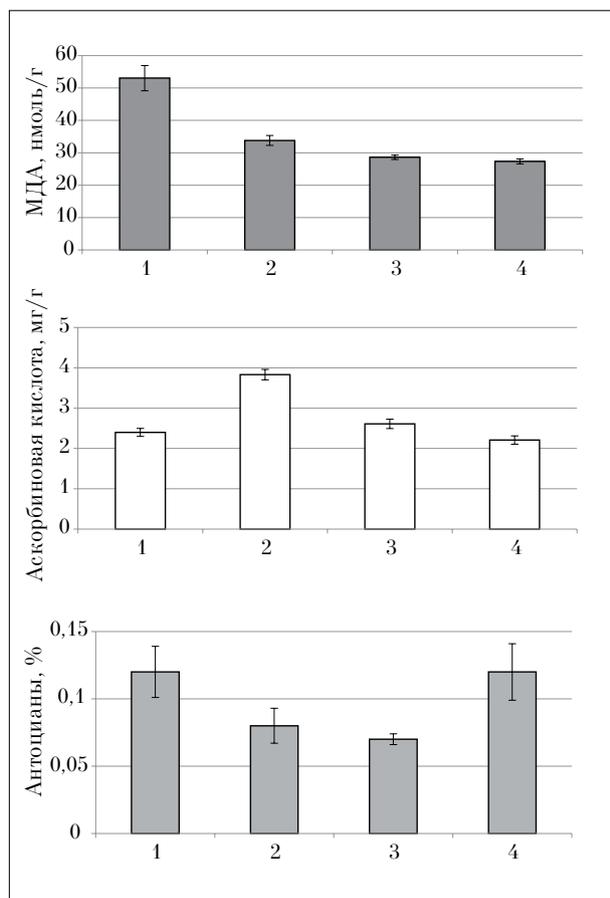


Рис. 3. Содержание МДА и низкомолекулярных антиоксидантов в листьях растений-регенерантов, индуцированных в каллусной культуре ячменя 781-04 в контроле без бактериализации (1), при бактериализации *M. mesophylicum* 3-543: на среде без селективных агентов (2), на среде с 40 мг/л Al (3), на среде с 20 мг/л Al (4).

растений (до наступления фазы цветения) содержание МДА в листьях ассоциированных с бактериями регенерантов, подвергнутых стрессовым воздействиям в селективных системах ($33,6 \pm 1,57$ и $39,3 \pm 0,75$ нмоль МДА/г), превосходило содержание МДА в листьях регенерантов, полученных в контрольных условиях ($30,7 \pm 0,67$ нмоль МДА/г), а в дальнейшем – достоверно ему уступало (рис. 4 А). Более низкий уровень накопления МДА (от $14,3 \pm 1,02$ до $28,6 \pm 0,68$ нмоль МДА/г) на последующих этапах развития стрессированных в культуре ткани растений может свидетельствовать в пользу меньшей интенсивности окислительного стресса, испытываемого регенерантами, ассоциированными с бактериями и позволяет говорить об антистрессовом эффекте микробно-растительного взаимодействия.

Содержание в листьях аскорбиновой кислоты – многофункционального соединения с антиоксидантным действием – у регенерантов,

индуцированных бактериализованным каллусом в контрольных условиях, напротив, было, существенно выше ($3,83 \pm 0,129$ мг/г), чем у регенерантов без бактериализации ($2,40 \pm 0,18$ мг/г) (рис. 3). А у регенерантов, ассоциированных с бактериями *in vitro* в селективных условиях, содержание аскорбиновой кислоты в листьях ($2,21 \pm 0,104$ и $2,61 \pm 0,116$ мг/г) уступало контролю почти на всём протяжении вегетации (рис. 4 В), но практически не отличалось от исходного уровня аскорбиновой кислоты, обнаруженного в листьях не ассоциированных с бактериями растений (рис. 3).

Определение содержания в листьях антоцианов – пигментов группы флавоноидов, также играющих роль низкомолекулярных антиоксидантов [27], показало, что их содержание у растений-регенерантов при бактериализации каллуса в контрольных условиях существенно ниже ($0,083 \pm 0,013\%$), чем в листьях исходных небактериализованных растений ($0,120 \pm 0,04\%$). Содержание антоцианов в листьях растений, полученных из каллуса, бактериализованного в условиях стресса, обусловленного токсичностью 20 мг/л ионов алюминия ($0,119 \pm 0,021\%$), достигало в процессе вегетации уровня исходных растений (рис. 3). В случае бактериализации каллуса, подвергнутого алюминиевому стрессу более высокой интенсивности – 40 мг/л, повышения уровня антоцианов в листьях индуцированных им растений-регенерантов на протяжении всего периода вегетации не выявлено (рис. 4 Б).

Таким образом, в результате проведённых исследований показано, что в кислых селективных системах с алюминием искусственные микробно-растительные ассоциации на основе природных изолятов *M. mesophylicum* не только морфогенетически более активны, чем каллусные культуры, лишённые микробного компонента, но и способствуют регенерации растений, у которых симптомы окислительного стресса, тестируемые по интенсивности ПОЛ и содержанию в листьях низкомолекулярных антиоксидантов, выражены в меньшей степени, чем у исходных растений. Совместное культивирование каллусной ткани с бактериями *M. mesophylicum*, способными продуцировать регуляторы роста растений, может стать одним из возможных путей управления морфогенезом и процессами регенерации ячменя *in vitro*, что позволит получать растения-регенеранты с целевыми признаками в количествах, соответствующих задачам практической селекции. Дополнительным преимуществом искусственной бактери-

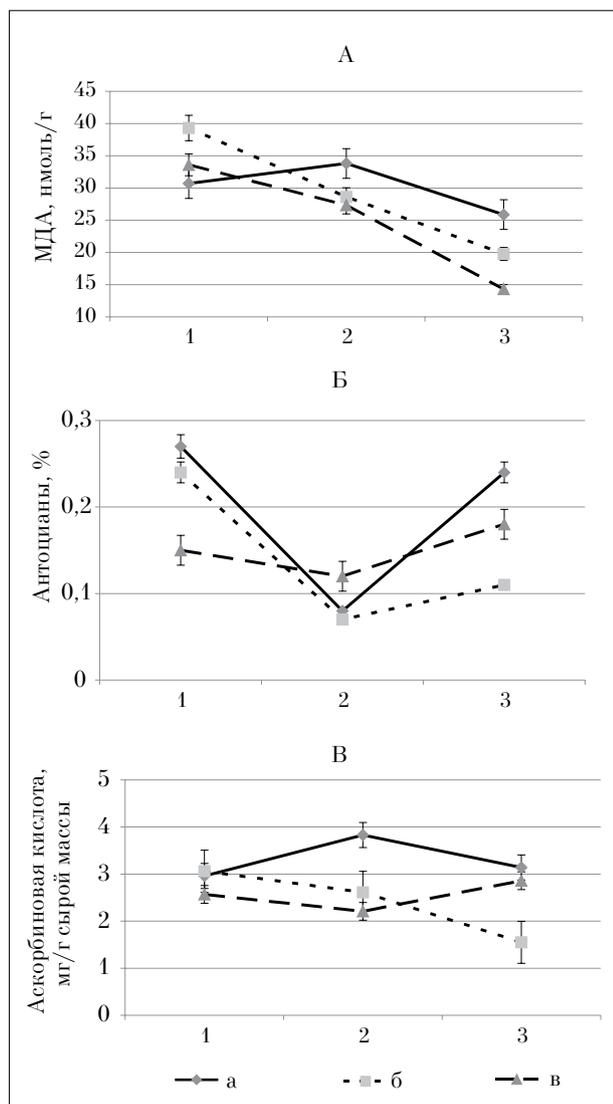


Рис. 4. Содержание МДА (А), антоцианов (Б) и аскорбиновой кислоты (В) в листьях растений-регенерантов, индуцированных при бактериализации *M. mesophylicum* 3-543 в каллусной культуре ячменя 781-04 на контрольной среде (а), на среде с 40 мг/л ионов алюминия (б), на среде с 20 мг/л ионов алюминия (в) по фазам развития растений: 1 – трубкование, 2 – цветение 3 – молочная спелость.

зации каллусной ткани может явиться повышение стрессоустойчивости ассоциированных с *M. mesophylicum* растений-регенерантов за счёт положительных микробно-растительных эффектов взаимодействия.

Литература

1. Бутенко Р.Г. Биология культивируемых клеток и биотехнология растений. М.: Наука, 1991. 280 с.
2. Шаяхметов И.Ф. Соматический эмбриогенез и селекция злаковых культур. Уфа: Изд-во Башкирск. Ун-та, 1999. 166 с.

3. Шевелуха В.С. (Отв. ред.) Сельскохозяйственная биотехнология: Учеб. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2003. 424 с.
4. Chawla H.S., Wenzel G. In vitro selection of barley and wheat for resistance against // Theor. Appl. Genet. 1987. V. 74. P. 841–845.
5. Волощук Г.Д., Волощук С.И., Гірко В.С. Вплив культуральних фільтратів деяких грибних патогенів на суспензійну культуру пшениці // Цитология и генетика. 1995. Т. 29. № 4. С. 70–77.
6. Трошина Н.Б., Яруллина Л.Г., Сурина О.Б., Максимов И.В. Влияние нитрата железа на рост и защитные реакции каллусов пшеницы от возбудителя твёрдой головни // Агрехимия. 2007. № 4. С. 46–50.
7. Петак А.М., Турияница А.П., Козеровская Н.А. Влияние бактерий рода *Klebsiella* на регенерационные процессы культуры ткани табака и пшеницы // Физиол. и биохим. культ. растений. 1996. Т. 28. № 4. С. 240–245.
8. Pauly M.N., Shane W.W., Gegenbach B.G. Selection for Bacterial blight phytotoxin resistance in wheat culture // Crop. Sci. 1987. V. 27. № 2. P. 340.
9. Каляева А.М., Захарченко Н.С., Доронина Н.В., Рукавцова Е.Б., Алексеева В.В., Иванова Е.Г., Троценко Ю.А., Бурьянов Я.И. Стимуляция роста и морфогенеза растений in vitro ассоциативными метилотрофными бактериями // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 4. С. 595–599.
10. Каляева А.М., Иванова Е.Г., Доронина Н.В., Захарченко Н.С., Троценко Ю.А., Бурьянов Я.И. Стимуляция метанотрофными бактериями морфогенеза пшеницы in vitro // Докл. Академии наук. 2003. Т. 388. № 6. С. 847–849.
11. Fall R. Cycling of methanol between plants, methylotrophs and the atmosphere // Microbial growth on C₁ compounds / Eds. Lidstrom M.E., Tabita F.R. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. 1996. P. 343–350.
12. Long R., Morris R., Polacco J. Cytokinin production by plant-associated methylotrophic bacteria // Amer. Soc. Plant Physiol. 1997. Abstr. № 1168.
13. Иванова Е.Г., Доронина Н.В., Шепеляковская А.О., Ламан А.Г., Бровка Ф.А., Троценко Ю.А. Факультативные и облигатные аэробные метиловобактерии синтезируют цитокинины // Микробиология. 2000. Т. 69. № 6. С. 764–769.
14. Иванова Е.Г., Доронина Н. В., Троценко Ю.Ф. Аэробные бактерии синтезируют ауксины // Микробиология. 2001. Т. 70. № 4. С. 452–458.
15. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture // Physiol. Plant. 1962. V. 15. P. 473–497.
16. Широких И.Г., Широких А.А., Лундовских И.А., Леушина Л.С. Фенотипическая и генотипическая характеристика природных изолятов метилотрофных бактерий // Наука – производство – технологии – экология: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. 3 т. Киров: Изд-во ГОУ ВПО «ВятГУ», 2009. Т. 2. С. 115–117.

17. Кравченко Л.В., Боровков А.В., Пшикрил Э. Возможность биосинтеза ауксинов ассоциативными азотфиксаторами в ризосфере пшеницы // Микробиология. 1991. Т. 60. Вып. 5. С. 927–931.
18. Кулаева О.Н. Цитокинины, их структура и функции. М.: Наука, 1973. 253 с.
19. Практикум по микробиологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. А.И.Нетрусова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
20. Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.
21. Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармация. 1987. Т. 36. С. 28–29.
22. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум / Авт.-сост. Г.Н. Чушахина. Калининград: Калинингр. ун-т, 2000. С. 9–10.
23. Zhou H. Green Plant Regeneration from Anther Culture in Cereals // In Vitro Haploid Production in Higher Plants / Eds Jain S.M., Sopory S.K., Veilleux R.E. Dordrecht: Kluwer, 1996. V. 2. P. 169–187.
24. Izawa T., Ohnishi T., Nakano T., Ishida N., Enoki H., Hashimoto H., Itoh K., Terada R, Wu C., Miyazaki C., Endo T., Iida S., Shimamoto K. Transposon Tagging in Rice // Plant Mol. Biol. 1997. V. 35. P. 219–229.
25. Costa S., Shaw P. ‘Open Minded’ Cells: How Cells Can Change Fate // Trends Cell Biol. 2007. V. 17. P. 101–106.
26. Leyser O. Auxin Distribution and Plant Pattern Formation: How Many Angels Can Dance on the Point of PIN? // Cell. 2005. V. 121. P. 819–822.
27. Gaponenko A.K., Petrova T.F., Sozinov A.A. Cytogenetics of in vitro cultured somatic cells of cereals (Hordeum vulgare L., Triticum aestivum L., T. durum Desf) // XIV Int. Bot. Cong.: Abstr. Berlin. 1987. App. 2. P. 485.
28. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М. 1993. 272 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 08-04-13590-офи_ц.

УДК 591: 579.253.2: 575.21

К проблеме контроля над распространением и использованием трансгенных растений

© 2010. А. В. Бакулина¹, аспирант, С. В. Дармова², аспирант, В. М. Бакулин², к.т.н., н.с.,

¹ ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого РАСХН,

² Вятский государственный университет,
e-mail: drugaeana1@rambler.ru

В статье рассматривается современное состояние распространения и использования генетически модифицированных растений. Особое внимание уделено вопросам безопасности и разработки эффективных методов идентификации чужеродной ДНК в пищевых продуктах, растительном сырье и продуктах его переработки.

The current state of genetically modified plants spreading and usage is considered in the article. Special attention is paid to the aspects of safety and working out effective methods of identification of alien DNA in foodstuff, vegetative raw materials and products of its processing.

Ключевые слова: генетическая модификация (ГМ), трансгенные растения,
пищевые продукты, чужеродная ДНК, ПЦР-идентификация

Key words: genetic modification, transgenic plants, foodstuffs,
alien DNA, PCR-identifications

Генетически модифицированные растения давно перешагнули из области научных экспериментов в область промышленно-коммерческого использования, что вызывает озабоченность органов, контролирующих безопасность продуктов питания [1 – 3]. Ши-

рокое распространение получили трансгенные сельскохозяйственные культуры растений, обладающие различными признаками, отсутствовавшими у данных культур в природе. Помимо высокоурожайных сортов устойчивых к неблагоприятным условиям среды,

Таблица 1

Соотношение площадей трансгенных и нетрансгенных линий ведущих биотехнологических культур в мире

Культура	Площади (млн. га) под культурами	
	трансгенными	нетрансгенными
Соя	67,5	22,5
Хлопчатник	16,5	16,5
Кукуруза	39,5	118,5
Масличный рапс	6,2	24,8

гербицидам, насекомым-вредителям, вирусным и бактериальным инфекциям, сегодня конструируют растения-суперпродуценты (или, так называемые, «растительные био-реакторы»), способные к крупномасштабному синтезу различных веществ для нужд медицины, пищевой, химической и других областей промышленности [4, 5].

По данным Международной службы по мониторингу за применением агробиотехнологии (ISAAA), в 2009 году трансгенные культуры растений выращивались на рекордных площадях в 134 млн. га. С 1996 года, когда трансгенные культуры впервые вышли на мировой рынок, произошло 80-кратное увеличение площадей биотехнологических культур, что делает биотехнологию самой быстро развивающейся технологией в истории современного сельского хозяйства. Трансгенная соя в 2009 году заняла три четверти из 90 млн. га мировых посевов сои; трансгенный хлопчатник – почти половину из 33 млн. га выращиваемого хлопчатника; трансгенная кукуруза – более четверти из 158 млн. га посевов кукурузы во всем мире; а трансгенный рапс – более пятой части из 31 млн. га посевных площадей данной культуры (табл. 1).

Трансгенные культуры выращивались в 2009 году в 25 странах мира, причем в США, Бразилии, Аргентине, Индии, Китае, Парагвае и ЮАР их площади составляли более 1 млн. га (табл. 2).

Ещё в 32 странах генетически модифицированные растения были разрешены для ввоза и применения в качестве пищевых продуктов и кормов.

Анализ экономического эффекта использования трансгенных культур за период с 1996 по 2008 гг. показал рост прибыли в размере 51,9 млрд. долларов. Прибавка урожая за этот же период составила 167 млн. т., а объем вносимых пестицидов снизился на 356 млн. кг. По прогнозам ISAAA к 2015 г. генетически модифицированные культуры будут применять в 40 странах на площади 200 млн. га [4].

Генетическая модификация растений обладает значительными преимуществами перед классическими методами селекции. Источником целевого гена может быть любой генотип, начиная от прокариотических микроорганизмов и заканчивая животными и человеком, при этом не существует ограничений по фертильности, затрудняющих скрещивание растений. Трансформация растений ускоряет создание сорта, достижение прогнозируемого эффекта по определенному признаку. Но вместе с тем растение приобретает набор качеств, опосредованных плейотропным действием чужеродного гена и свойствами самой встроеной конструкции, в том числе её нестабильностью [5]. Эти непрогнозируемые качества создают потенциальные риски неблагоприятного воздействия трансгенных культур на здоровье человека и животных, а также на окружающую среду при коммерческом выращивании, использовании трансгенных растений и получении на их основе продуктов питания и кормов [6].

Все нежелательные последствия возделывания и потребления генетически модифицированных растений условно объединяют в три группы: пищевые, агротехнические и экологические риски.

Пищевые риски связаны с непосредственным воздействием токсичных и аллергенных трансгенных белков генетически модифицированных организмов (ГМО); с множественным влиянием встроённых конструкций на метаболизм растений; с накоплением гербицидов и их метаболитов в устойчивых сортах сельскохозяйственных растений, а также с горизонтальным переносом трансгенных конструкций в геном симбионтных для человека и животных бактерий (*Escherichia coli*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*).

Агротехнические риски включают снижение сортового разнообразия сельскохозяйственных культур, вследствие массового применения ГМО, полученных из ограниченного набора родительских форм; риски непредсказуемых изменений нецелевых признаков

Таблица 2

Площади трансгенных культур в мире в 2009 году: распределение по странам

Место	Страна	Площади, млн. га	Трансгенные культуры
1	США	64,0	Соя, кукуруза, хлопчатник, масличный рапс, кабачки, папайя, люцерна, сахарная свекла
2	Бразилия	21,4	Соя, кукуруза, хлопчатник
3	Аргентина	21,3	Соя, кукуруза, хлопчатник
4	Индия	8,4	Хлопчатник
5	Канада	8,2	Масличный рапс, кукуруза, соя, сахарная свекла
6	Китай	3,7	Хлопчатник, томаты, тополь, папайя, сладкий перец
7	Парагвай	2,2	Соя
8	ЮАР	2,1	Кукуруза, соя, хлопчатник
9	Уругвай	0,8	Соя, кукуруза
10	Боливия	0,8	Соя
11	Филлиппины	0,5	Кукуруза
12	Австралия	0,2	Хлопчатник, масличный рапс
13	Буркина Фасо	0,1	Хлопчатник
14	Испания	0,1	Кукуруза
15	Мексика	0,1	Хлопчатник, соя
16	Чили	< 0,1	Кукуруза, соя, масличный рапс
17	Колумбия	< 0,1	Хлопчатник
18	Гондурас	< 0,1	Кукуруза
19	Чешская республика	< 0,1	Кукуруза
20	Португалия	< 0,1	Кукуруза
21	Румыния	< 0,1	Кукуруза
22	Польша	< 0,1	Кукуруза
23	Коста Рика	< 0,1	Хлопчатник, соя
24	Египет	< 0,1	Кукуруза
25	Словакия	< 0,1	Кукуруза

модифицированных сортов, вызванные плейотропным действием введенного гена; риски отсроченного изменения свойств трансгенного растения, проявляющиеся через несколько поколений, связанные с адаптацией нового гена; неэффективность трансгенной устойчивости через несколько лет массового использования сорта и использование производителями терминальных технологий для монополизации семенного производства.

Значительное беспокойство общественности вызывают экологические риски, к которым относят следующие нежелательные явления:

- появление «суперсорняков» вследствие неконтролируемого переноса трансгенных конструкций (особенно обуславливающих устойчивость к гербицидам, вредителям и возбудителям болезней растений) в результате скрещивания с родственными дикорастущими видами;
- риски быстрого появления устойчивости к используемым трансгенным токсинам

у бактерий, грибов насекомых-фитофагов и других вредителей;

- риски неконтролируемого горизонтального переноса трансгенных конструкций в микрофлору ризосферы;
- риски появления «суперпатогенных» штаммов фитовирусов при взаимодействии их с конструкциями модифицированного генома вирусоустойчивого растения, проявляющими нестабильность и, тем самым, являющимися мишенью для рекомбинации с вирусной ДНК;
- риски проявления отдаленного плейотропного эффекта трансгенных конструкций, заключающиеся в появлении видов растений с повышенной чувствительностью в отношении факультативных фитопатогенов, например, многочисленных видов плесневых микромицетов рода *Fusarium*;
- негативное влияние на биоразнообразие нецелевых насекомых, микрофлору почвы и нарушение трофических связей пу-

тём воздействия токсичных трансгенных белков [6 – 8].

В настоящее время убедительно доказано наличие экологических рисков при выращивании трансгенных растений, которые касаются загрязнения и безвозвратной потери ценных традиционных сортов важнейших сельскохозяйственных культур, а также загрязнения окружающей среды химикатами [6].

Генно-инженерные технологии и трансгенные организмы действительно могут быть объектами риска, но он может быть сведен к минимуму с помощью научного мониторинга за осуществлением трансгеноза, тестирования ГМО в лабораторных и полевых условиях. Выращивание и потребление трансгенных растений требует тщательной медико-биологической оценки безопасности генетически модифицированных культур, которая включает проведение домаркетинговой экспертизы безвредности и потенциальных рисков использования трансгенного растения, регистрацию трансгенных культур и пострегистрационный мониторинг за обращением трансгенных растений [7, 9, 10]. Вопросы биологической безопасности при обращении с ГМО регулирует международный Картахенский протокол, вступивший в силу 11 сентября 2003 г. Он определяет обязанности стран-экспортёров и импортёров ГМО, которые, в частности, должны уведомлять о разработке новых ГМП, информировать потребителей об их свойствах, создавать банки данных.

В большинстве европейских стран на законодательном уровне введены строгие ограничения выращивания ГМО и их использования в составе продуктов питания. Согласно Инструкции ВОЗ установлена обязательная маркировка пищевых продуктов, содержащих генетически модифицированные компоненты в количестве более 0,9%. Наша страна тоже начала следовать правилам ЕС: так, в 2004 г. вышло постановление главного государственного санитарного врача России Г.Онищенко, по которому продукт специально маркируется, если содержание ГМ в нём превышает 0,9%. В Корее же маркировка обязательна для продуктов, содержащих более 3, а в Японии – более 5% генетически модифицированного компонента [11, 12].

В Российской Федерации на 1 декабря 2004 года прошли полный цикл всех необходимых исследований и разрешены для использования в пищевой промышленности и реализации населению 13 линий трансгенных расте-

ний [13]. В 2007 г. для использования в пищу населением было зарегистрировано, по данным сайта biosafety.ru, уже 17 сортов трансгенных растений с примечанием об отсутствии в открытом доступе информации о перерегистрации сахарной свеклы линии 77, сертификат на которую истёк в 2006 г. В 2010 г. государственную регистрацию прошли еще два генетически модифицированных сорта: кукуруза линии 3272 и соя линии MON 89788 (по информации Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека) [14]. Таким образом, число «легальных» сортов трансгенных культур, по нашим подсчетам, варьирует от 13 до 20. На сегодняшний день потребитель не имеет возможности точно определить количество официально «одобренных» в России ГМ-сортов. Такая ситуация, конечно, ставит под сомнение осуществляемый в России контроль качества и безопасности продуктов питания, полученных на основе растительного сырья. В таблице 3 мы приводим информацию о 20 линиях трансгенных культур, зарегистрированных в России с 1999 г. по настоящее время, без учета сроков действия выданных им сертификатов и перерегистрации [15 – 20].

В Государственный реестр пищевых продуктов и продовольственного сырья из генетически модифицированных источников (ГМИ) уже в 2000 году было внесено 64 вида пищевой продукции. Разрешено использовать в пищевых целях и на фураж импортируемую продукцию глифосатустойчивых сои и сахарной свеклы. Допущены также для использования в качестве продовольственного и фуражного сырья две линии генетически модифицированной кукурузы (устойчивые к глифосату, стеблевому мотыльку и другим чешуекрылым вредителям). В то же время, продукты питания и корма, содержащие ГМИ, давно заполнили российский рынок. Ежедневно российскую границу пересекают тонны сырья и готовых продуктов с генетически изменёнными компонентами, содержание которых не контролируется. Данная ситуация складывается из-за несовершенства российского законодательства и лоббирования своих интересов транснациональными компаниями-производителями [21]. Безусловно, трансгенные продукты потребляются людьми в их повседневной жизни, что остро ставит вопрос контроля над распространением и использованием трансгенных растений [22].

Доктрина продовольственной безопасности, утвержденная Президентом Российской

Федерации Д. А. Медведевым и опубликованная на сайте Президента РФ www.kremlin.ru 1 февраля 2010 года, содержит в качестве одного из требований – исключения «...бесконтрольного распространения пищевой продукции, полученной из ГМО...».

В настоящее время для выявления генетически модифицированных источников в растительном материале могут использоваться следующие методы:

- 1) химический (выявление наличия продуктов распада гербицидов, изменение содержания белка и т. п.)
- 2) иммуноферментный анализ (выявление модифицированного белка с использованием специфичных антител),
- 3) полимеразная цепная реакция (ПЦР).

Наиболее используемым среди существующих методов обнаружения генетически модифицированного материала растительного происхождения является метод ПЦР, который, в отличие от химических и иммуноферментных методов, позволяет обнаружить непосредственно рекомбинантную ДНК. За счёт высокой чувствительности ПЦР-метода выявить рекомбинантную ДНК возможно практически в любом пищевом материале и в очень низких концентрациях. Метод ПЦР отличается простотой, высокой чувствительностью и эффективностью, время анализа составляет несколько часов [23].

Выявление рекомбинантной ДНК основывается на обнаружении структурных элементов генетических конструкций, интегрированных в геном растения. Генетическая конструкция, вводимая в растительную клетку, как правило, состоит из маркерного гена, целевого гена и регуляторных элементов – промоторов, терминаторов, энхансеров и т. п. [9]. В качестве целевых генов промышленные сорта трансгенных культур содержат чаще всего гены устойчивости к гербицидам, насекомым, возбудителям заболеваний и т. д. Мар-

керные гены необходимы при производстве ГМ растений на этапе отбора трансформированных клеток. Это могут быть гены устойчивости к антибиотикам и гербицидам. В качестве регуляторных элементов обычно используют вирусные или растительные промоторы и вирусные или бактериальные терминаторы.

На рисунке изображена структура генетической конструкции, встраиваемой в геном растений, при использовании наиболее распространённого на сегодняшний день вектора на основе Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*. Она содержит экспрессионную кассету целевого гена, включающую белоккодирующую структурную последовательность и регуляторные элементы транскрипции и трансляции; а также маркерный ген и участки, направляющие интеграцию трансгенной конструкции в геном растительной клетки. Эти структурные элементы ДНК-вставки являются чужеродными для растения и могут служить мишенями для выявления рекомбинантной ДНК [24, 25].

Задачу выявления чужеродной ДНК в геноме растения усложняет то обстоятельство, что при генетической модификации растений применяют десятки различных маркерных и целевых генов. В то же время большинство распространённых векторов для трансформации включает ограниченный спектр регуляторных элементов. В таблице 3 приведены структурные элементы встроенных генетических конструкций для сортов и линий трансгенных растений, официально зарегистрированных в Федеральном реестре Российской Федерации. Анализ доступной нам информации из различных баз данных [15 – 20, 26] показал, что большинство разрешённых к использованию в РФ трансгенных сортов и линий содержат в качестве регуляторных элементов в составе введённой генетической конструкции промотор 35S р-РНК вируса мозаики цветной капусты (CaMV) и терминатор гена

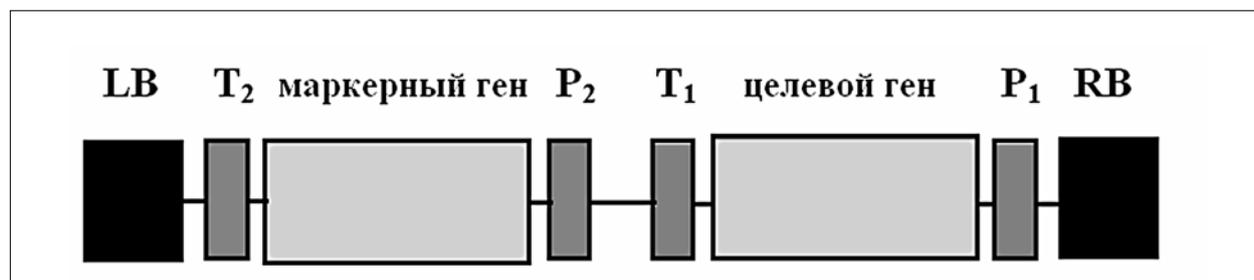


Рисунок. Структура генетической конструкции, встраиваемой в геном растений при использовании вектора на основе Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*

Примечание: LB – левая граница T-ДНК; RB – правая граница T-ДНК; P₁ – промотор целевого гена; T₁ – терминатор целевого гена; P₂ – промотор маркерного гена; T₂ – терминатор маркерного гена.

Таблица 3
Структурные элементы, встроенные в геном промышленных сортов ГМ растений, зарегистрированных в Российской Федерации [по данным 13 – 20]

П/П №	Культура	Линия или сорт	Фирма, страна	Целевой ген	Регуляторные элементы целевого гена		Маркерный ген (его регуляторные элементы)
					Промотор	Терминатор	
1	Соя	40-3-2, устойчивая к глифосфату	«Монсанто», США	CP4 epsps	35S	nos	–
2		A 2704-12, у устойчивая к глюфосинату аммония	«Байер Крорп Сайнс», ФРГ	pat	35S	35S	bla
3		A 5547-127, устойчивая к глюфосинату аммония	«Байер Крорп Сайнс», ФРГ	pat	35S	35S	bla
4		MON-89788, устойчивая к глифосфату	«Монсанто», США	CP4 epsps	P-FMV, TSF1	T-E9	–
5	Кукуруза	MON-810, устойчивая к кукурузному бурильщику <i>Ostrinia nubilalis</i>	«Монсанто», США	cry1Ab	35S	нет	–
6		MON-863, устойчивая к жуку <i>Diabrotica spp.</i>	«Монсанто», США	cry3 Bb1	35S	3'- UTR tahsp 17	npt II (промотор 35S, терминатор nos)
7	Кукуруза	NK-603, устойчивая к глифосфату	«Монсанто», США	CP4 epsps	Промотор 1 актина риса, 35S	nos	–
8		GA 21, устойчивая к глифосфату	«Монсанто», США	CP4 epsps	Промотор 1 актина риса	nos	–
9		T-25, устойчивая к глюфосинату аммония	«Байер Крорп Сайнс», ФРГ	pat	35S	35S	bla
10		Bt-11, устойчивая к глюфосинату аммония и кукурузному бурильщику <i>Ostrinia nubilalis</i>	«Сингента Сидс», Франция	cry1Ab, pat	35S	nos	–

Окончание табл. 3

№ п/п	Культура	Линия или сорт	Фирма, страна	Целевой ген	Регуляторные элементы целевого гена		Маркерный ген (его регуляторные элементы)
					Промотор	Терминатор	
11	Кукуруза	Линия 3272, синтезирующая фермент α-амилазу	«Сингента Сидс», США	<i>amy 797E</i>	<i>P-GZein</i>	<i>35S</i>	<i>mpi</i> (промотор – <i>ZmUbiInt</i> , терминатор <i>nos</i>)
12		MON-88017, устойчивая к глифосфату и жуку <i>Diabrotica</i> spp.	«Монсанто», США	<i>CP4 epsps</i> , <i>cry3 Bb1</i>	Промотор 1 актина риса, <i>35S</i>	<i>nos</i> <i>3' - UTR tahsp 17</i>	–
13		MIR604, устойчивая к жуку <i>Diabrotica</i> spp.	«Сингента Сидс», Франция	<i>cry3A</i> , <i>mpi</i>	<i>ZmUbiInt</i>	<i>nos</i>	–
14	Картофель	Superegior New Leaf, устойчивый к колорадскому жуку	«Монсанто», США	<i>cry3A</i>	<i>35S</i>	<i>3' poly (A) signal rbcS</i>	<i>npt II</i> (терминатор <i>nos</i>)
15		Russet Burbank New Leaf, устойчивый к колорадскому жуку	«Монсанто», США	<i>cry3A</i>	<i>35S</i>	<i>3' poly (A) signal rbcS</i>	<i>npt II</i> (промотор <i>35S</i> , терминатор <i>nos</i>)
16	Картофель	Елизавета 2904/1 kgs, устойчивый к колорадскому жуку	Центр «Биоинженерия РАН», Россия	<i>cry3A</i>	<i>P-FMV, pRBSC</i>	<i>nos</i>	<i>CP4 epsps</i> (промотор <i>P-FMV</i> , терминатор <i>T-E 9</i>)
17		Луговской, устойчивый к колорадскому жуку	Центр «Биоинженерия РАН», Россия	<i>cry3A</i>	Нет данных		
18	Сахарная свекла	Н7-1, устойчивая к глифосфату	«Монсанто», США	<i>CP4 epsps</i> ,	<i>P-FMV</i>	<i>3' poly (A) signal rbcS</i>	–
19		Линия 77, устойчивая к глифосфату	«Монсанто», США и «Сингента Сидс», Франция	<i>CP4 epsps</i>	<i>35S</i>	<i>nos</i>	<i>gus</i>
20	Рис	LL 62, устойчивая к глюфосинату аммония	«Байер Крупп Сайнс», ФРГ	<i>bar</i>	<i>35S</i>	<i>3' poly (A) signal 35S</i>	–

Примечание: «–» – маркерный ген не используется, либо элиминируется после стадии отбора трансформантов

nos из Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*. Поэтому не случайно большинство коммерческих ПЦР-тест-систем для выявления ГМИ в продуктах питания и продукции растениеводства основано на обнаружении именно этих последовательностей [27].

Промотор 35S-РНК CaMV является эффективным промотором для двудольных растений и очень широко применяется в генетической инженерии растений, однако его использование для надзора за оборотом ГМ растений имеет ряд ограничений. Так, следует помнить, что существует не менее 8 различающихся вариантов промотора 35S, используемых при создании трансгенных растений. Кроме того, в состав промотора 35S входит последовательность, играющая роль «горячей точки рекомбинации», что может серьезно дестабилизировать геном. Существенный недостаток промотора 35S как молекулярного маркера, выявился с появлением трансгенных растений, относящихся к семейству капустных *Brassicaceae* (масличный рапс, белокочанная капуста): достаточно высокий уровень зараженности посевов вирусом CaMV. Этот вирус поражает не только растения указанного семейства *Brassicaceae*. Некоторые штаммы вируса могут также вызывать болезни растений из семейств паслёновых *Solanaceae* и бобовых *Fabaceae*. Зараженность анализируемого растительного материала вирусом CaMV может являться причиной ложного выявления генноинженерных конструкций.

Использование другого универсального молекулярного маркера-терминатора гена нопалинсинтетазы (*nos*) *A. tumefaciens*, в свою очередь, лимитировано тем, что праймерные системы, сконструированные на основе его нуклеотидной последовательности, часто амплифицируют неспецифические продукты при исследовании многокомпонентных пищевых образцов, затрудняющих проведение точного анализа [28].

Таким образом, обнаружение 35S-промотора и (или) терминатора *nos* в растительном материале не всегда свидетельствует о наличии генно-инженерной конструкции. Эти последовательности имеются в природе и их обнаружение возможно при попадании в образец природного носителя данной последовательности (вируса, бактерии).

Достоверность исследования существенно повышается при обнаружении в пробе «стыков» последовательностей регуляторных элементов и целевых генов, которые свидетельствуют о наличии несуществующей в природе конструкции. Но данный подход

не дает однозначного ответа на вопрос об интеграции трансгенной конструкции в геном растения, поскольку вектор может находиться в свободном состоянии.

Наиболее достоверно присутствие трансгенного материала определяется по наличию в пробе участков стыка генома растения и регуляторных элементов встроенной чужеродной ДНК. Участок интеграции рекомбинантной ДНК индивидуален для каждой линии трансгенного растения, что дополнительно позволяет идентифицировать данную линию трансгенного растения. Но в этом случае возникает необходимость разработки и применения значительного количества различных тест-систем.

Для количественного определения ГМИ в растительном сырье и продуктах его переработки, как правило, используют тест-системы, основанные на методе ПЦР с детекцией результатов амплификации «в реальном времени» [27]. Количественное определение ГМИ-компонента в пище основано на расчете отношения количества ДНК определённой линии (сорта) ГМО к общему количеству ДНК организма данного вида. Например, таким образом можно определить процентное содержание ГМ сои в соевой муке, составленной из нескольких сортов сои. Поэтому данный подход не дает возможности оценить количество генно-модифицированных источников в продукте (для этого нужно знать его точную рецептуру) и фактически бесполезен, поскольку не даёт представления о содержании собственно «потенциально вредных веществ», а определяет лишь соотношение ГМИ-компонента к компоненту в целом [26 – 29]. Исключением является определение содержания ГМИ в гомогенных продуктах переработки растений, таких как мука или крупа. Гораздо более информативным могло бы стать химическое или количественное исследование, но данные методики обладают недостаточной чувствительностью.

Таким образом, применяемые в настоящее время методы идентификации трансгенного растительного материала не являются вполне надежным инструментом для контроля за распространением и использованием ГМИ в продуктах питания, кормах и растительном сырье. Большинство разработанных ПЦР-тест-систем высокоспецифичны, позволяют выявить генноинженерные конструкции лишь определенных линий и их применение для обнаружения трансгенного материала в целом не всегда даёт достоверные резуль-

таты [30]. Более широкие возможности экспрессного анализа геномов открывают современные методы анализа нуклеиновых кислот на основе достижений в области нанотехнологий: создание ДНК-микроматриц, олигонуклеотидных микрочипов, микрофлюидных ПЦР-биочипов; развитие технологий детекции гибридизационного сигнала, которые могут служить основой для экспертизы и тестирования генетически модифицированных растений и продуктов на их основе [26, 28, 29, 31]. Вопрос усовершенствования данных методов с целью повышения точности качественного и, в особенности, количественного анализа чужеродной ДНК в системе контроля за оборотом ГМ-пищевых продуктов сегодня продолжает оставаться актуальным.

Литература

1. Постановление Главного санитарного врача Российской Федерации № 80 от 30 ноября 2007 года «О надзоре за оборотом пищевых продуктов, содержащих ГМО» // Российская Газета. Федеральный выпуск № 4602 от 1 марта 2008 г.
2. Лысиков Ю.А. Безопасность пищи и питания // Жизнь без опасности. 2009. № 3. С. 30–40
3. Глик Б.Р., Пастернак Д.Д. Молекулярная биотехнология: принципы и применение. М.: Мир, 2002. 589 с.
4. Джеймс К. «Статус коммерческих биотехнологических ГМ культур в мире: 2009 год» [Электронный ресурс] – <http://www.isaaa.org/>.
5. Куликов А.М., Митрофанов В.Н. Трансгенные организмы: как уменьшить риски? // Наука в России. 2008. № 2. С. 54–60.
6. Кузнецов, Вл.В. Возможные биологические риски при использовании генетически модифицированных сельскохозяйственных культур // Вестник ДВО РАН. 2005. № 3. 2005. С. 40–54.
7. Куликов А.М. Генетически-модифицированные организмы и риски их использования // Физиология растений. 2005. Т. 52. № 1. С. 115–124.
8. Баранов А. С. Использование генетически модифицированных организмов и вопросы экологической безопасности // Экос-информ. 2007. № 10. С. 46–47.
9. Шевелуха В.С. Биотехнологии и биобезопасность в агропромышленном производстве // Достижения науки и техники АПК. 2004. № 1. С. 6–9.
10. Чесноков Ю.В. Аллергены и генетическая трансформация растений // Сельскохозяйственная биология. 2004. № 3. С. 33–39.
11. Гетман И.А. Мониторинг трансгенных компонентов в продуктах питания растительного происхождения, проведенный на основе исследования ДНК // Экос-информ. 2007. № 10. С. 47–48.
12. Вэйгхард Ф. Анализ образцов пищевых продуктов на присутствие генетически модифицированных организмов. Количественный ПЦР анализ для детекции ГМО // ВОЗ. Европейское Региональное Бюро. Сессия 10. 2008. 22 с.
13. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 31 декабря 2004 г. № 13 «Об усилении надзора за пищевыми продуктами, полученными из ГМИ» [Электронный ресурс] – <http://expert.consultant.ru/doc345646.html>.
14. Реестр продукции, прошедшей государственную регистрацию [Электронный ресурс] – http://www.rospotrebnadzor.ru/directions_of_activity/reestri/.
15. Agbios GM Database [Электронный ресурс] – <http://agbios.com/>.
16. Biodiv LMO Database [Электронный ресурс] – <http://bch.cbd.int/database/organisms/>.
17. European Commission, Joint Research Center, GMO methods database [Электронный ресурс] – <http://mbg.jrc.ec.europa.eu/>.
18. GMO Detections Methods Database [Электронный ресурс] – <http://gmdd.shgmo.org/>.
19. GMO Compass [Электронный ресурс] – <http://www.gmo-compass.com/>.
20. OECD Biotrack Product Database [Электронный ресурс] – <http://www2.oecd.org/biotech/>.
21. Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Аронов Э.Л. Генетически модифицированные растения и продукты питания: реальность и безопасность. Аналитический обзор. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 200 с.
22. Зоны, свободные от ГМО. Опыт России / Под ред. В. Б. Копейкиной. Йошкар-Ола: Реклайм, 2008. 56 с.
23. Щелкунов С. Н. Генетическая инженерия : учеб. пособие для студентов вузов. Новосибирск : Сиб. ун-в. изд-во, 2004. 496 с.
24. Лутова Л. А. Биотехнология высших растений: учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2003. 228 с.
25. Handbook of plant biotechnology / Ed. by P. Christou, H. Klee. Wiley-VCH. 2004. 1488 p.
26. Wolf C., Scherzinger M., Wurz A., Pauli U., Hubner P., Luthy J. Detection of cauliflower mosaic virus by the polymerase chain reaction: testing of food components for false-positive 35S-promoter screening results // Eur. Food Res. Technol. 2000. V. 210. P. 367–372.
27. ПЦР «в реальном времени» / Под ред. Д.В. Ребрикова. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 223 с.
28. Булыгина Е.С., Сухачева М.В., Бумажкин Б.К., Кузнецов Б.Б. Применение триплексной ПЦР для идентификации генетически модифицированного источника в пищевых продуктах // Биотехнология. 2010. № 2. С. 81–86.
29. Germini A., Zanetli A., Salati C., Rossi S., Forr C., Schmid S., Marchelli R. Development of a seven-target multiplex PCR for the simultaneous detection of transgenic

soybean and maize in feeds and foods // J. Agric. Food. Chem. 2004. V. 52. № 11. P. 3275–3280.

30. Marcia, J. Holden The use of 35S and T nos expression elements in the measurement of genetically engineered plant materials // Anal Bioanal Chem. 2010. V. 396. P. 2175–2187.

31. Onishi M., Matsuoka T., Kodama T., Kashiwaba K., Futo S., Akiyama H., Maitani T., Furui S., Oguchi T., Hino A. Development of a multiplex polymerase chain reaction method for simultaneous detection of eight events of genetically modified maize // J. Agric. Food. Chem. 2005. V. 53. №. 25. P. 9713–9721.

УДК 631.811.98:633.37

Влияние физиологически активных соединений на продуктивность разновозрастных посевов козлятника восточного в условиях Центрального региона России

© 2010. В. И. Филатов, д.с-х.н., профессор, В. Н. Мельников, к.с-х.н., доцент,
Т. Ф. Лугинина, соискатель, Н. В. Слабженинова, аспирант,
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
e-mail: t.luginina@edinros.ru

В результате исследований показано, что физиологически-активные соединения (ФАС): минерало-органическое удобрение (Гумисол-М) и биологический препарат природного происхождения (Мивал-Агро) обеспечивают лучшее развитие фотосинтетического аппарата растений козлятника восточного и повышают их продуктивность. Наиболее эффективна обработка семян препаратом Гумисол-М по фону обработки клубеньковыми бактериями, повышающая продуктивность сухой массы на 54,4%. Применение ФАС по вегетирующим растениям в благоприятных для роста растений условиях не эффективно.

The research has shown that physiologically active compounds (FAC): mineral-organic fertilizer (Humisol-M) and biological product of natural origin (Mival-Agro) provide better development of photosynthetic apparatus of plants of eastern kozlyatnik and contribute to its productivity. The most effective means is treating the seeds with Humisol-M as compared with the background treatment with rhizobia, it increases the productivity of the dry mass by 54,4%. Using FAC for vegetating plants in conditions favourable for growth is not effective.

Ключевые слова: козлятник восточный, физиологически активные соединения

Key words: eastern kozlyatnik, physiologically active compounds

Введение

Проблема кормов с высоким содержанием белка для животноводства по-прежнему является актуальной [1], поэтому насыщение структуры посевов многолетними бобовыми травами является экономически оправданным. Посевы таких традиционных бобовых культур как люцерна и клевер склонны к изреживанию, и через 3-4 года использования их продуктивность резко снижается [2]. Для более эффективного развития животноводства, необходимо внедрять в производство продуктивные, высокобелковые культуры, способные длительное время возделываться и сохраняться без выпадения травостоя. Существенным резервом увеличения производства кормов, повышения сбора белка является интродукция в сельскохозяйственное про-

изводство такой многолетней бобовой культуры, как галега восточная или козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.) [3].

Основная ценность культуры обуславливается её кормовыми свойствами. Козлятник восточный – культура универсального назначения. Используется в зелёном конвейере как ранняя, так и поздняя культура. Служит для заготовки сена, сенажа, силоса, изготовления искусственно высушенных кормов (брикеты, гранулы, резка, травяная мука), пригодных для скармливания сельскохозяйственным животным, домашней птице и даже в рыбоводстве [4].

Особую актуальность исследованиям придаёт существующая в настоящее время тенденция применения регуляторов роста в сельском хозяйстве. На сегодняшний день сделаны фундаментальные открытия в области

молекулярных основ гормональной регуляции развития растений, позволяющие углубить наши знания в области механизмов действия их синтетических аналогов. Полифункциональность регуляторов роста, выявленная в последнее время, привела к значительному расширению области их применения в растениеводстве. Регуляторы роста – факторы целенаправленного управления процессами роста и развития растений, повышения устойчивости растений к стрессовым условиям произрастания и болезням, что значительно повышает их продуктивность [5].

Выбор препаратов Мивал-Агро и Гумисол-М имеет следующее теоретическое обоснование.

Мивал-Агро – кремнийорганический регулятор роста растений. Обладает широким спектром биологического действия, адаптивными и антиоксидантными свойствами. Экологически безопасен, отличается высокой эффективностью, простотой использования. Укрепляет защитные свойства растений, повышает устойчивость к неблагоприятным условиям выращивания, увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур, улучшает качество.

Гумисол-М – жидкий концентрат, произведённый из высококачественного биогумуса, который получен из переработанного красным калифорнийским червем навоза КРС. Гумисол-М содержит в себе все компоненты биогумуса в растворённом состоянии: гуминовые и фульвокислоты, аминокислоты, витамины, природные фитогормоны, антибиотики, макро- и микроэлементы, почвенные микроорганизмы. Стимулирует жизненные процессы в растениях: рост и деление клеток, обмен и накопление веществ, цветение, плодоношение. Укрепляет иммунную систему. Ускоряет процессы корнеобразования растений, увеличивая корневую массу на 44–60%, что, в свою очередь, приводит к улучшению их минерального питания и водного обеспечения. Увеличивается интенсивность белкового обмена, что сопровождается усилением роста растений, снижением содержания нитратов и улучшением качества продукции. Повышается интенсивность процессов дыхания, фотосинтеза, водообмена.

Таким образом, предполагалось, что применение вышеназванных препаратов будет способствовать лучшему развитию растений, увеличению их адапционных свойств, повышению эффективности функционирования симбиотического аппарата

растений козлятника и, как следствие, продуктивности.

Целью наших исследований явилось изучение влияния физиологически-активных соединений (ФАС) на показатели фотосинтетического потенциала и продуктивности козлятника восточного в условиях Центрального региона Нечерноземной зоны РФ на разных этапах онтогенеза.

В задачи исследований входило: 1. Определить оптимальные концентрации ФАС в условиях лабораторного эксперимента с целью дальнейшего испытания препаратов в полевых условиях; 2. Исследовать действие ФАС на развитие фотосинтетического аппарата козлятника восточного; 3. Выявить влияние ФАС на продуктивность козлятника восточного.

Методика исследований

Лабораторный эксперимент по влиянию на энергию прорастания и всхожесть семян, подбору оптимальной концентрации ФАС проводили путём проращивания семян в чашках Петри в термостате и подсчёте нормально проросших семян на 5-е (энергия прорастания) и 7-е (всхожесть) сутки. Перед проведением эксперимента семена скарифицировали.

Изучение влияния препаратов на продуктивность козлятника восточного осуществляли в 2008 и 2009 гг. на опытном поле полевой станции РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. Закладка опыта выполнялась по общепринятым методикам [6]. Норма высева 4,5 млн. всхожих семян на гектар [3,4,7]. Для посева использовали репродукционные семена козлятника восточного сорта Гале. Качество семенного материала отвечало требованиям ГОСТ Р 52325–2005. Размещение делянок рендомизированное, повторность в опытах четырёхкратная, учётная площадь – 10 м². Почва опытного участка – дерново-подзолистая, с близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 6,2), средне-суглинистая с содержанием гумуса в пахотном слое 1,85%, высокообеспеченная фосфором – 196 мг/кг, среднеобеспеченная калием – 157 мг/кг и азотом – 46,5 мг/кг в его легкогидролизуемой форме. Погодные условия в годы изучения были благоприятны для роста и развития козлятника восточного. В опыте использовали два варианта применения ФАС: 1) при предпосевной подготовке семян козлятника восточного в 1-й год жиз-

ни; 2) при опрыскивании посевов (в критическую фазу – начала интенсивного роста, стеблевания растений) в первый и последующие годы жизни. Перед обработкой и посевом семян их скарифицировали. ФАС применяли по фону обработки нитрагином.

В исследованиях использовали препарат с иммунопротекторным, антистрессовым и росторегулирующим воздействием Мивал-Агро (д.в. – орто-крезоксипуксусной кислоты триэтаноламинавая соль – 760 г/кг и 1-хлорметилсилатран – 190 г/кг), органоминеральное удобрение Гумисол-М [5] и коммерческий препарат клубеньковых бактерий Нитрагин на основе хемотрофных бактерий *Rhizobium galegae*. Обработку семян Нитрагином и ФАС проводили в день посева путём механического перемешивания их с растворами препаратов.

По вариантам опыта проводили фенологические наблюдения за наступлением фаз развития (полные всходы, стеблевание, бутонизация, цветение), определяли динамику накопления сухого вещества по фазам развития, площадь листьев, фотосинтетический потенциал, структуру урожая:

- сырая и абсолютно сухая масса по органам растений. Сухая масса определялась путём высушивания растительных проб в сушильном шкафу до постоянного веса в течение 8 часов при температуре 105 °С;
- площадь листьев определялась методом высечек [8].

На основании полученных данных рассчитывались:

- динамика нарастания листовой поверхности, тыс. м²/га;
- нарастание сухой биомассы, т/га;

– фотосинтетический потенциал – суммарный показатель площади листьев за вегетационный период.

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами с помощью встроенного пакета EXCEL (MS Office 2007).

Результаты и их обсуждение

Энергия прорастания семян растений и их всхожесть являются одними из важнейших факторов, обеспечивающих надежное формирование травостоя сельскохозяйственных культур, а для бобовых – фотосинтетического аппарата. Для оптимизации этих параметров можно использовать различные способы предпосевной подготовки семян и, в частности, обработку их ФАС. При этом важной задачей является определение оптимальных концентраций применения препаратов.

В лабораторном эксперименте энергия прорастания и всхожесть семян достоверно повышалась при их обработке ФАС только в определённых концентрациях (табл. 1).

Установлено, что оптимальными являются концентрации растворов ФАС 0,01% – для Мивал-Агро и 1% – для Гумисол М. Эти концентрации были использованы при закладке полевого опыта.

Обработка биопрепаратом (только клубеньковыми бактериями) без обработки стимуляторами роста в первый год жизни обычно не даёт существенной прибавки [9], а иногда приводит к угнетению растений за счёт оттока пластических веществ к корням для формирования симбиотического аппарата. Кроме того, козлятник восточный, ввиду своих биологических особенностей в первый год жизни

Таблица 1

Влияние ФАС на энергию прорастания, и лабораторную всхожесть семян (%)

Варианты	Энергия прорастания	Лабораторная всхожесть
1. Контроль	41,0	66,5
2. Нитрагин	41,0	64,0
3. Нитрагин+ Мивал-Агро 0,01%	45,5*	69,0*
4. Нитрагин+ Мивал-Агро 0,025%	41,5	67,0
5. Нитрагин+ Мивал-Агро 0,05%	44,0	65,5
6. Нитрагин+ Мивал-Агро 0,1%	43,0	68,5
7. Нитрагин+ Мивал-Агро 0,2%	42,5	64,0
8. Нитрагин+ Гумисол-М 0,01%	46,0*	69,0
9. Нитрагин+ Гумисол-М 0,03%	45,5	69,5
10. Нитрагин+ Гумисол-М 1%	49,5*	73,5*
11. Нитрагин+ Гумисол-М 3%	47,5*	70,0*
12. Нитрагин+ Гумисол-М 6%	43,5	68,5

*Достоверно отличается от контроля при $P \leq 0,95$

Таблица 2

Влияние препарата клубеньковых бактерий и физиологически-активных соединений на развитие фотосинтетического аппарата козлятника восточного

Вариант	Площадь листьев, тыс. м ² /га			Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² х дней/га			Высота растений, см		
	1 г.ж.	2 г.ж.		1 г.ж.	2 г.ж.		1 г.ж.	2 г.ж.	
		1 укос	2 укос		1 укос	2 укос		1 укос	2 укос
Контроль – без обработки	4,8	4,4	4,3	197	180	172	37,5	40,0	37,0
Обработка нитрагином	4,4	4,4	4,3	180	196	185	38,0	47,0	44,0
Обработка семян нитрагин + Гумисол-М	6,8	6,8	6,6	271	271	265	40,0	55,0	53,0
Обработка семян нитрагин + Мивал-Агро	5,2	5,2	5,0	213	213	201	39,8	51,0	49,0
Обработка семян нитрагин + Гумисол-М и посевов Гумисол-М	6,8	6,8	6,6	278	277	269	44,0	60,0	47,0
Обработка семян нитрагин + Мивал-Агро и посевов Мивал-Агро	5,2	5,5	5,0	213	235	205	39,0	50,0	48,0
НСР ₀₅	1,1	0,9	1,0	47	22	27	2,8	7,0	8,5

Таблица 3

Продуктивность козлятника восточного первого и второго года жизни, т/га сухой массы

Вариант	1 г.ж	2 г.ж.		
		1 укос	2 укос	сумма за 2 укоса
Контроль – без обработки	0,68	1,77	1,28	3,05
Обработка нитрагином	0,68	2,05	1,42	3,47
Обработка семян нитрагин + Гумисол М	1,19	2,34	1,38	4,65
Обработка семян нитрагин + Мивал-Агро	0,71	2,84	1,81	3,72
Обработка семян нитрагин + гумисол М и посевов Гумисол М	1,21	2,97	1,74	4,71
Обработка семян нитрагин + Мивал-Агро и посевов Мивал-Агро	0,71	2,12	1,42	3,54
НСР ₀₅	0,11	0,21	0,13	0,30

не формирует полноценного укоса и развивается достаточно медленно.

На опытном участке козлятник восточный уже возделывался в прошлые годы, поэтому эффект от инокуляции Нитрагином был незначительный (табл. 2). Так, в первый год жизни обработка нитрагином и Мивал-Агро (как семян, так и вегетирующих растений)

на его фоне не обеспечили достоверно более сильного развития фотосинтетического аппарата растений козлятника. Только обработка семян Гумисол-М обеспечила достоверное повышение высоты растений, площади листьев, фотосинтетического потенциала посева.

Во второй год жизни растений козлятника действие обработок нитрагином и ФАС

имело ту же закономерность, что и в первый год – наиболее эффективно было применение Гумисол-М (табл. 2). При этом следует отметить, что такой прием как опрыскивание посевов в критическую фазу развития растений (стеблевание) не оказал влияния на данные показатели, что, вероятно, объясняется благоприятными для развития растений козлятника условиями в годы проведения исследований.

Конечным показателем эффективности действия нитрагина и ФАС является продуктивность растений, так как этот показатель отражает весь комплекс действующих факторов (табл. 3).

Продуктивность первого года жизни растений козлятника не имеет хозяйственного значения ввиду очень низкого уровня. Однако учет позволил выявить, что она напрямую связана с развитием фотосинтетического аппарата растений. Достоверное превышение над стандартом было получено так же в варианте с обработкой Гумисол-М. Это позволяет сделать предположение, что благодаря более быстрому и мощному развитию растений в первый год жизни их продуктивность на следующий год будет так же выше.

Результаты учетов продуктивности во второй год жизни подтвердили данное предположение – максимальная продуктивность сухой массы получена в вариантах с применением Гумисол-М и составила 4,65...4,71 т/га в сумме за 2 укоса, обеспечив прибавку к контрольному варианту 54,4%. В остальных вариантах опыта продуктивность посевов козлятника была так же выше, чем в контрольном варианте на 13,7–21,9% соответственно.

Дополнительное применение ФАС по вегетирующим растениям не оказало достоверно значимого влияния на продуктивность растений.

Заключение

Таким образом, полученные результаты говорят о высокой эффективности примене-

ния ФАС. При обработке семян на фоне нитрагинизации обеспечивается лучшее развитие фотосинтетического аппарата и повышается продуктивность посевов козлятника восточного. Наиболее эффективно применение препарата Гумисол-М, который обеспечивает прибавку продуктивности по сухой массе на 54,4%, что связано с лучшим развитием растений уже в первый год жизни. Сочетание обработки семян с обработкой посевов в критическую фазу развития растений (стеблевание) в благоприятных условиях для роста культуры не обеспечивает существенного увеличения продуктивности и является неэффективным приёмом.

Литература

1. Боброва А.Д. Углеводы некоторых интродуцированных кормовых растений // Шестой симпозиум по новым кормовым растениям. Саранск. 1973. С. 64–65.
2. Вавилов П.П., Кондратьев А.А. Козлятник восточный или галега восточная // Новые кормовые культуры. М.: Россельхозиздат, 1975. С. 227–246.
3. Филатов В.И., Сагирова Р.С.. Галега Восточный (*Galega orientalis* Lam.) в Восточной Сибири Москва. 2006. 82 с.
4. Вавилов П.П., Райг Х.А. Возделывание и использование козлятника восточного. Л.: Колос, 1982. 72 с.
5. Шаповал О.А., Вакуленко В.В., Прусакова Л.Д., Можарова И.П.. Регуляторы роста растений в практике сельского хозяйства М.: ВНИИА, 2009. 60 с.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 313 с.
7. Вавилов П.П., Филатов В.И., Яртиева Ж.А. Козлятник восточный // Рекомендации по технологии выращивания новых силосных культур на корм и семена. М.: Колос, 1982. С. 30–34.
8. Виктор Д.П. Малый практикум по физиологии растений. М.: Высшая школа. 1969. 119 с.
9. Кожемяков А.П., Тихонович И.А. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве // Докл. РАСХН. 1998. № 6. С. 7–10.

Мхи естественных среднетаёжных растительных сообществ южной части Республики Коми

© 2010. Г. В. Железнова, д.б.н., в.н.с., Т. П. Шубина, к.б.н., ученый секретарь, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, e-mail: zheleznova@ib.komisc.ru, tshubina@ib.komisc.ru

В статье приводятся сведения о листостебельных мхах естественных среднетаёжных растительных сообществ, расположенных в пределах шести особо охраняемых природных территорий южной части Республики Коми. Всего в заказниках обнаружено 140 видов листостебельных мхов, относящихся к 31 семейству и 75 родам. Проведён экологический анализ, показаны особенности распространения мхов в естественных растительных сообществах. Выявлены виды, индицирующие уникальные ценозы.

Studies were carried out on six reserve territories of middle taiga in the southern part of the Komi Republic. 140 species of mosses from 31 families and 75 genera have been found. The taxonomic and ecological structures of bryophyte flora are analyzed. The distributions of bryophytes nativity vegetation communities of reserves are discussed in. Also the data of indicator mosses are presented.

Ключевые слова: листостебельные мхи, особо охраняемые природные территории, индикаторные виды

Key words: mosses, reserve territories, indicator mosses

Одним из наиболее важных вопросов сохранения природной среды является определение показателей стабильности и возможных путей развития растительных сообществ. Изучение этих процессов удобнее всего проводить на особо охраняемых природных территориях (далее – ООПТ). Основными показателями устойчивого состояния растительных сообществ являются количественные и качественные характеристики видового разнообразия. Важны подробные сведения о каждой из групп растений, представленной на данной территории. Мохообразные, в частности, листостебельные мхи, являются неотъемлемым компонентом таёжных ценозов и часто выступают эдификаторами и доминантами напочвенного покрова. Флористические и экологические данные о листостебельных мхах могут быть использованы для решения многих теоретических и практических экологических вопросов, в том числе – охраны окружающей среды и при проведении мониторинговых исследований. Кроме того, своеобразие экологии мхов, их приуроченность к специфическим экотопам делает эту группу высших растений хорошими индикаторами экологических режимов растительных комплексов [1, 2]. При этом индикаторами могут выступать виды,

занесенные в региональные и международные Красные книги [3, 4].

В период с 2003-го по 2006 г. в южной части Республики Коми (далее – РК) были проведены специальные бриологические исследования. Изучение мхов велось в пределах шести ООПТ (табл. 1), которые изначально создавались на нетронутых хозяйственной деятельностью равнинных участках, в пределах которых сохранился достаточно большой экологический спектр местообитаний с естественной растительностью.

Для сбора материала и выявления полного бриофлористического состава применялся традиционный маршрутный метод. Все коллекции бриофитов (более 1300 образцов) хранятся в Гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Названия мхов класса Briopsida даны в соответствии со «Списком мхов восточной Европы и Азии» [5]. Номенклатура сосудистых растений указана по С. К. Черепанову [6]. Особенности распределения видов листостебельных мхов рассмотрены в следующих основных типах растительности: леса (еловые, сосновые, мелколиственные), луга (пойменные и суходольные), болота (низинные, переходные и верховые). Изучались также мхи, произрастающие в прибрежной и водной среде и на антропо-

погенно и естественно нарушенных участках. В соответствии с этим были выделены группы мхов следующих местообитаний: лесных, луговых, болотных, прибрежно-водных, нарушенных. По приуроченности к определенным субстратам различаются группы мхов напочвенного покрова или эпигейные виды, гниющей древесины или эпиксильные виды, коры живых деревьев или эпифитные виды (к последним относятся мхи, поселяющиеся как на основаниях стволов, так и на стволах выше отметки 1 м).

Изученный район входит в полосу среднетаежных лесов Вычегодско-Печорской подпровинции Североевропейской таежной провинции [7]. Растительный покров на территории заказников представлен хвойными и мелколиственными лесами, а также небольшими по площади болотными и луговыми участками. Хвойные леса образованы сосновыми и еловыми сообществами, в древостое которых присутствуют как хвойные деревья – ель (*Picea obovata*), сосна (*Pinus sylvestris*), пихта (*Abies sibirica*), так и лиственные – береза (*Betula pubescens*, *B. pendula*), осина (*Populus tremula*), иногда ольха серая (*Alnus incana*), рябина (*Sorbus aucuparia*), черёмуха (*Padus racemosa*) и ивы (*Salix viminalis*, *S. dasyclados* и др.). Мелколиственные леса формируются березой и осинкой. Наиболее ценные и высокопродуктивные массивы коренных спелых и припевающих ельников сосредоточены в лесном заказнике «Юил». Самым распространенным типом естественной растительности на территории изученных заказников являются леса. На большей части ООПТ преобладают молодые и средневозрастные еловые, берёзовые и осиновые сообщества. В лесах заказни-

ков произрастают редкие, охраняемые в Республике Коми, орхидеи – башмачок пятнистый и настоящий [4].

Показатели систематического разнообразия листостебельных мхов исследованных ООПТ представлены в таблице 2. Из 140 обнаруженных видов листостебельных мхов, относящихся к 31 семейству и 75 родам, общими для шести заказников являются восемь видов. Среди них есть мхи с очень широким экологическим диапазоном (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*), олиго-мезотрофные виды (*Polytrichum commune*, *Aulacomnium palustre*, *Dicranum fuscescens*), мезо-эвтрофные (*Plagiomnium ellipticum*, *Climacium dendroides*, *Calliergon cordifolium*).

Более высокое таксономическое разнообразие листостебельных мхов было зарегистрировано во втором по величине занимаемой площади заказнике «Порубский» и в «Важъелью» (пятое место по величине среди заказников). Распространение листостебельных мхов в пределах заказников чаще всего ограничивается особенностями расчленения рельефа, наличием субстратов, пригодных для заселения мхами, а также факторами увлажнения и освещения. В заказнике «Порубский» значительные площади заняты мелколиственными и хвойными лесами, характеризующимися наиболее разнообразными субстратами (почва, гниющая древесина, стволы и комли деревьев, корни вывороченных и живых деревьев, нарушенные участки почвы). В заказнике «Важъелью», помимо лесных местообитаний, отмечены ключевые болота, обогащающие флору листостебельных мхов специфическими видами.

Еловые леса, сформированные на территории заказников, отличаются не только са-

Таблица 1

Сведения об ООПТ южной части Республики Коми

№ п/п	Название ООПТ	Месторасположение ООПТ	Площадь (га)
1	Комплексный заказник «Важъель-ю»	Долина р. Сысола (бассейн р. Вычегда), 61°37' с.ш. – 50°40' в.д.	1980
2	Комплексный заказник «Верхне-Локчимский»	Долина р. Локчим (бассейн р. Вычегда) 61°25' - 61°31' с.ш. – 52°07' - 52°31' в.д.	42422
3	Лесной заказник «Юил»	Долина р. Сысола (бассейн р. Вычегда), 61°29' - 61°34' с.ш. – 50°30' в.д.	3057
4	Лесной заказник «Порубский»	Долина р. Луза (бассейн р. Сев. Двина), 60°40' - 60°55' с.ш. – 48°40' - 49°00' в.д.	11798
5	Флористический заказник «Сыктывкарский»	Долина р. Сысола (бассейн р. Вычегда), 61°34' с.ш. – 50°30' в.д.	167
6	Заказник «Болото Донты»	Долина р. Вычегда), 61°38' с.ш. – 53°52' - 54°01' в.д.	7941

Таблица 2

Показатели таксономического разнообразия видового состава листостебельных мхов
ООПТ южной части Республики Коми

Показатель	ООПТ					
	«Важъель-ю»	«Верхне-Локчимский»	«Юил»	«Порубский»	«Сыктыв-карский»	«Болото Дон-ты»
Число видов	85	70	70	88	62	37
Число родов	58	37	45	54	42	20
Число семейств	29	24	23	27	22	13

мым разнообразным видовым составом мохообразных (36 видов), но и хорошо развитым напочвенным покровом из листостебельных мхов. Высокие значения проективного покрытия мхов (от 70 до 95%) отмечены для ельников кустарничково-зеленомошных, кустарничково-моховых, кустарничково-хвощево-моховых с *Cypripedium calceolus* и разнотравно-злаковых. Эти лесные сообщества наиболее характерны для подзоны средней тайги. Несмотря на хорошее развитие мохового покрова, разнообразие мхов в еловых кустарничково-зеленомошных лесах снижается до 7-9 видов. В напочвенном покрове доминируют типичные таежные виды – *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Dicranum scoparium*. Помимо перечисленных мхов на почве произрастают также *Rhytidiadelphus subpinnatus*, *Ptilium crista-castrensis* и виды, характерные для заболачивающихся мест – *Polytrichum commune*, *Sphagnum girgensohnii*. На гниющей древесине отмечен *Leskea polycarpa* – вид чаще всего встречающийся на коре и корнях, покрытых гумусом. На коре поваленных деревьев нередко произрастают и эпифиты (*Pylaisia polyantha*). На комлях поселяются *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Plagiothecium laetum*, *Pohlia nutans*, *Dicranum fuscescens*, *Brachythecium starkei*, *B. reflexum*, *Tetraphis pellucida*. Кора старых осин, неоднократно отмеченных в кустарничково-зеленомошных еловых сообществах, является самым заселяемым субстратом по числу видов листостебельных мхов среди других пород деревьев. На комлях осин всегда растут как эпиксильные и эпигейные, так и эпифитные мхи. Типичные эпифиты, среди которых *Pylaisia polyantha*, *P. selwynii*, *Orthotrichum speciosum*, регистрируются, в основном, в верхних частях стволов. На корнях упавших елей с остатками земляного кома часто встречаются мхи, характерные для комлей ели, а на незадернованных участках почвы, образу-

ющихся на месте вывалов, поселяются пионерные олиго-мезотрофные виды – *Pogonatum urnigerum*, *Dicranella heteromalla*, *Polytrichum juniperinum*.

Наибольшее количество листостебельных мхов (29 видов) зарегистрировано в ельниках разнотравных. Моховой покров развит слабо (ОПП от 7 до 10%), почти не выражен. Мхи, не выдерживая конкуренции со стороны сосудистых растений, заселяют лишь свободные местообитания. На почве небольшими куртинками встречаются *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* и виды, предпочитающие богатые почвы, – *Rhytidiadelphus triquetrus*, *R. subpinnatus*, *Climacium dendroides*, *Rhodobryum roseum*, *Plagiomnium medium*. Незадернованные участки, образовавшиеся после вывалов, в сухих местах зарастают эпигейными мохообразными, относящимися к мезо- (*Pogonatum urnigerum*) и ксеромезофитам (*Ceratodon purpureus*), в сырых – гигромезофитами (*Polytrichum commune*, *Plagiomnium medium*). На почвенном коме, на корнях упавших деревьев поселяются эпиксильные мхи – *Brachythecium salebrosum*, *B. starkei*, *Campylidium sommerfeltii*, *Plagiothecium laetum* и др. Самый разнообразный набор видов характерен для таких субстратов, как комли деревьев и гниющая древесина. На основаниях елей и берёз регистрируются почти одни и те же листостебельные мхи из группы эпигейных видов – *Pleurozium schreberi*, *D. scoparium*, *Ptilium crista-castrensis* и эпиксильных – *Sanionia uncinata*, *Dicranum fuscescens*, *Plagiothecium laetum*, *Brachythecium reflexum*. Упавшие стволы и пни почти сплошь покрыты мхами, многие из которых встречаются и на комлях деревьев.

Заболачивающиеся берёзово-еловые кустарничково-сфагново-долгомошные лесные сообщества характеризуются хорошо развитым моховым покровом (ОПП до 80-90%), в котором отмечается возрастание роли сфагновых видов. К числу господствующих относятся *Polytrichum*

commune, *Sphagnum russowii*, в примеси к которым встречаются *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*. На участках с застойным увлажнением нередко пятна *Sphagnum angustifolium*, *Dicranum majus*, *Aulacomnium palustre*, *Rhizomnium pseudopunctatum*, а на более сухих – *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Dicranum polysetum*, *Ptilium crista-castrensis*. В перечисленных растительных сообществах набор видов мхов, поселяющихся на валеже и комлях деревьев, такой же, как и в хвойных лесах зеленомошного типа.

Берёзово-еловые крупнотравные леса, формирующиеся в поймах рек, отличаются от рассмотренных ранее берёзово-еловых насаждений, прежде всего, меньшей степенью развития мохового покрова и большим разнообразием листостебельных мхов (22 вида). Напочвенные мхи представлены в основном видами, указывающими на богатство пойменных почв и относящимися к разным экологическим группам – от гидрофитов до мезофитов. Среди них отмечены гидро- и гидрогигрофиты, *Sphagnum squarrosum*, *Calliergon giganteum*, *Pseudobryum cinclidioides*, а также гигро- и гигромезофиты, *Calliergon cordifolium*, *Calliergonella lindbergii*, *Plagiomnium ellipticum*, *P. medium*, *Climacium dendroides*. На участках со средней обеспеченностью влаги в пойменных берёзово-еловых сообществах растут мезофиты – *Cirriphyllum piliferum*, *Rhytidiadelphus subpinnatus*, *R. triquetrus*, *Ptilium crista-castrensis*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*. Упавшие стволы и пни частично покрыты мхами – *Ptilium crista-castrensis*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Sanionia uncinata*, *Brachythecium reflexum*, *B. salebrosum*, *B. starkei*, *Campylidium sommerfeltii*, *Dicranum fuscescens*, *D. fragilifolium*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Climacium dendroides*. На комлях деревьев поселяются те же мхи, что на почве и гниющей древесине.

Наименьшим видовым составом листостебельных мхов (9 видов) характеризуются сосновые кустарничково-зеленомошные леса с примесью берёзы, ели и осины, проективное покрытие мхов в которых составляет от 60 до 90%. По набору видов мхов к еловым и сосновым кустарничково-зеленомошным лесам близки берёзово-еловые кустарничково-зеленомошно-долгомошные насаждения, находящиеся на ранних стадиях заболачивания. Проективное покрытие бриофитов в них высокое и составляет от 70 до 80%. В напочвенном покрове среди доминирующих *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* отмечается

также пионер заболачивания – *Polytrichum commune*, появляются пятна *Sphagnum russowii* и *Sphagnum flexuosum*. В качестве примеси всегда присутствуют *Ptilium crista-castrensis* и *Dicranum polysetum*.

Мелколиственные леса представлены, в основном, березовыми и осиновыми вторичными насаждениями. Березовые и осиновые леса на территории заказника имеют хорошо развитый подлесок, представленный чаще всего рябиной, шиповником (*Rosa acicularis*), смородиной, жимолостью. Моховой покров в большинстве мелколиственных сообществ выражен слабо (ОПП до 10–15%) и угнетен травянистым покровом и опадом березы, осины.

Хорошо развит напочвенный покров в заболоченных березовых хвощево-вахтОВО-и хвощево-сфагновых лесах (ОПП мхов от 80 до 95%). Основными доминантами мохового покрова являются сфагновые (*Sphagnum girgensohnii*, *S. warnstorffii*) и бриевые мхи (*Polytrichum commune*, *Aulacomnium palustre*, *Climacium dendroides*, *Pleurozium schreberi*). В обводненных понижениях, а особенно в местах с проточным увлажнением, всегда присутствуют *Tomenthypnum nitens*, *Paludella squarrosa*, *Helodium blandowii*, *Cratoneuron filicinum*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Plagiomnium ellipticum*, *P. medium*, *Brachythecium mildeanum*. Комли берёз массово заселяют *Aulacomnium palustre*, *Climacium dendroides*, *Pleurozium schreberi*, *Rhizomnium magnifolium*, *Sphagnum girgensohnii*, *S. warnstorffii*, *Plagiomnium medium*. Постоянными обитателями гниющей древесины в заболоченных березняках являются *Sanionia uncinata*, *Climacium dendroides*, *Aulacomnium palustre*, *Drepanocladus aduncus*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum fragilifolium*.

В разнотравных березняках моховой покров выражен слабо, его покрытие варьирует от 5 до 7%. Небольшие куртинки из *Rhytidiadelphus triquetrus*, *R. subpinnatus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum polysetum* и *D. scoparium* образуются на сухих или умеренно влажных участках, а на более сырой почве поселяются *Plagiomnium ellipticum*, *P. medium*, *Polytrichum commune*, *Climacium dendroides*. Гниющая древесина является более заселяемым субстратом, чем почва, поскольку здесь всегда присутствуют не только эпиксильные, но и напочвенные виды мхов. Чаще других видов на валеже и пнях в березняках разнотравных растут *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Pohlia nutans*, *Polytrichum juniperinum*,

Plagiothecium laetum, *P. denticulatum*, *Sanionia uncinata*, *Brachythecium salebrosum*, *Dicranum fuscescens*, *D. scoparium*, *D. polysetum*.

В осиновых лесах моховой покров неоднороден. В разнотравных осинниках ОПП мхов составляет от 10% (в снытевых осиновых сообществах) до 40% (в кустарничково-разнотравных). В осиновых лесах видовой состав листостебельных мхов достаточно разнообразен (18 видов). Только кустарничково-зеленомошные осиновые леса отличаются хорошо развитым напочвенным покровом (ОПП мхов 60–80%). Эпигейные мхи в перечисленных сообществах осины представлены почти одним и тем же набором видов – *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*. В сырых понижениях часто растут *Plagiomnium ellipticum*, *P. medium*, *Climacium dendroides*, реже – *Polytrichum commune* и мезотрофные виды рода *Sphagnum*. На гниющей древесине в зависимости от степени её разложения фиксируются различные группы мхов: эпигейные, эпифитные и эпиксильные. На упавших стволах регистрировались практически все виды эпифитных мхов. Из эпигейных мхов чаще всего отмечались *Dicranum polysetum*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium cuspidatum*, а из видов, растущих преимущественно на гниющей древесине, массово встречались *Brachythecium salebrosum*, *Amblystegium serpens*, *Campylidium sommerfeltii*, *Dicranum fuscescens*, *Plagiothecium laetum*, *Pohlia nutans*, *Sanionia uncinata*. Комли осин обрастают целыми сплетениями из *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Climacium dendroides*, *Platydictya subtilis*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Sanionia uncinata*, *Thuidium recognitum*, *Isopterygiopsis pulchella*, из которых выше по стволу поднимается лишь *Sanionia uncinata*. Кора осин на высоте от одного до двух метров заселена немногими мхами, большинство из которых являются типичными эпифитами в лесах таёжной зоны – *Pylaisia polyantha*, *P. selwynii*, *Orthotrichum speciosum*, *O. obtusifolium*, *Neckera pennata*. Перечисленные виды способны выдерживать неблагоприятные условия окружающей среды, особенно в зимний период года, и произрастать на стволах осин и выше двух метров. Например, *Pylaisia polyantha* и *Neckera pennata* отмечались на отметках до трех метров, а представители рода *Orthotrichum* даже выше четырех метров. Эпифиты селятся на коре деревьев в тех местах, где больше всего задержи-

вается влаги и снега, т.е. на внешней стороне наклоненных стволов и ветвей. В осиновых чернично-зеленомошных сообществах обнаружены редкие виды мхов (*Pylaisia selwynii*, *Neckera pennata*), находящиеся под охраной во многих странах Европы. Эти виды в нашем регионе растут исключительно на стволах старых осин и поэтому могут рассматриваться как индикаторы старовозрастных лесов.

На территории заказников были обследованы и болотные ценозы. Болота в левобережье р. Сысолы, в основном, низинного типа с проточным увлажнением, часто облесенные берёзой. По окраинам вахтово-осоковых и осоково-сфагновых болот растут не только болотные, но и лесные виды мхов, среди которых *Timmia bavarica* и *Dicranum majus* отмечены в пределах ООПТ только в таких местообитаниях. В мочажинах обычны широко распространенные виды – *Sphagnum riparium*, *S. fallax*, *Warnstorfia exannulata*, *Calliergon giganteum*, *C. cordifolium*, а на участках болот с проточным увлажнением обильны индикаторы ключевого питания – *Cratoneuron filicinum*, *Helodium blandowii*, *Paludella squarrosa*, *Palustriella commutata*, *Tomenthypnum nitens*. В центре болот, в обводненных местах, встречаются *Warnstorfia exannulata*, *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Pseudobryum cinclidioides*, *Calliergonella cuspidata* и некоторые другие виды мхов, характерные для почв, обогащённых минеральными веществами. Видовой состав листостебельных мхов заболоченных хвощево-вахтово- и хвощево-сфагновых берёзовых лесов идентичен таковому сменяющих их во времени низинных болот ключевого питания. Для низинных осоково-разнотравно-гипново-сфагновых болот, формирующихся в долинных экотопах в притеррасных понижениях, характерны такие виды, как *Sphagnum squarrosum*, *Aulacomnium palustre*, *Rhizomnium magnifolium*, *Plagiomnium ellipticum*, *Bryum pseudotriquetrum*.

Из открытых местообитаний были исследованы также луга, вырубки, просеки. Крупнотравные злаковые луга расположены преимущественно в поймах водотоков. Разнообразии мхов луговых местообитаний небольшое. Здесь произрастают представители родов *Plagiomnium*, *Bryum*, *Brachythecium*, *Rhodobryum* и *Rhytidiadelphus*. В поймах рек на разнотравно-злаковых луговинах обычны влаголюбивые мхи – *Calliergon cordifolium*, *Climacium dendroides*, *Calliergonella lindbergii*, *Plagiomnium ellipticum*, *Philonotis fontana* и некоторые другие виды.

На просеках и вырубках моховой покров всегда выражен. Однако в зависимости от степени увлажнения почвы видовой состав листостебельных мхов часто отличается от окружающих растительных сообществ. На плохо дренируемых участках всегда присутствуют *Sphagnum girgensohnii*, *S. capillifolium*, *Aulacomnium palustre*, *Polytrichum commune*, *Polytrichastrum longisetum*, *Warnstorfia exannulata*, *Calliergonella lindbergii*, что способствует дальнейшему заболачиванию. Пионерами зарастания оголённых глинистых почв выступают *Dicranella subulata*, *Ceratodon purpureus*, *Pogonatum urnigerum*, *Bryum spp.* Почти повсеместно на вырубках встречается *Pleurozium schreberi*. На обнаженном грунте помимо перечисленных выше типичных пионерных видов поселяются также мхи, предпочитающие обнаженный грунт, – *Atrichum tenellum*, *Pohlia melanodon* и *Ditrichum cylindricum*.

Обочины и колеи лесных дорог зарастают мхами преимущественно из окружающих растительных сообществ. На сухих и умеренно увлажненных задернованных участках почвы обычны лесные виды (*Polytrichum juniperinum*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Brachythecium reflexum*, *B. salebrosum*), а на сырых – болотные (*Aulacomnium palustre*, *Polytrichum strictum*). На песчаной почве поселяются мхи, характерные для нарушенных, оголённых грунтов – *Polytrichum piliferum*, *Ceratodon purpureus*, *Pogonatum urnigerum*, *Barbula unguiculata*. Активное участие в зарастании трансформированных местообитаний принимают *Aulacomnium palustre*, *Cirriphyllum piliferum*, *Dicranum scoparium*. Интересна находка в заказнике «Сыктывкарский» *Pohlia andalusica* – вида, характерного для незадернованных сырых песчаных почв таёжной зоны, но немногочисленного в нашем регионе. Ближайшее место произрастания *Pohlia andalusica* – в Печоро-Илычском заповеднике.

В прибрежноводных местообитаниях весьма обычны влаголюбивые эпигейные виды *Calliergonella lindbergii*, *Calliergon cordifolium*, *Pseudobryum cinclidioides*, *Plagiomnium ellipticum*, поселяющиеся не только на почве, но и на покрытой наилком сырой древесине. На древесном субстрате в пойменных экотопах поселяются также эпиксильные (*Oncophorus wahlenbergii*, *Brachythecium salebrosum*, *Sanionia uncinata*, *Campylidium sommerfeltii*) и пионерные виды (*Ceratodon*

purpureus и *Leptobryum pyriforme*). В реках из водных видов обнаружены *Fontinalis antipyretica*, *Dichelyma falcatum*, *Leptodictyum riparium*, обитающие либо в воде, либо у самой кромки воды, прикрепляясь к древесине или камням.

По отношению к влажности все виды листостебельных мхов заказников относятся к девяти экологическим группам (табл. 3). В пяти ООПТ наиболее многочисленна группа мезофитов (от 31% в «Верхне-Локчимском» до 58% в «Сыктывкарском»). Лишь в заказнике «Болото Дон-ты» они уступают свои позиции гидрофитам. Мезофиты имеют широкое распространение в лесных и луговых сообществах, а также в нарушенных местообитаниях. Из мезофитов, образующих напочвенный покров в лесах, следует отметить *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Ptilium crista-castrensis*, *Dicranum scoparium*, *D. polysetum*. На лугах чаще всего отмечались такие виды, как *Climacium dendroides*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *R. subpinnatus*, *Rhodobryum roseum*, на нарушенных участках почвы – *Pogonatum urnigerum*, *Leptobryum pyriforme*, *Dicranella subulata*. Второй по количеству видов мхов является группа гигрофитов (от 16% в «Порубском» и «Сыктывкарском» до 35% в «Болото Дон-ты»). К типичным представителям гигрофитов в среднетаёжных заболоченных лесных и болотных сообществах относятся – *Aulacomnium palustre*, *Calliergon cordifolium*, *Calliergonella lindbergii*, *Sphagnum angustifolium*, *S. girgensohnii*, *S. capillifolium*, *S. russowii*, *S. magellanicum*. Ксеромезофиты *Vuxbaumia aphylla*, *Barbula unguiculata*, *Ceratodon purpureus*, *Syntrichia ruralis* характерны для нарушенных местообитаний, *Eurhynchiastrum pulchellum*, *Campyliadelphus chrysophyllus*, *Zygodon viridissimus* приурочены к коре лиственных деревьев в лесных сообществах, а *Polytrichum juniperinum* произрастает на бедных сухих почвах в сосняках. Мезоксерофиты представлены всего двумя видами – *Brachythecium albicans* и *Polytrichum piliferum*, последний из которых гораздо чаще встречается на изученной территории и разрастается на сухих песчаных почвах.

В целом, сырые местообитания предпочитают 47 видов листостебельных мхов, относящихся к группам гигро-, гидрогигро-, и мезогигрофитов (*Bryum pseudotriquetrum*, *Brachythecium mildeanum*, *Sphagnum centrale*, *Sphagnum squarrosum*, *S. girgensohnii* и др.) и составляющие 34% от общего состава мхов.

Таблица 3

Экологические группы листостебельных мхов ООПТ южной части Республики Коми

Показатель	ООПТ											
	«Важъель-ю»		«Верхне-Локчимский»		«Юил»		«Порубский»		«Сыктывкарский»		«Болото Дон-ты»	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Гидрофиты	5	5	4	6	2	3	4	5	3	5	1	6
Гигрогидрофиты	6	7	5	7	2	3	3	3	1	2	1	6
Гидрогигрофиты	4	4	1	1	2	3	4	5	–	–	2	12
Гигрофиты	16	20	15	21	14	20	14	16	10	16	6	35
Мезогигрофиты	3	4	2	3	2	3	5	6	2	3	–	–
Гигромезофиты	9	11	6	9	5	7	11	13	7	11	3	18
Мезофиты	36	42	31	44	40	57	38	43	36	58	4	24
Ксеромезофиты	5	5	5	7	3	4	7	8	3	5	–	–
Мезоксерофиты	1	1	1	1	–	–	2	2	–	–	–	–
Итого:	85	100	70	100	70	100	88	100	62	100	17	100

Примечание: А – количество видов, Б – %

Наши исследования также показали, что в подзоне средней тайги некоторые виды мхов можно использовать в качестве индикаторов. Так, в экотопах с избыточным увлажнением проточного характера, являющихся местами обитания редких и охраняемых представителей семейства орхидные, произрастают эвтрофные виды листостебельных мхов – *Tomenthypnum nitens*, *Paludella squarrosa*, *Helodium blandowii*. В старовозрастных лесах, не подвергавшихся в течение длительного времени вырубкам или пожарам, на стволах осин, имеющих возраст более 80 лет, очень часто встречаются редкие эпифитные мхи – *Pylaisia selwynii* и *Neckera pennata*. В Европе они находятся под угрозой исчезновения и отнесены к группе исчезающих уязвимых бриофитов [3]. Северные пределы произрастания *Neckera pennata* в лесах европейской части северо-востока России доходят до 63° с. ш. Существование немногочисленных популяций этих видов в исследованных лесах пока устойчивое.

Перечисленные виды мхов легко распознаются в полевых условиях, что является необходимым и очень важным атрибутом любого индикаторного вида.

Таким образом, изучение особенностей распределения мхов свидетельствует, что на их таксономическое разнообразие большое влияние оказывают богатство, степень, характер увлажнения почв и наличие субстратов, активно заселяемых мохообразными. В лесных равнинных сообществах шире всего представлена группа эпигейных или напочвенных мхов, большинство которых приу-

рочено к мезогигрофитным условиям. Группа эпифитов достигает своего максимального видового разнообразия в мелколиственных насаждениях. Наибольшее число видов мхов отмечено в еловых сообществах (36 видов). Листостебельные мхи играют большую ценолитическую роль в еловых, сосновых и осиновых кустарничково-зеленомошных (ОПП от 70 до 95%), заболоченных берёзово-еловых кустарничково-сфагново-долгомошных (ОПП от 80 до 90%), берёзовых хвоцево-вахтово- и хвоцево-сфагновых (ОПП мхов от 80 до 95%) лесах, а также на болотах. Наиболее распространенными являются восемь видов, имеющих различные экологические характеристики: *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* (виды с широким экологическим диапазоном), *Plagiomnium ellipticum* и *Climacium dendroides* (гигромезофитные мезо-эвтрофные виды), *Calliergon cordifolium* (гигрофитный мезо-эвтрофный вид), *Polytrichum commune* (гигромезофитный олиго-мезотрофный вид), *Aulacomnium palustre* (гигрофитный олиго-мезотрофный вид), *Dicranum fuscescens* (мезофитный олиго-мезотрофный вид).

Среди экологических групп мхов, выделенных по отношению к влажности, в рассмотренных растительных сообществах преобладающими являются мезофиты (37%) и гигрофиты (21%).

Приведенные сведения о количественном и качественном составе мхов типичных естественных среднетаёжных сообществ могут послужить основой для выявления состояния ценозов и уникальных ботанических объектов.

Литература

1. Максимов А.И., Хокканен Т. Биоразнообразие мохообразных старых еловых лесов биосферного заповедника «Северная Карелия», Финляндия // Освоение Севера и проблемы природовосстановления: Матер. IV Международ. конф. Сыктывкар. 1998. С. 117-118.
 2. Анищенко Л.Н. Биоразнообразие мохового покрова и перспективы его использования в фитоиндикации экосистем района хвойно-широколиственных лесов и европейской части Российской Федерации: Автореф. дис...докт. с.-х. наук. Брянск. 2009. 34 с.

3. Red Data Book of European Bryophytes. Trondheim. 1995. 291 p.
 4. Красная книга Республики Коми. Сыктывкар. 2009. 792 с.
 5. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al. Check-list of mosses of East Europe and Asia // Arctoa. 2006. V. 15. P. 1-131.
 6. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. 1995. 992 с.
 7. Растительность европейской части СССР. Л. 1980. 429 с.

УДК 574:574.3:582.475.4

Изменчивость индексов шишек сосны обыкновенной в популяциях Сысоло-Вычегодской равнины

© 2010. А. И. Видякин¹, д.б.н., в.н.с., С. Н. Санников², д.б.н., гл.н.с., профессор, И. В. Петрова², д.б.н., зам. директора,

¹Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, ²Ботанический сад УрО РАН, e-mail: les@aiv.kirov.ru, common@botgard.uran.ru

Изучена изменчивость фенотипических индексов шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Сысоло-Вычегодской равнине. Установлено, что классовые частоты индексов шишек в пределах региона исследований однородны, специфичны и статистически значимо отличаются от аналогичных рядов распределений на Северо-Двинской низменности и Северных Увалах.

Changeability of phenotypic indexes of cones of *Pinus sylvestris* L. on the territory of the Sisolo-Vichegodskaya Plain was considered. It is stated that class frequencies of cones within the region under investigation are homogeneous, specific and statistically differ from the analogous distribution rows in the North Dvina Lowland and the North Ridges.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, фенотипический индекс, географическая изменчивость

Key words: *Pinus sylvestris* L., phenotypic index, geographic changeability

Введение

Ключевой проблемой популяционной биологии является изучение структуры, дифференциации и границ природных популяций на различных хронологических уровнях их интеграции [1 – 3]. Один из путей её решения в обширных ареалах лесообразующих видов России основан на применении системы количественных междисциплинарных фено- и геногеографических методов, позволяющих выявить и оценить степень внутрипопуляционной однородности и межпопуляционной специфичности смежных дендроценозов [4]. При этом на первых этапах изу-

чения, в связи со сравнительной трудоёмкостью молекулярно-генетических исследований, достаточно информативными методами выявления популяционной структуры видов, в частности сосны обыкновенной, могут быть корректные методы морфофенотипического, особенно фенетического анализа.

Феногеографические исследования сосны обыкновенной на северо-востоке Русской равнины, проведённые нами ранее, показали, что популяционно-хронологическая структура вида на этой территории представляет собой трёхуровневую иерархическую систему, включающую популяции, группы популяций, миграционные комплексы групп популяций

[5 – 8]. Основными морфофенотипическими признаками-маркерами, дифференцирующими население вида *Pinus sylvestris* на группы популяций, являются аллометрические индексы формы шишек и апофизов шишек [9, 10].

Установлено, что в регионе, ограниченном на севере Северными Увалами, на западе р. Ветлугой, на юго-западе р. Волгой, на востоке и юго-востоке р. Камой, группы популяций формируются в пределах возвышенностей (Верхнекамской, Вятского увала), низменностей (Ветлужско-Марийской, Марийской, Прикамской) и равнин (Ветлужской, Марийской). Данный район относится к подзоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов.

Выявленная взаимосвязь структурной биохорологической организации вида с физико-географической спецификой его ареала может являться общевидовой закономерностью, что имеет важное значение при изучении популяционной структуры *P. sylvestris*. Для проверки этого предположения необходи-

мо проведение аналогичных феногеографических исследований в подзонах средней и северной тайги Русской равнины.

Целью настоящей работы является изучение изменчивости, однородности и специфичности индексов шишек сосны обыкновенной на Сысоло-Вычегодской равнине.

Объекты и методы

Район исследований находится между р. Вычегодой, р. Юг и Северными Увалами. По геоморфологическому районированию он относится к Сысоло-Вычегодской равнине (цит. по: [11, с. 198]), по лесорастительному районированию – к подзоне средней тайги [12]. Объектом исследований были «приспевающие и спелые» дендроценозы сосны 80-120-летнего возраста с полнотой древостоя не менее 0,5 и долей участия сосны в его видовом составе не менее 50–60%. На 13 пробных площадях (рис.) собрано по 10 шишек с 70-80 деревьев.

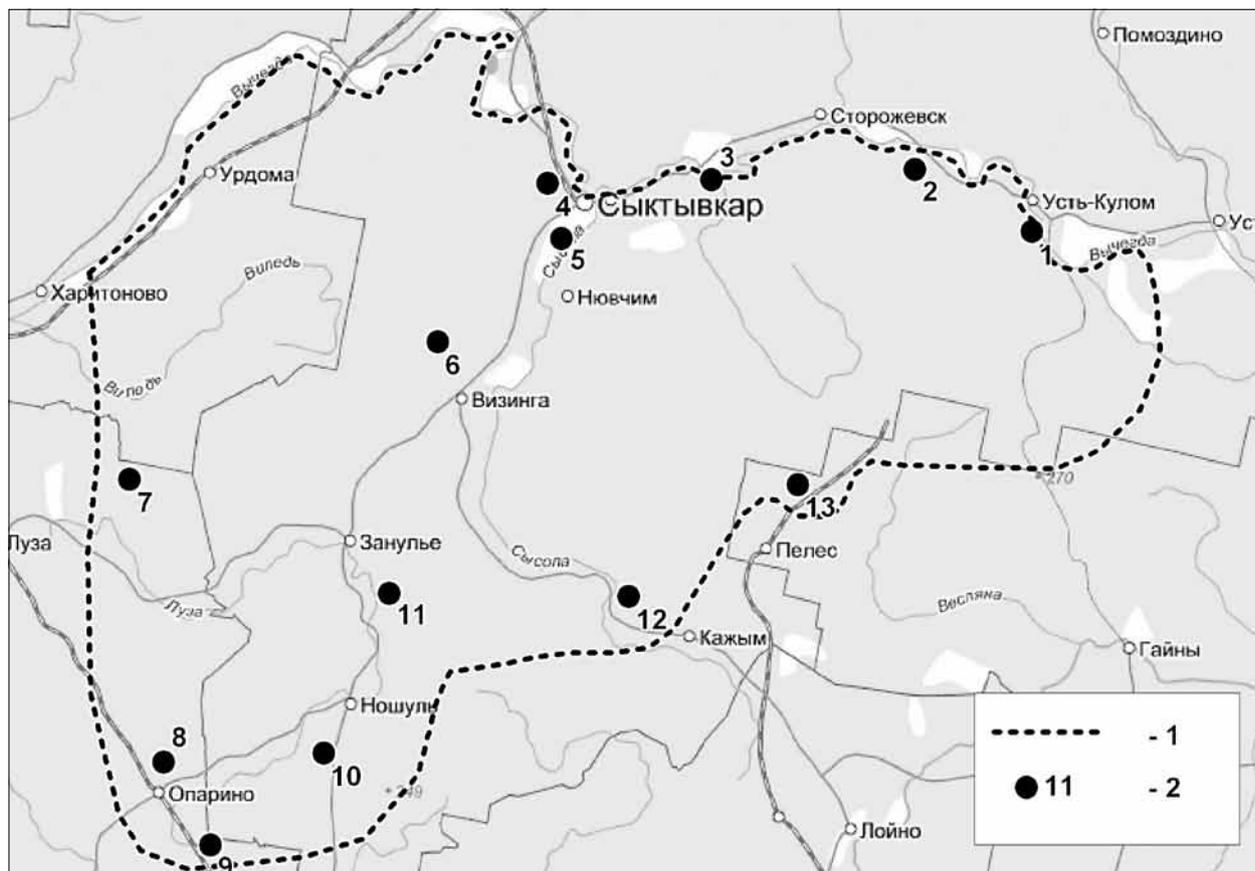


Рисунок. Карта-схема расположения мест заготовки шишек сосны обыкновенной на Сысоло-Вычегодской равнине.

1 – граница района исследований; 2 – место заготовки шишек и номер выборки. Место взятия выборок (лесхоз, лесничество): 1 – Усть-Куломский, Усть-Куломское; 2 – Усть-Куломский, Деревянское; 3 – Корткеросский, Маджское; 4 – Сыктывкарский, Эжвинское; 5 – Сыктывкарский, Краснозатонское; 6 – Сысольский, Чухломское; 7 – Лальский, Аникинское; 8 – Опаринский, Паломощное; 9 – Шабурский, Шадринское; 10 – Летский, Летское; 11 – Прилузский, Матяшское; 12 – Кажимский, Кажимское; 13 – Веслянский, Весёло-Борское

У всех шишек измеряли длину (L) и максимальный диаметр (D); затем их высушили при температуре +50°C [13] и готовили коллекцию семенных чешуй каждого дерева. В неё включали по две наиболее крупные семенные чешуи пяти шишек, вырезанные из их средней части (с освещённой стороны). У каждой семенной чешуи с помощью окуляр-микрометра измеряли длину передней (A₁) и задней (A₂) частей апофиза, ширину апофиза (B), а также высоту апофиза (H) штангенциркулем. На основании полученных данных для всех шишек каждого дерева вычисляли относительные индексы: формы шишек (ИФШ) – D/L, индекс формы апофиза шишек (ИФАШ) – H/B, индекс формы основания апофиза (ИФОА) – B/A, индекс формы передней части апофиза (ИФПЧА) – A₁/B, индекс расположения центра апофиза (ИРЦА) – A₁/A₂. Подробная методика измерения признаков и вычисления индексов изложена ранее [14].

Результаты и обсуждение

Средние значения аллометрических индексов и пределы их изменчивости в выборках в районе исследований сравнительно однородны (табл. 1). Например, среднее значение индексов выборок изменяется: по форме шишек – в пределах 0,46-0,47, форме апофиза – 0,38-0,44, форме основания апофиза – 0,88-0,96, форме передней части апофиза – 0,45-0,51, а по расположению центра апофиза шишек – 0,72-0,80. Выявленные преде-

лы изменчивости этих индексов характерны для всей территории северо-востока Русской равнины. По нашим данным, средние значения индексов варьируют в пространстве хаотично, соседние выборки могут характеризоваться совершенно различными параметрами этих признаков [5, 9, 10, 14]. Поэтому по средним значениям индексов в выборках выделить районы стабилизации этих признаков, а следовательно, и популяционно-хорологические подразделения вида невозможно.

Однако при одинаковых или очень близких средних значениях индексов выборки могут статистически значимо различаться между собой по классовым частотам рядов распределений и отражать генетическую гетерогенность *Pinus sylvestris* на различных уровнях структурной биохорологической организации вида [5, 9, 10, 15]. Для проведения такой оценки значения каждого изучаемого индекса каждого дерева той или иной выборки группировали по классам в соответствии с классовыми интервалами, выделенными согласно существующим рекомендациям [16, 17]. В итоге были получены эмпирические распределения частот по индексам формы шишек (табл. 2) и другим изучаемым индексам.

Сравнение рядов распределений частот показало, что вся совокупность выборок по каждому индексу статистически однородна, так как вычисленные значения χ^2 [18] по индексу формы шишек (ИФШ) равны 43,0, по индексу формы апофиза шишек (ИФАШ) – 41,2, индексу формы основания апофиза

Таблица 1

Средние значения и пределы изменчивости индексов шишек в выборках сосны обыкновенной на Сысоло-Вычегодской равнине

№ выборки	Средние значения и пределы изменчивости индексов				
	формы шишек	формы апофиза	формы основания апофиза	формы передней части апофиза	расположение центра апофиза
1	0,46(0,38-0,52)	0,41(0,24-0,63)	0,91(0,72-1,17)	0,50(0,33-0,71)	0,77(0,61-1,03)
2	0,46(0,40-0,52)	0,43(0,25-0,62)	0,93(0,72-1,16)	0,49(0,33-0,70)	0,76(0,60-1,06)
3	0,46(0,37-0,55)	0,42(0,24-0,63)	0,92(0,71-1,16)	0,49(0,36-0,69)	0,78(0,60-1,04)
4	0,47(0,39-0,53)	0,44(0,25-0,64)	0,94(0,73-1,18)	0,51(0,37-0,70)	0,79(0,62-1,04)
5	0,46(0,39-0,52)	0,42(0,25-0,64)	0,92(0,71-1,19)	0,50(0,34-0,69)	0,80(0,59-1,03)
6	0,47(0,40-0,54)	0,42(0,26-0,63)	0,92(0,73-1,15)	0,51(0,35-0,70)	0,78(0,61-1,04)
7	0,47(0,38-0,52)	0,42(0,25-0,65)	0,88(0,71-1,11)	0,52(0,36-0,68)	0,80(0,62-1,05)
8	0,47(0,41-0,55)	0,40(0,23-0,66)	0,90(0,72-1,16)	0,47(0,34-0,69)	0,72(0,57-0,98)
9	0,46(0,41-0,54)	0,38(0,26-0,57)	0,95(0,72-1,18)	0,47(0,33-0,71)	0,78(0,55-1,05)
10	0,47(0,41-0,55)	0,44(0,26-0,63)	0,88(0,74-1,27)	0,50(0,30-0,69)	0,78(0,60-1,07)
11	0,46(0,41-0,52)	0,42(0,25-0,60)	0,88(0,67-1,06)	0,51(0,40-0,76)	0,80(0,64-1,04)
12	0,47(0,41-0,57)	0,38(0,26-0,61)	0,96(0,74-1,22)	0,45(0,30-0,69)	0,75(0,62-1,01)
13	0,46(0,37-0,56)	0,43(0,24-0,61)	0,93(0,75-1,25)	0,46(0,36-0,69)	0,74(0,59-1,00)

Таблица 2

Частоты классов рядов распределений деревьев по индексу формы шишек сосны обыкновенной на Сысоло-Вычегодской равнине

№ вы- борки	Распределение деревьев по классам индекса формы шишек, шт.								
	Классы								Всего
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	1	13	18	21	13	0	0	66
2	0	1	16	24	25	4	0	0	70
3	1	4	12	24	19	7	4	0	71
4	0	2	10	22	25	10	1	0	70
5	0	1	7	28	27	7	0	0	70
6	0	0	10	25	20	10	4	0	69
7	0	1	7	19	27	15	1	0	70
8	0	3	6	25	19	15	2	0	70
9	0	2	10	29	18	9	3	0	71
10	0	0	7	25	23	6	3	0	64
11	0	0	9	28	15	11	0	0	63
12	0	3	10	17	18	9	5	1	63
13	0	1	5	21	27	12	4	1	71
всего	1	19	122	305	284	128	27	2	888

Таблица 3

Результаты оценки достоверности различий хорологически смежных групп популяций сосны обыкновенной по индексам формы шишек и апофиза семенной чешуи

Сравниваемые группы популяций	$\chi^2_{\text{факт.}}$ по индексам	
	формы шишек	формы апофиза
Сысоло-Вычегодская и Северо-Двинская	91,01	26,16
Сысоло-Вычегодская и Северо-Увальская	90,04	36,93

Примечание: $\chi^2_{0,05}=9,49$ $\chi^2_{0,01}=13,30$ $\chi^2_{0,001}=18,50$

(ИФОА) – 44,3, индексу формы передней части апофиза (ИФПЧА) – 28,1, индексу расположения центра апофиза (ИРЦА) – 30,9 при $\chi^2_{0,05} = 50,9$.

Поэтому можно провести статистическую оценку достоверности различий её с ранее выделенными группами популяций сопредельных территорий. Для этого использован критерий χ^2 , с помощью которого ряды распределений суммарных классовых частот по форме шишек (табл.2), форме апофиза шишек сосны обыкновенной района исследования сравниваются с аналогичными данными Северо-Двинской и Северо-Увальской групп популяций. Установлено, что различия между сравниваемыми вариантами статистически значимы (табл. 3).

Заключение

Таким образом, сосна обыкновенная произрастающая в пределах Сысоло-Вычегодской равнины, по всем изучаемым индексам статистически однородна. Однако она статистически значимо отличается по форме ши-

шек и форме апофиза семенной чешуи от хорологически смежных групп популяций Северо-Двинского и Северо-Увальского регионов. Так как изученные индексы шишек являются признаками-маркерами группово-популяционного уровня биохорологической структуры вида, можно предположить, что поселения сосны обыкновенной на территории Сысоло-Вычегодской равнины относятся к одной фенотипически однородной группе популяций, сформировавшейся в специфических ландшафтно-географических условиях этого региона.

Литература

1. Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов Н.В. Очерк учения о популяции. М.: Наука, 1973. 278 с.
2. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 277 с.
3. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М.: ИКЦ Академкнига, 2003. 431 с.
4. Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 248 с.

5. Видякин А.И. Фенетика, популяционная структура и сохранение генетического фонда сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Хвойные бореальной зоны. 2007. XXIV. № 2-3. С. 160–166.

6. Видякин А.И. Популяционная структура сосны обыкновенной в Удмуртской республике // Современное состояние и пути развития популяционной биологии: Матер. X Всерос. популяц. семинара. Ижевск. 2008. С. 102–105.

7. Видякин А.И. Изменчивость формы семян в популяциях сосны обыкновенной на востоке Русской равнины // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2009. № 11. С. 9–12.

8. Видякин А.И. Феногеография сосны обыкновенной на северо-востоке Русской равнины // Генетическая типология, динамика и география лесов России: Докл. Всерос. науч. конф., посвящённой 100-летию со дня рождения Б.П. Колесникова. Екатеринбург. 2009. С. 194–198.

9. Видякин А.И. Изменчивость формы шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части СССР // Лесоведение. 1991. № 3. С. 45–52.

10. Видякин А.И. Изменчивость формы апофизов шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке Европейской части России // Экология. 1995. № 5. С. 356–362.

11. Леса СССР: В 5 т. М.: Наука, 1965-1970. Т. 1. 458 с.

12. Леса республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: Издат. Центр Дизайн, 1999. 332 с.

13. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации: утв. Федер. службой лес. хозяйства России 11.01.2000. М., 2000. 197 с.

14. Видякин А.И. Индексная оценка признаков популяционной структуры сосны обыкновенной // Лесоведение. 1991. №1. С. 57–62.

15. Видякин А.И. Изучение популяционной структуры сосны обыкновенной на основе индексной оценки признаков генеративных органов // Методы популяционной биологии: Матер. VII Всерос. популяц. семинара. Сыктывкар. 2004. С. 35–37.

16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

17. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Наука, 1990. 352 с.

18. Глотов Н.В., Животовский Л.А., Хованов Н.В., Храмов-Борисов Н.Н. Биометрия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 263 с.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 09-04-00177-а) и Программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие» (проект №09-П-4-1039).

УДК 599.4:612.395.5[470.342]

О роли имаго кровососущих комаров (*Diptera, Culicidae*) в питании рукокрылых (*Chiroptera Vespertilionidae*) Кировской области

© 2010. А. Н. Ляпунов¹, аспирант, Е. В. Панюкова², к.б.н., н.с.,

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия,

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

e-mail: owls_bats@mail.ru

В статье приведены новые данные по экологии рукокрылых, отмеченных на территории Кировской области. Рассмотрена взаимосвязь морфологических особенностей строения челюстного аппарата рукокрылых с преобладающими в их рационе кормами. Отмечено, что имаго кровососущих комаров могут играть значительную роль в рационе питания летучих мышей, охотящихся в сумеречное и ночное время на насекомых.

The article presents the new data on bats' ecology in Kirov region. The connection of morphological peculiarities of the structure of the jaw apparatus of bats with the feeds predominant in their diet. It is stated that adult mosquitoes play a big role in the diet of insect-eating night bats.

Ключевые слова: рукокрылые, кровососущие комары, гребни черепа, биотопы, питание

Key words: Bats, adult mosquitoes, ridges of the skull, biotops, diet

Большинство видов летучих мышей занесены в Российскую и региональные Красные книги, поэтому изучение их экологии имеет

большое практическое значение. До настоящего времени имеются регионы, где летучие мыши достаточно слабо изучены. Так, в Ки-

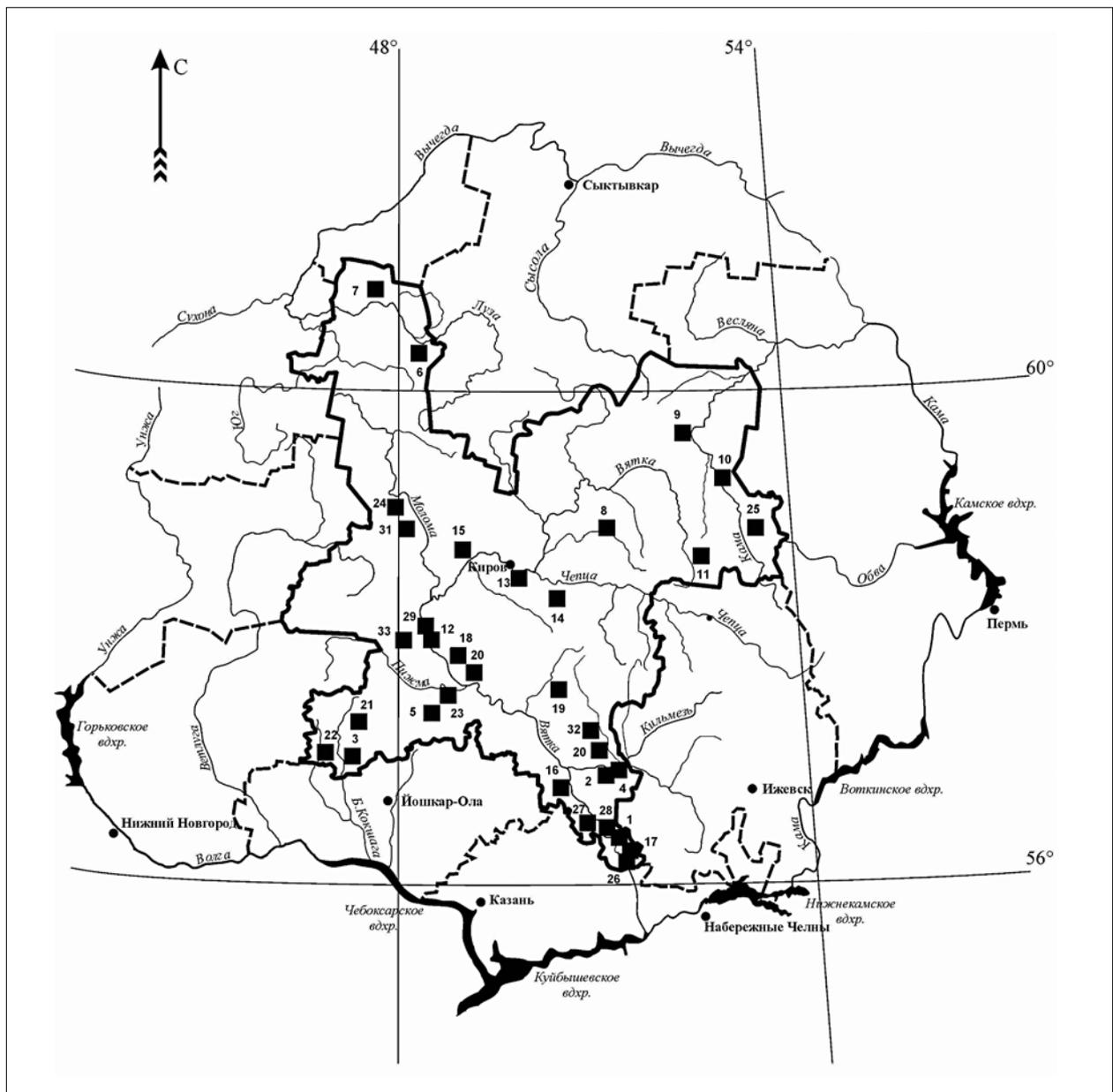


Рис. 1. Места сборов рукокрылых в Кировской области:

1. Вятско-Полянский р-н, д. Высокая Горка, пойма р. Вятка.
2. Кильмезский р-н, оз. Алас.
3. Санчурский р-н, д. Ошманур, р. Большая Кокшага.
4. Кильмезский р-н, д. Таутово, пойма р. Кильмезь.
5. Пижанский р-н, д. Чекмари, пойма р. Шуда.
6. Лузский р-н, д. Годово, р. Вонил.
7. Лузский р-н, р. Залеская Лала.
8. Белохолуницкий р-н устье р. Копья.
9. Верхнекамский р-н, с. Лойно, р. Нырмыч.
10. Афанасьевский р-н, р. Сюзьва.
11. Омутнинский р-н, окр. п. Белореченск, пойма р. Белая.
12. Котельничский р-н, с. Разлив.
13. г. Киров, пойма р. Хлыновка.
14. Кирово-Чепецкий р-н, р. Филипповка.
15. Орловский р-н, р. Вятка.
16. Уржумский р-н, устье р. Кульма.
17. Вятско-Полянский р-н, д. Усть-Люга, озеро.
18. Советский р-н, г. Советск, оз. Мамонтово.
19. Нолинский р-н, д. Ключи, пруд.
20. Кильмезский р-н, старица р. Лобань.
21. Кикнурский р-н, р. Большая Кокшага.
22. Санчурский р-н, д. Вотчина, р. Большой Кундыш.
23. Пижанский р-н, с. Обухово, р. Пижда.
24. Даровской р-н, с. Вонданка, р. Вонданка.
25. Афанасьевский р-н, д. Ожегино, р. Колыч.
26. Вятско-Полянский р-н, д. Нижние Шуни, р. Вятка, пойменный луг.
27. Малмыжский р-н, д. Марс, хвойно-широколиственный лес.
28. Малмыжский р-н, оз. Кадышево.
29. Заповедник «Нургуш», хвойно-широколиственный лес.
30. Советский р-н, п. Лесотехникум, р. Вятка, луг.
31. Даровской р-н, д. Бобровы.
32. Кильмезский р-н, д. Рыбная Ватага.
33. Котельничский р-н, д. Пармаж.

ровской области рукокрылые остаются наименее изученным отрядом млекопитающих. В связи с этим имеет место недооценка их значимости в функционировании экосистем. Например, совершенно очевидно положительное воздействие летучих мышей на уменьшение численности двукрылых, в том числе кровососущих, которые у большинства палеарктических видов составляют основу пищевого рациона [1 – 3]. Одновременно летучие мыши сами являются звеном пищевой цепи, в частности, их останки часто встречаются в погадках серой неясыти (*Strix aluco*) [4] и соболя (*Martes zibellina*) [5]. Всё выше изложенное говорит о важном значении рукокрылых в экосистемах и подтверждает необходимость наиболее полного изучения этой группы животных.

В связи с особенностями морфологии кровососущих комаров, выраженных в отсутствии твёрдых хитиновых покровов (что делает практически невозможной их видовую идентификацию после механической обработки зубами рукокрылых), а также очень незначительными видовыми отличительными критериями, в настоящей работе мы принимаем, что комары, отловленные непосредственно в местах охоты и во время охоты рукокрылых с большой долей вероятности являются их объектами питания.

Целью данной работы является изучение видового состава кровососущих комаров в питании рукокрылых исследуемой территории. Также в задачи исследований входило изучение видового разнообразия кровососущих комаров Кировской области.

Объекты и методы исследований

Материалом для данного сообщения послужили сборы летучих мышей и кровососущих комаров в охотничьих биотопах рукокрылых.

Наблюдения за летучими мышами проводились в тёплый период (май – август) в 2000-2009 гг. Было обследовано 33 точки, находящихся на территории 14 административных районов Кировской области (рис. 1). Наблюдения за рукокрылыми в их охотничьих биотопах вели на выбранных стационарных площадках и маршрутах. Отмечали время вылета и возврата в убежища, количество фаз активности, а также фиксировали погодные условия (температура, ветер, осадки, облачность) в моменты наблюдений. Видовую идентификацию рукокрылых проводили с помощью ультразвукового детектора D-100

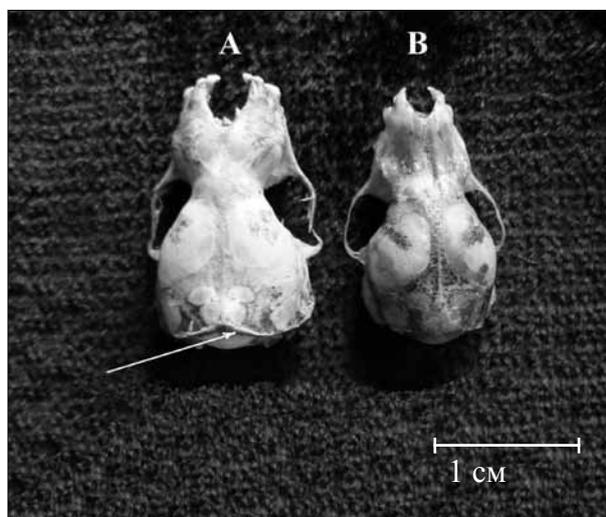


Рис. 2. А – Череп рыжей вечерницы. В – Череп прудовой ночницы. Стрелкой указано место прикрепления височной мышцы (лямбдовидный гребень)

«Pettersson» по типу эхолокационных сигналов, а также визуально по характеру полёта, биотопу и размеру животного. Всего на территории Кировской области нами проведено более 450 наблюдений.

Для определения объектов питания (до класса, в редких случаях до отряда) исследовали содержимое желудков и экскременты. Экскременты собирали в местах днёвок летучих мышей, либо получали способом передержки пойманных животных в полотняных мешочках в течение 1–1,5 часов. В лабораторных условиях экскременты размачивали, разделяли и рассматривали под стереомикроскопом. Желудки взвешивали и фиксировали в 70% растворе этилового спирта, затем в лаборатории извлекали их содержимое и исследовали также как и экскременты. Всего просмотрено содержимое 38 желудков шести видов рукокрылых и 8 проб экскрементов от трех видов. Видовая и количественная характеристика исследуемого материала по видам представлена в таблице. Определение кормовых объектов производилось специалистом-энтомологом, научным сотрудником Государственного природного заповедника «Нургуш» Г. И. Юфревым, за что авторы выражают ему глубокую благодарность.

Особое внимание уделяли степени развития гребней черепа, в частности лямбдовидного (рис. 2) и сагиттального, которые служат местами крепления жевательной мускулатуры, в частности височной мышцы, являющейся главным аддуктором нижней челюсти. От степени развития этой мышцы зависит давящая сила челюстного аппарата, что позволя-

ет разрушать скелет твердопанцирных насекомых [6].

Сборы комаров выполнены по общепринятым методикам [7]. Всего собрано около 500 имаго кровососущих комаров, относящихся к 23 видам.

Результаты и обсуждение

В настоящее время в Кировской области отмечено обитание 10 видов рукокрылых: ночница Наттерера (*Myotis nattereri* Kuhl 1817), ночница усатая (*M. mystacinus* Kuhl 1817), ночница Брандта (*M. brandti* Eversmann 1845), ночница водяная (*M. daubentoni* Kuhl 1817), ночница прудовая (*M. dasycneme* Voie 1825), ушан бурый (*Plecotus auritus* Linnaeus 1758), вечерница рыжая (*Nyctalus noctula* Schreber 1774), лесной нетопырь (*Pipistrellus nathusii* Schreber 1774), кожанок северный (*Eptesicus nilssoni* Keyserling, Blasius 1839) и двуцветный кожан (*Vespertilio murinus* Linnaeus 1758 non Schreber) [8].

В результате наших исследований трофической биологии 6 видов летучих мышей отмечено, что двукрылые, в частности *Culicidae* и *Chironomidae*, в различных пропорциях входят в пищевой рацион каждого из исследованных видов (таб.).

Ниже приводится эколого-морфологическое описание шести видов летучих мышей Кировской области, у которых были проведены исследования питания. В описании дана оценка численности и распространение вида на исследуемой территории с указанием мест находок, а также кратко приведены особенности морфологии челюстного аппарата. В морфологическом описании указаны степень развития гребней черепа, что связано с особенностью питания вида. Экологические особенности видов изложены по плану: перелетный или оседлый, охотничьи биотопы и пищевые предпочтения.

Рыжая вечерница

Nyctalus noctula Schreber 1774

Места находок. Южные и центральные районы области (точки сбора 4, 17, 20). Это самая крупная летучая мышь Кировской области, находящаяся здесь на северном пределе своего распространения. До недавнего времени этот вид считался редким. По результатам последних исследований является обычным [9].

Морфология. Размеры зверька средние. Череп рыжей вечерницы имеет хорошо развитый лямбовидный и сагиттальный гребни, что предполагает наличие мощной жевательной мускулатуры.

Экология. Рыжая вечерница является перелетным видом. Отмечается на территории области весной позже остальных видов рукокрылых.

Охотничьи биотопы рыжей вечерницы разнообразны. От других видов рукокрылых она отличается высокой скоростью и маневренностью полёта. Охотится на высоте до 15-50 метров, изредка опускается ниже, доказательством чему служит попадание данного вида в паутинную сеть на высоте около двух метров. Чаще всего встречается в лесах с примесью широколиственных пород, где охотится над кронами деревьев и над крупными водоёмами. Рыжие вечерницы отмечались нами в населённых пунктах сельского типа.

Во время прохождения маршрутов, а так же при наблюдениях на стационарных площадках мы отмечали зверьков данного вида в течение 20-30 минут после наступления сумерек. Глубокой ночью эхолокационные сигналы рыжей вечерницы не отмечались.

По нашим данным, в питании рыжей вечерницы преобладают бабочки и жуки, однако в пробах присутствовали также двукрылые. Так в вечерних сборах (в 22 ч.) в точке № 4 отмечены обычные лесные виды кровососущих комаров *Ochlerotatus intrudens*

Таблица

Объекты питания рукокрылых исследуемого региона и их количественная характеристика

Виды рукокрылых	Кол-во обследованных желудков и проб экскрементов	Объекты питания		
		<i>Diptera</i>	<i>Lepidoptera</i>	<i>Coleoptera</i>
<i>Nyctalus noctula</i>	2/0	X	XXX	XX
<i>Pipistrellus nathusii</i>	4/3	X	XX	XXX
<i>Myotis daubentoni</i>	15/2	XXX	X	X
<i>Myotis dasycneme</i>	15/3	XXX	X	XX
<i>Vespertilio murinus</i>	1/0	XX	XXX	–
<i>Eptesicus nilssoni</i>	1/0	–	–	–

Примечание: (X – единично, XX – средне, XXX – преимущественно)

и *O. punctor*. В точке сбора № 17 на пойменном лугу на учетчика нападали виды *Aedes cinereus*, *O. excrucians*, а также лесные *O. communis*, *O. diantaeus*, *O. intrudens*. В 20 точке сбора вечером (20 ч.) в горелом сосняке возле старичного озера отмечены *O. diantaeus*, *O. intrudens* и *O. punctor*. Возможно, эти виды комаров являются частью пищевого рациона рыжей вечерницы. Наиболее велика вероятность включения в ее рацион питания комаров *O. diantaeus*, *O. intrudens* и *O. punctor*, отмеченных в разных точках сбора.

Лесной нетопырь

***Pipistrellus nathusii* Schreber 1774**

Места находок. Южные и центральные районы области (точки сбора 4, 17, 18, 23, 26, 27, 28, 29). Также как и предыдущий вид, до недавнего времени был известен по единичным находкам. Нами отмечено расширение его ареала в северном направлении. В настоящее время лесной нетопырь считается обычным.

Морфология. Размеры зверька мелкие. Гребни черепа слабо развиты.

Экология. Лесной нетопырь является перелётным видом. На охоту вылетает в темноте. Имеет выраженную синантропность. Охотничьими биотопами служат просеки, вырубки, лесные дороги, воздушное пространство над водоёмами, деревенские улицы. Высота полёта 2-5 метров. Довольно прожорлив. Желудок отловленной нами самки имел массу 1.4 г. при общем весе животного 8.2 г. Часто лесной нетопырь встречается далеко от воды. Самки и самцы этого вида отмечались нами на расстоянии более 7 км от ближайшего водоёма.

Рацион питания лесного нетопыря более разнообразен, чем у рыжей вечерницы: преобладают жуки (*Coleoptera*), обычны бабочки (*Lepidoptera*), единичны двукрылые (*Diptera*), также отмечаются паукообразные (*Arachnida*). В вечерних сборах двукрылых (в 20 ч.) в окр. пос. Усть-Люга (точка сбора № 17), в широколиственном лесу (с преобладанием дуба) отмечены обычные лесные виды кровососущих комаров группы «communis»: *Ochlerotatus diantaeus*, *O. pullatus* и *O. punctor*, а также один вид группы «cantans» – *O. euedes*. В этой же точке сбора, на пойменном лугу, на учетчика нападали пойменные виды *Aedes cinereus* и *O. excrucians*, а также лесные *O. communis*, *O. diantaeus* и *O. intrudens*. В целом, в сборах, проведенных в окрестностях пос. Усть-Люга, преобладал лесной вид *O. diantaeus*. Вероятно, как было от-

мечено для рыжей вечерницы, этот вид комара также может входить в рацион питания лесного нетопыря.

Северный кожанок

***Eptesicus nilssoni* Keyserling, Blasius 1839**

Места находок. Вся территория Кировской области (точки сбора 4, 20, 31). Широко распространённый немногочисленный вид, не образующий больших скоплений.

Морфология. Размеры зверька средние. Сагиттальный гребень черепа не развит, лямбовидный гребень не большой.

Экология. Оседлый вид. Местами охоты являются разреженные древостои и береговая линия водоёмов. На территории области биология этого вида исследована недостаточно. Как и предыдущий вид, северный кожанок мало связан с водоёмами. При исследовании содержимого желудка состав пищи определить не удалось. По литературным данным [10] известно, что в рационе этого вида преобладают *Diptera*. Нами выполнены сборы кровососущих комаров в окрестностях старицы р. Лобань (точка сбора № 20). В горелом сосняке в вечерние часы (20 ч.) на учёчика нападали преимущественно лесные виды комаров *Ochlerotatus diantaeus*, *O. intrudens* и *O. punctor*. *O. diantaeus* преобладал. Вероятно, в рационе питания северного кожанка могут быть данные виды комаров.

Двуцветный кожан

***Vespertilio murinus* Linnaeus 1758 non Schreber**

Места находок. Встречается на всей исследуемой территории (точки сбора 14, 17, 30, 32). Так же как и предыдущий вид, двуцветный кожан равномерно распространён по всей территории области, однако, в сборах очень редок.

Морфология. Размеры зверька средние. Оба гребня черепа хорошо развиты.

Экология. Статус этого вида на исследуемой территории не определён. Больших колоний на территории области нами не отмечено.

По нашим данным, двуцветный кожан имеет выраженную синантропность. Осенью часто залетает в дома. Часто встречается совместно с лесным нетопырём в одном убежище. В питании двуцветного кожана преобладают *Lepidoptera*, обычны *Diptera*. *Coleoptera* в желудке данного вида нами не отмечены. Сборы кровососущих комаров выполнены в точках сбора №№ 17 и 32. В местах наблюдений за двуцветным кожаном собраны преимущественно лесные виды комаров: *Ochlerotatus diantaeus*, *O. intrudens*, *O. pullatus* и *O. punctor*.

Из них наиболее часто в сборах встречались *O. intrudens* и *O. punctor*. Можно предположить, что эти виды кровососущих комаров составляют основу питания двуцветного кожана.

Водяная ночница

***Myotis daubentoni* Kuhl 1817**

Места находок. Вся территория Кировской области (точки сбора 1, 2, 4, 5, 8, 12–25). Широко распространённый, один из массовых видов рукокрылых Кировской области.

Морфология. Размеры зверька мелкие. Сагитальный гребень черепа не выражен, лямбдовидный мал.

Экология. Вид оседлый, но места зимовок на территории области не обнаружены. Наиболее предпочитаемые дневные убежища – щели и ниши в различных бетонных сооружениях (мосты, плотины и т.п.). Размер колонии варьирует от 6 до 32 особей. Количество фаз пищевой активности водяной ночницы зависит от продолжительности тёмного времени суток. В условиях Кировской области однофазная активность данного вида наблюдается с первой декады июня по середину июля. В остальное время нами отмечалась двухфазная активность, т. е. явно выраженные сумеречные и предрассветные фазы пищевой активности.

В питании водяной ночницы преобладают *Diptera*, что связано с малыми размерами ротового аппарата. В обследованных желудках водяной ночницы единично отмечались *Lepidoptera* и *Coleoptera*. В 6 точках охоты водяной ночницы (№№ 8, 12, 13, 17, 19 и 21) проведены сборы кровососущих комаров. Отмечены комары 13 видов, из них 8 лесные – *Ochlerotatus cantans*, *O. cataphylla*, *O. communis*, *O. diantaeus*, *O. euedes*, *O. intrudens*, *O. pullatus*, *O. punctor* 5 пойменные – *Aedes cinereus*, *Coquillettidia richiardii*, *O. excrucians*, *O. flavescens*, *O. leucomelas*. Из лесных видов комаров в сборах преобладали *Ochlerotatus intrudens* и *O. punctor*, из пойменных – *Aedes cinereus*. В местах локализации водяной ночницы отмечено большое видовое разнообразие пойменных видов комаров, что в свою очередь предполагает их наличие в рационе питания водяной ночницы, добывающей пищу в приземном слое воздуха на высоте 10–30 см от поверхности, что является особенностью охотничьего поведения данного вида.

Прудовая ночница

***Myotis dasycneme* Voie 1825**

Места находок. Вся территория Кировской области (точки сбора 1–13). В южной части области вид не многочислен. В северных районах области является массовым видом.

Морфология. Размеры зверька средние. Челюстной аппарат имеет небольшие размеры. Сагитальный гребень черепа не выражен, лямбдовидный мал.

Экология. Вид оседлый. Отмечаются конкурентные взаимоотношения с водяной ночницей за убежища и пищу, т. к. они занимают одинаковую экологическую нишу. В силу более крупных размеров данный вид вытесняет водяную ночницу. В северных районах Кировской области в период размножения оба этих вида в одном месте не отмечались. В местах совместного обитания вылет прудовой ночницы происходит позднее, чем у водяной ночницы.

В питании прудовой ночницы преобладают представители *Diptera*, обычны также *Coleoptera*, единичны *Lepidoptera*. В 7 местах находок данного вида были проведены сборы имаго кровососущих комаров (№№ локалитетов 6, 7, 8, 9, 11, 12 и 13). Всего отловлены представители 11 видов комаров. Из них пять – пойменные (*Aedes cinereus*, *Anopheles messeae*, *Coquillettidia richiardii*, *Ochlerotatus flavescens*, *O. leucomelas*) и шесть – лесные (*O. cantans*, *O. cataphylla*, *O. diantaeus*, *O. intrudens*, *O. pullatus* и *O. punctor*). В местах локализации прудовой ночницы отмечено большое видовое разнообразие пойменных видов комаров, служащих ей пищей. Особенно хочется отметить наличие в сборах малярийного комара (*Anopheles messeae*). Пруды, расположенные на территории населенных пунктов, часто служат местами развития личинок малярийных комаров, возможно, прудовая ночница может играть положительную роль в уничтожении имаго малярийных комаров на территории населенных пунктов.

Заключение

Исследования содержимого желудков и фекалий показало наличие в рационе питания летучих мышей представителей трёх отрядов насекомых *Diptera*, *Lepidoptera*, *Coleoptera*. Определяющее значение в выборе корма, вероятно, имеют размеры зверька, а также степень развития гребней черепа. Состав кормов также связан с временем активности летучих мышей, характером и высотой их полёта, а также предпочитаемыми биотопами.

Присутствие у 5 из 6 исследуемых видов представителей отряда *Diptera* в пищевом рационе говорит о значимости данной группы в питании рукокрылых. Однако, установить видовой состав двукрылых по содержимому желудков и фекалий не удалось, тем не менее

видовой состав кровососущих комаров, отмеченных в охотничьих биотопах летучих мышей, на наш взгляд, отражал видовой состав кормов в конкретном биотопе. В сборах кровососущих комаров преобладали ранневесенние виды группы «communis», массовый вылет которых сопоставим со сроками активного питания и размножения летучих мышей. Возможно, данный фактор является одним из обуславливающих время начала кормовой активности летучих мышей, которая приходится на исследуемой территории на конец апреля – начало мая месяца.

В местах обитания рукокрылых нами выявлено 14 видов комаров (*Aedes cinereus*, *Anopheles messeae*, *Coquillettidia richiardii*, *Ochlerotatus cantans*, *O. cataphylla*, *O. communis*, *O. diantaeus*, *O. euedes*, *O. excrucians*, *O. flavescens*, *O. intrudens*, *O. leucomelas*, *O. pullatus* и *O. punctor*), что составляет более 60% от видового состава комаров Кировской области.

Литература

1. Сологор Е.А.. К изучению питания *Vespertilio serotinus* // Рукокрылые. М.: Наука, 1980. С. 188–190.
2. Тиунов М.П. Рукокрылые Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1997. 134 с.
3. Борисенко А.В., Сесина Н.И., Закеева И.Р., Букья А.Н. К изучению трофической биологии трёх видов рукокрылых (Chiroptera: Vespertilionidae) в Подмоскowie // Plecotus et al. 1999. № 2. С. 36–43.
4. Бакка А.И., Бакка С.В. Рукокрылые Нижегородской области // Plecotus et al. 1999. № 2. С. 44–59.
5. Тиунов М.П., Юдин В.Г. Хищничество соболя на зимовках рукокрылых (Chiroptera) // Экология. 1986. № 5. С. 84–85.
6. Крускоп С.В. Эколого-морфологическое разнообразие гладконосых рукокрылых: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1998. 20 с.
7. Гуцевич А.В., Мончадский А.С., Штакельберг А.А. Фауна СССР. Насекомые Двукрылые. Т. 3. Вып. 4. Комары сем. Culicidae. Л.: Наука, 1970. 384 с.
8. Сотников В.Н., Ляпунов А.Н., Микулин А.В., Рябов В.М., Акулинкин С.Ф. Рукокрылые Кировской области // Plecotus et al. 2005. № 5. С. 17–31.
9. Ляпунов А.Н. Отряд «Рукокрылые» в Красной Книге Кировской области // Проблемы Красных книг регионов России: Матер. межрегион. науч.-практ. конф. Пермь. 2006. С. 256–257.
10. Gajdosik, Gaisler. Diet of two Eptesicus bat species in Moravia (Czech Republic) // Folia Zool. 2004. № 53 (1). P. 7–16.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЁННАЯ
100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА ЭМИЛИИ АДРИАНОВНЫ ШТИНОЙ
«ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ В ПРИРОДНЫХ
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ»**

С 11 по 15 октября 2010 года в Вятской государственной сельскохозяйственной академии (г. Киров) проходила международная научная конференция «Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах». Конференция была посвящена 100-летию со дня рождения Эмилии Адриановны Штиной, которая вместе с выдающимся ленинградским учёным Максимилианом Максимилиановичем Голлербахом стояла у истоков создания новой науки – почвенной альгологии.

Долгие годы г. Киров был координационным центром развития почвенной альгологии в СССР, куда за консультацией, поддержкой, профессиональными знаниями приезжали молодые альгологи со всех концов страны. Под руководством Э. А. Штиной в Кировском сельхозинституте (ныне Вятской госсельхозакадемии) прошли 4 всесоюзных конференции по почвенным водорослям. Последняя из них была приурочена к 70-летию Э. А. Штиной в 1980 г.

Спустя 30 лет сотрудники кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии имени Э. А. Штиной к 100-летию со дня рождения своего Учителя провели новую конференцию, которая собрала много учёных – зрелых, маститых и только начинающих – из всех регионов России и стран СНГ.

Регламентом конференции было предусмотрено, что её открытие посвящается страницам биографии Э. А. Штиной. С ярким докладом «Сплав таланта, дружбы и верности», осветившем творческий вклад в развитие почвенной альгологии двух её патриархов – Э. А. Штиной и М. М. Голлербаха выступила д.б.н., директор экологического центра при Минприроды Республики Коми М. В. Гецен. Доклад-фотообзор убедительно показал, как творческая индивидуальность каждого, дружба и верность своему научному долгу и понятиям о чести и достоинстве стали важным составляющим общеизвестного «феномена Голлербах-Штина», оказавшего огромное влияние на творческие судьбы альгологов не одного поколения.

В воспоминаниях коллег, учеников, друзей и родных Эмилии Адриановны красной нитью проходила мысль о том, насколько велика была её преданность науке, как бережно и терпеливо относилась она к своим ученикам, какой незабываемый свет оставила в сердце каждого, кто с ней общался и работал.

Пленарное заседание открылось докладом д.б.н., профессора Е. М. Панкратовой (Киров) «Удивительные цианобактерии», который фактически

стал обобщением 40-летних исследований автора о физиологических и экологических особенностях данной группы организмов. В докладе д.б.н., профессора Р. Р. Кабирова (Уфа) было показано, как под влиянием антропогенного загрязнения возникают трансформированные сообщества почвенных водорослей, которые можно использовать для биодиагностики почв техногенных территорий. С докладом о возможности проведения альгологического мониторинга пахотных почв в условиях агромелиоративных мероприятий выступила к.б.н., зав. кафедрой экологии ВятГУ Л. В. Кондакова (Киров). Структурным особенностям альгологических комплексов урбанизированных экосистем было посвящено выступление д.б.н., профессора Г. С. Антипиной (Петрозаводск). В заключение пленарного заседания снова речь шла о цианобактериях: доклады к.б.н. Н. Н. Колотиловой (Москва, МГУ) «Циано-бактериальные маты с древних времён и до наших дней – из истории исследований» и к.б.н. Е. Н. Патовой (Сыктывкар, Институт биологии) «Цианобактерии в экосистемах Полярного и Приполярного Урала».

В последующие дни шла работа секционных заседаний. Так, наибольшее количество докладов традиционно было представлено на секции «Флора водорослей». Широкий резонанс участников конференции вызвали выступления, показ фильмов о диатомовых водорослях и внеплановое проведение школы «диатомистов» к.б.н. М. С. Куликовским (Институт биологии внутренних вод, Борок). Интересные данные о специфике группировок альгофлоры почвенных и водных экосистем прозвучали в сообщениях Н. Ю. Белич (Новосибирск), И. В. Новаковской (Сыктывкар), Ю. С. Орловой (Республика Мордовия), Т. В. Свириденко (Сургут), Н. Г. Тарасовой (Самара), С. М. Трухницкой (Красноярск), А. С. Филиппова (Тверь), М. И. Ярушиной (Екатеринбург).

В работе секции «Изучение взаимодействия водорослей и цианобактерий с другими организмами» были представлены доклады, раскрывающие специфику взаимоотношений фототрофов с сапротрофными партнёрами при «цветении» почвы (Л. И. Домрачева, Киров); дана характеристика комплексов актиномицетов, выделяемых из городских почв (д.б.н. И. Г. Широких, Киров); раскрывались методические подходы к изучению микоризных грибов в ризосфере культурных растений (д.б.н. А. А. Широких (Киров). Особый интерес аудитории встретило образное темпераментное выступление В. К. Орлеанского (Москва) с докладом от группы авторов

«Биоценоз водорослей и бактерий как социальное явление природы». По количеству вопросов, которые были заданы докладчику, В. К. Орлеанский, вероятно, стал чемпионом данной конференции. Хочется дословно процитировать заключительную часть доклада: «... социальные отношения в сообществах высокоорганизованных живых систем (растений, животных, грибов), а также и человечества, были заложены природой уже в самом начале колонизации планета Земля – в первичных биоценозах бактериальных и циано-бактериальных сообществ, как наличие разных способов коммуникации, биохимического и биофизического».

Можно заключить, что основные типы отношений остались неизменными на протяжении всей эволюции от прокариотных сообществ до отношений между представителями *Homo sapiens* (выживание сильнейшего, нейтрализм, антагонизм, коллективизм и др.), усложнялись и эволюционировали лишь формы проявления взаимодействий».

На секции «Физиология, биохимия и экология водорослей» были представлены разноплановые доклады. В частности, результаты исследований о поведении водорослей и цианобактерий в природных местообитаниях и влиянии на их развитие антропогенной нагрузки были представлены в докладах Ю. М. Бачура (Гомель), Н. М. Зимониной (Киров), Л. А. Семёновой (Новосибирск), В. К. Орлеанского (Москва).

Ярким событием работы конференции стали выступления представителей МГУ д.б.н., профессоров О. И. Баулиной и Е. С. Лобаковой. Доклад О. И. Баулиной об ультраструктурной пластичности цианобактерий был проиллюстрирован филигранно выполненными электронно-микроскопическими фотографиями различных вариантов перестройки внутренней организации цианобактерий, трактуемых как проявление фенотипической изменчивости в ответ на изменение внешних условий. На основе анализа большого объёма собственных экспериментальных данных и современных представлений о механизмах и значении структурно-функциональной организации прокариот автором выступления разрабатывается концепция ультраструктурной пластичности цианобактерий как индикатора действия адаптационных механизмов, реализующихся на уровне субклеточных структур, клеток и популяций.

В докладе Е. С. Лобаковой поставлены общие проблемы возникновения ассоциативных симбиозов. Симбиоз хозяина и микроорганизма рассмотрен как многокомпонентная система, где кроме хозяина и доминантного микросимбионта участвуют ассоциативные симбионты с разнонаправленными воздействиями, выполняющие значительную роль в формировании и обеспечении стабильности и продуктивности симбиоза в целом. В частности, приведе-

ны примеры симбиоза гидроидного полипа с про- и эукариотными микроорганизмами, в том числе цианобактерии. Данные микросимбионты формируют биоплёнку, способную проникать в мягкие ткани гидроида. Кроме того, при изучении методом трансмиссионной электронной микроскопии препаратов изолятов из двух видов древних примитивных многоклеточных животных – губок удалось установить, что симбионтами губок являются смешанные культуры эу- и прокариотных микроорганизмов, в которых, в отличие от полипов, доминантами являются водоросли. Подробно изучена и представлена на превосходных слайдах ультраструктура микробов-симбионтов.

Несомненно, подобные исследования, проводимые в МГУ, вносят существенный вклад как в развитие анатомии клетки про- и эукариотных организмов и экспериментальной альгологии, так сфер общей биологии, связанных с универсальным планетарным явлением – явлением симбиоза

На секции «Использование фототрофных микроорганизмов в биомониторинге окружающей среды» с глубоким докладом о влиянии урбанизации на микробное население почвы выступила д.б.н., профессор В. С. Артамонова (Новосибирск), чьи исследования о специфике водорослево-бактериальных комплексов урбанизированных территорий были одними из пионерных в России. Все остальные доклады на этой секции сделаны кировскими исследователями. Так, Н. В. Бородин (Региональный центр государственного контроля и мониторинга по Кировской области) в своём выступлении показала возможность проведения биотестирования состояния вод в зоне влияния промышленных предприятий с помощью тест-культуры зелёной водоросли *Chlorella vulgaris*. Перспективность использования цианобактерий как микробов-антагонистов при выращивании декоративных культур показана в докладе Л. Б. Попова (ВГСХА). Новые методические разработки, связанные с проблемой биоиндикации и биотестирования с помощью водорослей и цианобактерий, были озвучены в выступлениях молодых учёных и аспирантов С. Ю. Огородниковой (ВятГГУ), Ю. Н. Зыковой (ВГСХА), Г. И. Березина (ВятГГУ).

Завершилась работа конференции проведением круглого стола «Перспективы развития почвенной альгологии в России». Участники круглого стола отметили, что большой интерес вызвала эта конференция не только среди альгологов. В течение всех дней её работы на заседаниях постоянно присутствовали студенты сельхозакадемии и гуманитарного университета, которые фактически получили дополнительную биологическую подготовку, прослушав яркие доклады известных учёных России. Каждый доклад, каждое выступление

сопровождались заинтересованным, конструктивным обсуждением.

В принятой резолюции говорится, что как показали заслушанные и опубликованные доклады, сохранились методические подходы к изучению почвенных водорослей и цианобактерий. Это стало возможным благодаря высочайшей профессиональной подготовке альгологов, осуществляемой ведущими российскими специалистами.

Почвенная альгология дала начало ряду новых направлений в науке, которые весьма интересны и могут быть развиты в интересах общепрофессиональных наук. Привлекают внимание исследования по ультраструктуре цианобактерий, созданию искусственных синцианозов (МГУ), использованию данных организмов в биоиндикации, биотестировании и биоремедиации почв (Вятская ГСХА, Вятский ГГУ). Показаны возможные пути трансформации сообществ почвенных водорослей в условиях антропогенного загрязнения (Башкирский ГПУ). Интересны исследования, проводящиеся на стыке альгологии и геологии (Институт микробиологии РАН, МГУ).

Во многих работах обсуждается возможность практического использования объектов исследований, в частности, в сельскохозяйственной практике. Однако остаются нерешенными проблемы финансирования разработок, содержания штатных единиц научных работников, необходимых для выделения, очистки, поддержания в активном состоянии альгологически и аксенически чистых культур микроводорослей и цианобактерий. Кроме того, требует обновления инструментальная база для углубления исследований по почвенной альгологии, в частности, и на кафедре ботаники, физиологии растений и микробиологии ВГСХА, в первую очередь, оснащением современными микроскопами.

Всестороннее обсуждение представленных на конференции докладов позволяет дать следующие рекомендации:

1. Сделать проведение конференций по почвенной альгологии (Штиновские чтения) регулярным с периодичностью один раз в 3 года, чередуя очное проведение с заочными электронными сессиями.

2. Изыскать средства и подготовить издание сборника биографий «Отечественные альгологи».

3. Ведущими направлениями почвенно-альгологических исследований считать: 1) сохранение классических направлений флористико-систематических работ с привлечением новых методов для повышения достоверности видовой идентификации; 2) сохранение генофонда альгофлоры при сохранении первозданных ландшафтов в разных природно-климатических зонах; 3) изуче-

ние влияния различных антропогенных факторов на развитие группировок почвенных водорослей и цианобактерий с целью создания альгологической мониторинговой системы.

4. Усилить изучение ценологических связей водорослей и цианобактерий с другими группами почвенных организмов.

5. Развивать комплексное изучение биологии почв урбанизированных территорий, в частности, включая водоросли и цианобактерии в индикаторные показатели состояния урбаноземов.

6. Интенсифицировать разработки приемов практического использования почвенных водорослей.

7. Разработать курсы альгологии с изданием учебной литературы в рамках учебных дисциплин для преподавания в вузах различных биологических профилей при подготовке специалистов, бакалавров и магистров.

8. Создать единый электронный информационный центр литературы по альгологии. Проводить мастер-классы по идентификации водорослей, новым методическим разработкам в области биоиндикации и биотестирования с участием водорослей. Создать систему стажировок и ФПК по почвенной альгологии с выдачей удостоверений и сертификатов о повышении квалификации в данной области.

Участники круглого стола отметили безукоризненную подготовку и проведение конференции. Хочу добавить, что вся предварительная организационная работа выполнена очень небольшим коллективом кафедры. Это доценты Л. В. Трефилова и А. Л. Ковина, аспирант Ю. Н. Зыкова и заведующий кафедрой доцент А. А. Калинин.

Мне, как члену редколлегии журнала «Теоретическая и прикладная экология», было очень приятно слышать о том, какой высокий авторитет завоевал журнал в среде альгологов регулярной публикацией статей, начиная с первого номера и первого года своего существования, по проблемам экологии водных и почвенных водорослей и цианобактерий.

Конечно, хочется верить, что прошедшая конференция станет тем поворотным этапом, который возродит проведение в г. Кирове на базе кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии имени Эмилии Адриановны Штиной Вятской ГСХА конференции по почвенной альгологии с участием и крупнейших и начинающих учёных, и для каждого участника эти встречи становились бы настоящей научной школой, школой высокого профессионализма и безупречной научной репутации.

*Л. И. Домрачева,
д.б.н., профессор кафедры ботаники,
физиологии растений и микробиологии
им. Э. А. Штиной ВГСХА*

**ПРИВЕДЕНИЕ В БЕЗОПАСНОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ОТДЕЛЕНИЯ ФИЛИАЛА
«ПРИВОЛЖСКИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ОКРУГ» ФГУП «РосРАО»**

16 декабря в городе Кирове состоялся круглый стол, на котором обсуждались проблемы приведения в безопасное состояние радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО». Организаторами проведения данного мероприятия явились Управление по работе с регионами и Общественный совет Госкорпорации «Росатом», а также Правительство Кировской области.

Для участия в заседании круглого стола были приглашены руководители: Федеральных природоохранных органов контроля, надзора и мониторинга по Кировской области, Управления Воляжского межрегионального территориального управления по надзору за ядерной и радиационной безопасностью Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО», муниципальных органов власти города Кирово-Чепецка, ООО УК «Уралхим»; депутаты Законодательного собрания Кировской области; учёные, журналисты СМИ; представители общественных организаций.

К участникам круглого стола с приветствием и приглашением к гражданскому диалогу по острой для региона проблеме безопасного хранения радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО» обратились Сергей Игоревич Барановский – Председатель российского Экологического Конгресса, президент общественной организации Зелёный Крест, зам. председателя Общественного совета Госкорпорации «Росатом», Эдуард Алексеевич Носков – заместитель председателя Правительства Кировской области, Тахир Алиевич Мамедов – секретарь Общественной палаты Кировской области.

Первыми на заседании круглого стола выступили: В. Ф. Меньшиков – член Общественного совета Госкорпорации «Росатом», член Совета Центра экологической политики России, который обратил внимание собравшихся на вопросах законодательного обеспечения процедур обращения с РАО и ОЯТ и А. Г. Назаров – директор Экологического центра Института естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, зам. председателя Общественного совета Госкорпорации «Росатом» по вопросу «Восстановление земель как историко-научная проблема фундаментальной науки».

Весьма конструктивным было выступление Д. С. Евланова – руководителя проекта по КЧХК ФГУП «РосРАО», в котором было раскрыто содер-

жание концепции вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО». Развитием диалога в рамках реализации концепции стало выступление «Разработка комплексного проекта вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО» П. С. Игнатченко – начальника технологической группы Уральского филиала ОАО «ГСПИ» – «УПИИ «ВНИПИЭТ».

Участникам круглого стола были представлены материалы научных разработок по созданию системы мониторинга в районе радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО», оценке условий формирования и миграции загрязнения территории размещения хранилищ РАО, представленные С. В. Святцом – главным геологом Центра мониторинга мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом» ФГУП «Гидроспецгеология» и А. А. Куваевым – начальником отдела гидрогеологического моделирования этого же Центра.

С результатами научно-исследовательских работ по изучению состояния территории в районе радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО», с представлением цифровой модели рельефа и программы моделирования различных вариантов затопления поймы реки Вятки в районе радиационно опасных объектов выступила Т. Я. Ашихмина – профессор, зав. лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ, член Общественной палаты Кировской области и Г. Я. Кантор с.н.с. лаборатории биомониторинга. Участникам круглого стола было продемонстрировано моделирование возможных вариантов затопления поймы реки Вятки в зоне размещения хранилищ РАО. По обоснованию необходимости проектирования защитных барьеров при возможных затоплениях поймы р. Вятка в зоне размещения хранилищ РАО сделаны следующие выводы и предложениями:

1. На основе результатов моделирования затопления территории в районе радиационно-опасных объектов РосРАО получены варианты возможного затопления различной обеспеченности максимального уровня. Существующие защитные инженерные сооружения обеспечивают достаточный уровень безопасности хранения радиоактивных отхо-

дов при любых вариантах развития гидрологической ситуации во время весеннего половодья, которые имели место за период с 1878 г.

При этом следует отметить, что абсолютная отметка уровня площадки, на которой расположено хранилище № 205, составляет около 114 м, в то время как максимальный уровень весеннего паводка в 1979 г. составил 113,5 м БС. Вероятность затопления хранилища № 205 может быть оценена по сглаженной эмпирической кривой обеспеченности максимальных уровней, рассчитанной ООО «Кировводпроект» (биномиальная кривая Пирсона III типа с параметрами $H_{cp}=589$ см; $C_v=0,09$; $C_s/C_v=-5,00$). Величина данной вероятности составляет 0,3%. В связи с этим не исключается необходимость в создании дополнительного защитного барьера, предотвращающего затопление территории хранилища № 205 при экстремально высоком весеннем паводке.

У основных потенциальных источников радиоактивного загрязнения (3-я секция шламонакопителя и 205-е хранилище РАО), при выполнении реабилитационных мероприятий должна быть обеспечена высококачественная консервация хранилищ, обеспечивающая надежную защиту от атмосферных осадков и стихийных природных явлений.

2. Проведенная оценка современного состояния природной среды в районе влияния объектов ФГУП «РосРАО» позволяет сделать вывод о том, что воздействие объектов РАО на почву, воду и донные отложения продолжается. Процессы выноса радионуклидов в паводковые периоды с загрязненных территорий нижнего течения р. Елховки и оз. Просного практически не исследовались с начала работы КЧХК до настоящего времени. Это требует проведения исследований по вторичному загрязнению радионуклидами поверхностных вод в паводковый период с учетом возможности изменения химического состава воды.

Для прогноза развития ситуации необходимо продолжение работы над созданием гидродинамической цифровой модели, обеспечивающей детальное описание движения поверхностных вод и миграции загрязняющих веществ, согласованной с геофильтрационной моделью, разработка которой ведется ФГУП «Гидроспецгеология». Усовершенствованная модель позволит оценить эффективность намечаемых реабилитационных мероприятий и величину возможных рисков, возникающих при их реализации.

3. Существование источников загрязнения и возможности распространения радионуклидов по

пойме с поверхностными и грунтовыми водами, обуславливает необходимость проведения мониторинга природных сред и объектов в зоне влияния хранилищ РАО – поверхностных и грунтовых вод, почв, донных отложений, растительности, животного мира. В связи с этим необходимо совместно с ФГУП «Гидроспецгеология» разработать единую программу экологического мониторинга, включающего мониторинг недр, поверхностных вод, почв и биоты.

В дискуссии по теме круглого стола приняли участие: И.В.Конышев – начальник Управления по работе с регионами Госкорпорации «Росатом», ответственный секретарь Общественного совета, М. Л.Глинский – первый заместитель генерального директора ФГУП «Гидроспецгеология», А. Н. Чеканов – глава муниципального образования г. Кирово-Чепецка, В. И.Медведков – председатель комитета по экологической безопасности, природопользованию и лесному комплексу Законодательного собрания Кировской области, директор представительства ООО УК «Уралхим», В. В.Синько – советник заместителя директора по производственно-техническим вопросам и экологии филиала ООО УК «Уралхим», А. С. Тиманов – заместитель руководителя управления – начальник отдела водных ресурсов по Кировской области Камского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов, А. В.Албегова – глава департамента экологии и природопользования Кировской области, Л. Г. Мальцева – начальник отдела контроля Управления Роспотребнадзора по Кировской области, Э. Л. Баскин – профессор ВятГГУ.

В перерывах между дискуссиями состоялся брифинг с журналистами Кировских СМИ, в ходе которого были поставлены и обсуждены вопросы о сроках работ по приведению в безопасное состояние радиационно опасных объектов, о качестве питьевой воды на водозаборе «Корчемкино», о необходимости активизации информационной работы с населением и многие другие.

В заключение дискуссии в адрес организаторов круглого стола поступило предложение провести в 2011 году подобный диалог в городе. Кирово-Чепецке с участием общественности и населения этого города.

*Т. Я. Ашихмина, зав.кафедрой химии ВятГГУ,
зав. лабораторией биомониторинга Института
биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ*

АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ТАСКАЕВ

17 ноября 2010 г. на 67-м году жизни скоропостижно скончался Заслуженный деятель науки Коми АССР, Заслуженный эколог России, директор Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

В расцвете творческих сил безвременно оборвалась жизнь Анатолия Ивановича – одного из ведущих специалистов в области радиоэкологии, крупного учёного, талантливого организатора комплексных радиоэкологических исследований в зоне аварии на Чернобыльской АЭС и на территории Республики Коми, непревзойдённого руководителя крупнейшего академического института биологического профиля на европейском Северо-Востоке.

В Институт биологии Анатолий Иванович пришёл в 1968 г. после окончания физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Здесь, в стенах института, он прошел все ступени профессиональной карьеры: от младшего научного сотрудника до директора Института. Уже в первые годы работы в лаборатории радиохимических и радиофизических исследований проявились такие качества личности А. И. Таскаева, как инициативность, надёжность, принципиальность, умение тщательно спланировать эксперимент, организовать коллектив на его выполнение. Именно эти качества впоследствии позволили А. И. Таскаеву развернуть широкомасштабные исследования в 30-километровой зоне радиоактивного заражения после страшной аварии на ЧАЭС, которые проводила под его руководством группа сотрудников Института биологии.

Многолетнее стационарное изучение влияния радиоактивного загрязнения на флору и фауну позволило дать квалифицированные рекомендации для улучшения радиационной обстановки в зоне аварии на ЧАЭС. Специалисты, работавшие в Чернобыле, проявили настоящий героизм. При сборе необходимого фактического материала им приходилось неоднократно посещать участки, где радиационный фон был существенно повышен, что не могло не сказаться на состоянии здоровья. В этой ситуации Анатолий Иванович как руководитель проявил лучшие человеческие качества. Он часто брал на себя самую трудную и опасную часть работы.

В 1988 г. научный коллектив единогласно избрал А. И. Таскаева директором Института биологии. Все эти годы А. И. Таскаев успешно

совмещал сложные обязанности заведующего отделом радиоэкологии и руководителя Института биологии. Под руководством Анатолия Ивановича в институте активно развернулись работы не только по изучению радиоэкологических ситуаций, но и разработке методологических основ мониторинга и экспертной оценке воздействия техногенных загрязнений на окружающую среду. Проверялись на практике новые методы рекультивации нарушенных территорий, в том числе и загрязненных нефтью. Расширились исследования процессов возобновления лесов в условиях Севера. Началось планомерное изучение биологического разнообразия наземных и водных экосистем с оценкой последствий воздействия человека на биоту. В 1995 г. Институт биологии одним из первых активно включился в разработку мероприятий по ликвидации крупной аварии на нефтепроводе в бассейне р. Колва.

В сложных экономических условиях Анатолий Иванович сумел не только сохранить, но и значительно укрепить научный и технический потенциал Института биологии. За время его работы на посту директора был создан совет по защите докторских диссертаций, открыта докторантура по специальностям «ботаника», «экология» и «почвоведение». По его инициативе основаны лаборатории беспозвоночных животных, биохимии и биотехнологии, биомониторинга (г. Киров), отделы экологии животных, компьютерных систем, технологий и моделирования. Вторую жизнь получили Ляльский лесоэкологический стационар, гербарий (SYKO), ботанический сад, коллекционный фонд которого непрерывно пополняется новыми видами, формами и сортами полезных растений. В Институте создан Научный музей, в коллекционных фондах которого наряду с типичными представителями фауны республики представлены редкие виды. Непрерывно укреплялась материально-техническая база, необходимая для проведения качественных, квалифицированных аналитических работ. Одним из первых в стране Институт биологии был оснащён новейшей вычислительной техникой, созданы локальные электронные сети, постоянно обновлялось и модернизировалось стационарное научное оборудование и полевые передвижные лаборатории.

Под руководством А. И. Таскаева Институт биологии добился серьёзных успехов в регионе по развитию международной коопера-

ции и интеграции в международные исследовательские программы и проекты. Отличительной чертой последних лет оказался рост крупных и социально-ориентированных международных проектов Европейской комиссии с участием Института. Существенно расширилось сотрудничество института с отечественными и международными научно-исследовательскими учреждениями и вузами. Анатолий Иванович всегда уделял особое внимание сохранению и преумножению научного потенциала, поиску и подготовке будущих ученых.

А. И. Таскаев вёл большую научно-организационную работу. В 2005 г. он был избран заместителем председателя Президиума Коми НЦ УрО РАН. Анатолий Иванович являлся членом Научного совета по радиационной биологии РАН, Объединенного учёного совета по биологическим наукам Уральского отделения РАН, Международной академии наук по экологической безопасности, Международного союза радиоэкологов, заместителем главного редактора журнала «Теоретическая и прикладная экология», членом редколлегии журнала «Радиационная биология. Радиоэкология». Входил в состав ряда правительственных комиссий и координационных советов Республики Коми, в том числе Комиссии по естественным и производительным силам Республики Коми, Межведомственного координационного совета по науке при Главе Республики Коми, коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми.

А. И. Таскаев автор и соавтор 431 научной работы, в том числе 23 монографий и 4 патентов на изобретения. Высокая результативность комплексных научных исследований и личное активное участие А. И. Таскаева в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС отмечены медалью «За трудовую доблесть» (1989 г.), Орденом мужества (1996 г.), Премией Правительства Российской Федерации в области науки и техники (1996 г.), Премией им. Н. В. Тимофеева-Ресовского (2007 г.). В 2008 г. ему была присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники, в 2000 г. – Государственная премия Республики Коми в области науки. Он награжден медалью «За охрану природы России» III (2000 г.) и II степени (2004 г.). В 2005 г. ему присвоено Почетное звание «Заслуженный эколог Российской Федерации».

Чуткий руководитель, душой болеющий за каждого сотрудника – и молодого, начинающего специалиста, и уже сложившегося ученого, и пенсионера, и ветерана института. Эрудированный собеседник, высококвалифицированный специалист, талантливый ученый, внесший огромный вклад в развитие биологической науки. Любящий муж, отец и дедушка...

Все сотрудники Института биологии глубоко скорбят о невозможной, безвременной потере и выражают искреннее соболезнование родным и близким Анатолия Ивановича.

*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения РАН*

Безвременная кончина заместителя главного редактора журнала «Теоретическая и прикладная экология» А. И. Таскаева – невосполнимая утрата для всего коллектива редколлегии. Анатолий Иванович активно участвовал в становлении и развитии журнала, коллектив редакции всегда ощущал его научную и профессиональную поддержку, всестороннюю помощь в привлечении в журнал публикаций ведущих ученых. Во многом благодаря усилиям Анатолия Ивановича журнал стал в ряд ведущих экологических изданий России.

Велика признательность Кировских ученых Анатолию Ивановичу за то, что он стал инициатором создания межрегиональной лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ – первой лаборатории РАН на Вятской земле.

Невыносимо больно сознавать, что уходят из жизни самые лучшие, самые яркие, талант-

ливые и душевно щедрые люди. Мы всегда будем помнить, какую поддержку оказывал нам Анатолий Иванович Таскаев – человек блестящего интеллекта, глубочайшей эрудиции, один из самых авторитетных научных руководителей. Сочетание требовательности и справедливости, таланта и мужества, широчайшего кругозора и многогранных знаний всегда были отличительными чертами этого ЧЕЛОВЕКА.

Именно такие люди, как Анатолий Иванович Таскаев, составляют золотой фонд России.

Благодарную память об Анатолии Ивановиче Таскаеве мы сохраним навсегда.

*Т. Я. Ашихмина, главный редактор журнала
«Теоретическая и прикладная экология», зав.
лабораторией биомониторинга Института
биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ*