



Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

№ 4, 2009

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Зам. главного редактора

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

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

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

Подписной индекс **82027, 48482** в каталоге Агентства «Роспечать»

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

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

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

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

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

Подписано в печать 20.12.2009. Формат 60x84 $\frac{1}{2}$. 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 к.т.н., заместитель начальника экологической безопасности ВС РФ, член-корреспондент Академии геополитических проблем, профессор Академии военных наук

В.А. Антонов

С.И. Барановский

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

Г.А. Баталова

д.с.-х.н., член-корреспондент РАСХН, ГУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого д.б.н., профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии

Л.И. Домрачева

Г.П. Дудин

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

И.А. Жуйкова

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

Л.Л. Журавлёва

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

Г.М. Зенова

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

В.И. Измалков

д.т.н., профессор Военной Академии Генштаба МО РФ

Г.Я. Кантор

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

Б.И. Кочуров

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

Г.Г. Кузяхметов

д.б.н., профессор Башкирского государственного университета

В.И. Курилов

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

В.З. Латыпова

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

В.Н. Летов

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

Ли Юй

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

В.А. Малинников

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

А.Г. Назаров

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

Ю.Г. Пузаченко

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

В.П. Савиных

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

В.А. Сысуев

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

В.И. Теличенко

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

Т.А. Трифонова

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

А.И. Фокин

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

В.Т. Юнглод

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

О.В. Яковенко

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

По вопросам размещения рекламы и публикации статей обращаться:

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

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

119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ.
МОДЕЛИ
И ПРОГНОЗЫ

МОНИТОРИНГ
АНТРОПОГЕННО
НАРУШЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
РИСК
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА

АГРОЭКОЛОГИЯ

РЕМЕДИАЦИЯ И
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ

СОЦИАЛЬНАЯ
ЭКОЛОГИЯ

ПОПУЛЯЦИОННАЯ
ЭКОЛОГИЯ

ХРОНИКА

БИБЛИОГРАФИЯ

Л.И. Домрачева Использование организмов
и биосистем в ремедиации территорий4

В.П. Савиных Автоматизированная технология
динамического картографирования для систем
дистанционного мониторинга 17

В.Ю. Охалкина Методы поддержания микробных культур.
Часть 2. Лиофилизация 21

Э.Д. Владимирова Исследование информационных
процессов в зооценозах с помощью тропления следов
(на примере лесной куницы) 33

*А.А. Широких, И.Г. Широких, И.А. Устюжанин,
А.В. Колупаев* Микроскопические грибы в городских почвах,
загрязнённых тяжёлыми металлами 39

*Е.В. Федосеева, В.А. Терехова, О.С. Якименко,
М.М. Гладкова* Экоотоксикологическая оценка гуминовых
препаратов разного происхождения с применением
микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* 45

М.Н. Каткова Оценка дермального риска для населения,
проживающего в районе дампинга химического оружия
в Балтийском море 50

О.С. Гигина, Н.А. Быковский, Е.А. Кантор
Электрохимическая очистка разбавленных
растворов травления производства печатных плат 55

Д.В. Ковалёв, Л.Л. Журавлёва, С.А. Федотов
Локальная очистка – одно из решений проблемы
охраны водных ресурсов 61

Х.Х. Шельмёнкина Экологические проблемы создания
сеяных луговых травостоев на выработанных торфяниках
в Волго-Вятском районе РФ 65

Р.В. Галиулин, Р.А. Галиуллина, Б.И. Кочуров
Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами ...71

*С.А. Кальницкий, М.И. Балонов, Н.М. Вишнякова,
М.Н. Тихонов* Уровень современного медицинского
облучения населения 76

Е.В. Юркина, С.В. Пестов Фенологические особенности
лесных насекомых подзоны средней тайги Республики Коми ...83

Международная научная конференция «Эволюция
растительного мира в природной и культурной среде» 92

Всероссийская научная школа «Инновационные методы
и подходы в изучении естественной и антропогенной
динамики окружающей среды» 94

Всероссийский симпозиум с международным участием
«Современные проблемы физиологии, экологии
и биотехнологии микроорганизмов» 96

Как, решая эколого-экономические проблемы,
направить Россию в русло устойчивого развития?
(рецензия на книгу «Экологический менеджмент
в условиях глобализации экономики») 98

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS of ECOLOGY	<i>L.I. Domracheva</i> Territory Remediation with the Help of Organisms and Biosystems 4
METHODOLOGY And METHODS of RESEARCH. MODELS And FORECASTS	<i>V. P. Savinikh</i> Atomated Dynamic Mapping Automated Technology for Remote Monitoring 17 <i>V. Yu. Okhapkina</i> Methods of Microbe Cultures Maintenance. Part 2. Liophylisation 21 <i>E.J. Vladimirova</i> Research of Zoocenosis Information Processes by Means of Snow Traces Techniques (by the Example of Pine Marten) 33
MONITORING of ANTHROPOGENICALLY DAMAGED TERRITORIES	<i>A.A. Shirokikh, I.G. Shirokikh, I.A. Ustyuzhanin, A.V. Kolupayev</i> Microscope Fungi in City Soils Polluted with Heavy Metals 39
ECOTOXICOLOGY	<i>E.V. Fedoseeva, V.A. Terekhova, O.S. Yakimenko, M.M. Gladkova</i> Ecotoxicological Evaluation of Commercial Humates of Different Origin Using Microalgae <i>Scenedesmus quadricauda</i> 45
ECOLOGICAL RISK And ECOLOGICAL SAFETY	<i>M.N. Katkova</i> Estimating Dermal Risk for the Population Living in the Vicinity of Chemical Weapon Dumping in the Baltic Sea 50 <i>O. S. Ggina, N. A. Bikovsky, E. A. Kantor</i> The electrochemical cleaning of diluting effluents of the etching processes in production of print plates 55
INDUSTRY ECOLOGY	<i>D.V. Kovalev, L.L. Zhuravleva, S.A. Fedotov</i> Local Cleaning as One of Methods of Water Resources Protection 61
AGRICULTURAL ECOLOGY	<i>Kh.Kh. Shel'menkina</i> Ecological Problems of Creating Sowed Meadow Grass Sites in the Places of Worked-out Peat Mines in Volga-Vyatka Region of the RF 65
REMEDIATION And RECULTIVATION	<i>R.V. Galiulin, R.A. Galiulina, B.I. Kochurov</i> Phytoremediation of Soil Polluted with Heavy Metals 71
SOCIAL ECOLOGY	<i>S.A. Kal'nistkii, M.I. Balonov, N.M. Vishnyakova, M.N. Tikhonov</i> The Level of Contemporary Medical Population Radiation 76
ECOLOGY of POPULATIONS	<i>E. V. Yurkina, S.V. Pestov</i> Phenological Peculiarities of Forest Insects on Middle Taiga Sub-zone of the Komi Republic 83
CHRONICLE	International Scientific Conference «Plant Evolution in Natural and Cultural Environment» 92 All-Russia Scientific School «Innovative Methods and Approaches in Research of Natural and Anthropogenic Environmental Dynamics» 94 All-Russia Conference with International Participation «Contemporary Problems of Physiology, Ecology and Organisms Biotechnology» 96
BIBLIOGRAPHY	What are the ways of organizing sustainable development in Russia by means of solving ecologic-economical problems? (Review of the book «Ecological Management on the Conditions of Economy Globalization») 98

Использование организмов и биосистем в ремедиации территорий

© 2009. Л.И. Домрачева, д.б.н., профессор, с.н.с.,
Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вят ГГУ,
e-mail: ecolab2@gmail.com

В обзоре рассматриваются пути ремедиации загрязнённых территорий с использованием микробов-интродуцентов, микробных консорциумов, высших растений, а также растительно-микробных комплексов.

The survey deals with ways of contaminated territories remediation with the help of fungi-introducers, microbe consortiums, higher plants, and plant-microbe complexes.

Ключевые слова: почва, водные экосистемы, загрязнение, детоксикация, фиторемедиация, микроорганизмы, биопрепараты

Key words: soil, water ecosystems, contamination, detoxicity, phytoremediation, microorganisms, bio-preparations

При постоянном антропогенном воздействии на почву меняются и разрушаются микробоценозы, свойственные «здоровой» почве. Под «здоровьем» почвы можно понимать способность почвенной биосистемы в заданных пространственных границах поддерживать продуктивность растений и животных, сохранять приемлемое качество воды и воздуха, а также обеспечивать здоровье людей, животных и растений [1]. Одним из наиболее эффективных методов очистки окружающей среды от техногенных загрязнений является биоремедиация. При биоремедиации постепенное восстановление исходных параметров почвенного плодородия может происходить спонтанно за счёт растительно-микробной системы. Однако процессы эти порой очень медлительны и требуются усилия по повышению скорости репарационных процессов, что является одной из первостепенных задач почвенной биотехнологии.

В сравнении с другими методами очистки окружающей среды от загрязнения, биоремедиация *in situ* гораздо дешевле. По экспертным оценкам, средняя стоимость способов биоремедиации составляет менее 20% от стоимости химических методов. При рассеянном загрязнении альтернативы биоремедиации просто нет. [2]. В отличие от промышленной биотехнологии, где имеется возможность выдерживать все параметры технологического процесса, биоремедиация, как правило, осуществляется в открытой системе, т. е. в окружающей среде. Разно-

образии поллютантов, включая токсины биологического происхождения, попадающих в окружающую среду, диктует и разнообразие методов биоремедиации и применение широкого круга организмов-биоремедиаторов. В конечном итоге скорость и качество биоремедиационных процессов определяются тремя возможностями организмов или биосистем: 1) способностью к разрушению поллютантов до соединений менее токсичных или не токсичных совсем, 2) способностью извлекать поллютанты из окружающей среды и тем или иным способом производить их детоксикацию и 3) способностью ингибировать деятельность организмов-токсикообразователей. Первая особенность биоремедиаторов связана с синтезом экзоферментов, чаще всего гидролитических или оксидоредуктаз; вторая особенность определяется различными метаболическими механизмами, переводящими токсиканты в неактивное состояние; третья – основана на механизме антагонистической репрессии [3].

В системе биоремедиационных мероприятий опираются на следующие группы организмов, способных снижать токсичность загрязнённых почв:

- аборигенную микрофлору. При этом требуются дополнительные приёмы, обеспечивающие более активное размножение автохтонных видов, разрушающих или адсорбирующих ксенобиотики;
- выделенные и отселектированные штаммы микроорганизмов, обладающие

деструктивной способностью в отношении загрязняющих веществ. В этом случае используют и отселектированную аборигенную микрофлору, и специализированные микроорганизмы, выделенные из других загрязнённых местообитаний, чуждые для данного места (приём получил название «биоаугментация»);

– скомбинированные консорциумы микроорганизмов, члены которых аддитивно дополняют оздоровительные функции партнёров;

– высшие растения-фиторемедиаторы, способные аккумулировать загрязняющие вещества в своих органах, благодаря чему происходит удаление поллютантов непосредственно из почвы или воды с последующим удалением из экосистемы самих растений;

– ассоциативные растительно-ризомикробные комплексы, в которые микробы-детоксиканты вводятся путём инокуляции семян или иного посадочного материала.

Таким образом, накоплен сравнительно большой опыт биорекультивации техногенных территорий с использованием организмов различных систематических групп. Помимо этого проводятся стандартные исследования, в которых изучаются абиотические факторы, влияющие на скорость процесса биодegradации и глубину очистки от загрязнителя (температура, pH, влажность, уровень аэрации, концентрация самих загрязняющих веществ, наличие минеральных и органических источников питания для организмов-деструкторов и т. д.).

Для эколого-токсикологической характеристики биоремедиационных мероприятий предлагаются критерии оценки безопасности и эффективности технологий биоремедиации почвы: 1. Выделенные штаммы-биодеструкторы изучают на безвредность для теплокровных тест-животных по наиболее строгим критериям, принятым в международной практике для микроорганизмов-продуцентов лекарственных препаратов. 2. Перед биоремедиацией составляют (на основе данных химического анализа) карту участка, содержащую информацию о фактическом содержании загрязняющих веществ в почве и их распределении по почвенным горизонтам. 3. Для всесторонней оценки эффективности биоремедиации изучают интегральную токсичность почвы и её биофункциональную активность. 4. Оценивают риск заболеваемости населения, проживающего в зоне биоремедиации [4].

Стратегия использования микроорганизмов в охране окружающей среды осуществляется по двум главным направлениям – экстенсивному и интенсивному. Экстенсивные методы основаны на стимулировании или ингибировании деятельности аборигенных микроорганизмов, разрушающих ксенобиотики и представляют собой самостоятельный раздел биотехнологии, оперирующий с естественными ассоциациями в местах их природного существования. Эти методы основаны на процессах, характеризующихся небольшими скоростями, но они могут быть применены для охраны от загрязнения огромных объёмов почв и природных вод при небольших капитальных затратах. Интенсивные методы основаны на интродукции активных микроорганизмов-деструкторов в загрязнённую почву в виде суспензии свободных или иммобилизованных на специальных носителях клеток.

Биоремедиация с использованием аборигенной микрофлоры

Это группа приёмов, которая в настоящее время используется наиболее часто. На загрязнённые территории для стимуляции аборигенных микробных популяций вносят различные вещества: окислители, косубстраты (мелассу, этанол, навоз, навозные стоки), источники азота и фосфора, эмульгаторы. Для улучшения аэрации проводится вспашка почвы. Применимость и эффективность использования различных технологий активации автохтонной микрофлоры зависит от «возраста» и характера загрязнения, от механического состава почвы, размера очищаемой территории и направления её хозяйственного использования [5, 6]. В последнее время предложен сорбционно-биологический метод, основанный на использовании природных сорбентов и агроприёмов, создающих оптимальные условия для развития и жизнедеятельности собственной специфической почвенной биоты [7]. При этом сорбент играет роль своеобразного буфера, который поддерживает концентрацию химикатов в почвенном растворе на низком уровне токсичности, обеспечивая тем самым условия для детоксикации как растворённых, так и сорбированных ксенобиотиков.

Предложен оригинальный приём активации аборигенной микрофлоры, участвующей в деструкции нефти, который заключается в периодическом (1 раз в 4 месяца) внесении в загрязнённую почву углеводородокисляю-

щих бактерий [8]. Другими авторами [9] для стимуляции аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры в почвах, имеющих разный срок и тип нефтяного загрязнения, предлагаются приёмы, основанные на внесении минеральных удобрений, мелассы и поверхностно-активных веществ. Самая значительная убыль нефти (46% за 9 месяцев культивирования) наблюдалась при внесении всего комплекса стимулирующих добавок. Снижение содержания нефти в почве на 98,2% за семь месяцев биоремедиационных работ было достигнуто при комплексном использовании аборигенной микрофлоры, стимуляцию развития которой проводили путём внесения азотно-фосфатных удобрений. Дальнейшая интенсификация процесса деструкции углеводородов осуществлялась путём интродукции в нефтезагрязнённую почву предварительно выделенных из неё же нефтеокисляющих микроорганизмов, биомасса которых наращивалась в лабораторных условиях и в полевом резервуаре. Для ликвидации остаточных углеводородов, снижения фитотоксичности почвы и доведения всех агрохимических характеристик до нормы очищенную почву засеивали люцерной [10].

Биоремедиация с использованием интродуцируемых активных штаммов микроорганизмов-деструкторов

Обязательными условиями успеха интродукции являются: подробное исследование состояния экосистемы, в которую будут введены микроорганизмы-деструкторы; уровня концентрации загрязняющего вещества; деструктивной активности интродуцента. Прогноз успеха интродукции выделенного микроорганизма-деструктора составляется на основании проверки его стабилизации в модельной экосистеме и проявлении деструктивных свойств на уровне микробной нагрузки при соответствующих концентрациях загрязняющего вещества. Данные прогноза должны сочетаться с показателями абсолютной экологической безопасности интермедиатов тех метаболических преобразований, которые свойственны данному микроорганизму [11]. Кроме того, значительные успехи биоремедиационных мероприятий зависят от способа закрепления микроорганизмов-деструкторов на различных носителях – природных для почвы (торф, сапрпель, различные растительные остатки) и тонковолокнистых, мелкозернистых, обра-

зующих большую поверхность для закрепления, – при очистке сточных вод.

Комбинацией необходимых свойств для проведения биоремедиации, включая рост-стимулирующий эффект и антагонистическую активность против фитопатогенов обладают, в частности, бактерии рода *Pseudomonas* [12,13]. Биопрепараты, разработанные на основе штаммов этого рода, применяются как для защиты культурных растений от болезней, так и для ремедиации почв и водоёмов, загрязнённых нефтью и тяжёлыми металлами. Биовыщелачивание для очистки почв, загрязнённых ТМ, с последующей постадийной экстракцией осуществляется с помощью автотрофных бактерий *Thiobacillus spp.*, продуцирующих серную кислоту [14]. Наибольшее извлечение ТМ (~90%) установлено для Ва, Сu, Pb; для Cd, Co, Ni, Sr – 60–80%.

Изучена возможность удаления высокотоксичного металла кадмия из сточных вод с помощью живой и неживой биомассы актиномицетов [15]. Было показано, что параметры, влияющие на эффективность процесса удаления кадмия, – это время контакта, рН раствора, температура и концентрация биомассы бактерий и токсичного металла. Вслед за биосорбцией кадмия был использован метод дисперсионно-воздушной флотации для отделения собранных суспендированных нагруженных металлом микроорганизмов. При использовании оптимальных условий достигалось более чем 95%-ное удаление кадмия из раствора. В результате экспериментального и математического моделирования популяционной динамики ризосферных бактерий в условиях кадмиевого стресса была рекомендована к использованию в составе биопрепаратов для стимуляции роста растений в условиях загрязнения тяжёлыми металлами бактерия *Klebsiella mobilis* 880, которая обладала наибольшей миграционно-иммобилизационной активностью, наибольшей выживаемостью при кадмиевом стрессе [16]. При удалении из растворов ТМ используют и такую бактерию, как *Arthrobacter vicosus* [17]. Популяция бактерий, помещённая на гранулированный активированный уголь, способствовала удалению из загрязнённого раствора 50–100% свинца и 30–100% железа. Для удаления свинца из синтетических сточных вод используется отработанная биомасса *Corynebacterium glutamicum*, которая накапливается в ходе промышленной ферментации лизина [18]. Когда свинец связывается с биомассой, рН раствора падает, указывая, что протоны в биомассе

замещены на ионы свинца. По сравнению с другими сорбентами, такими как природный цеолит, активированный уголь и синтетические ионообменные смолы, протонированная биомасса коринебактерий признана вполне удовлетворительным биоматериалом для биоочистки загрязнённых вод.

Интродукция микроорганизмов-деструкторов в активный ил II и III очередей биологических очистных сооружений г. Могилёва успешно активизировала очистку производственных и ливневых стоков объёмом 130 тыс. м³/сут. от ингредиентов производства лавсана – метанола, динила, этиленгликоля, параксилола, диметилового эфира терефталевой кислоты до ПДК для очистных сооружений [19, 20].

Высокую эффективность удаления свинца из водных растворов показывают дрожжи *Rhodotorula glutinis*, способные за 10 минут сорбировать 80% свинца [21]. Эффективность сорбции резко возросла при увеличении концентрации биомассы до 2 г/л и далее сохранялась практически постоянной. Максимальная способность к сорбции свинца составляла 73,5 мг/г биомассы. Механизм удаления свинца с помощью дрожжей предусматривает прямое сорбционное взаимодействие с биомассой путём ионообмена или осаждения при высвобождении фосфата из биомассы. Эффективными биосорбентами таких металлов, как Ag, Au, Cd, Co, Cr, Ni, U, Th, Zn, являются дрожжи родов *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia*. Оценка сорбционной способности организмов базируется на классической изотерме сорбции, которую получают в ходе равновесных экспериментов и которая зависит от pH, свойств ионов металлов, концентрации биомассы, присутствия различных органических и неорганических ионов, температуры. Дрожжевая биомасса может быть получена с помощью использования многих промышленных процессов, что значительно уменьшает стоимость сорбента [22]. Не только дрожжи, но и мицелиальные микромицеты способны удалять ТМ из водных сред. Данная способность к биосорбции Pb, Cd, Ni, Cr обнаружена у *Rhizopus arrhizus* и *Aspergillus niger* [23]. Ризопус максимально адсорбировал свинец (44,5%), аспергилл – кадмий (59,7%). Показана возможность адаптации грибов к высоким концентрациям ТМ (100 мг/л) на стадии активного роста. В этом случае адсорбция свинца ризопусом составляет около 60%. Авторы предлагают адаптированные к высоким концентрациям

ТМ штаммы грибов использовать для удаления ТМ из промышленных сточных вод.

Спорообразующие бактерии *Bacillus sp.* (биопрепарат Бациспецин) успешно применяются для снижения фитотоксичности нефтезагрязнённой серой лесной почвы. При этом снижение токсикоза почвы происходит не только в результате деградации нефти, но и путём подавления бациллами фитотоксических форм микромицетов, численность которых через полгода инкубации внесённых бактерий уменьшается на 12–20%, через год – на 20–25% [24]. Скорость самоочищения почвы от нефти повышается и в случае внесения различных видов рода *Azotobacter*. Доказано, что эти бактерии способны усваивать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии как в присутствии связанного азота, так и при азотфиксации [25]. Кроме того, азотобактер активизирует размножение и аборигенных углеводородокисляющих бактерий, входящих в состав препарата деворойл. Вследствие этого использование *Azotobacter* рекомендуют для повышения эффективности биоремедиации нефтезагрязнённых почв.

Наряду с бактериями в качестве основы биопрепаратов для ремедиации нефтезагрязнённых почв применяются, хотя и реже, грибы, способные к утилизации ксенобиотиков. Так, при культивировании специально отобранных штаммов ксилосапротрофных базидиомицетов снижение содержания нефти в субстрате составило 37–39% (род *Trametes*) и 21–22% (род *Fomitopsis*) за три недели [26]. Грибы развивались не только на поверхности, но и по всему объёму нефтезагрязнённого субстрата.

Высоко оцениваются перспективы создания биопрепарата на основе штаммов бактерий р. *Bacillus* для ремедиации почв, загрязнённых полихлорированными бифенилами (ПХБ). Коллекционные штаммы бацилл, выделенные из биогумуса и серозёмных почв, загрязнённых гексахлорциклогексаном, способны выживать в среде, где единственным источником питания и энергии являются ПХБ, и активно разрушают данные соединения [27].

На основании результатов изучения активности микроорганизмов-деструкторов хлорфенолов выявлена высокая способность представителей родов *Rhodococcus*, *Pseudomonas* и *Bacillus* разрушать токсиканты, что в полной мере оправдывает использование их в очистке загрязнённой почвы [28].

Таблица

Влияние цианобактериальной обработки на всхожесть семян пшеницы в образцах почвы, отобранных вблизи ОХУХО

Содержание As, мг/кг	Всхожесть, %	
	Без цианобактериальной обработки	С цианобактериальной обработкой
2,04	70,0	73,3
2,26	23,3	40,0
3,44	30,0	60,0

Разработаны технологии восстановления городских почв, загрязнённых полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) на основе биопрепаратов, в состав которых включены аборигенные микроорганизмы-деструкторы ПАУ, носители для микроорганизмов и сорбенты для загрязнителей [29]. Внесение в почву микробиологического препарата резко ускоряет процесс биодegradации ПАУ по отношению к контрольной необработанной загрязнённой почве. За 3 месяца наблюдений в опытных вариантах разложилось от 65 до 95% ПАУ в зависимости от композиции препарата и концентрации ПАУ.

В экспериментах по биоремедиации нарушенных микробоценозов почв лесопитомников использовали метод биоаугментации, предполагающий внесение в загрязнённую почву специализированных микроорганизмов, способных изменить почвенную микробиоту и тем самым улучшить фитосанитарное состояние почв. Опытами было установлено, что наиболее активными микроорганизмами-интродуцентами для санации серых почв южно-таёжной зоны Сибири являются микромицеты из р. *Trichoderma* и бактерии из р. *Pseudomonas* [30].

В последние годы появился повышенный интерес к фотосинтезирующим микроорганизмам – цианобактериям (ЦБ) как предпочтительным биоремедиационным агентам по сравнению с гетеротрофными бактериями вследствие их независимости от углерода, а у азотфиксирующих гетероцистных штаммов – и от азота. Так, для очистки воды от фенолов, которые являются токсичными компонентами некоторых промышленных предприятий, использовали цианобактерию *Phormidium valderianum* [31]. Представители рр. *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Phormidium* обнаружены в массе в сточных водах предприятий, производящих пестициды, удобрения, красители для тканей, что делает эти ЦБ перспективными в отношении создания биосорбционных ловушек для токсикантов [32].

Разрабатываются технологии удаления ТМ из сточных вод с помощью экзополисахаридов ЦБ *Cyanospira capsulate*. При этом установлено, что эффективность удаления металлов прямо связана с высоким соотношением поверхности к объёму в системе, а биомасса ЦБ может многократно использоваться в циклах сорбции-десорбции металла без снижения эффективности его удаления [33].

Проведены исследования, которые доказали, что продукты жизнедеятельности ЦБ, развивающихся в очистных сооружениях, стимулируют рост и активность бактерий, утилизирующих фенол, дихлорацетат и дихлорфеноксиуксусную кислоту. Одновременное присутствие экссудатов ЦБ и указанных трёх субстратов оказывало синергическое действие на бактерии, осуществляющие биодegradацию контаминатов [34].

Оздоровительный эффект ЦБ проявляется также при их инокуляции в химически загрязнённую почву. Антистрессорная способность ЦБ была показана в опытах с образцами почв, отобранных вблизи объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО) «Марадьковский» в Кировской области и содержащих повышенную концентрацию мышьяка [35]. Так, предпосевная обработка семян пшеницы культурой *Nostoc paludosum* значительно повышала всхожесть растений (табл.).

Биоремедиация с использованием микробных консорциумов

Микробные консорциумы (сообщества, ассоциации), как правило, включают несколько видов или штаммов микроорганизмов, искусственно сконструированных или природного происхождения. В основном эти организмы объединяются за счёт трофических связей типа метабиоза или протокооперации и успешно функционируют, пока в среде есть субстраты, поддерживающие их жизнедеятельность, включая высокотоксичные соединения.

Так, из зон антропогенного загрязнения выделена ассоциация штаммов *Pseudomonas stutzeri* и *Ps. putida*, способная к деструкции цианидов и тиоцианатов при их очень высокой концентрации в различных средах [36]. При совместном присутствии токсикантов ассоциация псевдомонад использует цианиды как источник азота, а тиоцианат – как источник серы.

С помощью двух различных подходов – эмпирического на основании физиологических и метаболических характеристик штаммов и селекции микроорганизмов-деструкторов при периодическом культивировании с нефтью при пониженной температуре получены микробные ассоциации как основа биопрепарата для биоремедиации почв, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами, в состав которых входят микроорганизмы-деструкторы углеводов нефти родов *Rhodococcus* и *Pseudomonas*, психротрофные, галотолерантные, продуцирующие биоэмульгаторы [37].

Ассоциация грибов, относящихся к рр. *Acremonium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, была способна расти на сырой нефти и активно разрушала различные сочетания нефтяных углеводов. Подобные ассоциации микромицетов-деструкторов перспективны для последующего их применения при разработке проектов биотехнологической очистки окружающей среды [38].

При использовании созданного на основе природного консорциума микроорганизмов-нефтедеструкторов *Bacillus brevis* и *Arthrobacter sp.* биопрепарата Леннойл уменьшалась фитотоксичность рекультивируемого нефтезагрязнённого выщелоченного чернозёма [39]. Ремедиационная способность микробного консорциума связана как со снижением содержания в почве остаточных углеводов, так и с перераспределением видов в комплексе почвенных микромицетов в сторону уменьшения удельного веса фитотоксических форм.

При исследовании возможного использования комплекса гриба *Pleurotus ostreatus* – почвенная микрофлора для биоремедиации нефтезагрязнённых почв было обнаружено, что гриб метаболизирует в основном ароматическую фракцию, тогда как почвенная микрофлора активно разрушает парафиново-нафтенновые углеводороды нефти. Интродукция гриба способствует деградации более широкого спектра углеводов нефти [40].

Для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов разработан и внедрён на

территории Новополоцкого отделения нефтепровода «Дружба» препарат «Родобел-Т». Способ очистки почвы и технология его использования запатентованы в Республике Беларусь. Этот экологически безопасный препарат предназначен для очистки окружающей среды от загрязнения нефтью и продуктами её переработки, испытан на нефти, дизельном топливе, мазуте, тяжёлых продуктах переработки нефти (гудрон, битум) [41]. Препарат представляет собой ассоциацию микроорганизмов, активно утилизирующих углеводороды нефти. Содержит представителей гидрофильных и липофильных микроорганизмов, что обеспечивает возможность его действия на границе водно-нефтяного слоя и в толще загрязнителя. Микроорганизмы, входящие в препарат, выделены из природы, непатогенны, нетоксичны.

Биоремедиация с использованием природных микробных сообществ

Одним из недостатков использования в биоремедиации выделенных и отселектированных культур гетеротрофных микроорганизмов является то, что они обладают относительно узким спектром биогеохимических функций. В то же время природные сообщества имеют более широкий набор этих функций, так как включают в себя представителей нескольких трофических уровней, в том числе и фотосинтетиков: цианобактерий и эукариотных водорослей. Существование многовидовых микробных сообществ в виде биоплёнок имеет ряд экологических преимуществ. Биоплёнки проявляют более высокую адаптивную устойчивость в ответ на любые стрессовые воздействия в сравнении с «рассеянными» популяциями. В случае биоплёнок затруднено проникновение в глубинные слои токсических веществ. Поэтому удалённые от поверхности клетки успевают перейти в устойчиво-адаптационное состояние и противостоять действию токсических агентов [42]. При использовании подобных многовидовых сообществ для биоремедиации задача заключается в том, чтобы: 1) отыскать и селекционировать микробные сообщества, способные как выдержать токсичность среды, так и интенсивно деструктурировать загрязнения; 2) реализовать биопроцесс в лабораторном масштабе для демонстрации производительности и масштабности; 3) разработать технологическую схему для промышленного процесса и создать сопутствующие техноло-

гии, обеспечивающие накопление активной биомассы, запуск процесса и т. д. [43].

Перспективным направлением совершенствования процессов биоремедиации водных и почвенных экосистем является использование альго-цианобактериальных сообществ. Особую устойчивость к загрязняющим веществам проявляют цианобактериальные ассоциации. Они способны адаптироваться к нефти и нефтепродуктам, тяжёлым металлам, продуктам уничтожения химического оружия, поддерживать окислительный уровень экосистем за счёт выделения кислорода, увеличивать численность гетеротрофных спутников в ассоциациях [44–47]. Установлено, что консорциум, образуемый матообразующей цианобактерией (ЦБ) *Microcoleus chthonoplastes* и бактериями внутри её чехла, способен расти в присутствии неочищенной нефти и разлагать её компоненты. Большинство симбионтов в биоплёнке относятся к альфа, бета и гамма подклассам Proteobacteria, а также группе *Cytophaga/Flavobacterium/Bacteroides*. Отмечено присутствие азотфиксаторов, близких к *Rhizobium* и *Agrobacterium*. Это означает, что, по крайней мере, некоторые бактерии консорциума осуществляют азотфиксацию и разложение углеводов в чехле ЦБ, в то время как сама ЦБ снабжает их «жилём» и продуктами фотосинтеза – кислородом и органическим веществом [48]. Например, при внесении в загрязнённую почву наращенной биомассы природных биоплёнок с доминированием цианобактерии р. *Oscillatoria* эффективность очистки почвы от нефтепродуктов за 30–90 дней доходила до 100% в зависимости от концентрации нефтепродуктов. Активизация деятельности сообщества и интенсификация процессов деструкции загрязнителя зависела не от внесённой биомассы, а от числа внесённых отрезков осцилляториевых тяжей, так как из любого отрезка образуется одна зона зарастания, распространение которой не зависит от изначальной биомассы [44]. Показано также, что цианобактериальные биоплёнки с доминированием *Phormidium tenuissimum*, *Synechocystis minuscula*, *Synechococcus elongates*, выделенные из техногенных экосистем, при внесении в комплексе с минеральными удобрениями в нефтезагрязнённые почвы активизируют процессы деградации нефти [49]. Во многом деградационная способность цианобактерий по отношению к нефти объясняется тем, что в колониальной слизи цианобактерий создаются благоприятные условия для развития других микро-

организмов. Например, обнаружено, что даже при концентрации нефти в 5% в биоплёнках *Nostoc commune* резко возрастает количество углеводородокисляющих бактерий, способных использовать в своём метаболизме компоненты нефти [46].

В опытах с рядом сельскохозяйственных культур установлено, что природные плёнки *Nostoc commune* смягчали токсическое действие свинца и метилфосфоновой кислоты (МФК) при выращивании пелюшки и горчицы в загрязнённой среде [47].

Приведённые примеры позволяют считать цианобактериальные сообщества перспективными биотехнологическими объектами для разработки принципиально новых методов реабилитации техногенно загрязнённых территорий.

Биоремедиация с использованием высших растений (фитомелиорация)

Фиторемедиация – применение растений для очистки загрязнённых экосистем. Более десяти фиторемедиационных систем, в которых используют способность растений адсорбировать загрязнители, стали главной составляющей «очистительных» программ по всему миру. К 1998 году повсеместно было обнаружено около 400 природных растений, способных адсорбировать различные вещества, такие как тяжёлые металлы, мышьяк и фтор. Основные достоинства фиторемедиации заключаются в возможности рекультивации больших территорий, более низкой стоимости по сравнению с другими технологиями, высокой эффективности и отсутствии негативного влияния на окружающую среду. Потенциальные возможности детоксикации у растений обусловлены их анатомическим и морфологическим строением, особенностями физиологических и биохимических процессов. Основные фиторемедиационные технологии: фитоэкстракция, ризофилтрация, фитостабилизация, ризодеградация, фитодеградация, фитоиспарение [50–52]. Фитоэкстракция (фитоаккумуляция) заключается в поглощении тяжёлых металлов (ТМ) корнями и транслокации их в надземную часть растений и применяется для очистки загрязнённых тяжёлыми металлами почв. Высокой способностью накапливать тяжёлые металлы часто характеризуются трансгенные растения. Например, введением гена крысы в геном табака и водоросли группа учёных под руководством Ру Бинггена из Пекинского

университета получила растения, продуцирующие металлотионин – белок, образующийся в печени человека и других млекопитающих, который легко связывает тяжёлые металлы. По экспертным оценкам, ГМ растения недороги и эффективны в накоплении тяжёлых металлов из загрязнений окружающей среды. Теоретически некоторые гены могут быть внедрены в геном риса для создания его ГМ разновидности, которая будет адсорбировать тяжёлые металлы, не накапливая их в зерне. При ризофильтрации (фитофильтрации) происходит адсорбция или осаждение растворённых в воде солей металлов на поверхности корней или других частей водных или наземных растений. Высушенные, сожжённые или компостированные остатки растений, содержащих повышенные концентрации загрязнителей, после их аккумуляции, сорбции или осаждения утилизируются или перерабатываются. При фитостабилизации осуществляется перевод веществ из растворимой формы в нерастворимую в корневой зоне растений. Технологии фитоиспарения (фитовыпаривание, фитоволятизация) позволяют удалить загрязнители из почвы и грунтовых вод в газообразной форме, после чего он рассеивается до безопасных концентраций или подвергается фотоокислению. При ризодеградации (фитостимуляции) активными участниками фиторемедиационных мероприятий становятся ризосферные микроорганизмы, осуществляющие деструкцию органических загрязнителей. Фитодеградация (фитотрансформация) – процесс биотрансформации или деградации загрязнителей растительными ферментами.

Предпринята попытка создания стратегии биоремедиации экосистем в зонах химического загрязнения высокотоксичным ракетным топливом, которая основывается на результатах комплексных исследований закономерностей взаимодействия с токсикантом почв, растений и сопутствующей микрофлоры [53]. Важнейшим элементом разрабатываемой стратегии является снижение содержания ксенобиотиков в хозяйственно полезной части культурных и дикорастущих растений в районах падения отделяющихся ступеней ракет и зонах действия особо опасных химических производств с помощью созданного авторами стратегии кремний-содержащего хелатного микроудобрения (КХМ) и его новых композиций. Данные препараты снижают поступление ксенобиотика и продуктов его деструкции в растение, а

также компенсируют в зонах экологического риска в получаемой растительной продукции недостающие микроэлементы и биологически активные соединения.

При отборе растений для биоремедиации используют результаты опытов по тестированию на устойчивость при проращивании семян различных видов на загрязнённых средах или непосредственно, отбирая растения в природных условиях при тех или иных видах загрязнения. Так, в серии вегетационных опытов с искусственным загрязнением почвы химически чистыми солями тяжёлых металлов (Cu, Pb, Zn) было установлено, что все испытываемые культуры при внесении в почву 5 ОДК (ориентировочно-допустимое количество) ГМ по величине урожайности располагаются в следующем порядке: кормовые бобы > сурепка > гречиха > пырей > тимофеевка луговая [54].

Было проведено сравнение прорастания семян люцерны и овсяницы на почве, постоянно загрязнённой дизельным топливом. Показано, что овсяница проявляет более высокую жизнеспособность, чем люцерна, является относительно толерантной к дизельному топливу, и поэтому семена овсяницы могут быть использованы для фитовосстановления дизельнозагрязнённых почв [55].

Экспедиционные работы в 1998 году под руководством Чена Тонгбина в сильно загрязнённых плавильными предприятиями провинциях КНР выявили папоротник *Pteris vittata*, который не только интенсивно растёт в окружающей среде с высоким содержанием мышьяка, но и накапливает его высокий уровень в биомассе. До этого во всём мире не было обнаружено растения, способного к гипераккумуляции мышьяка в концентрации свыше 1000 мг/кг. К настоящему времени изучена генетическая основа гипераккумуляции мышьяка у растений *Pteris vittata*, и этот вид рассматривается как наиболее перспективный для фиторемедиации в Китае.

Такие растения, как крестовник и лисохвост, способны в условиях тундры заселять почву с загрязнением нефтью 10–27%, создавая при этом, благодаря активности почвенных микроорганизмов, очищенные зоны вблизи корней. Как показывает микробиологический анализ, в ризосфере этих растений численность бактерий и грибов на три-четыре порядка выше, чем в загрязнённой почве без растений. Делается вывод, что крестовник и лисохвост ускоряют самоочи-

щение загрязнённых нефтепродуктами почв и могут быть рекомендованы для их фиторемедиации [56].

Интересны опыты по использованию декоративных культур как фитомелиорантов в городской среде. Показано, что бархатцы, бегонии, амарант и 4 вида газонных злаков (райграс пастбищный, овсяница красная, костёр безостый, мятлик луговой) способны аккумулировать свинец и кадмий в своих органах. В конце вегетационного периода растения следует удалять с клумб и цветников вместе с корневой системой для дальнейшей утилизации [57].

Создана концептуальная модель технологии фитоэкстракции как одного из экономических и «мягких» способов ремедиации почв, загрязнённых ТМ. Среди культурных или местных дикорастущих растений подбираются виды, производящие большую биомассу и максимально аккумулирующие ТМ без выраженных признаков фитотоксичности. Скорость очистки почв от ТМ повышается за счёт использования так называемых эффекторов фитоэкстракции, многократно увеличивающих накопление загрязнителей в пожинаемой надземной массе. В этом качестве чаще всего выступают хелатообразующие агенты. Полученную биомассу утилизируют путём рекуперации ценных цветных металлов либо используют как биотопливо [58].

Биоремедиация с использованием растительно-ризомикробных комплексов

Одним из факторов, снижающих эффективность детоксикации поллютантов микроорганизмами, является их относительно низкая численность в почве без дополнительных источников органического вещества, которое для гетеротрофных микробов необходимо как источник питания и энергии. В то же время в ризосфере, где в результате экзоосмоса постоянно депонируются легкодоступные органические вещества в виде сахаров, органических кислот, аминокислот (у бобовых), численность микроорганизмов может быть на 1-2 порядка выше. В силу взаимовыгодного сосуществования растительно-микробные ассоциации и симбиозы имеют большие преимущества при выживании в неблагоприятных условиях. При этом их выживание обусловлено не только повышением толерантности к ксенобиотикам, но и активным удалением токсикантов из сферы обитания [51]. Фитопротекторный эффект

реализуется последовательностью событий: бактерии синтезируют фитогормоны (ИУК, этилен), за счёт чего усиливается экскреторная активность корней, соответственно, растёт число бактерий в ризоплане и увеличивается число бактерий, связывающих токсичные ионы в ризосфере. В результате уменьшается число свободных ионов, попадающих в растение [16]. В связи с этим привлекательно и перспективно комбинированное использование растений и ризосферных микроорганизмов, стимулирующих рост растений и одновременно обладающих способностью к деградации поллютантов, устойчивости к тяжёлым металлам и другим неблагоприятным факторам. В этом плане можно рассматривать два аспекта интродукции толерантных микроорганизмов в ризосферу: 1) при выращивании хозяйственно ценных растений на загрязнённых территориях добиваться снижения поступления токсикантов в органы растения и делать сельскохозяйственную продукцию безопасной для человека; 2) снижать токсичность почвы вследствие деградации поллютанта или закрепления его в клетках микроорганизмов или высших растений, которые в дальнейшем отчуждаются из почвы без использования на пищевые или кормовые цели.

В серии опытов было показано, что микробиологическая обработка семян снижает поступление ТМ в органы растений. Так, при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями *Azospirillum lipoferum*, *Arthrobacter mysorens*, *Agrobacterium radiobacter*, *Flavobacterium sp.* происходила активная колонизация корней ячменя сорта Абава в присутствии токсичных для растений концентраций свинца и кадмия в почве (до 10 ПДК). Бактеризация семян положительно влияла на рост и улучшала потребление питательных элементов растениями из обогащённой тяжёлыми металлами почвы в условиях вегетационного и полевого опытов. Предпосевная обработка семян агробактериумом и флавобактериумом снижала поступление кадмия в разные органы растений на 6–40%. Бактеризация семян азоспириллой и агробактерией снижала поступление кадмия и свинца в растения на 10–50% [59, 60].

Инокуляции семян ячменя плазмидо-содержащими штаммами бактерий р. *Pseudomonas*, разлагающими полициклические ароматические углеводороды, выделенными из образцов почв, загрязнённых углеводородами нефти, эффективно защищала растения от фитотоксического действия последних [61].

Для фиторемедиации почв, загрязнённых мышьяком, использовали сахарное сорго, семена которого инокулировали природными и генетически модифицированными штаммами ризосферных бактерий *Pseudomonas aureofaciens*. Генетически модифицированные штаммы бактерий содержали конструкции, которые несли оперон устойчивости к мышьяку и содержали ген цитрат-синтетазы, продукты которой способствуют повышению растворимости фосфатов и арсенатов в почве, переводя их тем самым в доступную для растений форму. Растения сорго, выращенные из семян, инокулированных рекомбинантными штаммами, лучше выживали в почве, содержащей мышьяк, по сравнению с контрольными растениями. Через 35 суток после обработки растения, инокулированные штаммом, растворяющим фосфаты, содержали мышьяка почти на 30% больше, а растения, инокулированные штаммом, повышающим устойчивость к мышьяку, – на 20% больше, чем не инокулированные [62]. Техника комбинированной биофитоочистки загрязнённых почв или вод предполагает выращивание растений хлопчатника, бобов, кукурузы или папоротника на загрязнённых ТМ, мышьяком, цианидами субстратах в ассоциациях с ризосферными микроорганизмами, синергически взаимодействующими, не токсичными, не патогенными, способными питаться корневыми экссудатами растений (грибами *Trichoderma spp.*, бактериями *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*). Эта система, будучи привнесена в загрязнённый субстрат, эффективно и быстро поглощает токсины, аккумулирует и разлагает загрязнители и сильно снижает токсичность полициклических ароматических углеводородов и фенолов в почве и воде [63].

Определено, что фототрофные и хемотрофные микроорганизмы разных таксономических групп и их консорциумы с водными растениями (азолой, ряской, эйхорнией) способны аккумулировать ионы металлов Ni, Pt, Cu, Pb, Cr, Zn, Ti, Au, а также участвовать в деградации углеводородов и других поллютантов. Это позволяет использовать их для очистки сельскохозяйственных и промышленных сточных вод от токсичных тяжёлых металлов и для получения рассеянных дорогих металлов [64].

Накоплен определённый опыт применения сертифицированных биопрепаратов. Было доказано, что под влиянием ассоциативных микроорганизмов, входящих в состав препарата Микробиовит «Енисей», проис-

ходит полное или частичное снижение негативного действия солей цинка на рост и развитие проростков пшеницы. Ассоциативные микроорганизмы в концентрации 100 кл/мл снижали отрицательное действие солей цинка в интервалах от 2 до 32 ПДК [65].

В связи с уничтожением химического оружия на территории России в окружающей среде потенциально могут оказаться продукты детоксикации отравляющих веществ, в частности, такие как тиодигликоль (продукт гидролиза иприта) и метилфосфонофая кислота (продукт гидролиза зомана). Установлено, что сорго, овёс и подсолнечник при выращивании на почвах, загрязнённых данными соединениями, способны при определённых условиях аккумулировать до 25% этих веществ. При совместном действии растений и интродуцированных штаммов микроорганизмов-деструкторов, адаптированных к данным загрязнениям, снижение в почве продуктов детоксикации иприта и зомана в течение 2 месяцев достигает 50–60% [66].

Растительно-микробные системы в биоремедиации универсальны тем, что их можно применять для очистки среды от самых разных загрязнителей, подбирая комбинации компонентов микроорганизмы – растения – загрязнённая среда.

Литература

1. Кожевин П.А. «Здоровье» почвы как проблема биотехнологии // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. междунар. конгресса. Ч. 2. М. 2007. С. 114.
2. Боронин А.М. Микроорганизмы для биоремедиации // Проблемы медицинской биотехнологии. Матер. юбилейной научной конференции, посвящённой 25-летию юбилею ГНЦ ПМ. Оболенск (Моск. обл.). 1999. С. 23–29.
3. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Попов Л.Б., Зыкова Ю.И. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 8–17.
4. Жариков Г.А., Соколов М.С., Дядицев Н.Р. Эколого-токсикологическая оценка мероприятий по биоремедиации почв // 3-й Московский междунар. конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития». Материалы конгресса. Ч. 2. М. 2005. С. 14.
5. Ножевникова А.Н. Биоремедиация загрязнённых почв и грунтов // Экология микроорганизмов. Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Издательский центр «Академия», 2004. С. 196–199.
6. Градова Н.Б. Способы биоремедиации нефтезагрязнённых почв и грунтов: применимость, эффектив-

ность, направления развития // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. 4-го Московского междунар. конгресса. М. 2007. С. 130.

7. Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р., Субочева С.А. Сорбционно-биологическая очистка загрязнённых почв // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. 2-го Московского междунар. конгресса. Ч. 2. М. 2003. С. 16.

8. Скворцова Т.А. Биоремедиация почвы ассоциативными углеводородокисляющими микроорганизмами // Бюл. ВИУА. 2002. №116. С. 445–447.

9. Плешакова Е.В., Дубровская Е.В., Турковская О.В. Приёмы стимуляции аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры // Биотехнология. 2005. № 1. С. 42–50.

10. Карасёва Э.В., Гирич И.Е., Худокормов А.А., Алёшина Н.Ю., Карасёв С.Г. Биоремедиация чернозёмной почвы, загрязнённой нефтью // Биотехнология. 2005. № 2. С. 67–72.

11. Самсонова А.С. Экология микроорганизмов техногенных территорий // Микробиология и биотехнология на рубеже XXI столетия. Матер. междунар. конф. Минск. 2000. С. 83–85.

12. Боронин А.М. Биотехнология ремедиации почв на основе микробно-растительных взаимодействий // Биотехнология: состояние и перспективы. Матер. 1-го междунар. конгресса. М. 2002. С. 138.

13. Логинов О.Н. Новые микробиологические препараты для сельского хозяйства и восстановления окружающей среды: Автореф. ... дис. докт. биол. наук. Кашинцево: Всерос. НИИ биол. пром-сти, 2004. 48 с.

14. Kayser G., Koeckritz T., Markert B. Bioleaching zur Reinigung schwermetallbelasteter Boden mit *Thiobacillus spp.* // Wasser und Boden. 2001. V. 53. № 1-2. P. 54–58.

15. Kefala M.L., Zouboulis A.I., Matis K.A. Biosorption of cadmium ions by Actinomycetes and separation by flotation // Environ. Pollut. 1999. V. 104. № 2. P. 283–293.

16. Пищик В.Н., Воробьёв Н.И., Проворов Н.А. Экспериментальное и математическое моделирование популяционной динамики ризосферных бактерий в условиях кадмиевого стресса. Микробиология. 2005. Т. 74. № 6. С. 845–851.

17. Quintelas C., Tavares T. Lead and Iron removal from aqueous solution: Biosorption by a bacterial biofilm // Resour. and Environ. Biotechnol. 2002. V. 3. № 4. P. 193–202.

18. Choi S.B., Yun Y.S. Lead biosorption by waste biomass of *Corynebacterium glutamicum* generated from lysine fermentation process // Biotechnol. Lett. 2004. V. 26. № 4. P. 331–336.

19. Алещенкова З.М., Самсонова А.С., Семочкина Н.Ф. Влияние микроорганизмов-деструкторов на очистку в активном иле сточных вод производства лавсана // Прикл. биохимия и микробиология. 1999. Т. 35. № 4. С. 448–451.

20. Алещенкова З.М., Самсонова А.С., Семочкина Н.Ф. Интенсификация биологической очистки

сточных вод производства лавсана микроорганизмами-деструкторами, внесёнными в активный ил // Биотехнология. 1997. № 3. С. 48–52.

21. Cho Dae Haeng, Kim Eui Yong Characterization of Pb²⁺ biosorption from aqueous solution by *Rhodotorula glutinis* // Bioprocess and Biosyst. Eng. 2003. V. 25. № 5. P. 271–277.

22. Подгорский В.С., Касаткина Т.П., Лозовая О.Г. Дрожжи – биосорбенты тяжёлых металлов // Микробиол. ж. 2004. Т. 66. № 1. С. 91–103.

23. Bhattacharyya S., Pal Tapan K., Basumajumdar A., Banik A.K. Biosorption of heavy metals by *Rhizopus arrhizus* and *Aspergillus niger* // J. Indian. Chem. Soc. 2002. V. 79. № 9. P. 747–750.

24. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Тарасенко Е.М., Галимзянова Н.Ф., Новосёлова Е.И. Снижение фитотоксичности нефтезагрязнённой серой лесной почвы при биорекультивации // Агрохимия. 2003. № 2. С. 50–55.

25. Градова Н.Б., Горнова И.Б., Эддауди Р., Салина Р.Н. Использование бактерий рода *Azotobacter* при биоремедиации нефтезагрязнённых почв // Прикл. биохимия и микробиология. 2003. Т. 39. № 3. С. 318–321.

26. Ильчибакиева Э.У., Автономова А.В., Марченко М.Ю., Сквородко И.В., Барков А.В., Леонтьева М.И., Краснопольская Л.М., Винокуров В.А. Изучение биодеструкции нефти базидиомицетами // Иммунопатология. Аллергология. Инфектология. 2009. № 2. С. 179.

27. Ким А.А., Песцов Г.В., Ядгаров Х.Т., Джуманиязова Г.И., Зиновьев П.В., Джураева Г.Т., Абдукаримов А.А., Гинс В.К. Микроорганизмы – деструкторы полихлорированных бифенилов // Прикл. биохимия и микробиол. 2004. Т. 40. № 1. С. 70–73.

28. Алещенкова З.М., Самсонова А.С., Глушень Е.М., Филиппанова Л.И., Петрова Г.М., Рылюк В.В. Трансформационная активность микроорганизмов-деструкторов монохлорфенолов // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии: Материалы междунар. конф. Минск, 2004. С. 42–43.

29. Малахова Д.В., Анкудинова А.К., Гарабаджиу А.В., Янкевич М.И. Восстановление городских почв, загрязнённых полициклическими ароматическими углеводородами, микробиологическим способом // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. 4-го междунар. конгресса. М. 2007. С. 135.

30. Сорокин Н.Д., Гродницкая И.Д., Евграфова С.Ю., Пашенова Н.В. Биоиндикация и биоремедиация почв нарушенных лесных экосистем Сибири // Материалы 4-го съезда о-ва биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова. М. 2006. С. 248–250.

31. Shashirekha S., Uma L., Subramanian G. Phenol degradation by marine cyanobacterium *Phormidium valderianum* BDU 30501 // J. Ind. Microbial. Biotechnol. 1997. V. 19(2). P. 130–133.

32. Parikh A., Shah V., Madamwar D. Cyanobacterial flora from polluted industrial effluents // Environ. Monit. and Assess. 2006. V. 116. № 1-3. P. 91–102.

33. Paperi R., Micheletti E., De Phillipis R. Optimization of copper sorbing-desorbing cycles with confined cultures of the exopolysaccharide-producing cyanobacterium *Cyanospira capsulate* // J. Appl. Microbiol. 2006. V. 101. № 6. P. 1351–1356.
34. Kirkwood A.E., Nalewajko C., Fulhorpe R.R. The effects of cyanobacterial exudates on bacterial growth and biodegradation of organic contaminants // Microbiol. Ecol. 2006. V. 51. № 1. P. 4–12.
35. Домрачева Л.И., Дабах Е.В., Кондакова Л.В., Вараксина А.И. Альго-микологические и фитотоксические комплексы при химическом загрязнении почвы // Экология и почва. Лекции и доклады XIII Всероссийской школы. Пущино. 2006. Т. 5. С. 88–98.
36. Григорьева Н.В. Деструкция цианидов и тиоцианатов ассоциацией гетеротрофных бактерий и её применение в биотехнологии: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. М. 2006. 28 с.
37. Нечаева И.А., Филонов А.Е. Психротрофные микроорганизмы для биоремедиации нефтяных загрязнений в условиях холодного климата // Экотоксикология – современные биоаналитические системы, методы и технологии. Сб. статей Росс. школы-конф. молодых учёных. Пущино. 2006. С. 56.
38. Алиева С.Р. Биодegradация нефтяных углеводородов грибами, выделенными из прибрежных участков Апшеронского полуострова Каспийского моря // Биология: теория, практика, эксперимент: Матер. междунар. научн. конф., посвящённой 100-летию со дня рождения проф. Е.В. Сапожниковой. Саратов. 2008. С. 103–105.
39. Киреева Н.А., Рафикова Г.Ф., Галимзянова Н.Ф., Логинов О.Н., Кабиров Т.Р. Комплекс микроорганизмов нефтезагрязнённого чернозёма выщелоченного при рекультивации биопрепаратом Ленойл // Микол. и фитопатол. 2008. Т. 42. № 1. С. 57–63.
40. Позднякова Н.Н., Никитина В.Е., Турковская О.В. Биоремедиация нефтезагрязнённой почвы комплексом грибов *Pleurotus ostreatus* – почвенная микрофлора // Прикл. биохимия и микробиол. 2008. Т. 44. № 1. С. 69–75.
41. Самсонова А.С., Алещенкова З.М., Семочкина Н.Ф. Микробный препарат «Родобел» для очистки почвы от нефти // Материалы II Международного конгресса «Биотехнология – состояние и перспективы развития». М.: ЗАО «ПИК «Максима», РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2003 Ч. 2. С. 40–41.
42. Szomolay B., Klapper I., Dockery J., Stewart P.S. Adaptive responses to antimicrobial agents in biofilms // Environ Microbiol. 2005. V. 7. № 8. P. 1186–1191.
43. Дунайцев И.А., Азбаров Г.И. Технология биодеструкции ядохимикатов и отравляющих веществ в водной и воздушной среде // Вода и экол. Проблемы и решения. 2003. № 3. С. 53–57.
44. Шадрин О.И. Цианобактериальные сообщества в практике рекультивации техногенных экосистем // 8-й съезд гидробиол. о-ва РАН: Тез. докл. Т. 3. Калининград. 2001. С. 89–90.
45. Сопрунова О.В., Дзержинская И.С. Проблемы и перспективы развития биоремедиации // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. 2-го междунар. конгресса. Ч. 2. М. 2003. С. 10.
46. Киреева Н.А., Дубовик И.Е., Закирова З.Р. Консортивные связи цианобактерий типичного чернозёма при загрязнении нефтью // Почвоведение. 2007. № 6. С. 749–755.
47. Огородникова С.Ю., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Фокина А.И., Ашихмина Т.Я., Олькова А.С. Защитная роль *Nostoc commune* для семян сельскохозяйственных культур при действии токсикантов (модельные опыты) // Проблемы региональной экологии. 2008. № 2. С. 96–100.
48. Sanchez O., Diestra E., Esteve I., Mas J. Molecular characterization of an oil-degrading cyanobacterial consortium // Microbiol. Ecol. 2005. V. 50. № 4. P. 580–588.
49. Сопрунова О.В. Функционирование цианобактериальных сообществ в условиях техногенных экосистем // Вестник МГУ. 2006. Сер. 16. № 2. С. 24–29.
50. Назаров А.В., Иларионов С.А. Потенциал использования микробно-растительного взаимодействия для биоремедиации // Биотехнология. 2005. № 5. С. 54–62.
51. Турковская О.В., Муратова А.Ю. Биодegradация органических поллютантов в корневой зоне растений // Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями. М.: Наука, 2005. С. 180–208.
52. Хидака Х., Садунишвили Т.А., Рамзден Д., Аплаков В.Р., Квеситадзе Г.И. Загрязнение окружающей среды и фиторемедиационные технологии // Annals of Agrarian Science. 2005. V. 3. № 4. P. 9–21.
53. Ермаков Е.И., Панова Г.Г., Степанова О.А. Стратегия биоремедиации химически загрязнённых экосистем // Экология. 2005. № 3. С. 193–200.
54. Буравцев В.Н., Головатый В.Г., Ильинский А.В., Котова Е.А., Головатая Н.Н. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязнённой тяжёлыми металлами // Научно-технические технологии в мелиорации: Матер. междунар. научной конф. (Костяковские чтения). М. 2005. С. 282–285.
55. Al-Ghazawi Z., Saadoun I., Al-Shak'ah A. Selection of bacteria and plant seeds for potential use in the remediation of diesel contaminated soils // J. Basic Microbiol. 2005. V. 45. № 4. P. 251–256.
56. Хабибуллина Ф.М. Почвенная микобиота естественных и антропогенно нарушенных экосистем северо-востока Европейской части России: Автореф. ... дис. докт. биол. наук. Сыктывкар. 2009. 40 с.
57. Гальченко С.В., Мажайский Ю.А. Фитомелиорация как способ детоксикации загрязнённых тяжёлыми металлами городов // Мелиорация и окружающая среда. М.: Всероссийский НИИ гидротехники и мелиорации. 2004. Т. 2. С. 3–6.

58. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Фитоэкстракция тяжёлых металлов из загрязнённых почв // *Агрехимия*. 2003. № 3. С. 77–85.

59. Степанок В.В., Юдкин Л.Ю., Рабинович Р.М. Влияние бактериализации семян ассоциативными диязотрофами на поступление свинца и кадмия в растения ячменя // *Агрехимия*. 2003. № 5. С. 69–80.

60. Белимов А.А., Кунакова А.М., Сафронова В.И., Степанок В.В., Юдкин Л.Ю., Алексеев Ю.В., Кожемяков А.П. Использование ассоциативных бактерий для инокуляции ячменя в условиях загрязнения почвы свинцом и кадмием // *Микробиология*. 2004. Т. 73. № 1. С. 118–125.

61. Анохина Т.О., Кочетков В.В., Зеленкова Н.Ф., Балакшина В.В., Боронин А.М. Биодegradация фенантрена ризосферными плазмидосодержащими бактериями рода *Pseudomonas* в модельных растительно-микробных ассоциациях // *Прикл. биохимия и микробиол.* 2004. Т. 40. № 6. С. 654–658.

62. Сизова О.И., Любунь Е.В., Кочетков В.В., Валидов Ш.З., Боронин А.М. Влияние природных и генетически модифицированных ризосферных бактерий *Pseudomonas aureofaciens* на накопление мышьяка

растениями // *Прикл. биохим. и микробиол.* 2004. Т. 40. № 1. С. 78–82.

63. Vinale F., Abadi K., Ruocco M., Marra R., Scala F., Zoina A., Lorito M. Remediation of pollution by using biological systems based in beneficial plant-microorganisms interactions // *J. Plant Pathol.* 2003. V. 85. № 4. P. 301–308.

64. Гоготов И.Н. Аккумуляция ионов металлов и деградация поллютантов микроорганизмами и их консорциумами с водными растениями // *Экол. пром. производства*. 2005. № 2. С. 33–37.

65. Сомова Л.А., Печуркин Н.С., Елманова Н.Г., Михеева Г.А. Влияние ассоциаций микроорганизмов на прорастание семян, рост и развитие проростков пшеницы при воздействии солей цинка // *Микробное разнообразие: состояние, стратегия сохранения, биотехнологический потенциал*. Матер. 2-й междунар. конф. Пермь. 2005. С. 96–97.

66. Ермакова И.Т., Шушкова Т.В., Старовойтов И.И., Фёдоров Е. Е., Щербаков А.А., Петрова А.А. Разработка методов фитобиоремедиации почв, загрязнённых продуктами детоксикации отравляющих веществ // *Поиск и использование новых биомолекул: биоразнообразие, окружающая среда, биомедицина: Тр. Междунар. конф. Пушино*. 2004. С. 55–56.

Автоматизированная технология динамического картографирования для систем дистанционного мониторинга

© 2009. В.П. Савиных, д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор, Московский государственный университет геодезии и картографии, e-mail: vp@miigaik.ru

В статье обсуждается технология динамического картографирования, разработанная ГУ ЦПАМ «Аэрокосмос». Технология использует методы многоуровневой классификации на основе структурно-пространственной модели, что позволяет максимально использовать преимущества различных алгоритмов тематического дешифрирования изображений при существенном сокращении объема вычислений.

The article deals with dynamic mapping technology worked out by SD CPAM «Aerocosmos». The technology uses methods of multilevel classification on the basis of structure-space model. This allows using different thematic images decryption algorithms to the maximum, with considerably reduced calculus volume

Ключевые слова: динамическое картографирование, дистанционный мониторинг, многоуровневая классификация, зонирование

Key words: dynamic mapping, remote monitoring, multilevel classification, zoning

В последние годы информация, полученная на основе спутниковых данных, всё активнее используется для решения различных научных и прикладных задач в интересах охраны окружающей среды и рационального природопользования. Такая информация постоянно применяется в различных специализированных информационных системах, которые создаются для решения конкретных прикладных задач и используют упрощенные процедуры обработки и представления данных.

Анализ существующих систем показал, что, обеспечивая решение отдельных прикладных задач, они имеют ряд существенных недостатков:

- низкий уровень автоматизации процессов тематического дешифрирования;
- небольшое число автоматизированно идентифицируемых классов объектов растительного покрова и грунтов;
- отсутствие технологических решений, обеспечивающих получение взаимосогласованных картографических продуктов в виде масштабных и временных рядов тематических изображений;
- отсутствие технологических решений, обеспечивающих получение карт динамики растительного покрова и грунтов.

Для решения отмеченных выше проблем Государственным учреждением «Научный центр проблем аэрокосмического мониторинга» (ЦПАМ «АЭРОКОСМОС») совместно со

специалистами Московского государственного университета геодезии и картографии, Московского государственного университета леса и ЗАО «Научно-технический центр «Реагент» была разработана технология динамического картографирования (ТДК). Работа выполнялась в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» (государственный контракт с Роснаукой по теме «Технологии оценки состояния и динамики растительных ресурсов наземных экосистем на основе дистанционного мониторинга», шифр 2007-5-2.5-16-01-002).

Технология динамического картографирования предназначена для реализации методов автоматизированного формирования серий разновременных тематических базовых продуктов по данным дистанционного зондирования различного разрешения и методов автоматизированного выявления и оценки изменений пространственного распределения растительного покрова и грунтов по временным сериям данных дистанционного мониторинга. Областью применения такой технологии является оценка состояния и динамики растительных ресурсов наземных экосистем на основе дистанционного мониторинга. Технология динамического картографирования поддерживает весь цикл от предварительной обработки данных и выявления изменений растительного покрова и грунтов до оформления

полученных результатов в согласованном виде выходной продукции.

В разработанной нами технологии динамического картографирования реализованы передовые, в том числе развитые при выполнении данной работы методы тематической обработки результатов, использующие современные методики, базирующиеся на использовании многоуровневой классификации.

Многоуровневая классификация на основе структурно-пространственной модели даёт возможность использовать информацию о пространственных особенностях объектов, представленных на изображениях. Применение тематической обработки с использованием структурно-пространственной модели исследуемых изображений позволяет организовать процесс тематического дешифрирования на основе многоуровневой классификации, использующей различные подходы и таким образом сформировать многоуровневый алгоритм, сочетающий в себе преимущества различных видов классификаторов. Важным преимуществом является то, что на каждом уровне в процесс классификации вовлекаются не все точки исследуемых изображений, а только те, которые относятся к соответствующему структурному элементу на полученной структурно-пространственной модели. Это позволяет существенно сократить объём вычислений и открывает возможности использования более сложных и эффективных алгоритмов классификации, применение которых для всего поля исследуемых изображений ограничивается большими объёмами вычислений. Ещё одним важным преимуществом разработанного подхода является возможность использования на каждом уровне своего набора классификационных признаков, наиболее эффективным для тематического дешифрирования этого элемента пространственной структуры. Расчёт этих признаков также осуществляется только для соответствующих точек полученной пространственной структуры, что существенно сокращает вычислительные затраты.

Использование практических методик тематического дешифрирования растительного покрова и грунтов на основе структурно-пространственной модели открывает следующие возможности повышения вероятности правильного распознавания тематических объектов при решении задач интерпретации изображений со сложной пространственной структурой:

- выбор разных видов классификаторов, оптимальных для тематической сегментации определённого структурного элемента;

- выбор оптимального подмножества классификационных признаков для каждого структурного элемента;

- использование более сложных и эффективных алгоритмов классификации.

Разработанная технология поддерживает следующие основные виды функциональной деятельности.

1. Получение на основе данных дистанционного зондирования тематических изображений, содержащих информацию о пространственном распределении видов растительного покрова и грунтов.

2. Получение на основе данных дистанционного зондирования тематических изображений, содержащих информацию о пространственном распределении классов растительного покрова, дифференцированных по качественным и количественным характеристикам состояния (получение качественных и количественных характеристик состояния растительности).

3. Получение на основе данных дистанционного зондирования временных рядов тематических изображений, для оценки динамики растительного покрова и использования в качестве входных данных процедур создания карт динамики.

4. Создание по данным дистанционного зондирования тематических карт динамики границ экосистем за определённый временной интервал.

5. Создание по данным дистанционного зондирования тематических карт, содержащих информацию о пространственном распределении видов растительного покрова и грунтов.

6. Создание по данным дистанционного зондирования тематических карт, содержащих информацию о пространственном распределении классов растительного покрова, дифференцированных по качественным и количественным характеристикам состояния.

Результаты применения технологии формируются и размещаются в базе данных в виде GeoTiff и Shp файлов.

Для применения технологии динамического картографирования необходимыми информационными ресурсами являются:

- данные многозональной или гиперспектральной съёмки территории интереса (требуемый набор зон – зоны видимого, ближнего и среднего ИК-диапазона);
- набор априорных данных, необходимых для формирования «обучающих» участков классов объектов. В качестве априорных данных могут использоваться картографические материалы на территорию инте-

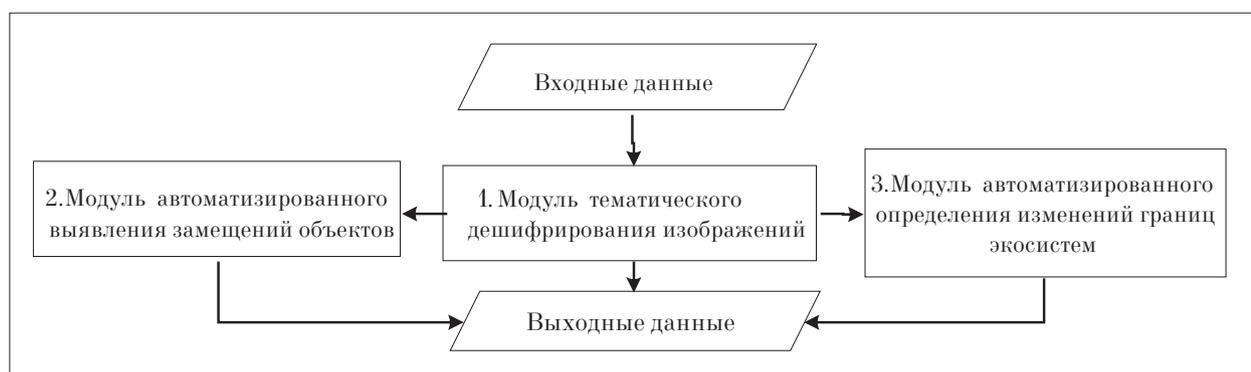


Рис. 1. Структурная схема АРМ технологии динамического картографирования

реса, текстовые описания результатов полевых исследований территории интереса, ранее созданные файлы геопривязанных «обучающих» участков, хранящиеся в базе геоданных.

Структурная схема автоматизированного рабочего места ТДК показана на рис. 1.

Входные данные технологии – файлы (GeoTiff, Img) или временные серии файлов геометрически (географически) совмещённых многозональных изображений в графических форматах, обеспечивающих геопривязку данных.

Выходные данные технологии – файлы (GeoTiff, Img) или временные серии файлов тематических изображений:

- содержащих информацию о пространственном распределении видов растительного покрова и грунтов;
- содержащих информацию о пространственном распределении классов растительного покрова, дифференцированных по качественным и количественным характеристикам состояния;
- замещений растительного покрова и грунтов за определённый временной интервал;
- динамики границ экосистем за определённый временной интервал.

Модуль тематического дешифрирования изображений является важнейшей составной частью технологии динамического картографирования. В его функции входит:

- получение тематических изображений, содержащих информацию о пространственном распределении видов растительного покрова и грунтов;
- получение тематических изображений, содержащих информацию о пространственном распределении классов растительного покрова, дифференцированных по качественным и количественным характери-

кам состояния (получение качественных и количественных характеристик состояния растительности);

– получение временных рядов тематических изображений, для оценки динамики растительного покрова и использования в качестве входных данных процедур создания карт динамики.

Функцией **модуля автоматизированного выявления замещений объектов** является формирование тематических карт замещений растительного покрова и грунтов за определённый временной интервал.

Модуль автоматизированного определения изменений границ экосистем реализует формирование тематических карт динамики границ экосистем за определённый временной интервал.

В результате работы технологии обеспечивается идентификация следующих классов объектов:

1. Гидрография.
2. Застроенные территории.
3. Безлесье.
4. Мозаичный растительный покров.
5. Травянистая, лишайниковая, моховая (площадь покрытия не более 60%) полигональная.
6. Мохово-лишайниковая, карликовая полярная ива и берёза, болота низменные бурые моховые и травяные (до 30%).
7. Кустарниковая (ива, ольха), карликовая берёза, кустарники, болота до 50%, горные тундры – кедровый стланик.
8. Отсутствие сплошного покрова в тундре.
9. Разрежённый древостой (высота 6-8 м).
10. Чередование тундры и редколесья.
11. Европейская лесотундра – берёзовое редколесье.
12. Азиатская лесотундра – лиственное редколесье.

13. Наземный покров – мхи, лишайники, травы.
14. Лес.
15. Болота.
16. Вырубки.
17. Сельскохозяйственные угодья.
18. Луг.
19. Гари.
20. Открытый грунт.
21. Лиственное редколесье.
22. Тёмнохвойные леса – еловые, пихтовые, кедровые.
23. Светлохвойные леса – сосновые, лиственные, кедровые.
24. Широколиственные леса.
25. Мелколиственные – берёза, ольха, осина.
26. Смешанные – хвойно-широколиственные, хвойно-мелколиственные.
27. Посадки леса.
28. Кустарники.
29. Пашни.
30. Сады.
31. Лесозащитные полосы.
32. Солончаки.
33. Участки песков.
34. Пастбища.
35. Песчаные пустыни.
36. Глинистые и щебенистые пустыни.
37. Древесно-кустарниковое редколесье.
38. Полукустарники.

Разработанная система классификации растительного покрова наземных экосистем учитывает географическую зональность природных регионов, степень детальности и охвата территории, получаемых тематических изображений, и обеспечивает создание взаимосогласованных масштабных рядов тематических изображений растительного покрова и грунтов.

Система автоматизированного формирования легенд в рамках ТДК обеспечивает согласование и сопоставимость легенд получаемых тематических карт на разных уровнях детальности в различных регионах.

В ТДК обеспечена возможность масштабирования (расширения) системы по всем параметрам (использование новых типов исходных данных, новых методов обработки, добавление новых показателей состояния и динамики).

Решена задача автоматизированного получения взаимосогласованных временных рядов тематических изображений растительного покрова и грунтов. Пример временного ряда тематических изображений участка

местности на пересечении Дмитровского, Сергиево-Посадского, Пушкинского административных районов Московской области показан на рис. 2-3 (смотрите цветную вкладку).

Реализовано формирование карт динамики, которые заменяют серии разновременных карт, показывают состояние растительного покрова и грунтов в разные моменты времени. Такие карты позволяют оценить динамику за избранный отрезок времени. Технология позволяет автоматически формировать карты динамики растительного покрова и других типов наземных экосистем двух видов:

- карты динамики, отображающие пространственное распределение участков замещений объектов за определённый период;
- карты динамики, совмещающих контуры объектов на разные даты.

На рис. 4-5 показаны примеры карт динамики участка территории Истринского района Московской области на интервал с 07.07.2001 по 30.05.2002 (смотрите цветную вкладку).

Разработанное программное обеспечение автоматизированной оценки динамики объектов и характеристик растительного покрова обеспечивает выявление участков изменений на площади не менее 100 га на уровнях пространственного охвата от национального до регионального, и на площади не менее 10 га на локальном уровне и выявление участков смещений границ наземных экосистем не менее 1000 метров на уровнях пространственного охвата от национального до регионального, и не менее 100 метров на локальном уровне.

Методическое, алгоритмическое и программное обеспечение базовой автоматизированной технологии динамического картографирования ориентировано на широкий круг применения в системах контроля и прогноза состояния окружающей среды, в лесном хозяйстве и лесной промышленности, сельском хозяйстве, гидрометеорологии и климатологии, при мониторинге чрезвычайных ситуаций и оценке их последствий.

В целом сравнительный анализ показывает, что разработанная технология динамического картографирования по своим функциональным возможностям и эффективности превосходит существующие системы обработки космических данных и находится на уровне современных мировых тенденций их развития.

Методы поддержания микробных культур. Часть 2. Лиофилизация

© 2009. В.Ю. Охашкина, д.м.н., с.н.с.,

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

В статье обобщены данные литературы по использованию лиофилизации для поддержания и хранения микроорганизмов в музейных коллекциях, описаны сущность процесса, механизмы и последствия воздействия сублимационного высушивания на микробные клетки, представлены сведения о составе и области применения защитных сред.

The article summarizes the data on liophylisation for the purpose of maintaining and keeping microorganisms in museum collections. It describes the essence of the process, mechanisms and consequences of sublimation desiccation on microbe cells. It also presents information on content and sphere of using protective mediums.

Ключевые слова: методы хранения, высушивание, лиофилизация, защитные среды, влияние на микроорганизмы

Key words: methods of storage, desiccation, liophylisation, protective mediums, impact on microorganisms

Как указывалось ранее в обзоре [1], большинство эффективных методов хранения микроорганизмов основано на искусственном переводе их в анабиотическое состояние, что достигается экспериментальным изменением условий окружающей среды. Известно, что основным фактором, обеспечивающим протекание биохимических процессов в клетке, является вода. Потеря влаги ведёт к замедлению жизнедеятельности микробной клетки. Устранения действия воды можно добиться либо её переводом в неактивное состояние (замораживание), либо удалением (высушивание).

Методы высушивания микробных культур известны с конца прошлого – начала нынешнего века. Ещё в 1909 году Шеккель применил метод замораживания в смеси льда с солью с последующим поглощением влаги серной кислотой под вакуумом для высушивания крови и антисыворотки, а в 1911 году он совместно с Харрисом успешно применил этот метод для сохранения вируса бешенства [2].

В 1914 году Роджерс [3] лиофилизировал указанным способом молочнокислые бактерии, при этом большинство микробов быстро утратили жизнеспособность, ввиду чего исследователь высказал сомнение в возможности длительной консервации бактерий путём высушивания. Однако он первый отметил очень важный факт влияния на выживаемость микробов остаточной влажности. В те

же годы Хаммер провел исследования по сохранению таким способом кишечной палочки, стафилококка, псевдомонад. На устойчивость бактерий к высушиванию указывал Сербинов [3], в его экспериментах в 1916 году культура *Azotobacter* при высушивании в эксикаторе сохранялась в жизнеспособном состоянии в течение 160 дней. В 1921 году Свифт [3] предложил вместо смеси льда с солью использовать твёрдую уголекислоту, а серную кислоту он заменил на пятиокись фосфора.

Браун [4] высушивал взвеси бактерий на полосках фильтровальной бумаги. Существенным моментом являлось то, что перед высушиванием он смешивал культуры гонококков с кровью или сывороткой и тем самым положил начало применению защитных сред. Он же впервые применил хранение высушенных культур под вакуумом. В 1935 году Флосдорф и Мадд [3] разработали криохимический способ высушивания биопрепаратов и ввели метод самозамораживания вместо предварительного замораживания. В Советском Союзе метод лиофилизации был впервые применён Г.И. Лаппа-Старженецким в 1921 году.

В последующие годы методы высушивания микробов, и в первую очередь лиофилизация, были детально разработаны и получили самое широкое распространение в микробиологической практике.

Наряду с лиофилизацией в лабораторной деятельности по настоящее время использу-

ются некоторые простые и доступные методы высушивания микробов, которые не требуют специального оборудования и позволяют в течение непродолжительного времени сохранять культуры, необходимые для работы.

Методы высушивания микробных культур, обеспечивающие непродолжительное хранение

При обычном высушивании на воздухе в лабораторных условиях многие микроорганизмы погибают. Однако некоторые культуры, особенно спорообразующих бактерий, можно сохранять достаточно долго, если высушивать их в определённых условиях.

Спорообразующие микроорганизмы успешно можно сохранять годами в стерильной почве, высушенной на воздухе. Для этого автоклавированная плодородная садовая почва смешивается с густой суспензией спор, помещается в герметичные укупорки и хранится в холодильнике при температуре от 2 до 6 °С. Наряду с почвой при данном методе хранения можно применять и другие естественные материалы – речной песок, опилки, торф [4].

Простым и доступным методом сохранения микробов является их высушивание на полосках или дисках стерильной фильтровальной бумаги [5, 6]. В общем сосуде можно хранить много дисков, содержащих одну и ту же культуру. По мере надобности диск извлекают стерильным пинцетом и асептически вносят в соответствующую жидкую питательную среду. Представители семейства *Enterobacteriaceae* сохраняются таким образом до нескольких лет. Выживаемость микробов можно повысить, если высушивать бумагу, пропитанную культурой не на воздухе, а под вакуумом, и хранить её в последующем в запечатанных ёмкостях в холодильнике.

Многие бактерии можно хранить в высушенных под вакуумом каплях или дисках пищевого желатина [5, 6]. В таком виде микробы предпочтительнее содержать при температуре от минус 18 до минус 22 °С. Для восстановления культуры желатиновую каплю достаточно перенести в пробирку с соответствующей питательной средой.

Методы высушивания микробных культур, обеспечивающие продолжительное хранение

Применяемые способы длительного хранения микробных культур путём высушивания

должны отвечать двум основным требованиям: процесс высушивания не должен оказывать вредного влияния на биологические объекты, сухие препараты должны длительно сохранять свои свойства.

Традиционные методы высушивания в эксикаторах и в сушильных шкафах без предварительного замораживания приводили к быстрой потере активных свойств препаратов. При этом высушенный материал имел большой процент остаточной влажности, вызывающей процессы окисления, а факторы денатурации белка обуславливали ухудшение растворимости препарата, снижая тем самым его качество.

В настоящее время в практике широко применяются вакуумные аппараты, позволяющие высушивать не только малые количества микробных культур (коллекторные аппараты), но и значительные количества вакцинных биопрепаратов (камерные аппараты). И в том, и в другом случае высушивание производят из замороженного состояния в условиях глубокого вакуума.

В литературе [3, 7–9] имеются данные, что наряду с лиофилизацией для высушивания микробов может быть использовано высушивание методом распыления. Этот метод является принципиально отличным от лиофилизации, их объединяет только конечный эффект – обезвоживание до пределов, позволяющих длительно сохранять биологические свойства препаратов. Высушивание распылением характеризуется тремя основными процессами: распылением раствора, смешиванием распылённых частиц с нагретым газом, тепло- и массообменом между ними, после чего высушенные частицы извлекаются из потока воздуха. Имеются отдельные сведения об успешном применении этого метода для обезвоживания микробов. Н.Н. Титов [3] использовал его для высушивания бацилл Метальникова, которые служат в качестве агента для борьбы с саранчой, и отмечал, что не нашёл разницы в выживаемости между культурами, высушенными распылением и лиофилизированными. В 1940 году он же высушивал методом распыления сальмонеллы Данича, выживаемость микробов при этом составила свыше 50%, что является вполне удовлетворительным результатом. Успешными были опыты по применению распыления для сушки молочнокислых и ацидофильных палочек [3]. Однако высушивание распылением, являясь высокопроизводительным методом обезвоживания биологических ма-

териалов, по понятным причинам не может быть использовано для высушивания небольших количеств эталонных и коллекционных штаммов микробов. Приведённые данные свидетельствуют о возможности применения этого метода для консервирования бактерий, производство которых налажено на промышленной основе.

Сущность и основные принципы процесса лиофилизации микробных культур

Высушивание из замороженного состояния отличается от других способов высушивания тем, что вода при этом удаляется из материала путём превращения льда непосредственно в пар, минуя жидкую фазу. Физические особенности этого нашли отражение в многочисленных синонимах, под которыми данный процесс упоминается в литературе: лиофильный способ, лиофильное высушивание, сублимация, сублимационное высушивание, высушивание из замороженного состояния, замораживание-высушивание, молекулярная сушка [10, 11].

В обычных условиях вода закипает и превращается в пар при температуре 100 °С и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. Если давление над поверхностью воды прогрессивно уменьшать, то точка кипения воды будет понижаться. При снижении давления до 4 мм рт. ст., что ниже упругости паров льда при 0 °С, высушивание будет происходить из замороженного состояния [12].

При переходе льда непосредственно в пар биологический материал превращается в губчатую массу из белка и солей, объём которой равен объёму первоначальной замороженной массы. При этом предотвращается агрегация молекул белка и воздействие на них высоких концентраций солей. Полученный продукт предельно быстро и легко растворяется. Успех высушивания в основном зависит от температуры материала. Она должна быть достаточно низкой, чтобы избежать оттаивания препарата и концентрации солей, и достаточно высокой, чтобы не тормозить процесс высушивания.

Процесс замораживания-высушивания можно разделить на следующие стадии [12]:

1. Замораживание.
2. Первичное высушивание или стадия сублимации.
3. Вторичное высушивание или досушивание и упаковка.

Как уже указывалось, предварительное замораживание предотвращает денатурацию белка в высушиваемом материале, а также препятствует вспениванию его при создании глубокого вакуума в системе аппарата.

Способы замораживания можно классифицировать следующим образом [12].

1. Самозамораживание (замораживание путём испарения).

1.1. Быстрое замораживание с удалением из материала газов.

1.2. Центробежное замораживание в вакууме.

2. Предварительное замораживание.

2.1. Статическое.

2.2. Пристеночное.

2.3. Центробежное.

Принцип самозамораживания сводится к тому, что в условиях достаточного вакуума при наличии химического поглотителя водяных паров или охлаждённой поверхности конденсатора обильно испаряется влага, быстро понижается температура и материал замораживается. Однако при быстром снижении давления из замораживаемого материала обильно выделяются растворённые в нём газы, обуславливая массивное вспенивание. Это крайне нежелательно, так как может привести к вытеканию жидкости из сосудов. Метод удаления газов заключается в том, что давление в сушильной камере понижают постепенно до момента, когда появляются пузырьки газа, а затем его поддерживают на одном уровне до полного прекращения отделения газа. Последующее снижение давления не сопровождается выделением газов, и при достижении достаточного вакуума жидкость моментально превращается в лёд.

Обильного вспенивания можно также избежать, сочетая понижение давления с центрифугированием препарата. При этом лёд образуется в центре материала и быстро распространяется на периферию. Добавочная сила, которая создаётся центрифугированием при пониженном давлении, увеличивает поверхностное натяжение и препятствует зарождению и выходу газовых пузырьков наружу. Замораживание в этом случае происходит без удаления газов. Для того чтобы полностью предотвратить вспенивание, достаточно сообщить сосуду незначительное ускорение: для ампулы диаметром 25 мм скорость вращения составляет 700 оборотов в минуту [12].

Предварительное замораживание наиболее часто используют при лиофилизации биологических препаратов. В связи с тем, что

сублимация осуществляется с поверхности замороженного материала, на скорость высушивания влияют площадь этой поверхности и толщина слоя. Материал, разлитый в ампулы или флаконы в небольшом количестве при толщине слоя не более 8-10 мм, можно замораживать в вертикальном состоянии (статическое замораживание). Чаще всего материал в ампулах замораживают в наклонном положении для увеличения площади поверхности. Более рационально для этого равномерное распределение материала по всей внутренней поверхности сосуда, что достигается медленным его вращением почти в горизонтальном положении в ёмкости с охлаждающей смесью (пристеночное замораживание). Ряд производств используют пристеночное замораживание путём быстрого вращения сосуда с препаратом в вертикальном положении в ванне с охлаждающей жидкостью или камере с низкой температурой воздуха (центробежное замораживание).

Для предварительного замораживания используют воздушные холодильные камеры, создающие температуру от минус 40 до минус 60 °С, охлаждённый спирт (с температурой от минус 30 до минус 60 °С, смесь спирта или ацетона с сухим льдом (с температурой минус 78 °С). Для этих целей могут также использоваться смеси льда или снега с рядом химических соединений (табл. 1) [13].

Вторым этапом лиофилизации является сублимация. Она осуществляется за счёт тепла, поступающего из внешней среды. Подведение тепла к высушиваемому материалу достигается конвекционным и контактными путями, термоизлучением либо их сочетанием. Важным моментом процесса сублимации является обеспечение отвода и конденсации водяных паров. Наиболее ранним является криохимический способ, основанный на

поглощении водяного пара химическими соединениями. Последние помещают между сушильной камерой и коллектором, чтобы все откачиваемые пары жидкости проходили через слой сорбирующего материала. Такие химические вещества могут образовывать с водой новые соединения (пятиокись фосфора) либо просто связывать её без изменения свойств (гипс, серная кислота и т. п.). Влагопоглощающая способность различных соединений неодинакова (табл. 2) [13].

Как видно из таблицы 2, непревзойдённым сорбентом водяных паров является пятиокись фосфора. Для удаления 100 л воды требуется всего 0,5 кг этого соединения [3]. Однако он не регенерируется в отличие от других сорбентов, например, гипса. Недостатком всех сорбентов является снижение их поглощающей способности по мере насыщения водой. Наиболее целесообразно применять их для досушивания предварительно лиофилизированных препаратов с остаточной влажностью от 6 до 8% либо для высушивания небольших количеств музейных и экспериментальных культур.

Сублимация осуществляется только в условиях относительно высокого вакуума, что достигается с помощью вакуумных насосов и специальных герметичных камер.

Досушивание препаратов – заключительная стадия лиофилизации. В клеточных суспензиях и биологических материалах имеется свободная и связанная вода. В процессе сублимации удаляется свободная и часть связанной воды. Связанная вода обладает прочной связью с гидрофильными веществами клетки. В зависимости от свойств препарата её содержание может быть сравнительно высоким. Удаление этой фракции воды и происходит в процессе досушивания. Однако сухой препарат должен содержать определённый процент влаги во избежание структурных

Таблица 1

Температуры, создаваемые при смешивании льда и снега с разными химическими соединениями

Формула соли	Число весовых частей на 100 частей снега	Температура смеси (°С)
KCl	30	-11
CaCl ₂	30	-11
NH ₄ Cl	25	-15,8
NH ₄ NO ₃	60	-17,3
NaNO ₃	59	-18,5
NaCl	33	-21,2
(NH ₄) ₂ SO ₄	62	-19
CaCl ₂ ·6H ₂ O	82	-21,5
CaCl ₂ ·6H ₂ O	125	-40,3
CaCl ₂ ·6H ₂ O	143	-55

Влагопоглощающая способность некоторых химических соединений

Высушивающее вещество	Количество водяных паров, остающихся в 1 дм ³ воздуха при 25 °С (мг) при скорости 1-3 дм ³ /мин
Фосфорный ангидрид	0,000025
Едкий калий (плавленый)	0,002
Сернокислый кальций (гипс)	0,004
Хлористый кальций (в гранулах)	0,14
Серная кислота (95,1%)	0,3

повреждений и денатурации белка. Процент остаточной влажности для различных высушенных материалов колеблется от 1 до 6% [13].

Все сухие препараты обладают высокой гидрофильностью, поэтому их упаковка должна проводиться в помещении с влажностью не более 12–14%, флаконы и бутылки должны закупориваться герметично, а ампулы желательно запаивать под вакуумом [3].

Простейшее приспособление для лиофилизации – эксикатор, куда помещают замороженный материал и поглотитель влаги и откачивают из него воздух с помощью насоса. Для лиофилизации больших объёмов биопрепаратов используют специальные аппараты: коллекторные, камерные и камерно-коллекторные.

Факторы, влияющие на устойчивость микроорганизмов к лиофилизации и хранению

Как известно, главными факторами, обеспечивающими жизнедеятельность, рост и размножение микробов, являются питание, дыхание и обмен веществ между клеткой и окружающей средой. Питание микробов возможно только в условиях определённой влажности, чтобы питательные вещества могли диффундировать в клетку. Поэтому микробные клетки содержат в среднем 80% воды. Вода является средой и компонентом практически всех химических реакций, протекающих в них. Увеличение или уменьшение количества влаги, содержащейся в живом организме, в большой мере влияет на его жизнеспособность. Ещё одним важным условием жизни клетки является дыхание, и, независимо от его характера (анаэробное, аэробное), для осуществления газообмена необходима жидкая среда. Таким образом, если для поддержания жизни микробов обычными способами требуется вода, питательные вещества и кислород воздуха, то для сохранения высушенных

микробов нужны прямо противоположные условия, обеспечивающие их поддержание в состоянии анабиоза.

Микробы в большинстве своём хорошо переносят обезвоживание, как из замороженного состояния, так и при положительных температурах. В первом случае жизнеспособность будет в основном определяться чувствительностью микроорганизмов к замораживанию, во втором – от их способности сохранять физиологические функции при низком содержании влаги.

Фрай [14] на основании данных литературы и своих исследований разделил все бактерии по степени устойчивости к лиофилизации на три группы. К наиболее устойчивым к высушиванию микробам он относит стрептококков, особенно гноеродных, и стафилококков, их выживаемость составляет от 72 до 100%. К группе бактерий со средней степенью устойчивости он относит сальмонелл, шигелл, бруцелл, выживаемость которых колеблется от 10 до 30%. И, наконец, к группе наиболее чувствительных бактерий отнесены *Neisseria*, *Haemophylus*, холерный вибрион, выживаемость которых не превышает 1–1,5%.

Помимо индивидуальной и групповой чувствительности к высушиванию сохраняемость бактерий в процессе обезвоживания и последующего хранения зависит от ряда факторов: возраста культуры, условий культивирования, состава питательной среды для выращивания, режима и способа лиофилизации, стабилизирующей среды, величины остаточной влажности, условий хранения и пр. [15, 16].

Надо отметить, что чувствительные к высушиванию микробы требуют более строгого и неукоснительного соблюдения условий и режима лиофилизации. Резонно предположить, что способ и условия высушивания, приемлемые для малостойчивых микроорганизмов, могут быть с успехом применены для других более устойчивых бактерий.

Как уже указывалось, вид и род микроорганизмов в значительной мере влияет на их устойчивость в процессе высушивания и даже

отдельные штаммы одного вида имеют иногда различную выживаемость после данного воздействия [3]. Есть указания, что грамположительные бактерии более резистентны к обезвоживанию, чем грамотрицательные [17]. Устойчивость к высушиванию также зависит от возраста культуры. Очень молодые и очень старые культуры проявляют худшую выживаемость, что наглядно подтверждается некоторыми исследованиями [3]. При лиофилизации 7-9-дневной культуры туберкулёзных бактерий вакцинного штамма БЦЖ выживаемость микробов составила 68,0–87,5%, в вакцине из 10-дневной культуры – 33,0%, а из 17-дневной – всего лишь 3,2%. Шульц и Ритц [18] обнаружили, что клетки кишечной палочки наиболее устойчивы к лиофилизации в логарифмической фазе роста. Интересные данные приводятся Э.К. Карасевичем и А.В. Платоновым [19]. При совместном высушивании пропионовокислых и ацидофильных бактерий максимальная выживаемость отмечается при подсевах ацидофильных бактерий к 36-часовой культуре пропионовокислых и совместном культивировании в течение 18 часов.

На чувствительность микробов к обезвоживанию влияют и условия культивирования бактерий [20]. Выращивание при пониженной температуре способствует тому, что микробы становятся более чувствительными к высушиванию, а аэрация культур большинства видов аэробных микроорганизмов увеличивает их устойчивость к такому воздействию [14]. Есть данные, что добавление в среду 2% глицерина оказывает благоприятный эффект при лиофилизации микробов. Не рекомендуется лиофилизировать микробные клетки в той же среде, где они выращивались. Клетки предварительно нужно отцентрифугировать и затем ресуспендировать в свежей питательной или в стабилизирующей среде.

Вопрос о влиянии первоначальной концентрации микробов на выживаемость в процессе высушивания является спорным. Ряд авторов полагает, что эти два фактора связаны прямой зависимостью [3, 21], другие не разделяют эту точку зрения [13, 18, 22]. Вероятнее всего, что при высушивании клеток в надлежащей защитной среде выживаемость не зависит от исходной концентрации их в суспензии.

Огромное влияние на устойчивость микробов к высушиванию оказывает среда, в которой суспендируется культура. Требования, предъявляемые к защитным средам, и особенности их качественного состава будут рас-

смотрены далее. Следует отметить, что наличие солей в защитной среде нежелательно по той же самой причине, что и при замораживании. Важным моментом является выбор оптимального соотношения между объёмом микробной массы и объёмом стабилизирующей среды. По этому поводу проводился ряд исследований, но они не дали убедительного ответа на поставленный вопрос. Заслуживает внимания серия опытов по высушиванию микробов в сахарозо-желатиновой среде [18]. Так, было показано, что культуры, суспендированные в двойном количестве защитной среды по отношению к микробной массе, проявили большую выживаемость по сравнению с культурами с другими соотношениями.

Гарантией успешного сохранения микробов в высушенном состоянии является неукоснительное соблюдение всех деталей процесса лиофилизации. В то же время и условия хранения лиофилизированной культуры в значительной мере влияют на жизнеспособность бактерий. Если сухие микробы сохраняются в удовлетворительных условиях, то их отмирание происходит очень медленно. По мере снижения значимости влияния на выживаемость микробов факторы условий хранения можно расположить в следующем порядке: температура хранения, остаточная влажность препарата, суспензионная среда, газовая среда, наличие света.

Температура хранения наиболее значима из перечисленных факторов. Особенно неблагоприятной является высокая температура: чем она выше, тем хуже выживаемость микробов [12]. По данным С.Л. Степановой [23], через 48 месяцев хранения лиофилизированной культуры при температуре от 2° до 6 °С выживаемость составила 18,6–51,2%, при температуре от 18 до 22°С – 0,01–0,5%, при 37 °С – жизнеспособными остались единичные бактерии. Подобные результаты были получены и многими другими авторами. Из приведённых исследований видно, что наиболее приемлемой можно считать температуру хранения от 2° до 6 °С [19]. Высушенные музейные штаммы необходимо хранить при минусовых температурах, что позволяет производить их «освежение» не чаще 1 раза в 5–10 лет.

Степень обезвоживания микроорганизмов в различной мере влияет на жизнеспособность микробов при высушивании и хранении. С одной стороны, рядом исследователей показано, что удаление свыше 90% воды, как правило, сопровождается гибелью клеток [4]. С другой стороны, остаточная влажность более

5% губительно отражается на жизнеспособности бактерий при хранении в высушенном состоянии при обычной температуре, то есть с остаточной влажностью от 5 до 10% обеспечивается их максимальное выживание с применением высушивания, но не обеспечивается надёжной стабильности при хранении. Фактором, снижающим степень вредного влияния на бактерии вследствие высушивания до остаточной влажности 1–5%, являются защитные среды. Так, некоторые исследователи полагают [9, 23, 24], что наличие в защитной среде сахарозы обеспечивает длительное сохранение микробов даже при относительно высокой остаточной влажности препарата.

Таким образом, существует оптимальная влажность, обеспечивающая длительное хранение сухих бактерий, она зависит от вида микробов, состава защитной среды, других условий хранения. Хранение высушенных культур при температуре от 2 до 6 °С приводит к тому, что остаточная влажность имеет гораздо меньшее значение, чем в условиях комнатной температуры или при 37 °С [18]. Наиболее безопасной для жизнеспособности большинства бактерий является остаточная влажность 1–6% [3, 18, 25, 26].

Атмосфера хранения заметно влияет на жизнеспособность высушенных бактерий, особенно при повышенных температурах. При сравнительном исследовании эффективности сохранения микробов в условиях вакуума, на воздухе, в присутствии кислорода, азота, водорода, углекислого газа наилучшие результаты были получены при использовании вакуума, а наихудшие – кислорода. С.Г. Колесов [3] показал, что наличие воздуха в ампулах с высушенными культурами приводило к их полной гибели уже через 15 месяцев хранения, в то время как аналогичные культуры, хранящиеся под вакуумом сохранялись до 4-6 лет. Таким образом, надо полагать, что предпочтительнее всего хранить высушенные культуры под вакуумом. Кроме того, в литературе есть указания [4, 14] на губительность света для лиофилизированных культур и на необходимость их содержания в защищённом от света месте.

Защитные среды, применяемые при высушивании микроорганизмов

В среды для суспендирования культур, подвергающихся лиофилизации, обычно вводят вещества, уменьшающие отмирание микробов в процессе замораживания, высу-

шивания и хранения в сухом виде. Различные применяемые с этой целью вещества могут отличаться преимущественным защитным действием в отношении только отдельных неблагоприятных факторов. Учитывая этот факт, предпочтительнее применять сложные защитные среды из двух или нескольких компонентов.

На основании данных литературы [18] можно выделить несколько общих требований, предъявляемых к защитным средам, используемым при высушивании микроорганизмов.

1. Среда должна обеспечивать защитное действие на всех стадиях процесса лиофилизации.

2. Микробы, лиофилизированные в защитной среде, должны быть стабильными при хранении в широких интервалах температур.

3. После удаления свободной воды среда должна обеспечивать мелкопористую, достаточно плотную структуру. Если это условие не соблюдается, то сухой материал имеет рыхлую или порошкообразную структуру, то часть микробов будет унесена из ампул в процессе высушивания в потоке паров воды. Кроме того, материал может быть увлечён во время вскрытия ампулы, что особенно опасно при работе с патогенными микроорганизмами.

4. Защитная среда должна быть достаточно гидрофильной, чтобы обеспечить оптимальную остаточную влажность препарата.

5. Среда должна быть максимально очищена от солей, поэтому их готовят на дистиллированной воде.

6. К средам высушивания для вакцинных препаратов предъявляются дополнительные требования: они должны удовлетворять критериям фармакопеи, хорошо растворяться, обеспечивать стандартный вид таблетки, не обладать антигенностью.

Бактерии можно лиофилизировать непосредственно в среде выращивания. Именно такой способ использовали М.М. Файбич и Т.С. Тамарина [27] для изготовления живой сухой туляремийной вакцины. Однако чаще всего для лиофилизации используют специально приготовленные среды. Исходя из данных литературы [3, 4, 18, 25, 28] можно выделить 3 группы веществ, которые применяются в качестве компонентов защитных сред:

1. Коллоиды животного, растительного или минерального происхождения.
2. Растворимые вещества, такие как сахара, пептоны, аминокислоты.
3. Антиоксиданты.

Эти компоненты могут входить в состав защитных сред по отдельности либо в самых разнообразных сочетаниях.

Из коллоидных сред животного происхождения особенно широко применяют дефибринированную кровь, плазму, цельную или разведённую сыворотку крови. В связи с бактерицидным действием нативные препараты крови подвергаются предварительной инактивации на водяной бане при температуре 56 °С в течение 1 часа. Сыворотку часто используют в сочетании с углеводами и другими растворимыми веществами. Сыворотка является одной из самых лучших защитных сред, лиофилизацию в ней выдерживают даже такие чувствительные микроорганизмы, как менингококки и гонококки и сохраняются до 18 лет [5, 13, 18]. Из сложных защитных сред, содержащих сыворотку, надо отметить среду под названием «Mist. desiccans», предложенную Фраем и Гривсом [14]. Кроме сыворотки, с успехом применяются 5, 10, 25%-ные растворы отдельных фракций сывороточных белков и белков крови.

Среды, в которых в качестве коллоида вводится желатина и агар-агар, нашли особенно широкое применение при производстве сухих живых вакцин, так как лишены антигенных свойств. У нас в стране используется среда Файбича [29], которая существует в двух модификациях:

1. Сахароза 10%, желатина 1-1,5%, агар-агар 0,05-0,2%;
2. Сахароза 10%, желатина 1-1,5%.

В последующем М.М. Файбич рекомендовал добавлять в эти среды антиоксиданты: 1% аскорбиновой кислоты или 1 % тиомочевины [29]. Эти добавки увеличивают стабилизирующее действие среды и позволяют хранить высушенные культуры без создания вакуума. В качестве антиокислителей можно также использовать йодистый калий, молибденово-кислый аммоний. Для сушки бактериальных культур можно использовать чистую желатину в концентрации от 5 до 10%, добавление 0,25–0,5% аскорбиновой кислоты значительно повышает её эффективность. Недостатком сред с большим содержанием желатины является трудность смыва ими микробов с питательной среды вследствие образования гелевидной массы.

Обезжиренное снятое молоко можно использовать в качестве защитной среды, где естественным образом сочетаются коллоиды с углеводом (лактоза). На основе молока предложено несколько сложных сред [18].

Из них особого внимания заслуживает сахарозо-лактозо-молочная среда. Она показывает результаты, превосходящие сахарозо-желатиновую среду при длительном хранении высушенных культур. Хертер применял среду из сепарированного молока с 7,5% глюкозы. Учитывая хорошие защитные свойства молочного диализата, Хорнибрук в 1955 году разработал аналогичную по составу лактозо-солевую среду (среда Хорнибрука), которая проявляет хорошие защитные качества по отношению ко многим микробам.

Из других коллоидов нужно отметить поливинилпирролидон, который наиболее эффективен при высушивании бруцелл [30-33]. Также применяются среды из куриных яиц, крахмал, желудочный муцин, 1–5% гуммиарабик, гель гидрата окиси алюминия, 1% декстран, 1–5% декстрин, 1–3% альгинат натрия, 5–10% желатоза, каолин, меласса. Меласса – продукт сахарного производства – пригодна для высушивания молочнокислых бактерий, а 10%-ная взвесь каолина успешно применяется для сохранения спор *Penicillium spinulosum*. Имеются указания на использование в защитных средах такого коллоида, как полиглюкин [34].

Из растворимых веществ в защитных средах применяются сахара и продукты белкового происхождения. Углеводы обычно применяют в сочетании с коллоидами, реже в качестве простых защитных сред. Используют различные их концентрации от 1 до 10% и более. Однако эффект добавляемых в среду суспендирования углеводов неодинаков [18]. Так, глюкоза в среде высушивания обеспечивает хорошую защиту во время лиофилизации и при хранении при температуре 0 °С, но неэффективна при хранении в условиях повышенной температуры, в отличие от сахарозы. Натриевые соли глутаминовой кислоты обеспечивают бóльший протективный эффект при сохранении высушенных культур при комнатной температуре, но в то же время они мало пригодны для лиофилизации ввиду сильного пенообразования. Заслуживает внимания теория Скотта [18], согласно которой основной причиной отмирания высушенных клеток является реакция между содержащимися в клетках карбонильными группами и аминоклассами белков, сопровождающаяся денатурацией последних. Такие вещества, как глюкоза, фруктоза, рибоза, ксилоза, имеют в своём составе большое количество карбонильных групп, поэтому снижают устойчивость высушенных микробов к повышенным

температурам, а добавляемые в среду аминокислоты связывают их, обеспечивая протективное действие.

Из продуктов белкового происхождения раньше всего стали применять 1–10%-ные растворы пептона и готовые мясо-пептонные бульоны. Их эффективность, как оказалось, связана с наличием аминокислот. Источником аминокислот могут быть любые гидролизаты белка при условии максимального освобождения их от солей. К этой группе сред можно также отнести среду Бланкова [18], содержащую гидролизат молока и 7,5% сахарозы.

В заключение надо ещё раз отметить, что наиболее эффективными защитными средами являются комплексные смеси, содержащие в своём составе коллоид и растворимое вещество.

Влияние лиофилизации на жизнеспособность микроорганизмов и методы определения жизнеспособности

Бесспорным фактом является то, что в процессе лиофилизации определённая часть микроорганизмов отмирает. Этот феномен по-разному проявляется на разных этапах процесса: большая часть микробов гибнет при замораживании, меньшая – при сублимации и досушивании [13].

Жизнеспособность клеток высушенной культуры является главным показателем эффективности условий консервации. С целью определения жизнеспособности микробов можно использовать любые проявления их биологической активности: способность размножаться, проявлять ферментативную активность, изменять реакцию среды, вызывать патологические процессы или иммунные сдвиги в восприимчивом организме. Количественная оценка влияния лиофилизации на выживаемость бактерий затрудняется обычно изменением их физического состояния, связанным с агрегацией либо с распадом скоплений клеток, дающих при высеве одну колонию [35, 36].

Очень важное значение при определении процента жизнеспособных клеток имеют условия восстановления высушенных культур. На влияние скорости и способа насыщения жидкостью высушенных клеток указывают многие авторы [2, 3, 13, 18, 25, 37, 38]. Объём добавляемой воды должен быть равен весу воды, испарившейся при лиофилизации. В тех случаях, когда вес потерянной воды не-

известен, растворитель добавляют до величины исходного объёма материала. Рекомендуется воду добавлять к микробам медленно, а затем реактивируемую суспензию выдержать 30–60 мин до проведения дальнейших манипуляций. Восстановление высушенных клеток лучше всего проводить при комнатной температуре. И даже при соблюдении всех этих условий микроорганизмы, выведенные из состояния анабиоза, проявляют замедленное восстановление способности к размножению, что надо учитывать при оценке их жизнеспособности. При определении жизнеспособности клеток лиофилизированных культур наиболее точные результаты можно получить при сочетании применения нескольких методов, основанных на разносторонних проявлениях свойств микроорганизмов.

Наиболее точно количество выживших клеток определяют путём посева суспензии на чашки Петри с плотной питательной средой и последующего подсчёта колоний. Для этого из суспензии готовят ряд соответствующих разведений и в определённой дозе высевают на чашки со средой, после чего их инкубируют и подсчитывают число колоний. Этот метод применим, если при растворении лиофилизированной культуры получается гомогенная суспензия. Если в суспензии клеток имеются конгломераты, то их предварительно разбивают путём встряхивания со стерильными бусами. Выживаемость микробов при этом оценивается как процентное отношение содержания живых клеток в суспензии после лиофилизации к исходному их содержанию.

Самым простым способом количественного определения живых бактерий является оценка предельного разведения суспензии микробов, которое при посеве на жидкую питательную среду вызывает её помутнение [3, 18]. С этой целью из клеточной суспензии готовят ряд последовательных десятикратных разведений, по 1 см³ каждого вносят в определённое количество жидкой питательной среды и инкубируют в течение необходимого времени при соответствующих условиях. Предельное разведение суспензии, вызвавшее в среде помутнение вследствие роста микроорганизмов, является показателем числа жизнеспособных микробов в исследуемой культуре. Этот способ менее точен, чем подсчёт числа колоний, но незаменим в тех случаях, когда последнее невозможно, например, вследствие ползучего роста (*Proteus vulgaris*).

Широко распространён также метод определения количества живых бактерий по

степени мутности среды, в которой они развиваются, предложенный Машелем и Трефферсом [18]. Сущность этого метода заключается в том, что скорость размножения бактерий в жидкой питательной среде в течение логарифмической фазы постоянна, и, следовательно, количество размножившихся клеток полностью зависит от числа внесённых в среду живых клеток. Таким образом, в логарифмическую стадию роста по сравнительной мутности жидких сред, засеянных одинаковыми количествами испытуемой и контрольной суспензий микробов, можно судить о числе сохранившихся после высушивания жизнеспособных клеток. Степень мутности среды определяют с помощью фотоэлектрического колориметра или нефелометра. С этой целью для каждого штамма предварительно определяют соотношение между оптической плотностью жидкой питательной среды в фазе логарифмического роста бактерий и числом колоний, вырастающих при высеве этой суспензии на чашки с плотной питательной средой.

Жизнеспособность клеток можно также определить по степени проявления тех или иных ферментативных свойств, если они достаточно постоянны для данного штамма и могут быть количественно оценены. Одним из их числа является метод, предложенный Дельпи [18], сущность которого заключается в способности бактериального фермента редуктазы обесцвечивать метиленовую синь. Предварительно находят корреляцию между числом живых клеток и временем обесцвечивания метиленовой сини. Дельпи составил такую корреляцию для *Brucella abortus*. В последнее время с целью повышения точности и достоверности результатов было предложено несколько модификаций этого метода [39, 40].

В литературе есть также сведения о возможности оценки выживаемости микробов после высушивания с помощью люминесцентно-микроскопического метода с использованием флуорохрома примулина [41]. Его крупные молекулы не проникают в живые клетки, и при люминесцентно-микроскопическом исследовании обнаруживается только свечение стенки. В сильно повреждённых и мёртвых клетках краситель связывается с цитоплазмой, придавая ей ярко-зелёное свечение. Метод отличается быстротой получения результатов (порядка 30 минут). Возможно также определение числа клеток, способных к размножению с использованием предварительного подращивания в камере Пешкова с последующей

микроскопией и подсчётом образовавшихся микроколоний. Кроме того, для отдельных видов микроорганизмов предложены некоторые оригинальные методики оценки выживаемости после лиофилизации [42].

Влияние лиофилизации на структуру и свойства микроорганизмов

Сохранение жизнеспособности микробов не является единственным критерием удовлетворительной их консервации. Процесс лиофилизации и последующее хранение не должны отражаться на структуре и свойствах микроорганизмов, ради которых собственно и предпринимается консервация.

Исследования о влиянии лиофилизации на структуру микробной клетки не столь многочисленны, однако практически все они указывают на ведущую роль повреждения мембран клеток [3, 18, 38, 43, 44]. Подобные данные приводились ещё Ватанабэ и Уэббом [3]. Они отмечали нарушение проницаемости мембран клеток для ряда соединений без утраты жизнеспособности микробов и связывали это с обратимыми структурными перестройками в мембране. Функциональный характер подобных изменений подтверждается и другими исследователями [43]. А.И. Раппопорт и М.Е. Беккер [38, 42] выявили обратимые изменения заряда мембраны, формы и размеров клеток дрожжей при их обезвоживании, причем полное восстановление этих параметров происходило только после длительной реактивации клеток в полноценной питательной среде. Из прочих обратимых изменений клеток после высушивания нужно отметить нарушения ферментативной активности, обмена веществ, биосинтетических процессов.

К настоящему времени накоплен огромный опыт применения метода лиофилизации для консервации микробных культур. Хотя в целом он рассматривается как метод, обеспечивающий стабильность биологических свойств микроорганизмов, имеются отдельные наблюдения об отрицательном влиянии замораживания-высушивания на эти свойства [45–49]. Прежде всего, следует допустить, что факторы, которые приводят к потере жизнеспособности клеток, могут привести и к нарушениям функций, не доводя до гибели бактерий [50, 51]. В литературе [3, 13,] есть данные, что после консервации при помощи лиофилизации отмечалось появление слизистых колоний у стрептококков, шероховатых

колоний у сальмонелл, изменение антигенной структуры и ферментативной активности. Большинство признаков восстанавливалось после нескольких пассажей на питательных средах. Есть данные о корреляции интенсивности образования свободных радикалов и отмиранием микроорганизмов [52]. Существуют указания на то, что в процессе высушивания в клетке разрушается до 26–45% РНК [53].

Таким образом, многолетняя практика подтверждает непревзойдённость лиофилизации как способа длительного поддержания живых микробов с неизменными свойствами [54].

Литература

- Охалкина В.Ю., Шабалин Б.А. Методы поддержания микробных культур. Часть 1. Криоконсервация // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 18–26.
- Смит О. Влияние низких температур на живые ткани и клетки. В кн.: Применение замораживания-высушивания в биологии / Под ред. Р. Харриса. Москва. 1956. 432 с.
- Никитин Е.Е., Звягин И.В. Замораживание и высушивание биологических препаратов. М.: Колос, 1979. 337 с.
- Методы хранения коллекционных культур микроорганизмов. М.: Наука, 1967. 150 с.
- Maintenance of Microorganisms. A manual of Laboratory Methods / Ed. by В.Е. Kirsop and J.J. Snell. London: Academic Press, 1984. 207 p.
- Кудрявцев В.И. Коллекции типовых культур микроорганизмов // Микробиология. 1965. Т. 34. Вып. 3. С. 556–562.
- Тутова Э.Г., Куц П.С. Сушка продуктов микробиологического производства. М.: Агропромиздат, 1987. 303 с.
- Лысков М.В. Сушка распылением. М.: Пищепромиздат, 1955. 212 с.
- Сушка биологических материалов, вопросы механизации и автоматизации // Труды Московского НИИ эпидемиологии, микробиологии, гигиены. Выпуск 7. М. 1960. 173 с.
- Герна Р. Хранение микроорганизмов // Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхардта и др. Москва. 1983. Т. 1. 210 с.
- Белоус А.М., Цветков И.В. Научные основы сублимационного консервирования. Киев: Наукова думка, 1985. 345 с.
- Гривс Р. Теоретические основы процесса высушивания путём сублимации в вакууме // Применение замораживания-высушивания в биологии / Под ред. Р. Харриса. Москва. 1956. 432 с.
- Колесов С.Г. Высушивание микроорганизмов и биопрепаратов. М.: Сельхозгиз, 1952. 272 с.
- Фрай Р. Консервирование бактерий // Применение замораживания-высушивания в биологии / Под ред. Р. Харриса. Москва. 1956. 432 с.
- Аркадьева З.А. Факторы, влияющие на жизнеспособность и свойства микроорганизмов при различных способах хранения // Биологические науки. 1983. № 4. С. 93–95.
- Беккер М.Е. Обезвоживание микробной массы. Рига: Зинатне, 1967. 234 с.
- Steel K.J., Ross H.E. Survival of freeze-dried bacterial cultures // Journal of Applied Bacteriology. 1963. V. 26. P. 370–375.
- Бланков Б.И., Клебанов Д.Я. Применение лиофилизации в микробиологии. Москва. 1961. 262 с.
- Карасевич Э.К., Платонов А.В., Волкова Н.Т. и др. Хранение в высушенном состоянии смешанной культуры пропионовых и ацидофильных бактерий при разных температурных режимах // Микробиология. 1985. Т. 54. Вып. 3. С. 446–449.
- Емцева Т.В., Лаврова Л.Н., Константинова Н.Д. Влияние условий предварительного культивирования бактерий на их устойчивость и структуру клетки при замораживании и лиофилизации // Микробиология. 1991. Т. 60. Вып. 5. С. 879–881.
- Долинов К.Е. Основы технологии сухих биопрепаратов. М.: Медицина, 1969. 228 с.
- Булах О.С., Мурватова И.А. Влияние условий и длительности хранения на биологические свойства чумного микроба // Проблемы особо опасных инфекций. Саратов. 1971. Вып. 4. С. 53–57.
- Степанова О.Л., Лифанова Н.И. Получение сухой сорбированной паратифозной В вакцины и её свойства // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1965. № 7. С. 48–52.
- Эшвуд-Смит М. Консервирование микроорганизмов замораживанием, сушкой из замороженного состояния и обезвоживанием в эксикаторе. М.: Наука, 1982. 36 с.
- Беккет Л. Остаточная влажность в материале, обработанном методом замораживания-высушивания и её определение // Применение замораживания-высушивания в биологии / Под ред. Р. Харриса. Москва, 1956. 432 с.
- Kusay R.G.P. Maintenance of Microorganisms // Process. Biochem. 1972. V. 7. № 7. P. 24–26.
- Файбич М.М., Тамарина Т.С. Туляремийная сухая вакцина НИИЭГ Красной Армии // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1946. № 7. С. 34–38.
- Тинкер А.И., Печникова И.В. Защитный эффект различных компонентов, входящих в состав сред высушивания // Особо опасные инфекции на Кавказе: Матер. науч. конф. Ставрополь. 1970. С. 65–68.

29. Файбич М.М. Стабилизация вакцинных препаратов в процессе высушивания и хранения // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1968. № 2. С. 59–66.
30. Захлебная О.В., Лаукнер И.В. Применение поливинилпирролидона в качестве стабилизатора при лиофилизации бруцелл // Лабораторное дело. 1991. № 2. С. 62–64.
31. Мальцев В.Н., Стрельников В.А., Федоровский Л.Л. Влияние поливинилпирролидона на микробную клетку // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1987. № 4. С. 9–11
32. Галаев Ю.В., Фролов В.И., Кирш Ю.Э. Влияние полимеров на биологические свойства микроорганизмов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1987. № 4. С. 110–111.
33. Семчева Н.С., Горюнова А.Г. О стабилизаторах для высушивания и хранения бруцеллёзных вакцин // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1960. № 5. С. 98–99.
34. Добрынин В.П., Артемьев А.С., Шабалин Б.А. и др. Лиофильное обезвоживание как способ сохранения музейных культур легионеллёза // Лабораторное дело. 1992. № 11-12. С. 73–74.
35. Равич-Биргер Е.Д. О восстановлении культур микроорганизмов из высушенного состояния // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1960. № 3. С. 75–79.
36. Воронкевич И.В., Самосудова Е.В. Условия восстановления сухих культур фитопатогенных бактерий // Общая биохимия. 1965. Т. 26. № 5. С. 612–614.
37. Трофименко А.Ф., Кузина О.Н., Беленикина З.В., Чистякова Л.Г., Кобелев В.С. Механизм метаболической гибели клеток *E. coli* после замораживания-оттаивания // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1986. № 2. С. 30–34.
38. Раппопорт А.И., Берестенникова Н.Д., Яновский К.А., Бекер М.Е. Об изменении формы и размеров дрожжевых клеток при их обезвоживании и последующей реактивации // Микробиология. 1986. Т. 55. Вып. 5. С. 881–882.
39. Успанова С.А., Раюшкин Б.В. Способ пересылки и хранения патогенных микробов и инфицированных материалов // Лабораторное дело. 1992. № 3-4. С. 10–11.
40. Складов О.Д. Определение количества живых микробных клеток в противобруцеллёзных вакцинах // Ветеринария. 1998. № 9. С. 19–22.
41. Раппопорт А.И., Мейсель М.Н. О люминесцентно-микроскопическом определении выживаемости дрожжевых организмов после обезвоживания // Микробиология. 1985. Т. 54. Вып. 1. С. 66–68.
42. Кошелев А.В., Нестеров А.И. Ускоренный тест прогнозирования выживаемости лиофилизированных культур метанотрофных бактерий // Микробиология. 1988. Т. 57. Вып. 2. С. 492–494.
43. Раппопорт А.И., Бекер М.Е. Изменение поверхностного заряда дрожжевых клеток при их обезвоживании и регидратации // Микробиология. 1985. Т. 54. Вып. 3. С. 450–453.
44. Тимошин А.А., Раппопорт А.И., Бекер М.Е. Влияние высушивания на термоиндуцированные структурные перестройки цитоплазматической мембраны клеток дрожжей // Микробиология. 1990. Т. 59. Вып. 2. С. 679–682.
45. Ермоленко З.М., Гречищев М.Е., Холоденко В.П. Жизнеспособность *Y.pseudotuberculosis* при хранении в лиофилизированном состоянии // Биотехнология. 1991. № 6. С. 26–27.
46. Кругликов В.Д., Кадетов В.В., Мазрухо Б.Л. и др. Биологическая активность штамма *Lactobacillus acidophilus* ВКМ В-2020 при хранении в лиофилизированном и криоконсервированном виде // Биотехнология на рубеже веков: проблемы и перспективы: Матер. науч.-практич. конф. Киров. 2001. С. 38–39.
47. Нестеров А.И., Кошелев А.В., Гальченко В.Ф. и др. Выживаемость облигатных метанотрофных бактерий при лиофилизации и последующем хранении // Микробиология. Т. 55. Вып. 1. С. 271–273.
48. Кузьмиченок А.П., Мельниченко В.И. Влияние сроков хранения музейных культур на их фенотипическую и генотипическую изменчивость // Основные научные исследования по проблеме туберкулёза и бруцеллёза сельскохозяйственных животных, профилактика и организация мероприятий по ликвидации болезней в регионе Сибири: Тез. докл. науч.-практ. конф. Новосибирск. 1995. С. 92–94.
49. Печникова И.В. Влияние состава среды высушивания на выживаемость бактерий в сухой вакцине // Микробиология и иммунология особо опасных инфекций. Саратов. 1964. Вып. 2. С. 283–287.
50. Иванов В.Н., Раппопорт А.И., Пиндрус А.А., Саулите Л.А., Шифрук Т.А. Фазоспецифичность повреждений и репарации повреждённых клеток дрожжей при обезвоживании-регидратации и замораживании-оттаивании // Микробиология. 1988. Т. 57. Вып. 3. С. 341–344.
51. Вейтыня Э.Ю., Саулите Л.А., Раппопорт А.И., Беккер М.Е. Липидные включения в клетках и их изменения при обезвоживании и реактивации дрожжевых организмов // Микробиология. 1986. Т. 55. Вып. 3. С. 116.
52. Heckly R.I., Dimnick R.L., Windle I.I. Free radical formation and survival of lyophilized microorganisms // Journal of Bacteriology. 1963. V. 85. № 5. P. 961–966.
53. Раппопорт А.И., Бекер М.Е. О разрушении рибонуклеиновых кислот в дрожжевых клетках при их обезвоживании // Микробиология. 1986. Т. 55. Вып. 5. С. 855–857.
54. Кузлетская М.Б. Результат хранения лиофилизированных культур микроорганизмов в течение 25 лет // Микробиология. 1988. Т. 57. Вып. 4. С. 488.

Исследование информационных процессов в зооценозах с помощью тропления следов (на примере лесной куницы)

© 2009. Э.Д. Владимирова, к.б.н., с.н.с.,
Самарский государственный университет,
e-mail: elyna-well@nm.ru

Методом тропления следов изучались особенности генерации, рецепции и использования лесной куницей информации, содержащей сведения о состоянии среды обитания. Показано, как рассчитываются параметры информационно-знакового поля, позволяющие проводить сравнения поведенческих особенностей. Информационно-знаковое поле представляет собой среду обитания, в которой звери проявляют свою жизнедеятельность, в результате чего среда приобретает признаки структурированности, то есть становится функционально неоднородной для последующего использования.

Means of snow traces techniques were used to find out the details of generation, reception and using information on environment conditions by pine marten. It is shown how to calculate sign field parameters calculation that let compare behaviour peculiarities. An information sign field represents the environment where mammals live. As a result the environment gets structured that is it becomes functionally diverse for subsequent usage.

Ключевые слова: техника троплений, элементарная двигательная реакция, кормовая территория, знаковое поле, информационные и коммуникативные взаимодействия

Key words: snow traces techniques, elementary motor reaction, sign field, informational and communication impact

Современный подход к исследованию экологических объектов разного уровня, от отдельной особи до биосферы в целом, предполагает внимание к аксиомам, сформулированным в синергетике и информологии [1–4]. Процесс адаптации популяции как самоорганизующейся системы индуцирует процессы воспроизведения и восприятия внешней информации [5, 6]. Активность особей млекопитающих в информационных полях [7–10], обеспечивающую формирование, получение, сохранение и использование сведений о состоянии внешней среды, предлагается изучать на основе анализа двигательных реакций самих животных, выявленных по их следам на снегу [8].

Район исследования, методика и материалы

Экология и поведение видов хищных млекопитающих рассмотрены сквозь призму теории информационно-знакового поля. Исследование проводилось в 1983 – 2009 гг. в Самарской области. Изучали мелких хищных млекопитающих, обитающих в лесостепных биотопах. Это лисица обыкновенная (*Vulpes vulpes* L.), куница лесная (*Martes*

martes L.), горноста́й обыкновенный (*Mustela erminea* L.) и ласка обыкновенная (*Mustela nivalis* L.). Изучение поведения по следам на снегу позволяет делать предположения по функционированию знаковых процессов в популяциях.

При передвижении вдоль следовой дорожки животного фиксируются элементарные двигательные реакции (ЭДР), которые можно различить по следам на снегу. При этом определяются видовая принадлежность особи, пол, возраст (взрослые или сеголетки), функциональная форма поведения (кормовой поиск, обход индивидуального участка, переход на другой кормовой участок, ход на отдых), индивидуальные особенности поведения, объекты ориентации и объекты, предположительно связанные с проявленными двигательными реакциями особи. Исследователь соотносит рисунок следовой дорожки с внешними объектами, инициировавшими ту или иную элементарную двигательную реакцию – поведенческую активность небольшой временной протяженности, распознанную по следам, представляющую собой однотипное движение с характерными чертами, позволяющими ограничить данную элементарную реакцию от предыдущей и последующей. ЭДР

стереотипна для данного вида животных, выражается специфическим «рисунком» следовой дорожки и является инвариантным элементом функциональной поведенческой активности. Так, в качестве ЭДР лесной куницы фиксировались прямолинейные векторы передвижения (локомоция), маркировочная, ориентирующая реакция, челночный ход, стереотип кормёжки и, в частности, поимки добычи, перемена формы аллюра (рысь, галоп, следовая «двучётка» или передвижение «шаг-в-шаг»), начатая и прерванная животным попытка передвижения, тергоровая и комфортная реакции, заход с грунта на валежник или спуск с возвышения на грунт, заскок на комель дерева, заход под снег и передвижение под ним, движение пустолодками, по деревьям и т. д. ЭДР, вызванные локомоцией и ориентировкой, а также реакции, составляющие кормовой поиск – это основная часть поведенческой активности животного.

Информационно-знаковое поле, «канализирующее» приспособительную активность млекопитающих, представляет собой среду обитания, в которой звери осуществляют свою жизнедеятельность, в результате чего среда становится функционально неоднородной для последующего использования (приобретает признаки структурированности). Биологическое сигнальное поле, в понимании Н.П. Наумова [9], является коммуникативной составляющей информационно-знакового поля. Жизнедеятельность в информационно-знаковом поле повышает его коммуникативный потенциал. Расчёт основных параметров информационно-знакового поля – анизотропности, величины и напряжённости – проводится, в конечном итоге, на 1000 м следовой дорожки животного. Анизотропность поля – это число объектов и событий внешней среды, на которые реагирует исследуемая особь, приведённое к определённой протяжённости следовой дорожки данной особи. Величина поля равна числу функциональных классов объектов (и событий), включённых особью в сферу активности. Напряжённость поля – это параметр, который представляет собой общее число элементарных двигательных реакций, реализованных особью во время прохождения фиксированной дистанции.

В качестве примера подсчёта параметров поля рассмотрим анализ тропления лесной куницы (рис. 1). В полевом журнале, на основе диктофонной записи, отмечено следующее. Куница проявляет двигательные реакции,

которые ассоциированы с перечисленными ниже внешними объектами. Особь идёт двучёткой (1 реакция). Куница проявляет двигательные реакции, которые ассоциированы с перечисленными ниже внешними объектами.

1) Копна сена: куница совершила поворот налево к копне (1 р.); произвела смену аллюра (1 р.), далее – ход шагом возле копны (1 р.). Метраж следовой дорожки составил 13 м. Итого «ценность» копны составила 3 реакции.

2) Сосна: поворот направо (1 р.); смена аллюра на двучетку (1 р.); ориентация на сосну (1 р.). До комля сосны не дошла. Метраж – 6 м. В данном случае «ценность» сосны как объекта знакового поля составила 3 реакции.

3) Высокий, полусгнивший пенёк сосны: куница повернулась резко направо по направлению к пню (1 р.); ход широкой двучёткой к пню (1 р.); заскок на пенёк (1 р.); топталась шагом на пне: смена аллюра, передвижение шагом по пню прямо (то есть в первоначальном направлении), поворот налево, ход шагом, прыжок с пня (5 р.). Метраж – 12 м; с пнём всего связано 8 элементарных двигательных реакций («ценность» этого объекта равна 8 элементарным реакциям).

4) Ствол берёзы: направилась к комлю берёзы (1 р.), но не дошла и повернула резко влево (1 р.), к маленькому пенёчку (1 р.).

5) Маленький пенёк: смена хода у пенёка, то есть перемена характера аллюра (1 р.), пошла шагом направо вокруг пенёка (1 р.), запрыгнула на пенёк (1 р.), ориентирующая реакция на пенёке, которой на рисунке не видно (1 р.), спрыгнула с пенёка (1 р.); итого прошла 10 м.

6) Низкий свежий пенёк сосны: пошла широкой двучёткой к пню (1 р.), сходу – заскок на пенёк (1 р.), поворот налево, шагом топталась (2 р.), оставила экскремент (2 р.), прыжок с пня (1 р.); итого прошла 9 м.

7) Муравейник под снегом: забралась обычной двучёткой на муравейник (1 р.); итого прошла 4 м.

8) Муравейник под снегом и свежая лыжня: сидит (1 р.), исследовательская реакция в сторону лыжни (1 р.), прыжок с муравейника (1 р.); итого прошла 2 м.

9) Лыжня свежая: совершила направо поворот к лыжне (1 р.), смена аллюра

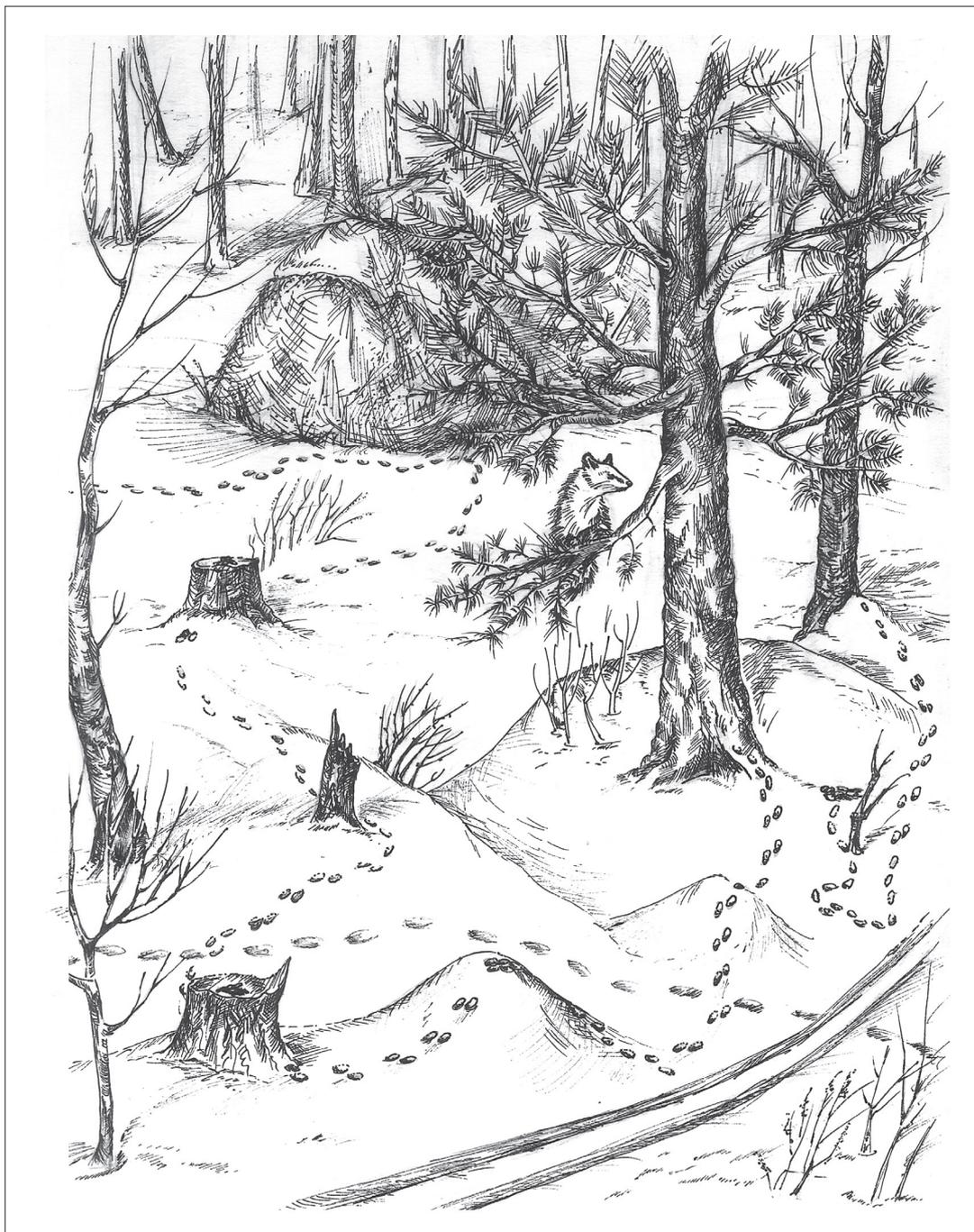


Рис. 1. Следы куницы обыкновенной. пойменное правобережье р. Волги, окрестности г. Самары. Начало следовой дорожки – верхняя левая часть рисунка. Общее количество объектов, на которые реагировала куница (анизотропность поля) – 16. Величина поля (количество функциональных классов объектов) – 9. Напряжённость поля, то есть общее количество элементарных двигательных реакций – 59.

Рисунок Т.В. Шуйской и Ю.В. Сачковой

(1 р.), шагом направилась к лыжне (1 р.), но не дошла до лыжни 1 м. Взяла резку влево и двинулась назад от лыжни длинной двучёткой (2 реакции – смена аллюра и собственно ход); итого прошла 2 м.

10) Муравейник под снегом: ход на муравейник (1 р.), прыжок с него (1 р.); итого прошла 3 м.

11) Сосна большая: смена аллюра на галоп (1 р.), ход (1 р.), заход на сосну (2 р.: смена зоны активности, то есть ориентация наверх, и сам заскок), прыжок с сосны в снег (1 р.); итого прошла 8 м.

12) Сучок, торчащий из-под снега: ориентация (1 р.), ход к сучку галопом (1 р.); итого прошла 3 м.

13) Лыжня свежая: смена аллюра (1 р.), перемещается шагом к лыжне (1 р.), не дошла до лыжни двух метров. Метраж вытروпленной следовой дорожки на этом участке составил 2 м; затем куница взяла резко направо по направлению к муравьиной куче, лежащей под снегом (где она уже была), прошла 1 м, совершила две элементарные двигательные реакции: поворот и ход, сидела (1 р.); итого прошла 2 м.

14) Лыжня свежая: направилась шагом к лыжне (1 р.), не дошла до лыжни 1 м и резко взяла влево назад (1 р.); итого прошла 1 м.

15) Большая сосна (но это уже другое дерево сосны, не то, на которые куница проявляла реакции, описанные в пункте 11): смена хода (пошла галопом, 1 р.), направилась к сосне (1 р.), совершила сходу заскок на сосну (1 р.); итого прошла 10 м.

16) Сосна (та же, что и в пункте 11): грядой (верхом) перешла на другое дерево сосны (1 р.), затаилась на толстой ветке (1 р.); итого прошла 6 м.

Анализируя поведение лесной куницы, показанное на рис. 1, можно видеть, что особь совершила 6 поворотов вправо и столько же – влево. Из других наблюдений за поведением куниц известно, что чем старше особь, тем слабее у неё выражена асимметрия движения. У молодых особей лесной куницы и обыкновенной лисицы преобладает левосторонняя асимметрия, а у старых – начинает слегка преобладать правосторонняя асимметрия [8]. По особенностям мочевого точки было выяснено, что наблюдение велось за самкой, хотя, в отличие от других самок, данная особь неохотно «ходит грядой», то есть мало использует деревья для передвижения. Боязнь лыжни в антропогенной среде обитания – качество самки. Лесных куниц обоих полов можно условно разделить по индивидуальному свойству поведения на «верховок» и «низовок», хотя в целом передвижение по деревьям больше свойственно самкам. В снежный период года куницы обоих полов чаще, чем летом, «ходят грядой» [11]. Чтобы определить пол особи лесной куницы, нужно увидеть, лучше на нескольких примерах, каким образом мочева точка ориентирована относительно отпечатков задних конечностей: у самцов лесной куницы в результате реализации маркировочной реакции мочева точка находится впереди

следов задних конечностей, а у самок – либо между следами, либо несколько позади них.

Дифференцируя среду обитания лесной куницы на основании её собственных поведенческих реакций, были отмечены следующие функциональные классы объектов: копна сена, сосна, крупный полусгнивший сосновый пенёк, берёза, маленький пенёк, низкий свежий пенёк сосны, муравейник под снегом, лыжня, сучок. Дифференцировка объектов, составляющих показатель величины знакового поля, представляет некоторую сложность. Видовые показатели анизотропности и напряжённости знакового поля представляют собой параметры, статистически подчиняющиеся нормальному распределению, а видоспецифическая величина поля – показатель, который имеет фиксированное предельное значение, которое на практике может быть несколько занижено, поскольку уровень обобщения или детализации величины знакового поля зависит, в некоторой степени, от этологической подготовки зоолога и целей исследования [7, 10].

Результаты и обсуждение

На основании троплений более 320 км следов, оставленных, предположительно, 47 самцами и 63 самками, было выявлено, что все параметры информационно-знакового поля лесных куниц, обитающих в среде, трансформированной действием антропогенного фактора, выше параметров поля куниц, населявших «глухие» уголья, мало затронутые влиянием людей [10]. В среднем куница свершает 100 ЭДР, проходя по грунту около 360 м. По мере старения особи параметры информационно-знакового поля снижаются – на 20–30%. У пришлых особей они выше, чем у резидентов территории, у самок – выше, чем у самцов. При кормовом поиске и у самцов, и у самок параметры поля несколько выше, чем при территориальном поведении.

В начале и конце кормового поиска восприятие объектов иной функциональной природы (не кормовых) сопровождается большим количеством двигательных реакций. При переходах следы других кормящихся особей или объекты, обычно вызывающие исследовательский интерес куниц в пищевом отношении, ответной реакции не вызывают, но после нескольких встреч

со следами кормопоискового поведения возможна перемена доминирующего типа поведения на реакции кормового поиска. Средняя продолжительность перехода на другую кормовую территорию, с учетом стандартной ошибки, составила $1271,3 \pm 146,9$ м, число особей $n = 30$, число троплений $t = 60$, lim 241,0–3060,0 м.

Внешняя информация, воспринятая особью, может быть контекстуально-резонансной или несоответствующей контексту текущего поведения. Вторая способна изменить характер активности. Переход с любых форм активности на кормовую активность происходит быстрее всего. В антропогенной среде обитания следы конспецификов, уходящих от опасности, вызывают подражательные реакции куниц, что особенно характерно для самок. Внешняя информация может быть стереотипной для вида, находящей инстинктивное соответствие, и новой. Первая обычно связана с основными и дополнительными кормами, вторая – с ситуативными кормами, локомоцией и ориентировкой. Для куниц, как хищных млекопитающих, особенно важны обонятельные реакции, причем известно, что доля кормового поведения выше в суточной активности самок (доля реакций, связанных с жировкой, в суточной активности самок составляет в процентах – $76,9 \pm 7,2$, $n=30$, а в активности самцов – $56,1 \pm 8,9$, $n=30$). Как следствие, самки лесной куницы воспринимают новую информацию, если не избегают её, преимущественно как потенциально пищевую, подходя к таким объектам против ветра, а самцы – как пищевую и ориентировочную, приближаясь к новым объектам вне зависимости от преимуществ ольфакторного восприятия.

Внешняя информация может быть непосредственной (не знаковой), продуцированной объектами кормовой природы или объектами, способствующими более удобному и скрытному передвижению, или внешняя информация может иметь знаковый характер, то есть вызывать представление об иных объектах и ситуациях, ненаблюдаемых в настоящее время. Самцы и взрослые особи лесной куницы используют знаковую информацию чаще, активнее и продуктивнее, чем самки, для которых знаковый характер имеют следы деятельности самцов. Внешняя информация может быть естественной и имеющей антропогенное происхождение. Реакции лесной куницы на сигнальные

объекты антропогенного происхождения отличаются в возрастных и половых группах. В выборках сеголеток шире диапазон реагирования, с возрастом растёт доля реакций осторожности и избегания. Самцы, как правило, проявляют большее, чем самки, количество исследовательских реакций на объекты антропогенного происхождения, совершая длительные переходы, и в большей мере испытывают негативное влияние антропогенной трансформации среды обитания. Средняя продолжительность передвижения по деревьям, в м на 3 км суточного хода, составила $888,1 \pm 104,5$ м, число особей $n = 30$, число троплений $t = 60$, lim 94,0 – 2410,0 м. У самок этот показатель в 1,5–3 раза выше, чем у самцов.

Таким образом, приспособительные особенности млекопитающих можно изучать с привлечением понятия «информационно-знакового поведения» [12]. Информация об изменениях, произошедших в биотопах (новая информация), или информация, соответствующая иной мотивации, может быть «отреагирована» особью при первом контакте с сигнальным объектом или после нескольких встреч с такими объектами, в результате превышения порога реагирования. Усвоенная в ходе рецепции информация – это связи, установленные между воздействием и реакцией на него, причем они либо сразу заложены в «конструкции» организма (безусловный рефлекс), либо формируются в процессе обучения. Под «генерацией информации» следует понимать адаптивную активность особи по осуществлению «случайного и запомненного выбора одного варианта из нескольких возможных и равноправных» [13], то есть активность в информационно-знаковом поле [8]. Информация о состоянии внешней среды, используемая особями млекопитающих, объективна, но отбор сведений из множества возможных, а также характер ответных двигательных реакций зависят от состояния реципиента информации, и могут, к примеру, иметь диагностическое значение по оценке действенности мероприятий экологического мониторинга.

Литература

1. Горшков В.В., Горшков В.Г., Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Макарьева А.М. Информация в живой и неживой природе // Экология. 2002. № 3. С. 163–169.

2. Мелик-Гайказян И.В. Информационные процессы и реальность. М.: Наука, Физматлит, 1998. 192 с.
3. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. М.: Наука, 2001. 242 с.
4. Vogt K.A., Gordon J.C., Wargo J.P., Vogt D.J., Asbjorsen H., Palmiotto P.A., Clark H.J., O'Hara J.L., Keeton W.S., Patel-Weynand T. Ecosystems: Balancing Science with Management / Ed. by K.A. Vogt. New York: Springer – Verlag, 1997. 470 p.
5. Корогодин В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни. Дубна: Изд. центр «Феникс», 2000. 208 с.
6. Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. Самара: Самарск. науч. центр РАН, 1999. 396 с.
7. Мозговой Д.П., Розенберг Г.С. Сигнальное биологическое поле млекопитающих: теория и практика полевых исследований. Самара: Самарский ун-т, 1992. 119 с.
8. Мозговой Д.П., Розенберг Г.С., Владимирова Э.Д. Информационные поля и поведение млекопитающих. Самара: Самарский ун-т, 1998. 92 с.
9. Наумов Н.П. Биологические (сигнальные) поля и их значение в жизни млекопитающих // Успехи современной териологии. М.: Наука, 1977. С. 93–108.
10. Vladimirova E., Mozgovoy J. Sign Field Theory and Tracking Techniques Used in Studies of Small Carnivorous Mammals // Evolution and Cognition. Vienna: Publ. by K. Lorenz Inst. Vienna Univ. Press. 2003. V. 9. № 1. P. 73–89.
11. Мозговой Д.П. Этологическая дифференциация популяций южноуральской куницы // Вопросы лесной биологии, экологии и охраны природы в степной зоне. Куйбышев: Изд-во КГУ, 1976. С. 7–14.
12. Morris Ch. Writings on the General Theory of Signs. The Hague-Paris. Mouton and Co. Publishers. 1971. P. 401–414.
13. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967. 92 с.

**Микроскопические грибы в городских почвах,
загрязнённых тяжёлыми металлами**

© 2009. А.А. Широких¹, д.б.н., с.н.с., И.Г. Широких^{1,2}, д.б.н., зав. лаб.,
И.А. Устюжанин¹, к. с.-х.наук, зав. лаб., А.В. Колупаев³, аспирант,

¹ГУ НИИ сельского хозяйства Северо-Востока,

²Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ Уро РАН и Вят ГГУ,

³Вятский государственный гуманитарный университет,
e-mail: irgenal@mail.ru

Исследован количественный и качественный состав почвенных микромицетов в придорожных экотопах г. Кирова. Показано, что по сравнению с фоновыми территориями в урбанозёмах, загрязнённых тяжёлыми металлами, снижена на порядок общая численность грибных пропагул, изменился спектр доминантных родов, возросла в комплексе доля видов, синтезирующих меланиновые пигменты, и увеличилось относительное обилие оппортунистических грибов, представляющих опасность для здоровья человека.

Quantitative and qualitative content of soil micromycetes in near road ecotopes of Kirov is investigated. It is shown that, as compared with the background territories, in urban soils polluted with heavy metals the quantity of fungi propagules has decreased ten times, the set of dominant species has changed, the amount of species producing melanin pigments has increased, the share of opportunistic fungi that are of danger to human health has increased.

Ключевые слова: городские экотопы, тяжёлые металлы,
комплекс почвенных микромицетов, оппортунистические виды

Key words: city ecotopes, heavy metals,
micromycetes complexes, opportunity species

Городские экосистемы являются специфическими образованиями, формирующимися под воздействием населенных мест, градообразующих предприятий, транспортных сооружений. Они весьма существенно отличаются от природных экосистем по ряду свойств, сформированных под влиянием антропогенных и техногенных факторов. Особенно сильному влиянию этих факторов в городских экосистемах подвержены почвы, которые, по сравнению с почвами сельской местности, имеют более тёплый температурный режим, нейтральную или слабощелочную реакцию почвенного раствора, в большей степени обогащены органическим веществом, содержат большее количество и разнообразие загрязняющих веществ, в частности, тяжёлых металлов (ТМ).

Вопросы экологии микроорганизмов в урбанизированных территориях имеют особое значение. В последние годы микробиологические показатели включены в Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации (1996), Гигиеническую оценку качества почвы населённых мест (1999), в Международные стандарты

контроля качества и экологической безопасности почв [1–3].

В настоящее время большое внимание микологов и врачей привлекают опасные для здоровья человека микроскопические грибы [4–6]. Особенно мало известно о свойствах и закономерностях распространения потенциально патогенных грибов, которые, с одной стороны, могут длительно сохраняться и развиваться во внешней среде, с другой – вызывать микозы и другие патологии у человека и животных. Из-за такой лабильности свойств потенциально патогенные грибы часто называют оппортунистическими [7]. Распространение и функционирование факультативных сапротрофов в техногенно-загрязнённой среде, в том числе городской, изучены недостаточно.

Целью нашей работы являлось исследование комплексов почвенных микромицетов в придорожных экотопах города Кирова и сопоставление их характеристик с содержанием в почвах тяжёлых металлов.

Объекты и методы

Объектом исследований являлись почвы придорожных газонов главных автомагис-

тралей г. Кирова, а критерием выбора точек отбора образцов служила интенсивность транспортного потока и частота образования автомобильных пробок на перекрестках. Образцы почвы были отобраны с глубин 0–5 см на газонах между автомагистралью и тротуаром в промышленной зоне, в местах крупных транспортных развязок, в городских скверах и парках, загородных лесопарках. В качестве фоновых служили образцы почв, отобранные на территории Малмыжского и Белохолуницкого районов Кировской области (подзона южной тайги).

Количество грибных пропагул в почвенных образцах определяли методом посева из разведений почвенных суспензий на плотную питательную среду Чапека [8]. Дифференцировано учитывали колонии по морфологическим типам. Доминирующие на каждой чашке типы колоний выделяли в чистую культуру и изучали морфологические и культуральные признаки грибов в соответствии с определителями М.А. Литвинова [9], Т.С. Кириленко [10], Д. Саттона с соавт. [11].

Содержание подвижных форм меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), железа (Fe) и марганца (Mn) в почвах определяли на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu-AA-6800 (Япония), предварительно экстрагируя воздушно-сухие почвенные образцы аммонийно-ацетатным буфером (рН 4,8) [12]. Значения рН солевой вытяжки измеряли потенциометрически на рН-метре ЭВ-74.

Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического

анализа с использованием пакета программ Excel.

Результаты

Почвы городских территорий характеризовались нейтральными значениями кислотности почвенного раствора (рН 6,3–6,8), а почвы фоновых территорий и загородных лесопарков имели более кислую реакцию (рН 4,2–4,9), характерную для зональных почв дерново-подзолистого типа (табл. 1). Определение содержания тяжёлых металлов в почвенных образцах различных экотопов показало неравномерность в распределении элементов на территории города и более высокое содержание Cu, Zn, Pb в придорожных экотопах по сравнению с фоновыми территориями и загородными лесопарками. Содержание подвижного железа в исследованных образцах варьировало в широких пределах (2,5–99,2 мкг/г), но в урбаноэмах показатели в большинстве случаев уступали фоновым значениям. Содержание марганца было высоким как в городских (338–459 мкг/г), так и в загородных биотопах, но в почвах фоновых территорий (456–470 мкг/г), благодаря кислой реакции среды, превышало ПДК в 1,5–1,7 раза. Поскольку высокое содержание соединений железа и марганца в исследованных почвах связано, по-видимому, с естественным литогенным фоном (региональная особенность), а не с техногенным воздействием, эти показатели при сопоставлении полученных данных в дальнейшем не учитывались.

Таблица 1

Содержание тяжёлых металлов и реакция почвенного раствора в исследуемых образцах

Биотоп	Подвижные формы, мкг/г						рН сол.
	Zn	Cu	Pb	Fe	Mn	Сумма (Zn+Cu+Pb)	
Придорожные газоны в промзоне	<u>11,3</u> 3,6-19,0	<u>3,9</u> 0-18,1	<u>12,8</u> 4,2-28,1	<u>4,0</u> 2,5-8,4	<u>440</u> 416-458	<u>28</u> 13,4-65,2	<u>6,5</u> 6,3-6,7
Газоны вдоль автомагистралей	<u>11,0</u> 3,0-15,7	<u>1,4</u> 0-3,0	<u>16,1</u> 2,2-28,6	<u>76,5</u> 4,5-99	<u>449</u> 435-459	<u>28,5</u> 5,2-46,2	<u>6,6</u> 6,0-6,8
Городские скверы	<u>7,5</u> 1,8-9,5	<u>0,4</u> 0,1-0,8	<u>13,0</u> 2,5-19,2	<u>5,2</u> 1,9-8,6	<u>406</u> 338-446	<u>20,9</u> 7,5-28,5	<u>6,5</u> 6,2-6,7
Загородные лесопарки	<u>3,7</u> 3,3-4,1	0	<u>15,5</u> 5-26	<u>70,5</u> 59-82	<u>455</u> 452-458	<u>19,2</u> 8,3-30,1	<u>4,5</u> 4,3-4,7
Фоновые территории	<u>1,2</u> 0-2,4	0	<u>0,5</u> 0-1,1	<u>35,4</u> 6,8-64	<u>463</u> 456-470	<u>1,7</u> 0-3,5	<u>4,6</u> 4,2-4,9

Примечание: в числителе приведены средние, а в знаменателе – максимальные и минимальные значения показателя по шести пространственно обобщённым образцам из каждого биотопа.

Таблица 2

Численность (КОЕ/г) и качественный состав микромицетов в почвах г. Кирова

Биотоп	Численность, × 10 ³ КОЕ/г	В том числе видов микромицетов, %	
		синтезирующих меланины	медицинского значения
Придорожные газоны в промзоне	20-70	18,7	51,2
Газоны вдоль автомагистралей	50-150	22,3	55,3
Городские скверы	40-70	20,0	59,5
Загородные лесопарки	120-386	29,0	29,0
Фоновые территории	390-950	5,5	23,0

Максимальное содержание ТМ обнаружено в урбанозёмах промышленной части города, где располагаются предприятия металлообработки и машиностроения – завод по обработке цветных металлов (ОЦМ), машиностроительные предприятия. Высокие концентрации тяжёлых металлов отмечены и в образцах с газонов на перекрёстках улиц с повышенной транспортной нагрузкой. Суммарное содержание подвижных форм цинка, меди и свинца варьировало на газонах промышленной зоны и вблизи перекрёстков крупных автомагистралей от 5,2 до 65,2 мкг/г, тогда как в почвах скверов и парков – в более узких пределах – от 7,46 мкг/г до 28,5 мкг/г, существенно не отличаясь от почв загородных лесопарков – 8,3 мкг/г и 30,1 мкг/г. В почвах лесопарков и фоновых территорий не обнаружено подвижных форм меди. Суммарное содержание подвижных форм цинка и свинца в фоновых почвах не превышало 3,5 мкг/г.

В исследуемых городских биотопах, параллельно накоплению ТМ, наблюдали количественные и качественные изменения почвенной микобиоты, по сравнению с комплексами фоновых почв. Численность микромицетов в урбанозёмах (газоны промышленной зоны, скверы и парки) была существенно ниже, чем в почвах фоновых территорий и загородных лесопарков (табл. 2). Численность микромицетов в образцах, отобранных на газонах вдоль основных автомагистралей города, изменялась в более широких границах (в пределах двух порядков), чем на газонах в промышленной зоне и в городских скверах (колебания в пределах порядка). Это может объясняться динамичностью создаваемых движущимся автотранспортом воздушных потоков, с которыми распространяются вблизи автотрасс грибные споры, часто занесённые на колёсах машин из других местообитаний.

Прямых корреляций между показателями численности микроскопических грибов и содержанием подвижных форм ТМ в почвах не выявлено. Более низкие показатели численности грибных пропагул в городских почвах по сравнению с почвами фоновых территорий представляют собой, очевидно, результат действия всего спектра урбаногенных факторов (перемешивание подстилающей породы, привезённый грунт и строительный мусор, загрязнение ТМ и другими ксенобиотиками). Однако количественная представленность микромицетов снижалась в зависимости от категории обследованных биотопов в том же ряду, в каком нарастала степень их загрязнения ТМ: лесопарковая зона – городские скверы и парки – транспортная зона – промышленная зона. К настоящему времени в литературе накоплено достаточно много данных, свидетельствующих о том, что в подверженных загрязнению вредными веществами почвах накапливаются резистентные виды, среди которых значительную долю составляют тёмноцветные, способные к меланиногенезу микромицеты [5, 6, 13, 14]. Соотношение в грибной биомассе долей тёмного и светлого мицелия предлагается даже использовать как биоиндикационный показатель для оценки состояния природной среды и индикации наиболее опасных последствий техногенной деградации почв [15]. Если в фоновых почвах доля образующих меланины грибов не превышала 5,5% от всех выделенных видов, то в загрязнённых городских почвах их содержание возросло в 4-5 раз в зависимости от экотопа (табл. 2). Среди тёмноцветных гифомицетов обнаружены виды, способные к индукции аллергических реакций различных типов [16, 17].

Видовой состав микромицетов в городских почвах отличался от почв фоновых территорий, в большей степени – в экотопах промышленной и транспортной зоны, в меньшей

Частота встречаемости условно патогенных грибов в урбано-зёмах, загрязнённых тяжёлыми металлами, и вызываемые ими заболевания

Виды	ТМ в концентрациях выше ПДК	Встречаемость, %	Вызываемые заболевания [11]
<i>Acremonium strictum</i>	Pb, Zn, Cu	75	Онихомикозы, язва роговицы глаза, мицетома, эндофтальмит, менингит, эндокардит
<i>Acremonium atrogriseum</i>	Pb, Zn, Cu	33	Онихомикозы, язва роговицы глаза, мицетома, эндофтальмит, менингит, эндокардит
<i>Phialophora mutabilis</i>	Pb, Zn, Cu	25	Перитонит, эндокардит, кератит
<i>Cladosporium herbarum</i>	Pb, Zn, Cu	21	Кератит, кожные инфекции
<i>Phialophora repens</i>	Pb, Zn, Cu	21	Феогифомикоз, мицетома
<i>Geotrichum candidum</i>	Pb, Zn, Cu	17	Бронхиальные и легочные инфекции у лиц с ослабленной иммунной системой
<i>C. cladosporoides</i>	Pb, Zn, Cu	13	Лёгочные и кожные инфекции
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Pb, Zn, Cu	13	Кератит, эндофтальмит, язва роговицы
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Pb, Fe, Zn	13	Возбудитель аспергиллезов, вызывает лёгочную, глазную, сердечно-сосудистую, носовую инфекции, поражает ЦНС
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	Pb, Zn, Cu	13	Онихомикоз, поражение кожи, оппортунистические инфекции
<i>A. kiliense</i>	Pb, Zn, Cu	8	Онихомикоз, язва роговицы глаза, мицетома, эндофтальмит, менингит, эндокардит
<i>A. niger</i>	Pb	8	Лёгочные заболевания у лиц с ослабленной иммунной системой
<i>Fusarium oxysporum</i>	Pb	8	Кератит, перитонит, кожные инфекции
<i>A. flavus</i>	Pb, Zn, Cu	4	Пневмония, отит, синусит, инвазивные микозы, инфаркт, некроз, микотоксикоз
<i>A. versicolor</i>	Zn	4	Онихомикоз, инвазивный аспергиллёз
<i>Alternaria alternata</i>	Zn, Pb	4	Синусит, кератомикоз, онихомикоз, подкожный феогифомикоз, инвазивные инфекции
<i>Mucor circinelloides</i>	Pb, Zn, Cu	4	Кожные инфекции
<i>Chaetomium atrobrunneum</i>	нет	4	Системные микозы у лиц с ослабленным иммунитетом
<i>F. moniliforme</i>	Pb, Zn, Cu	4	Кератит, эндофтальмит, диссеминированные микозы
<i>Hormonema dematioides</i>	Zn	4	Феогифомикоз
<i>Pseudallescheria boydii</i>	Zn	4	Медленно прогрессирующие инфекции после травм и хирургического вмешательства
<i>Rhizopus stolonifer</i>	нет	4	Кожные инфекции
<i>Scedosporium prolificans</i>	Pb, Zn, Cu	4	Посттравматическая инфекция
<i>Sporotrix schenckii</i>	Pb, Zn, Cu	4	Кожная инфекция

степени – в почвах городских скверов и парков. В микромицетном комплексе фоновых дерново-подзолистых почв выявлены представители 8 родов, среди которых доминировали виды рода *Penicillium*. Среди пенициллов наиболее часто встречались виды *P. thomii*, *P. chrysogenum*, *P. expansum*, несколько реже – *P. purpurogenum*. Кроме пенициллов часто обнаруживались также представители родов *Trichoderma* (*T. viride*, *T. harzianum*), *Mucor*, *Verticillium*, *Acremonium*, *Cladosporium*, изредка – рода *Phialophora*.

В комплексе микромицетов урбанозёмов выявлены представители 20 родов, для 17 из них в литературе описаны условно патогенные виды. Эти грибы могут попадать в организм здорового человека и сохраняться в нём, вызывая локализованные микозы. В случае попадания в организм человека, страдающего различными формами иммунодефицита, они могут распространяться более широко и, таким образом, проявлять свойства оппортунистов.

Доминирующим в урбанозёмах с высоким содержанием ТМ являлся род *Acremonium*, представленный видами *A. strictum* (частота встречаемости 75%), *A. atrogriseum* (33%) и *A. kiliense* (8%) (табл. 3). Преобладание последнего из перечисленных видов в почвах Кольского полуострова с высокими концентрациями ТМ отмечалось ранее в работе [16]. Далее следовали роды *Phialophora* и *Cladosporium* (*C. herbarum*), частота встречаемости в комплексе которых составила 25 и 21% соответственно. Другие условно патогенные микромицеты, встречаемость которых в комплексе не превышала 13–17%, были представлены видами *Geotrichum candidum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Cladosporium cladosporoides*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Aspergillus fumigatus*.

Род *Aspergillus* в урбанозёмах был представлен видами *A. fumigatus*, *A. flavus* и *A. niger*, которые практически не встречаются в природных биогеоценозах умеренной зоны (рис.). Среди выявленных видов аспергиллов наиболее часто встречался *A. fumigatus*, который, согласно литературным данным [41], является причиной аспергиллёза лёгких в 75% случаев этого заболевания. Кроме того, аспергиллы относятся к группе токсиногенных (продуцируют афлатоксины, охратоксины, цитрин и т. д. [18]) и аллергенных микромицетов, поскольку их конидии могут являться причиной различных аллергических заболеваний органов дыхания [17].

Из 23 видов условно патогенных микромицетов, выделенных из городских почв, 18

видов обнаружены в почвах с повышенным содержанием подвижных форм свинца, а 15 видов – свинца, меди и цинка. В целом в городских экотопах долевое участие грибов, имеющих то или иное медицинское значение, увеличивалось по сравнению с фоновыми почвами более чем в 2 раза (табл. 2). Очевидно, что наличие в почвах города подвижных форм тяжёлых металлов способствует повышению доли микромицетов, относящихся к условно патогенным.

Таким образом, загрязнение городских почв тяжёлыми металлами сопровождается перестройками в структуре комплекса микроскопических грибов: снижается численность грибных пропагул, изменяется спектр доминантных родов, возрастает в комплексе доля видов, синтезирующих меланиновые пигменты, и увеличивается относительное обилие оппортунистических грибов, представляющих опасность для здоровья человека и животных. В то же время аккумуляция в почвах тяжёлых металлов способствует элиминации из микромицетного комплекса тех видов, которые не устойчивы к ним или не выдерживают конкуренции с более активными оппортунистическими видами. Освободившиеся ниши занимают эвритопные виды оппортунистических микромицетов, которые в условиях более «южного» городского микроклимата и нейтральной реакции среды имеют преимущество перед грибами, доминирующими в фоновых почвах.

Полученные в результате данного исследования материалы могут служить основанием для дальнейшего мониторинга городских почв и урбанозёмов в целях прогнозирования опасных для здоровья человека ситуаций, связанных с развитием почвенной микобиоты.

Литература

1. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации/А.Д.Мягкова, М.Н.Строганова, А.С.Курбатова, Г.П.Тощева, А.С.Яковлев, Р.Г.Мамин. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1996. 35 с.
2. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест: Методические указания. М.: Федеральный центр госэпиднадзора Минздрава России. 1999. 38 с.
3. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва: контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. М.: Протектор, 2001. 304 с.
4. Marfenina O.E. Do we have the increasing of mycological risk in the contaminated environment conditions? // Zbl. Bakteriол., 1996. V. 285. P. 5–10.

5. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2002. 225 с.
6. Васильев О.Д. Условно патогенные грибы как показатели санитарного благополучия окружающей среды // Успехи медицинской микологии. М.: Нац. акад. Микологии. 2007. Т. IX. С. 39–42.
7. Hoog de G.S., Guarro J., Gene J., Figueras M.J. Atlas of clinical fungi. Cetntraalbureau voor Schimmelcultures. Universitat Rovira I Virgili. 2000. 1126 p.
8. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
9. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. М.-Л.: Наука, 1969. 132 с.
10. Кириленко Т.С. Атлас родов почвенных грибов. Киев: Наукова думка, 1977. 128 с.
11. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 486 с.
12. Воробьёва Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: Геос, 2006. 400 с.
13. Марфенина О.Е. Распространение потенциально патогенных микромицетов в окружающей среде // Пробл. мед. микол. 2000. Т. 2. № 2. С. 36–37.
14. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
15. Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
16. Зачиняева А.В., Лебедева Е.В. Микромицеты загрязнённых почв северо-западного региона России и их роль в патогенезе аллергических форм микозов // Микология и фитопатология. 2003. Т. 37. Вып. 5. С. 69–74.
17. Аак О.В. Аллергены грибов. Особенности микогенной сенсибилизации // Проблемы медицинской микологии. 2005. Т. 7. № 2. С. 12–16.
18. Тутельян В.А., Кравченко Л.В., Сергеев А.Ю. Микотоксины // Микология сегодня / Под ред. Ю.Т. Дьякова и Ю.В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 283–304.

**Экотоксикологическая оценка гуминовых препаратов
разного происхождения с применением микроводорослей
*Scenedesmus quadricauda***

© 2009. Е.В. Федосеева¹, аспирант, В.А. Терехова^{1,2}, д.б.н., зав. лаб.,
О.С. Якименко¹, к.б.н., с.н.с., М.М. Гладкова¹, студент,
¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
²Институт проблем экологии и эволюции РАН,
e-mail: feodoseeva@yandex.ru, vterekhova@gmail.com

Результаты биотестирования показали, что реакция микроводорослей на гуминовые препараты (ГП) зависит от насыщенности среды питательными элементами. В условиях, когда питательность среды снижена, проявляются различия в воздействии ГП разного происхождения. ГП из торфов и сапропелей (в концентрации 0.005–2 г/л), насыщенных веществами кислоторастворимой фракции, способны к большей стимуляции роста водорослей, чем гуматы «угольного» происхождения с большим содержанием в своём составе гуминовых кислот.

Acute bioassay on microalgae *Scenedesmus quadricauda* demonstrated the unequal reply on humates, which was depending on media enrichment. The remarkable differences in tests with humates (0.005–2 g L⁻¹) of different origin were shown under low nutrition. The stimulation of algal growth was stronger by humates from peat and sapropel – «plant-origin» with high contents of acid solution fraction, than it was by «coal-origin» humates with high content of humic acids.

Ключевые слова: гуматы, токсичность, биотестирование,
зелёные протококковые водоросли

Key words: humates, toxicity, biotesting, green protococcal algae

Введение

Гуминовые вещества – природные высокомолекулярные полимеры нерегулярного строения – оказывают влияние на химические, физические и микробиологические свойства почв и водных сред, стимулируют рост и развитие растений [1–3 и др.]. Многие промышленные компании стали производить промышленные гуминовые препараты (ГП) из различных видов органического сырья и предлагать их на рынке в качестве стимуляторов роста растений, почвенных мелиорантов и детоксикантов для загрязнённых почв. Разнообразие сырья для производства ГП и технологических схем их получения обуславливают довольно широкую вариабельность свойств и эффективности ГП [4–7]. Одним из критериев качества и экологической безопасности этих продуктов является степень их токсичности по отношению к разным видам организмов, оценить которую возможно с помощью биотестирования. Поэтому актуален поиск таких методик биотестирования, которые позволили бы получить дифференцированный отклик тест-систем на препараты различного происхождения.

Биотестирование на водорослях широко используется для оценки качества компонентов окружающей среды и, в частности, для оценки влияния гуминовых веществ [8–10]. В настоящее время в реестр МВИ индексов токсичности природоохранного назначения (ПНД Ф) РФ включены методики, основанные на измерении индекса токсичности по изменению прироста численности клеток водорослей и изменению флуоресценции хлорофилла [11]. Предварительные наблюдения показали, что условия экспозиции тест-культур, в частности цветность препаратов и степень обогащённости среды развития водорослей, оказывают существенное влияние на результаты оценки экотоксичности.

Цель работы – оценить влияние ГП разного происхождения на микроводоросли, используя в качестве тест-параметра изменение прироста численности популяции клеток зелёных протококковых водорослей *S. quadricauda*. Задачи исследования заключались в выявлении: а) особенностей в проявлении токсических свойств ГП, полученных из растительного и углефицированного сырья и б) оценке влияния степени обогащённости

питательными компонентами среды на проявление тест-отклика.

Объекты и методы

Тест-культура и ход биотестирования. В работе использовали альгологически чистую культуру зелёных ценобиальных протоккокковых водорослей – *S. quadricauda* (Turp.) Vreb., широко применяемую для целей биотестирования [12, 13]. Культивирование водорослей проводили в колбах Эрленмейера на жидких питательных средах в люминистате при интенсивности света до 5000 люкс со сменой освещённости (16:8 ч) и при температуре 20–24 °С. Во избежание оседания клеток водорослей и для обогащения культуры CO₂ содержимое колб перемешивали 1-2 раза в сутки. Биотестирование проводили на основании методики (ФР.1.39.2007.03223), допущенной для целей государственного экологического контроля [14].

Согласно стандартной методике для оценки токсичности проб по реакции *S. quadricauda* используется среда Успенского 1: KNO₃ – 0,025 г/дм³; MgSO₄·7H₂O – 0,025 г/дм³; Ca(NO₃)₂·4H₂O – 0,144 г/дм³; KH₂PO₄·3H₂O – 0,025 г/дм³; K₂CO₃ – 0,0345 г/дм³; раствор FeCl₃·6H₂O с трилоном Б – 1 мл; растворы микроэлементов А и Б – по 1 мл [15]. Эксперименты с гуматами проводили при различной насыщенности питательных сред: кроме стандартной 100%-ной использовали разведённую в 10 раз (10%-ную) среду. Контрольной средой являлась среда Успенского 1 с соответствующим процентом насыщенности.

В опытных вариантах к питательной среде добавляли необходимые аликваты маточных растворов ГП, так что концентрация гуматов в среде составляла: 0,005; 0,05 и 0,1 г/дм³. Посев производили внесением в контрольные и опытные растворы одинакового объёма маточной культуры водорослей, находящейся в экспоненциальной стадии роста до плотности 25–35 тыс. ед/см³. Экспозицию осуществляли в течение 72 ч при t = 22–25 °С.

Поскольку ГП, производимые из разных материалов, имеют различную окраску и оптическую плотность растворов, что может служить причиной искажения результатов при измерении флуоресценции, прямой счёт изменения численности клеток представляется более надёжным для их оценки. Поэтому измерение численности водорослей производили прямым счётом в камере Горяева. Тест-параметром считали индекс токсичности (ИТ):

$$Ит = (X_{опыт} - X_{конт}) / X_{конт} \cdot 100\%$$

где X_{конт} – численность особей (ценобиов) в контроле, X_{опыт} – в опыте (ед/см³).

Токсическое действие ГП оценивали по изменению прироста численности популяции клеток водорослей. Токсичными признавались пробы, в которых происходило снижение прироста численности клеток водорослей относительно контроля на 20% и более либо возрастание на 30% и более. Эксперименты проводили в 3-кратной повторности.

Гуматы и их свойства. Исследования проводили на ГП различного генезиса: коммерчески доступных гуматах из углей различной степени углефикации (бурого угля, леонарди-

Таблица

Наименование, источник происхождения и некоторые химические характеристики гуминовых препаратов

Источник, страна-производитель	Состав, технология производства	Аббревиатура	С, %	СГК, % к Собщ	С _{КРФ} , % к Собщ	СГК/СФК
Обогащены ГК						
Бурый уголь, РФ	гумат Na, твердофазная экстракция	BC-EnNa	43,1	73	25	2,9
Леонардит, Германия	гумат K	Le-PhK	39,0	79	20	4,0
Лигнит, США	гумат Na/K, с добавкой Si	Li-Ion	38,0	65	17	3,8
Обогащены веществами КРФ						
Сапропель+торф, РФ	гумат Na/K	Sa-Plod	34,6	52	47	1,1
Лигносульфонат, РФ	гумат Na	OW-LhNa	34,6	9	87	0,1
Лигнит, Китай	фульват	Li-Fa70	32,9	27	35	0,8

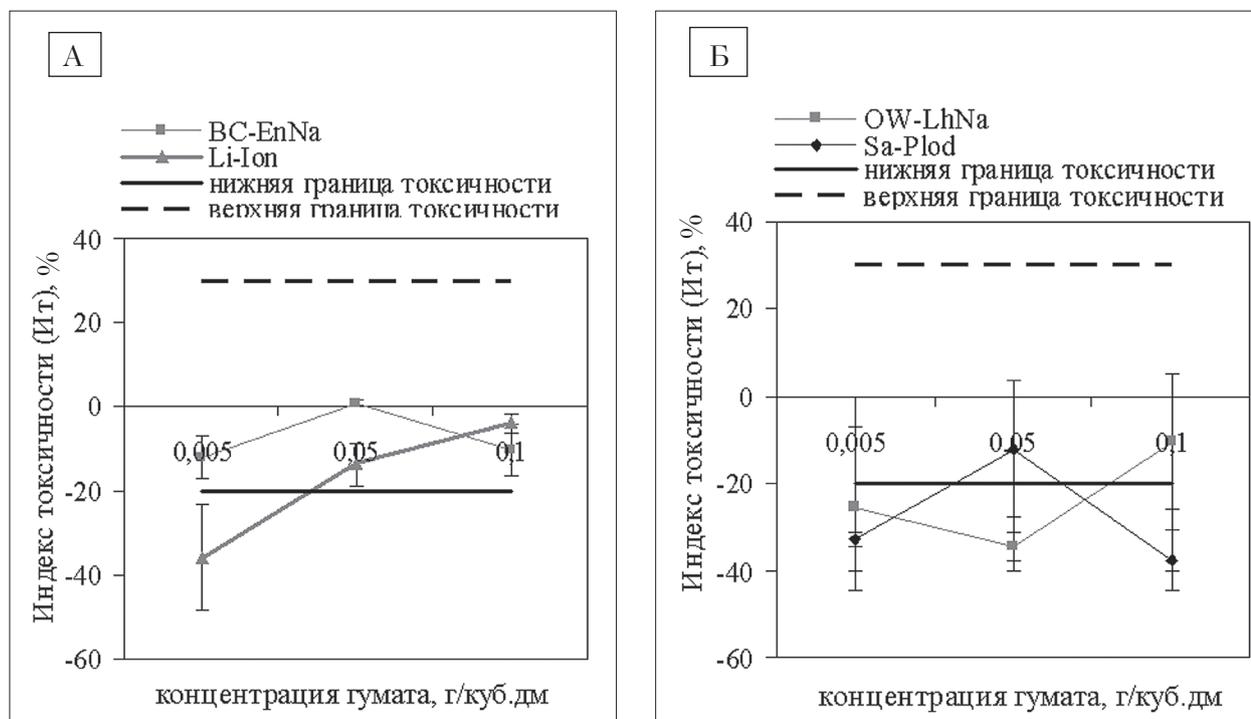


Рис. 1. Изменение прироста численности клеток (Ит) тест-культуры *S. quadricauda* под влиянием возрастающих концентраций гуматов, обогащённых ГК (А) и обогащённых веществами КРФ (Б) в среде Успенского 1 без разбавления (100%)

та и лигнита), из озёрных донных отложений (сапропеля и торфа), из органического отхода лигносульфоната, а также фульвате из лигнита.

Содержание общего углерода в ГП определяли мокрым озолением по методу Тюрина. В водной вытяжке определяли также содержание подвижных гуминовых веществ: углерода гуминовых кислот (ГК) после их осаждения серной кислотой при pH 2, центрифугирования и последующего растворения в щёлочи; и углерода веществ кислого фильтрата. Вещества кислоторастворимой фракции (КРФ) ГП представлены собственно фульвокислотами и неспецифическими органическими соединениями (низкомолекулярные органические кислоты, аминокислоты, углеводы). Поскольку преобладание фульвокислот (ФК), а также низкомолекулярных карбоновых кислот характерно для гуминовых веществ торфов и сапропелей, в спектре исследуемых гуматов представлены препараты не только с различными химическими характеристиками, но и происхождением. Некоторые характеристики ГП приведены в таблице.

Результаты

Проведено две серии токсикологических экспериментов, которые различались степе-

ню обогащённости питательной среды для водорослей. В экспериментах варианта I испытывали токсичность ГП в среде Успенского 1 без разведения (100%). В экспериментах варианта II испытывали токсичность ГП в среде Успенского 1 с десятикратным разведением (10%).

Результаты биотестирования показали следующее.

Вариант I. В условиях неразбавленной среды Успенского 1 гуматы (BC-EnNa, Li-Ion, OW-LhNa, Sa-Plod) в большинстве вариантов не оказывали значимое воздействие на рост водорослевой культуры *S. quadricauda*. Лишь при некоторых концентрациях наблюдали токсическое действие ГП на альгологическую культуру. Угнетали прирост численности клеток на 20% и более 0,005 г/дм³ Li-Ion, 0,05 г/дм³ OW-LhNa и 0,1 г/дм³ Sa-Plod. В этой серии экспериментов не выявлено различий в отклике культуры водорослей на гуматы различного происхождения (рис. 1).

Вариант II. При разбавлении среды наблюдали стимуляцию развития водорослей гуматами. Диапазон колебания индексов токсичности ГП, обогащённых ГК, находился в пределах от 67,4±6,8% для 0,005 г/дм³ раствора препарата Li-Ion до 44,0±11,9% для 0,05 г/дм³ раствора препарата BC-EnNa

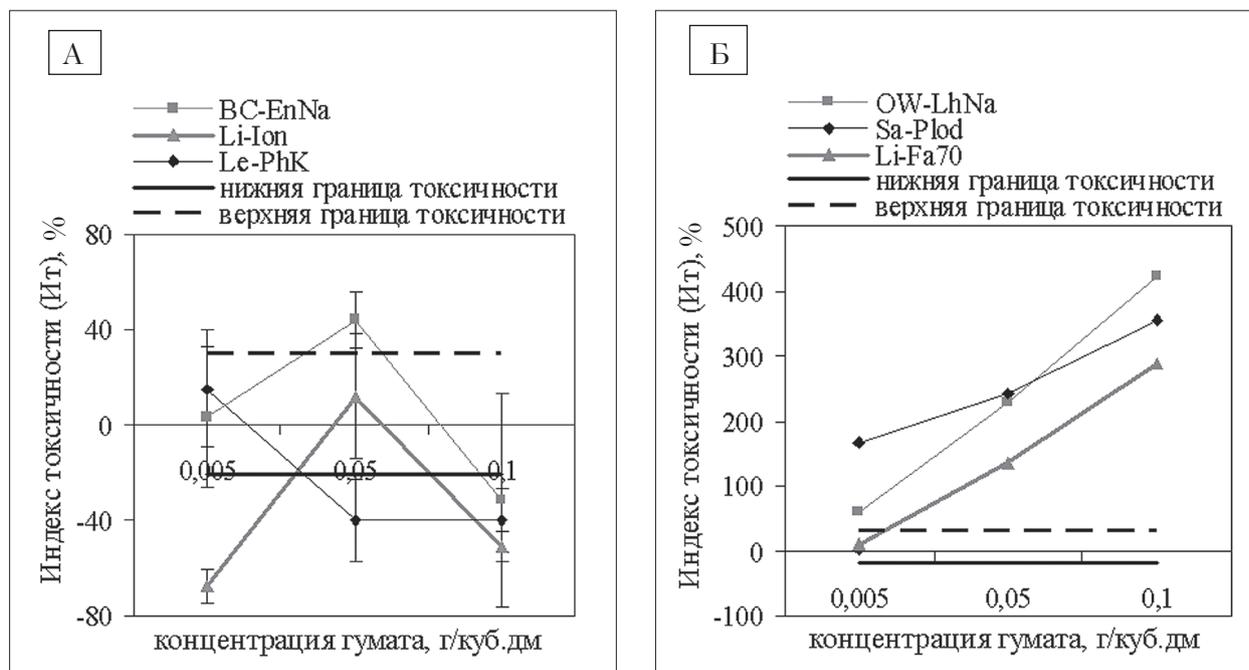


Рис. 2. Изменение прироста численности клеток (Ит) тест-культуры *S. quadricauda* под влиянием возрастающих концентраций гуматов обогащённых ГК (А) и обогащённых веществами КРФ (Б) в разбавленной среде Успенского 1 (10%)

(рис. 2А). В то же время индексы токсичности гуматов, обогащённых веществами КРФ, были только положительными. Характер кривых откликов водорослевой культуры на гуматы различного происхождения был схожим (рис. 2Б).

Результаты второй серии экспериментов демонстрируют корреляцию воздействия гуматов на культуру *S. quadricauda* с содержанием в них КРФ органических веществ и, следовательно, с их происхождением. Факт стимулирования развития водорослей ГП в условиях обеднённости среды элементами питания согласуется с описанными в литературе данными наибольшего стимулирующего влияния гуминовых веществ на организмы именно в условиях стресса [16–18].

Выводы

Результаты проведённых экспериментов показывают, что, во-первых, реакция водорослей на ГП зависит от насыщенности среды питательными элементами; во-вторых, в условиях, когда питательность среды снижена, проявляются различия в воздействии ГП разного происхождения: ГП из торфов и сапропелей, насыщенных веществами кислоторастворимой фракции, способны к большей стимуляции роста водорослей, чем гуматы «угольного» происхождения с большим содержанием ГК в своём составе.

Литература

1. Malcolm R.L., Vaughan D. Effects of humic acid fractions on invertase activities in plant tissues // *Soil Biology & Biochemistry*. 1978. № 11. P. 65–72.
2. Thomas J.D. The role of dissolved organic matter, particularly free amino acids and humic substances, in freshwater ecosystems // *Freshwater Biology*. 1997. № 38. P. 1–36.
3. Potential applications of humates in environmental engineering <<http://www.humate.com>>.
4. Наумова Г.В., Кособокова Р.В., Косоногова Л.В., Райцина Г.И., Овчинникова Т.Ф. Гуминовые препараты и технологические приёмы их получения // *Гуминовые вещества в биосфере*. М.: Наука, 1993. С. 178–188.
5. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. М.: Химия, 2000. 408 с.
6. Malcolm R.L. The uniqueness of humic substances in each of soil, stream and marine environments // *Analytica Chimica Acta*. 1990. № 232. P. 19–30.
7. Yakimenko O. Chemical and plant growth stimulatory properties in a variety of commercial humates // Ed. by Frimmel F.H., Abbt-Braun G. *Humic substances – linking structure to functions*. (Proceedings of the 13-th Meeting of the International Humic Substances Society). Karlsruhe, 2006. V. 45-II. P. 1017–1021.
8. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. М.: Колос, 2007. 144 с.

9. Barrett P.R.F., Williams M., Vincent D., Robinson J. Algal growth control by a barley straw extract // *Bioresource Technol.* 1999. № 77. P. 177–181
10. Prokhotskaya V.Yu., Steinberg C.E.W. Differential sensitivity of a coccal green algal and cyanobacterial species to dissolved organic matter (NOM) // *Env. Sci. Pollut. Res.* 2007. № 8. P. 1–8.
11. Перечень методик, внесённых в государственный реестр методик. Часть IV. Токсикологические методы контроля <<http://www.fcao.ru/metodiks.html>>.
12. Марушкина Е.В. Исследование состояния популяции водоросли *Scenedesmus quadricauda* в норме и при интоксикации методом микрокультур. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 2005. 24 с.
13. Дмитриева А.Г., Бойчук Т.В., Филенко О.Ф. Жизнестойкость популяции *Scenedesmus quadricauda* при разных режимах интоксикации серебром // *Электронный журнал «Исследовано в России»*. 2006. № 245. С. 2326–2333.
14. Жмур Н.С., Орлова Т.Л. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М.: АКВАРОС, 2007. 48 с.
15. Методическое руководство по биотестированию воды (РД 118-02-90). М., 1991. 48 с.
16. Христева Л.А. Действие физиологически активных гуминовых кислот на растения при неблагоприятных внешних условиях // *Гуминовые удобрения: теория и практика их применения*. Днепропетровск. 1973. Т. 4. С. 15–23.
17. Куликова Н.А., Цветкова Е.А., Холодов В.А., Лебедева Г.Ф., Бадун Г.А., Коробков В.И., Тясто З.А., Чернышёва М.Г., Перминова И.В. Защитное РД 118-02-90 действие гуминовых веществ и их производных в условиях абиотических стрессов // *Леса Евразии-Северный Кавказ: Матер. VIII междунар. конф. молодых учёных, посвященной 270-летию А.Т. Болотова*. Сочи. 2008. Т. 2. С. 86–87.
18. Kulikova N.A., Veselovskaya M.M., Lebedeva G.F., Perminova I.V. Humic substances decrease water deficiency stress of wheat seedlings // Ed. by Frimmel FH, Abbt-Braun G. Humic substances – linking structure to functions. (Proceedings of the 13th Meeting of the International Humic Substances Society). Karlsruhe. 2006. P. 437–440

Работа частично финансировалась из грантов РФФИ 07-04-01510 и Программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

УДК 504.75.06:621.039.7

Оценка дермального риска для населения, проживающего в районе дампинга химического оружия в Балтийском море

© 2009. М.Н. Каткова, н.с.,

Государственное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун»,
e-mail: katkova@typhoon.obninsk.ru

Химическое оружие, затопленное во времена Второй мировой войны в Балтийском море, является предметом озабоченности стран, прилегающих к району дампинга. Существуют доказательства, что рыбаки и население указанного района периодически контактируют с выловленными частями боеприпасов и затвердевшими сгустками отравляющих веществ. Подобный контакт является источником потенциальной опасности для человека. На основе имеющихся натуральных и литературных данных проведена оценка дермального риска для населения о. Борнхольм, расположенного в районе захоронения химического оружия в Балтийском море. Показано место этого пути воздействия в оценке риска для населения рассматриваемого района.

Chemical weapon dumped in the Baltic Sea during WWII is the subject of concern of the countries adjoining the dumping site. It was proved that fishermen and population contact with some fished out parts of ammunition and solid clots of poison substances. Such a contact is a source of potential danger. Dermal risk of the population of Bornholm Island that is situated near chemical weapon dumping site has been estimated on the ground of natural and literature data available. The role of this impact within other risks is estimated.

Ключевые слова: химическое оружие, остров Борнхольм, дермальный риск, иприт, кожная абсорбция

Key words: chemical weapon, Bornholm Island, dermal risk, iprit, skin absorption

Химическое оружие (ХО), затопленное во времена Великой Отечественной войны в морях и океанах, до настоящего времени вызывает беспокойство общественности и населения, прилегающих к региону дампинга стран. Доподлинно известно большое количество мест затопления ХО – Балтийское море и Датские проливы, пролив Ла-Манш к западу от Шотландии, Белое море и другие. В данной статье особое внимание уделено району о. Борнхольм, расположенному в Балтийском море. К настоящему времени сведения Хельсинской Комиссии (HELCOM) о затоплениях в Балтийском море и в Датских проливах химического оружия, произведённого Германией накануне и в годы Второй мировой войны, являются наиболее полными, хотя и с некоторыми пробелами. В период с 1935-го по 1945 год объём производства отравляющих веществ (ОВ) превысил 65 тыс. т [1]. После демилитаризации Германии около 300 тыс. т ХО оказалось в распоряжении США и Великобритании и было затоплено в проливе Скагеррак на глубинах от 200 м до 700 м. Трофейное оружие, взятое советскими войсками, в 1947 – 1948 гг. было затоплено в Балтийском море в Борнхольмской впадине на глубинах около 100 м (35 тыс. т) и в южной части Готланской

впадины на глубинах 70–105 м (2 тыс. т). В таблице 1 приведены количества и виды ХО, затопленного в Балтийском море [2–4].

Основной целью работы является оценка потенциального риска для населения района захоронения химического оружия по перкутанному пути воздействия химических агентов. В рамках поставленной цели решалась задача показать, что гипотетическая ситуация с воздействием иприта, растворённого в транспортирующей среде не является катастрофической, но в то же время необходимы дальнейшие исследования этого пути воздействия на население в районах дампинга химического оружия.

Поведение иприта в морской воде и пути воздействия на человека

Большая часть химических агентов и продуктов их деградации имеют ограниченную растворимость и с разной скоростью разлагаются в морской воде. При низких температурах в морской воде иприты находятся в желеобразной или затвердевшей форме, остальные виды химических агентов либо гидролизуются, либо сильно адсорбируются донными отложениями.

Таблица 1

Количество и виды химического оружия, затопленного в районе о. Борнхольм

Расположение мест затопления химического оружия	Количество химических боеприпасов, т	Масса отравляющих веществ, т	Тип отравляющего вещества
Восточная часть акватории о. Борнхольм	~32	~11	Иприт, кларк I, кларк II, адамсит, хлороацетофенон, фосген, азотистый иприт, табун
Юго-западная часть акватории о. Борнхольм	~15*	–	нет данных

Примечание: * – расчётные данные.

Многочисленные источники и анализ ранее полученной информации о содержании и поведении химических агентов в компонентах морской среды Борнхольмской впадины указывают на то, что накожная абсорбция не является основным и единственным путём воздействия агентов химического оружия на человека, однако полностью исключить этот путь нельзя. Есть неопровержимые доказательства того, что население рассматриваемого района дампинга, особенно рыбаки, периодически контактируют с выловленными со дна моря «кусками» химического оружия, которое, попадая на поверхность кожи или одежды, если сразу не принять защитные меры, может вызвать серьёзные ожоги и эритемы. В период с 1985-го по 1992 год было зафиксировано 342 случая, когда куски иприта были механически выловлены сетями рыбаков из моря [2]. И это только официальные данные.

Из-за высокой липофильности токсикологически значимые количества иприта быстро абсорбируются эпителиальными тканями. Абсорбция через кожу зависит от толщины эпидермиса, наличия одежды и присутствия влаги, которая увеличивает проникновение [5]. Из общего количества иприта, контактирующего с кожей, 80% испаряется и только 20% абсорбируется. Из абсорбированной фракции около 12% остаётся на поверхности, а оставшиеся 88% попадают в кровоток [6]. Renshow отметил, что скорость проникновения составляет 1–4 мкм(см²) мин. при температуре 24 °С.

В работе A.P. Watson and G.D. Griffin «Toxicity of Vesicant agents scheduled for destruction by the Chemical Stockpile Disposal Program» описан механизм действия иприта. Иприт является классическим алкилирующим агентом и быстро реагирует с компонентами ДНК, РНК и протеинами [7–11].

Достаточно давно известно, что иприт вызывает множественные цитологические

нарушения [12]. Из-за схожести клеточных повреждений, вызванных ипритом и X-лучами, иприт и другие химические вещества похожего действия иногда называют термином «радиомиметические», т. е. которые имитируют воздействие радиации [13, 14]. Таким образом, при хроническом воздействии иприта и ему подобных веществ, так же как и при хроническом облучении, происходит накопление агента в организме человека.

Оценка риска для критической группы населения при накожной экспозиции

Кожная абсорбция является примером прямого поглощения через наружные барьеры организма. Оценка накожных экспозиций проводится на основе расчётной величины абсорбированной дозы. В нашем случае оценивается доза от химического вещества, которое находится в транспортирующей среде, а сама среда не поглощается в том же количестве, как «представляющий интерес загрязнитель» [15].

Для расчёта абсорбированной дозы использовали методы, описанные в работах [16–8].

Как было отмечено выше, риск при накожном воздействии химических веществ, как правило, рассчитывается через поглощённую дозу [16]. Поскольку для большинства химических веществ отсутствуют данные о референтных дозах при накожном воздействии, в качестве ориентировочной меры допустимого накожного воздействия используется величина поглощённой дозы, вычисленная из референтной дозы для перорального пути поступления.

$$RfD_{ABS} = RfD_o \cdot ABS_{GI}, \quad (1)$$

где RfD_{ABS} – референтная доза при накожной экспозиции химического вещества, мг/кг-сут;

Таблица 2

Характеристика и стандартные значения параметров

Параметр	Характеристика	Стандартное значение
DAD	Поглощённая доза, мг/кг-день	–
DAe	Абсорбированная доза за одно событие на экспонируемую площадь кожи, мг/см ² - событие	Для органических веществ: Если $t_e \leq t^*$, то $DAe = 2 \cdot K_p \cdot C_w \cdot (6 \cdot \theta_{aue} \cdot t_e / 3.14)^{0.5}$, Если $t_e > t^*$, то $DAe = K_p \cdot C_w \cdot \{ (t_e / (1+B)) + 2 \cdot \theta_{aue} \cdot (1+3 \cdot B+3B^2) / (1+B)^2 \}$
Cw	Концентрация вещества в воде	Предел обнаружения иприта в воде – 0,015 мг/л [19]. Максимально возможная концентрация иприта в воде – $2 \cdot 10^{-4}$ мг/л [20].
EV	Частота контакта, число контактов/день	1 контакт/год=0,0027 контактов/день
ED	Продолжительность воздействия, лет	30
EF	Частота воздействия, дней/год	350 день/год
SA	Площадь участка кожи, см ²	18000 см ² . Экспонируемые части тела – голова и кисти рук. Фракция общей поверхности тела 0,13–2340 см ² [18]
BW	Масса тела, кг	70
AT	Период усреднения экспозиции, лет	30 лет; канцерогены 70 лет
ABS	Коэффициент кожной резорбции, отн. ед.	Определяется свойствами вещества
Kp	Коэффициент кожной проницаемости, см/час	$LgKp = -2,8 + 0,67Kow - 0,0056MW$
MW	Молекулярная масса, г/моль	Иприт: 159,08
lgKow	Коэффициент распределения октанол-вода	1,37
S	Растворимость вещества в воде	0,8
te	Продолжительность одного события, час/событие	3
B	Коэффициент соотношения между проницаемостью через роговой слой кожи и эпидермис	$B = (K_p \cdot MW^{0.5}) / 2,6$
thae	Лаг-период на событие, час/событие	Для органических веществ: $thae = 0,16 \cdot 10^{(0,0056MW)}$
Dsc	Эффективная диффузия для переноса вещества через кожу, см ² /час	Для органических веществ: $Dsc / Lsc = 10^{(-2,8 - 0,0056MW)}$
Lsc	Толщина кожных покровов, см	10^{-3}
t*	Время достижения равновесного состояния, час	Для органических веществ, если $B \leq 0,6$, то $t^* = 2,4 \cdot thae$; если $B > 0,6$, то $t^* = (b - (b^2 + c^2)^{1/2} \cdot (Lsc^2 / Dsc))$, где $b = (2(1+B)^2 / 3.14) - c$ $c = (1+3B+3B^2) / (3(1+B))$

RfD_o – референтная доза при пероральном поступлении вещества, мг/кг-сут. Для иприта это значение равно $1 \cdot 10^{-5}$ (мг/кг-сут).

Для вычисления неканцерогенного риска при дермальном воздействии химического вещества на человека используют индекс опасности равный отношению среднесуточной дозы при накожном воздействии химического вещества к референтной дозе:

$$HQ_{ABS} = \frac{DAD}{RfD_{ABS}} \quad (2)$$

Для канцерогенных веществ фактор канцерогенного потенциала при накожном воздействии также рассчитывается через фактор канцерогенного потенциала при пероральном пути поступления:

$$SF_{ABS} = \frac{SF_o}{ABS_{GI}} \quad (3)$$

где SF_{ABS} – фактор наклона (канцерогенного потенциала) при абсорбции кожными покровами;

SF_o – фактор канцерогенного потенциала при оральном потреблении вещества, равный для иприта $9,5$ (мг/кг-сут) $^{-1}$;

ABS_{GI} – фракция загрязнителя, абсорбированная в ЖКТ.

Значение дермального канцерогенного риска определяют по формуле:

$$Dermal_cancer_risk = DAD \cdot SF_{ABS} \quad (4)$$

Формула расчета средней суточной дозы и стандартные значения факторов экспозиции при накожной экспозиции воды, содержащей химический агент:

$$DAD = \frac{(DAe \cdot EV \cdot ED \cdot EF \cdot SA)}{(BW \cdot AT \cdot 365 \cdot 1000)} \quad (5)$$

Характеристика и стандартные значения параметров к уравнению (5) представлены в таблице 2.

Для расчёта среднесуточной дозы и, в частности, параметра абсорбированной дозы за одно событие на экспонируемую площадь кожи (DAe) использовали различные значения концентрации иприта в воде – предел обнаружения иприта в воде, равный $0,015$ мкг/л

[11] и ПДК в.в. для иприта в воде водоёмов, приведённое в отечественном документе [21] – $2 \cdot 10^{-4}$ мг/л. Эти концентрации были использованы для расчётов ввиду того, что реальные концентрации иприта в воде Балтийского моря гораздо ниже порога обнаружения [19].

Среднесуточную поглощённую дозу рассчитывали для различных периодов усреднения экспозиции – 30 лет для оценки неканцерогенных эффектов и 70 лет для канцерогенов.

Как было отмечено выше, только 20% попавшего на кожу иприта абсорбируется кожными покровами. Исходя из этого было сделано предположение, что значение фракции загрязнителя, абсорбированного в ЖКТ (ABS_{GI}), составляет 0,2.

В соответствии с формулами (1) и (3) были рассчитаны RfD_{ABS} и SF_{ABS} . Значение референтной дозы при накожном воздействии составило $2 \cdot 10^{-6}$ мг/кг-сут, фактор канцерогенного потенциала – $47,5$ (мг/кг-сут) $^{-1}$.

Рассчитанные значения коэффициентов для оценок риска были следующие: коэффициент накожной проницаемости составил $0,00164$ см/час, коэффициент соотношения между проницаемостью через роговой слой кожи и эпидермис – $0,008$, лаг-период на событие ($thae$) – $1,24$ час/событие.

Для двух различных концентраций иприта в воде $0,015 \cdot 10^{-3}$ мг/л и $2,0 \cdot 10^{-4}$ мг/л значения абсорбированной дозы за одно событие на экспонируемую площадь кожи (DAe) составили $1,3 \cdot 10^{-7}$ мг/см 2 -событие и $1,7 \cdot 10^{-6}$ мг/см 2 -событие соответственно. В таблице 3 представлены расчётные значения рисков при накожном воздействии для периодов усреднения экспозиции, равных 30 лет для неканцерогенного воздействия и 70 лет для канцерогенных эффектов.

Качественный анализ неопределённостей в оценках риска

Информация о риске не была бы полной, если не отметить основные неопределённости, связанные с его оценкой. Здесь следует

Значения канцерогенного и неканцерогенного риска для населения при накожном воздействии иприта

Таблица 3

Риск	Концентрация иприта в воде, мг/л	
	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Неканцерогенный	0,001	0,014
Канцерогенный	$4,2 \cdot 10^{-8}$	$8,1 \cdot 10^{-7}$

указать, что источником неопределённости являются следующие аспекты:

- нет чёткой статистической информации о частоте случаев контакта населения с агентами химического оружия;
- отсутствуют натурные данные о реальных концентрациях иприта в воде;
- отсутствуют данные о референтных дозах и факторах канцерогенного потенциала при кожном воздействии;
- исходя из литературных данных консервативно принято, что значение фракции загрязнителя, абсорбированного в ЖКТ (ABSGI), составляет 0,2.

Выводы

В связи с тем, что концентрации в воде, используемые для расчётов, были достаточно низки, то и среднесуточные дозы при кожном воздействии иприта имели довольно низкие порядки величины.

Согласно классификации, приведённой в [17, 18], индивидуальный канцерогенный риск в течение всей жизни, равный или меньший 10^{-6} , характеризуется как пренебрежимо малый, не отличающийся от обычных, повседневных рисков. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению, и их уровни подлежат только периодическому контролю.

Полученные оценки индивидуального канцерогенного риска ($4,2 \cdot 10^{-8}$ и $8,4 \cdot 10^{-7}$) значительно ниже нормируемого уровня, следовательно, риск кожного воздействия иприта в транспортирующей среде на население пренебрежимо мал, а путь поступления указанного вещества не является доминирующим.

Аналогичная ситуация и с неканцерогенными рисками. Рассчитанные коэффициенты опасности (0,001 и 0,014) значительно ниже принятого нормативного значения, равного 1, превышение которого означает, что вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни несущественна и такое воздействие характеризуется как допустимое.

Литература

1. Пака В.Т. Затопленное химическое оружие: состояние проблемы // Российский химический журнал. 2004. Т. 48. № 2. С. 99–109.
2. HELCOM – Helsinki Commission. Update of a report dated 7 May 1985 concerning environmental, health and safety aspects connected with the dumping of war gas

ammunition in the waters around Denmark // HELCOM 14.10.1. 1993 a.

3. HELCOM – Helsinki Commission. Chemical munitions in the southern and western Baltic Sea – compilation, assessment and recommendations. Federal Maritime and Hydrographic Agency. Hamburg, Germany. May, 1993 b.

4. HELCOM – Helsinki Commission. Complex analysis of the hazard related to the captured German chemical weapon dumped in the Baltic Sea // HELCOM CHEMU 2.2.1. Rev.1. 1993 c.

5. Papirmeister B., Feister A.J., Robinson S.I., Ford R.D. Medical Defense Against Mustard Gas: Toxic Mechanisms and Pharmacological Implications // Boca Raton. FL: CRC Press, 1991.

6. Renshow B. Mechanism in production of cutaneous injuries by sulphur and nitrogen. Washington, DC: National Defence Research Committee, 1946. P. 479–518.

7. Dixon M., Needham D. Biochemical research on chemical warfare agents // Nature. 1946. V. 158. P. 432–438.

8. Grant W.M. Toxicology of the Eye / Ed. by Charles C. Thomas. Springfield. 1986. P. 2–35.

9. McNamara B.P., Owens E.J., Christensen M.K., Vocci F.K., Ford D.K., Rozimarek H. Toxicological basis for controlling levels of mustard in the environment // Edgewood Arsenal Special Publication EB-SP-74030. Aberdeen Proving Ground, MD. 1975. P. 3–56.

10. Papirmeister B., Gross C., Meier H., Petrali J., Johnson J. Molecular basis for mustard-induced vesication // Fundam. Appl. Toxicol. 1985. V. 5. P. 134–149.

11. Trapp R. The Detoxification and Natural Degradation of Chemical Warfare Agents. London: Taylor and Francis, 1985. P. 1–7.

12. Fell H., Allsopp M. The effect of repeated applications on minute quantities of mustard gas on the skin of mice // Cancer Res. 1948. V. 8. P. 177–181.

13. Gross C., Meier H., Papirmeister B., Brinkley F., Johnson J. Sulfur mustard lowers nicotinamide adenine dinucleotide concentrations in human skin grafted to athymic nude mice // Toxicol. Appl. Pharmacol. 1985. V. 81. P. 85–90.

14. Lohs K. Delayed Toxic Effects of chemical Warfare Agents: a Sipri Monograph. Stockholm: Almqvist and Wiksell, 1975. P. 4–29.

15. Paustenbach D.J. The practice of exposure assessment: A state-of-the-art review // Principles and methods of Toxicology / Ed. by A. Wallace Hayes. Philadelphia: Taylor and Francis, 2001. P. 11–15.

16. U.S.EPA – Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for Superfund. V. 1 : Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment). EPA/540/R99/005. Washington, DC. July. 2004.

17. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических

веществ, загрязняющих окружающую среду / Под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.

18. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. С. 143.

19. Savin Yu. Investigation of Chemical Contamination of the Marine Environment in the Sites of Chemical Weapons Dumping in the Baltic Sea // Report at the

Working Meeting of the Consortium. Helsinki, 2007. P. 1–35.

20. Концепция метрологического обеспечения уничтожения химического оружия и его бывших производств в Российской Федерации // Приказ Госкомитета РФ по стандартизации и метрологии от 11 марта 2001 года, № 78.

21. Новиков С.М. Алгоритмы расчёта доз при оценке риска, обусловленного многосредовым воздействием химических веществ. М.: Консультационный центр по оценке риска, 1999. С. 2–18.

УДК 628.349.087

Электрохимическая очистка разбавленных растворов травления производства печатных плат

© 2009. О.С. Гигина, аспирант, Н.А. Быковский, к.т.н., доцент, Е.А. Кантор, д.х.н., профессор, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: gig-jlga@yandex.ru, nbikovsky@list.ru

Рассмотрены некоторые методы очистки сточных вод гальванических производств и производства печатных плат от тяжелых металлов. Проведена электрохимическая обработка разбавленных кислотных растворов травления производства печатных плат, содержащих медь. Изучено влияние разбавления водой травящего раствора на эффективность процесса электрохимического извлечения меди. Определены оптимальные параметры проведения процесса: катодная плотность тока и температура раствора.

Different methods of cleaning electroplating drain water and print plates production effluents of heavy metals were considered. Electrochemical processing of diluted acidic print plates production drain water of etching processes that contain copper was made. The influence of drain etching water dilution on the the process of electrochemical copper extraction was studied. The optimal technological parameters for the process such as solution temperature and density of cathodes current were determined.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, медь (II), электролизёр
Key words: drain water, cleaning, copper (II), electrolyzer

На предприятиях приборостроения к экологически опасным видам производства относятся гальвано-химические процессы, в том числе и процессы, применяемые при изготовлении печатных плат. В этих процессах применяют химические реагенты более 100 наименований, значительное количество которых переходит в твердые, жидкие и газообразные отходы, обычно содержащие токсичные вещества, немалая доля которых является ценными материалами.

Ежегодно в сточных водах гальванических цехов теряется свыше 460 тонн меди [1]. Соединения меди представляют значительную опасность для природной среды, поскольку

обладают высокой токсичностью и кумулятивным эффектом [2]. Отведение сточных вод таких производств в канализационные сети городов приводит к нарушению процессов биологической очистки и накоплению ионов металлов в органических осадках, создавая сложности при их утилизации и складировании.

Полноценное извлечение ионов тяжёлых металлов из сточных вод и отработанных технологических растворов промышленных предприятий объясняется не только необходимостью защиты окружающей среды, но и ценностью самих металлов. Поэтому всё более пристальное внимание обращают на

себя технологии, позволяющие эффективно извлекать ионы металлов из сточных вод и создавать замкнутые системы оборотного водоснабжения [3].

К настоящему времени разработаны и внедрены в практику различные способы очистки сточных вод гальванических производств и производства печатных плат от тяжёлых металлов и сопутствующих загрязнений [4–6].

Реагентные методы наиболее распространены и связаны с химическим осаждением металлов посредством обработки стоков щёлочью, карбонатами, сульфидами, железным купоросом. Образующие труднорастворимые соединения отделяют от жидкой фазы обычными способами, принятыми в водоочистке (отстаивание, флотация, фильтрация и др.). Несмотря на сравнительную простоту и надёжность, у этих методов есть существенные недостатки. В частности, при очистке стоков гальванических производств невозможно установить режим (диапазон рН), обеспечивающий совместное осаждение различных металлов, поскольку некоторые металлы обладают амфотерными свойствами [7]. Наличие в растворе комплексообразователей также затрудняет выделение металлов. Известковые реагенты усложняют решение проблем, связанных с утилизацией осадка. В целом, применение реагентных технологий связано со значительным расходом химикатов и вторичным загрязнением очищаемой воды, а также характеризуется потерей ценных химических продуктов и металлов. Используемые в настоящее время химические способы очистки в сочетании с механическим отстаиванием позволяют извлекать всего 50–80% загрязнений, в то же время образуется значительное количество гальваношламов, которые необходимо перерабатывать или утилизировать.

Более совершенный ионно-обменный метод позволяет достигнуть высокой степени очистки, допускающей осуществить возврат основной массы воды в производство. Тем не менее и этот метод также влечёт за собой значительные потери дополнительных материалов (кислоты, щёлочи) в виде элюатов, затрачиваемых на периодическую обработку ионно-обменных смол с целью их регенерации. В результате регенерации ионно-обменных смол образуются хлориды металлов, которые направляются в нейтрализаторы, осаждаются в виде гидроксидов металлов, обезвреживаются и также поступают в отвал.

Электрохимические способы позволяют очищать стоки от загрязнений до предельно

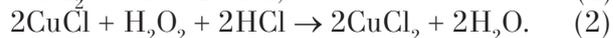
допустимых концентраций, концентрировать и извлекать ценные химические продукты и металлы. Во многих случаях электрохимические способы являются экологически чистыми, исключая «вторичное» загрязнение воды анионами и катионами, характерное для реагентных способов [8].

В производстве печатных плат процесс травления является распространённой технологической операцией. Травление – химическое растворение материала под действием жидких травящих растворов или активированных газов (плазмохимическое травление). В большинстве случаев технология травления применяется для создания проводящего рисунка печатной платы. Широкое применение для операций травления получили травящие растворы на основе хлорида меди (CuCl_2) [5]. В ходе операции травящие растворы, как правило, подвергаются коррекции, в процессе которой часть раствора сливается. Образуются отработанные травящие растворы (ОТР) с содержанием меди от 100 г/л до 160 г/л. Совместная обработка ОТР с общезаводскими стоками реагентным методом в большинстве случаев не позволяет эффективно осадить медь до норм, установленных для сброса в городской коллектор.

Нами проведена электрохимическая обработка отработанного кислотного раствора травления производства печатных плат с содержанием CuCl_2 – 118 г/л (в пересчёте на медь), HCl – 72 г/л, H_2O_2 .

Исходный раствор травления содержит 65–130 г/л CuCl_2 (в пересчёте на медь), 90–160 г/л HCl , 20–80 г/л H_2O_2 , рН = 0–1. Рабочая температура 45–50 °С, при этом рабочая плотность раствора 1,07–1,12 г/см³. При составлении раствора (комнатная температура) плотность раствора – 1,23–1,25 г/см³.

Установлено, что процесс осаждения меди на катоде идёт параллельно с процессом перехода металлической меди в ионную форму:



С целью повышения эффективности электролиза нами показана необходимость изменения исходной среды стока путём коррекции раствора по содержанию меди и соляной кислоты разбавлением водой [9, 10].

Мы исследовали процесс электрохимической очистки разбавленных растворов травления. Для приготовления рабочей среды исходный сток перед процессом очистки

разбавляли дистиллированной водой в 1,5; 2; 2,5; 3; 4 раза. Таким образом, ОТР корректировали по содержанию меди (Cu^{2+}) и соляной кислоты до уровней 77 г/л и 49 г/л; 58 г/л и 36 г/л; 47 г/л и 27 г/л; 39 г/л и 23 г/л; 30 г/л и 19 г/л соответственно. Процесс проводили в электролизёре объёмом 200 см³, использовали систему электродов, состоящую из двух титановых катодов, общей площадью 40 см², и трёх анодов. В качестве анодов применяли титановые пластины, покрытые оксидом рутения. Расстояние между электродами составляло 1 см. Объём рабочей среды – 150 см³. Токовая нагрузка на электролизёре составляла от 200 А/м² до 2000 А/м². Рабочий раствор анализировали на содержание меди (Cu^{2+}) и соляной кислоты (HCl).

При увеличении токовой нагрузки скорость осаждения меди на катодах возрастает, а с увеличением разбавления исходного стока её значение увеличивается для каждой из соответствующих плотностей тока. Так, при разведении в 2 раза концентрация меди в растворе снижается с 59 г/л до 45 г/л при плотности тока 200 А/м² и с 59 г/л до 38,6 г/л при плотности тока 250 А/м². Скорость извлечения при этом составляет 1,9 г/л·ч и 3,2 г/л·ч, а степень извлечения 21,1% и 33,5% соответственно. При 1,5-кратном разведении и плотности тока 2000 А/м² скорость осаждения меди достигала значения 41,9 г/л·ч при степени извлечения 97,2%, тогда как при разведении в 2 раза и плотности тока 2000 А/м² – 54,2 г/л·ч при степени извлечения меди 94,2%. Аналогично при разведении в 2,5 раза скорости извлечения меди увеличиваются с ростом токовой нагрузки с 2 г/л·ч при плотности тока 200 А/м² и степени извлечения 24,5% до 55,7 г/л·ч при плотности тока 2000 А/м² и степени извлечения 88,2%; при разведении в 3 раза – с 3,1 г/л·ч до 56,3 г/л·ч при степени извлечения 46,6% и 94,3% соответственно; при разведении в 4 раза – с 3,2 г/л·ч до 54,3 г/л·ч при степени извлечения 65% и 90,3% соответственно.

После 6-часовой обработки раствора при 1,5-кратном разбавлении и плотности тока 500 А/м² концентрация меди в растворе снижается с 76,6 г/л до 48,7 г/л, при 2-кратном разбавлении – с 58,2 г/л до 2,43 г/л. Степень очистки от меди – 36,4% и 95,8% соответственно. При разбавлении в 2,5 раза плотности тока 500 А/м² и обработки в течение 4,83 ч концентрация меди в растворе снижается с 47,4 г/л до 1 г/л; при разбавлении в 3 раза за 3,42 ч – с 39,3 г/л до 2,4 г/л; при разбавлении в 4 раза за 2,75 ч – с 30,8 г/л до 1 г/л. Степень

очистки от меди – 97,8%; 93,9%; 96,9% соответственно.

При плотности тока 750 А/м² после 6-часовой обработки раствора концентрация меди снижается с 78,9 г/л до 32,4 г/л при 1,5-кратном разбавлении и с 58,8 г/л до 1,7 г/л при 2-кратном разбавлении и обработки в течение 3,5 ч. Степень очистки составляет 59% и 97,1% соответственно. При разбавлении в 2,5 раза плотности тока 750 А/м² и обработки в течение 2,67 ч концентрация меди в растворе снижается с 47 г/л до 1,6 г/л; при разбавлении в 3 раза за 2,25 ч – с 39,6 г/л до 1,2 г/л; при разбавлении в 4 раза за 1,83 ч – с 30 г/л до 0,7 г/л. Степень очистки от меди – 96,6%; 97,1%; 97,6% соответственно.

При разведении в 1,5 раза по достижении снижения концентрации меди в рабочем растворе до 2–4 г/л скорость извлечения меди уменьшается вследствие параллельного восстановления водорода на катодах. Причём ощутимое уменьшение скорости извлечения меди происходит тем раньше, чем выше величина токовой нагрузки и ниже исходная концентрация меди в стоке. При разведении в 2 раза исходного стока скорость осаждения меди вследствие параллельного выделения водорода уменьшается по достижении снижения концентрации меди в стоке до 2,4–6 г/л; при разведении в 2,5 раза – до 2,5–7,1 г/л; при разведении в 3 раза – до 2,3–5,7 г/л; при разведении в 4 раза – до 5,1–11,7 г/л (рис. 1).

Следует отметить, что глубина извлечения меди из рабочего раствора не зависит от величины токовой нагрузки для плотностей тока 1000–2000 А/м² при разведении в 1,5 раза; для плотностей тока 750–2000 А/м² при разведении в 2; 2,5 раза; для плотностей тока 500–2000 А/м² при разведении в 3; 4 раза, а определяется количеством пропущенного электричества. Остаточная концентрация меди в рабочем растворе находится в пределах 0,17–1,5 г/л. Для достижения таких концентраций необходимо пропустить через раствор 50–55 кКл при 1,5-кратном разведении; 34–40 кКл при 2-кратном разведении; 25–29 кКл при разведении в 2,5 раза; 21–24 кКл при разведении в 3 раза; 17–20 кКл при разведении в 4 раза (рис. 2).

С увеличением степени очистки раствора от меди наблюдается рост удельного расхода электроэнергии на обработку 1 м³ рабочего раствора. По достижении степени извлечения порядка 90–97% происходит интенсивное возрастание расхода электроэнергии, связанное с затратами на восстановление водорода

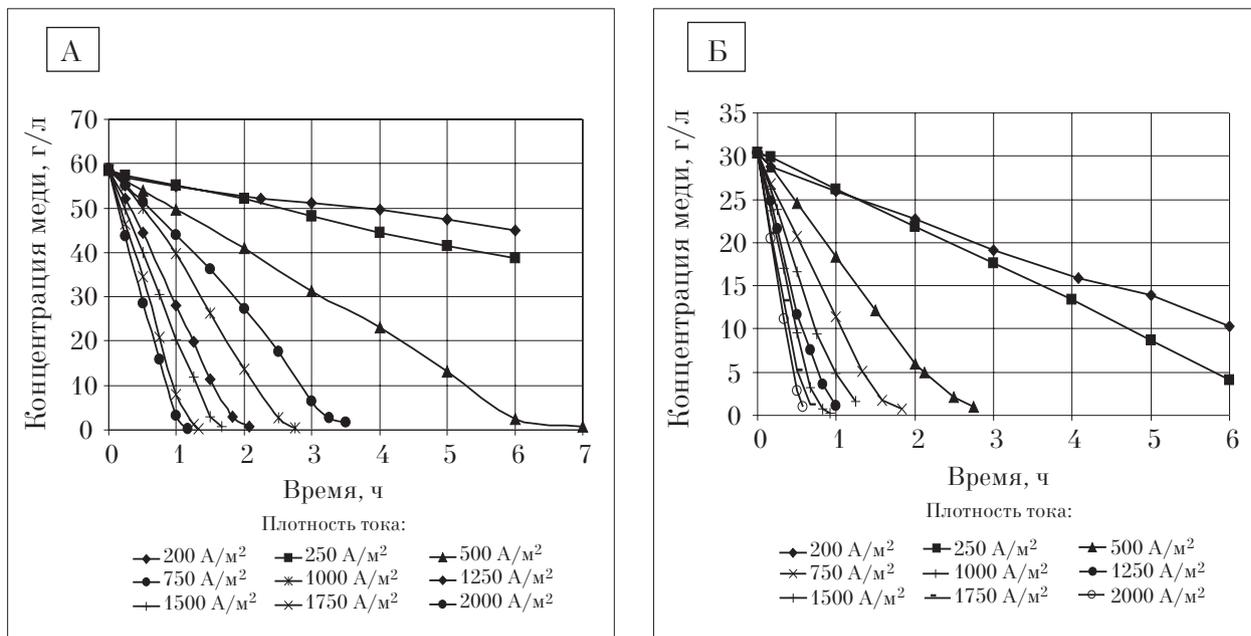


Рис. 1. Зависимость концентрации меди в рабочем растворе от времени обработки в аппарате: А – разведение в 2 раза, Б – разведение в 4 раза

на катодах. Это явление особенно выражено при низких исходных концентрациях меди в рабочем растворе. Так, удельный расход электроэнергии на обработку 1 м³ рабочего раствора возрастает с 35 кВт·ч/м³ до 162 кВт·ч/м³, то есть в 4,6 раза, при увеличении степени очистки от 20% до 97% и с 162 кВт·ч/м³ до 178 кВт·ч/м³, то есть в 1,1 раза, при изменении степени очистки от 97% до 99,8% для плотностей тока 1000–2000 А/м² при 1,5-кратном разведении.

Удельный расход электроэнергии на обработку 1 м³ рабочего раствора возрастает с 25 кВт·ч/м³ до 105 кВт·ч/м³, то есть в 4,2 раза, при увеличении степени очистки от 20% до 95% и с 105 кВт·ч/м³ до 120 кВт·ч/м³, то есть в 1,14 раза, при изменении степени очистки от 95% до 99,4% для плотностей тока 750–2000 А/м² при разведении в 2 раза. При разведении в 3 раза для плотностей тока 500–2000 А/м² происходит рост удельного расхода электроэнер-

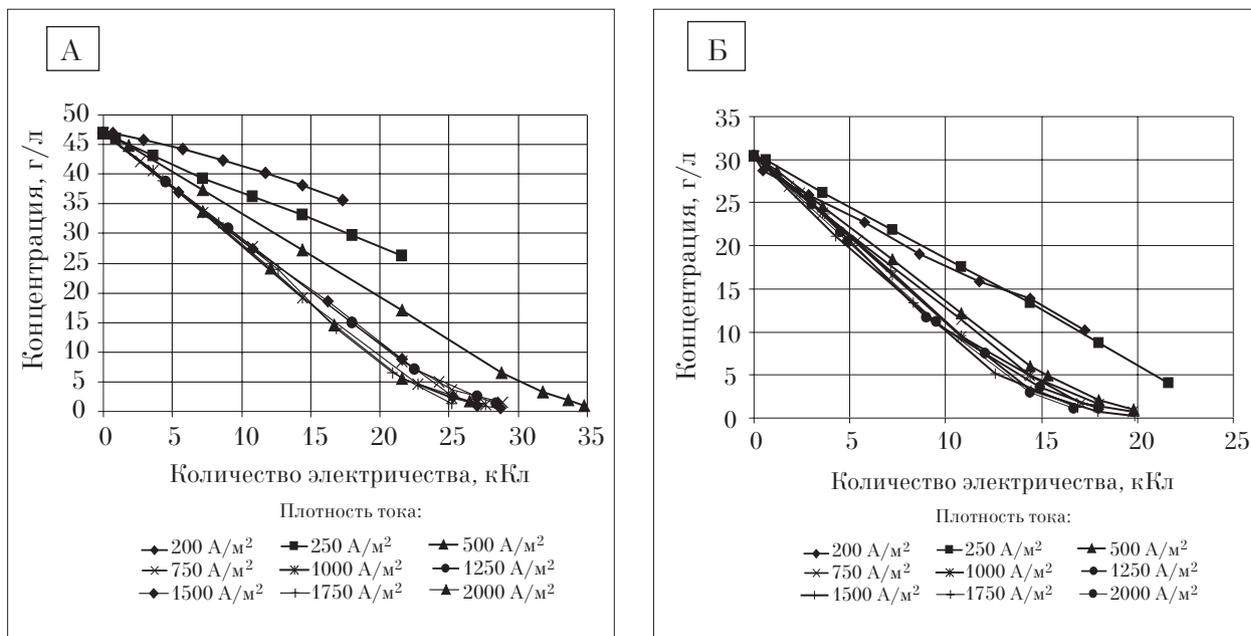


Рис. 2. Зависимость концентрации меди в рабочем растворе от количества пропущенного электричества: А – разведение в 2,5 раза, Б – разведение в 4 раза

гии с 15 кВт·ч/м³ до 72 кВт·ч/м³, то есть в 4,8 раза, при увеличении степени очистки от 20% до 94% и с 72 кВт·ч/м³ до 84 кВт·ч/м³, то есть в 1,17 раза, при изменении степени очистки от 94% до 98%. При разведении в 4 раза для плотностей тока 500–2000 А/м² происходит рост удельного расхода электроэнергии с 11 кВт·ч/м³ до 55 кВт·ч/м³, то есть в 5 раз, при увеличении степени очистки от 20% до 90% и с 55 кВт·ч/м³ до 67 кВт·ч/м³, то есть в 1,22 раза, при изменении степени очистки от 90% до 97,8%.

Удельный расход электроэнергии на извлечение 1 кг меди из рабочего раствора при исходном разведении в 1,5 раза составил 2,2 кВт·ч/кг при степени очистки 97% для плотностей тока 1000–2000 А/м²; 2 кВт·ч/кг при степени очистки 95% для плотностей тока 750–2000 А/м² при разведении в 2 раза; 1,96 кВт·ч/кг при степени очистки 94% для плотностей тока 500–2000 А/м² при разведении в 3 раза и 1,92 кВт·ч/кг при степени очистки 90% для плотностей тока 500–2000 А/м² при разведении в 4 раза соответственно. При

изменении степени очистки от 97% до 99,8% для плотностей тока 1000–2000 А/м² при 1,5-кратном разведении расход электроэнергии возрастает до 2,4 кВт·ч/кг, то есть в 1,09 раза; от 95% до 99,4% при разведении в 2 раза – до 2,2 кВт·ч/кг, то есть в 1,1 раза; от 94% до 98% при разведении в 3 раза – до 2,2 кВт·ч/кг, то есть в 1,12 раза; от 90% до 97,8% при разведении в 4 раза – до 2,25 кВт·ч/кг, то есть в 1,17 раза.

Нами также была проведена оценка параметра выхода меди по току. С увеличением плотности тока и снижением исходной концентрации меди в рабочем растворе возрастает выход меди по току. При этом возможно достижение снижения концентрации меди до 0,17–1,5 г/л, степени очистки до 94–99,8% и, соответственно, выхода меди по току – 75–80%.

Тем не менее процесс очистки с высокой степенью извлечения меди (98,8–99,3%) предпочтительно проводить при исходной концентрации меди в рабочем растворе порядка 58–80 г/л и соляной кислоты 35–50 г/л (соответствует разведению в 1,5–2 раза),

Таблица

Зависимость выхода меди по току и степени очистки рабочего раствора от времени обработки и токовой нагрузки на электролизёре

Исходная концентрация Cu ²⁺ – 77 г/л, HCl – 48 г/л (разведение в 1,5 раза)									
Плотность тока, А/м ²	200	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Время обработки, ч	6	6	6	6	3,83	3	2,75	2,08	1,92
Степень очистки, %	0	0,9	36,4	59	99,3	98,6	99,6	99,8	99,8
Выход по току, %	0	4,8	30,8	33,3	61,6	63,6	52,9	62,1	58,2
Исходная концентрация Cu ²⁺ – 58,5 г/л, HCl – 36 г/л (разведение в 2 раза)									
Плотность тока, А/м ²	200	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Время обработки, ч	6	6	7	3,5	2,75	2,08	1,67	1,33	1,17
Степень очистки, %	21,1	33,5	98,8	97,1	99,2	98,9	98,7	99,4	99,4
Выход по току, %	34,2	42,4	49,6	67,8	67,4	69,8	70,1	74,9	74,7
Исходная концентрация Cu ²⁺ – 47 г/л, HCl – 28,5 г/л (разведение в 2,5 раза)									
Плотность тока, А/м ²	200	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Время обработки, ч	6	6	4,83	2,67	1,92	1,58	1,33	1	0,92
Степень очистки, %	27,2	44	97,8	96,6	97,5	97,1	99	98,9	96,4
Выход по току, %	32,3	44,3	59,8	71,6	76,1	75,6	69,9	77,9	75,1
Исходная концентрация Cu ²⁺ – 39 г/л, HCl – 24 г/л (разведение в 3 раза)									
Плотность тока, А/м ²	200	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Время обработки, ч	6	6	3,42	2,25	1,58	1,33	1,08	0,83	0,75
Степень очистки, %	46,6	56,8	93,9	97,1	92,1	97,1	98	98,6	99,1
Выход по току, %	50,7	49,0	68,6	72,9	73,7	73,3	70,7	77,5	80,2
Исходная концентрация Cu ²⁺ – 30 г/л, HCl – 18 г/л (разведение в 4 раза)									
Плотность тока, А/м ²	200	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Время обработки, ч	6	6	2,75	1,83	1,25	1	0,92	0,67	0,58
Степень очистки, %	65	86,8	96,9	97,6	94,9	96,6	99,3	96	96,5
Выход по току, %	48,4	54,9	67,9	66,4	73,6	74,7	68,6	76,7	79,2

плотностях тока 500–1000 А/м² и температуре рабочего раствора не более 45 °С. Это объясняется тем, что при содержании меди в растворе менее 80 г/л и токовых нагрузках свыше 1000 А/м² на структуру осадка изначально существенное влияние оказывают два параллельно протекающих на катодах процесса – осаждение меди и восстановление водорода. Осадок при этом имеет объёмную, рыхлую структуру, ухудшается его характеристика. Такие изменения затрудняют процесс очистки. Сложности обработки рабочего раствора связаны с возможным осыпанием его на дно электролизёра. Кроме того, выделение водорода снижает выход меди по току особенно ощутимо при низкой исходной концентрации меди. Так, например, при исходной концентрации меди в растворе 30,4 г/л (разведение в 4 раза) и токовой нагрузке 1250 А/м² через полчаса обработки рабочего раствора достигается концентрация меди в растворе 11,7 г/л. Выход меди по току при этом составляет 99,8%, а степень очистки лишь 62,3%. Через час обработки раствора концентрация меди составляет 1,06 г/л, степень очистки – 96,6%, а выход по току – 74,7% (табл.).

Таким образом, нами было установлено, что, несмотря на рост выхода меди по току при увеличении токовой нагрузки и уменьшении исходной концентрации меди и соляной кислоты в рабочем растворе (увеличении исходного разведения), электрохимическую обработку разбавленных растворов травления предпочтительно проводить при исходных концентрациях меди порядка 60–80 г/л, соляной кислоты – 35–50 г/л и плотностях тока 500–1000 А/м².

Литература

1. Гарбер М.И. Ресурсосберегающая технология гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1988. 58 с.
2. Лазарев Н.В., Ливина Э.Н. Вредные вещества в химической промышленности: Справочник. Т. 1. Л.: Химия, 1976. 573 с.
3. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности: Учебник для студентов технических и технологических специальностей. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. 800 с.
4. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1980. 196 с.
5. Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Техносфера, 2005. 304 с.
6. Волоцков Ф.П. Очистка и использование сточных вод гальванических производств. М.: Стройиздат, 1983. 104 с.
7. Ахметов Н.С. Неорганическая химия: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1975. 672 с.
8. Яковлев С.В., Краснобородько И. Т., Рогов В. М. Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.
9. Быковский Н.А., Гигина О.С., Кантор Е.А. Очистка сточных вод, содержащих двухвалентную медь, в электролизёре // Технология, автоматизация, оборудование и экология промышленных предприятий: Тез. докл. регион. науч.-практ. конф. Уфа. 2008. С. 244–247.
10. Быковский Н.А., Гигина О.С., Кантор Е.А. Очистка сточных вод гальванических производств от меди // Состояние биосферы и здоровье людей: тез. докл. междунар. науч. конф. «Состояние биосферы и здоровье людей». Пенза. 2008. С. 16–18.

Локальная очистка – одно из решений проблемы охраны водных ресурсов

© 2009. Д.В. Ковалёв, м.н.с., Л.Л. Журавлёва, д.т.н., зам. директора, С.А. Федотов, в.н.с., ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии, e-mail: info@sar-ecoinst.org

В статье обоснована необходимость соблюдения санитарно-защитных и водоохраных зон водных объектов, а также представлено эффективное, многофункциональное, мобильное, доступное по стоимости оборудование по очистке сточных вод. Предлагаемое оборудование рекомендовано как для очистки сточных вод биохимическим методом, так и для механической очистки жидких сред любой степени загрязнённости.

The article states the necessity of keeping sanitary and water-protective zones of water objects. It also presents efficient, many-function, mobile and cost-available equipment for drain water cleaning. The equipment is recommended for bio-chemical drain water cleaning as well as for mechanical cleaning of liquid media of any contamination degree.

Ключевые слова: сточные воды, биохимическая очистка, биофильтрация, оборудование очистки, биологический фильтр модульно-кассетного типа

Key words: drain water, biochemical cleaning, bio-filtering, cleaning equipment, bio-filter of module-cassette type

На территории России расположено более 24 тыс. крупных предприятий, загрязняющих окружающую среду. Причём значительная доля этих предприятий не укладывается в установленные предельно допустимые нормативы сброса вредных веществ в водоёмы [1].

Отсутствие очистных сооружений или их неудовлетворительная работа приводят к тому, что значительная часть сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, не подвергается нормативной очистке.

Кажется, что наименее подвержены негативному антропогенному воздействию подземные воды и с гигиенической точки зрения являются наиболее перспективными для использования в хозяйственно-питьевых целях. Но исследования свидетельствуют о том, что и они не защищены от внешних источников вредного воздействия. Повышенная минерализация (жесткость), железо и даже нефтепродукты в подземных водах ограничивают возможность их использования. Кроме того, из-за недостатка чистой подземной воды в некоторых регионах приходится употреблять воду из открытых водоёмов, зачастую загрязнённую отходами сельскохозяйственного производства, сбросами неочищенных канализационных стоков, загрязнённых нефтепродуктами, фенолами, ПАВ, солями тяжёлых металлов, условно-патогенной микрофлорой (протей, синегнойная палочка).

Желание приблизиться к водному объекту приводит к тому, что при застройке практически забывается сезонная динамика его береговой части. Во время паводкового разлива происходит размывание и вынос нечистот из выгребных ям, мусоросборников и т. п., увеличивающих риск выноса и разноса загрязняющих веществ и патогенной микрофлоры водой.

Результатом отсутствия санитарно-защитных зон или зон санитарной охраны и, как следствие, неудовлетворительного состояния водоёмов являются высокие показатели заболеваемости острыми кишечными инфекциями: от 470 до 530 (на 100 тыс. населения), а в Заволжье до 928,6 случая. Имеют место вспышки острых инфекций, распространяющихся водным путём: брюшного тифа, вирусного гепатита В [2].

Только лишь после того, как вредные воздействия на окружающую среду стали реально ощутимыми для человека, общественные и государственные деятели начали считать их вопросами, требующими принятия конкретных мер.

Без улучшения *экологического* аспекта – вынесения за пределы водоохраных зон потенциальных источников загрязнения, высадки по периметру водных объектов защитных лесополос, проведения залужения прибрежных полос, исключения бесконтрольного строительства на водотоках запруд,

на берегах – производственных объектов, внедрения новейших технологий очистки стоков и *санитарно-гигиенического* – недопущения самовольного строительства выгребных ям, способствующих попаданию нечистот в подземный поток, и т. д. невозможно решить проблему качества воды в водных объектах [4].

В соответствии со статьей 65 Водного кодекса РФ [3] «водоохранными зонами являются территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьёв, каналов, озёр, водохранилищ и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира».

Существуют различные приёмы охраны водных объектов от антропогенных воздействий:

- технологические, связанные с внедрением наилучшей существующей доступной технологии, чаще всего дорогостоящего оборудования;

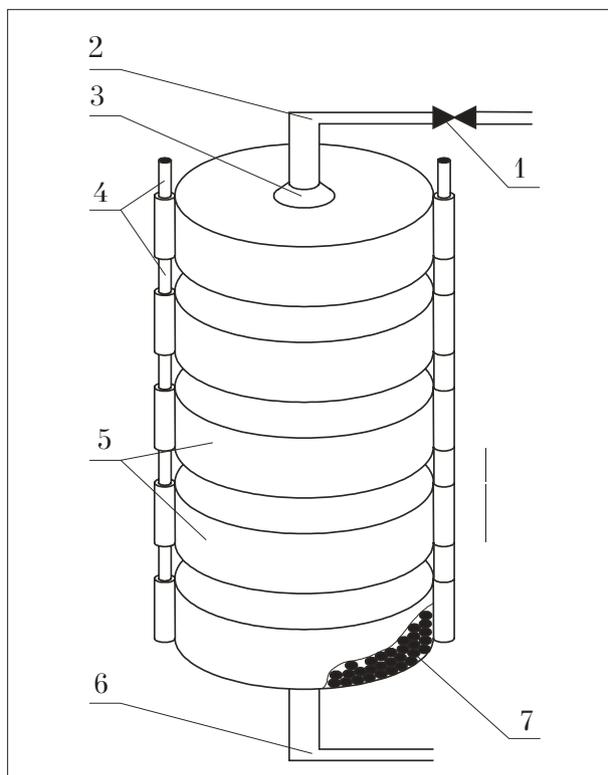


Рисунок. Биологический фильтр модульно-кассетного типа.

- 1 – дозирующее устройство; 2 – распределительная система; 3 – оросители; 4 – вертикальные стойки; 5 – корпуса кассет; 6 – водоотводящая система; 7 – фильтрующая загрузка.

- организационно-технические, которые также могут уменьшить концентрации и уровни распространения загрязнений.

Будущее за сочетанием этих методов с приоритетом технологических приёмов как наиболее эффективных.

Зачастую выпускается из виду, что есть определённые требования, предъявляемые к размещаемым в водоохранной зоне объектам. И эти требования сводятся к тому, что все объекты как производственного, так и жилого сектора должны иметь очистные сооружения. В противном случае все эти объекты становятся незаконно размещёнными.

Основными задачами сохранения чистоты природных источников воды и рационального её использования являются:

- совершенствование систем локальной очистки не только на крупных и мелких предприятиях, но и жилого сектора;
- расширение систем канализации населённых пунктов;
- применение инженерных решений по снижению забора воды для промышленных целей и повторному её использованию в производстве.

Повсеместная установка недорогих, компактных, многофункциональных модульных или блочных сооружений по комплексной очистке сточных вод для различных целей – путь, по которому должна развиваться водоохранная деятельность. А это значит, что производство природоохранного оборудования должно удовлетворять потребность именно в такой природоохранной технике и эффективной технологии, которая может быть доступна широкому кругу потребителей.

Оборудование по очистке сточной воды должно развиваться как по пути совершенствования методов очистки, её эффективности и универсальности, но также и по пути совершенствования способов его установки и монтажа. Немаловажным критерием очистного оборудования является и его стоимость.

На рисунке представлена схема компактного аэробного биофильтрующего устройства модульно-кассетного типа (БФМКТ) [4].

Из рисунка видно, что устройство отличается простотой при высокой функциональности и, как следствие, эффективностью и надёжностью.

Данная конструкция удачно сочетает в себе ряд не только экологических, но и экономических требований:

Таблица 1

Динамика очистки производственных сточных вод на биологическом фильтре модульно-кассетного фильтра (сток № 1)

Показатель качества воды	Норматив на сброс, мг/л	Концентрация $C_{вх}$, мг/л	Концентрация после соответствующей кассеты, мг/л					Степень очистки, %
			1	2	3	4	5	
БПК	10,0	294,0	143,2	60,5	–	5,82	2,5	99,1
ХПК	100,0	560,0	380,0	104	–	64,0	33,6	94,0
Взвешенные в-ва	6,0	108,3	70,5	31,2	–	5,7	3,25	97,0
Сухой остаток	1000	610,0	583,0	510	–	496	496	18,7
Азот аммонийный	0,75	16,75	10,8	5,6	–	0,7	0,48	97,1
Нитраты	18,0	0,65	3,25	3,85	–	4,7	5,2	–
Нитриты	0,2	0,069	0,04	0,012	–	0,013	0,016	76,8
Фосфаты	3,0	6,15	4,8	2,1	–	0,38	0,42	93,2
Нефтепродукты	0,3	4,6	1,5	0,6	–	0,05	0,024	99,5
СПАВ	0,3	2,29	1,37	0,33	–	0,14	0,09	96,1
Капролактам	3,0	190,0	60,4	14,2	–	0,3	0	100
Железо	0,35	4,7	2,3	1,5	–	0,32	0,12	97,4
Медь	0,001	0,01	0,003	0,001	–	0	0	100

Примечание: – нет данных (здесь и далее).

Таблица 2

Динамика очистки производственных сточных вод на биологическом фильтре модульно-кассетного фильтра (сток № 2)

Показатель качества воды	Норматив на сброс, мг/л	Концентрация, $C_{вх}$, мг/л	Концентрация после соответствующей кассеты, мг/л					Степень очистки, %
			1	2	3	4	5	
БПК	10,0	144,4	100,5	34,8	6,8	3,0	2,8	98,1
ХПК	100,0	611,0	360,0	111,5	54,2	37,5	34,6	94,3
Взвешенные в-ва	6,0	119,7	89,4	13,4	7,3	3,2	2,8	97,7
Сухой остаток	1000	682,7	650	613	611	607	606	11,2
Азот аммонийный	0,75	13,75	6,25	2,73	0,63	0,33	0,05	99,6
Нитраты	18,0	0,16	2,4	5,6	10,2	8,4	7,6	–
Нитриты	0,2	0,045	0,073	0,07	0,022	0,011	0,008	82,2
Фосфаты	3,0	5,2	2,1	1,4	0,83	0,47	0,3	94,2
Нефтепродукты	0,3	2,8	1,8	0,67	0,14	0,07	0,05	98,2
СПАВ	0,3	2,1	1,14	0,38	0,1	0,03	0	100
Капролактам	3,0	100,0	31,6	10,8	0	0	0	100
Железо	0,35	5,3	2,05	1,2	0,87	0,3	0,11	98,0
Медь	0,001	0,018	0,006	0,001	след	–	–	100
Цинк	0,001	0,022	0,010	0,003	0,001	–	–	100

– унификация и универсализация процесса очистки сточной воды с широким диапазоном возможностей к трансформации;
– повышение качества очистки воды с возможностью повторного использования её в технологических процессах;

– минимальные экономические затраты, обусловленные низкой трудоёмкостью и энергоёмкостью процесса очистки.

Приведённая на рисунке конструкция аэробного биофильтрующего сооружения модульно-кассетного типа максимально

экономична, т. к. её изготовление возможно практически в любых условиях производства и имеет широкий диапазон возможностей:

- комбинация специфических методов очистки, согласно потребностям производства, при различных ситуациях сброса сточных вод как форс-мажорного, так и планового технологического режима работы предприятия;
- обеспечение возможности работы при любом наборе кассет в модуле сооружения в зависимости от требуемой эффективности и применяемого комплекса взаимодополняющих методов очистки [5].

Перед исследователями стояла задача выяснения приемлемости применения компактного модульного фильтра для очистки сточных вод различной степени загрязнения, в том числе ливневых (дождевых и талых).

В таблицах 1 и 2 представлена динамика очистки сточных вод различных предприятий, отличающихся содержанием основных загрязняющих компонентов.

Из приведённых данных видно, что независимо от исходной концентрации загрязнителей очистка сточных вод на БФМКТ проходит с высокой степенью эффективности. Степень очистки стоков по многим параметрам приближается к 100%.

Очищенная на описанной установке сточная вода соответствует установленным нормативам на сброс в водный объект и, более того, имеет запас ресурса для более глубокого метода доочистки, т. к. уже после третьей кассеты гарантируется качество воды в пределах ПДК (табл. 1, 2).

Всё вышеизложенное, наряду с компактностью и простотой изготовления и эксплуатации этих устройств, позволяет рекомендовать биофильтрующие устройства модульно-кассетного типа для локальных очистных сооружений, как эффективное средство решения многих проблем охраны водных ресурсов.

Литература

1. Обзор фоновое состояние окружающей природной среды / Под ред. Ю.А. Израэля, Ф.Л. Ровинского. М.: Гидрометиздат, 1989. 105 с.
2. Комплексная программа «Обеспечение населения Саратовской области питьевой водой» Распоряжение губернатора Саратовской области № 845-р от 01.07.2001 г.
3. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ.
4. Патент на полезную модель № 35112 от 27.12.2003 г.
5. Журавлёва Л.Л. Очистка сточных вод химических производств на модульно-кассетных биофильтрах // Экология и промышленность России. 2004. № 4. С. 21–26.

Экологические проблемы создания сеяных луговых травостоев на выработанных торфяниках в Волго-Вятском районе РФ

© 2009. Х.Х. Шельмёнкина, к. с.-х.н., с.н.с.,
Кировская лугоболотная опытная станция,
e-mail: bolotoagro50@mail.ru

В статье представлены технологические приёмы создания и использования сеяных луговых травостоев на сильно сработанном выработанном торфянике и их агроэнергетическая и экономическая оценки. Показана роль различных систем удобрений в повышении урожайности травостоев, улучшении ботанического состава, качества корма и плодородия почвы.

The article shows technological ways of sowed hayfield technology in the places of highly worked-out peat mines, it also presents their agro-energetic and economic evaluation. The role of different hayfield fertilizer systems in yield increase and improving botanic contents, forage and soil fertility are presented.

Ключевые слова: технология создания сеяных сенокосов,
луговые травостои, система удобрений

Key words: sowed hayfield technology, eadow grass, fertilizer systems

После промышленной добычи торфа образуются огромные территории выработанных торфяников. Только в Волго-Вятском районе площадь торфяных болот составляет около 500 тыс. га, в Кировской области – около 80 тыс. га. В настоящее время масштабные осушительные мероприятия практически не проводятся, поэтому основное внимание необходимо уделять сохранению и повышению плодородия осушенных земель, созданию на них луговых угодий [1–3].

В условиях слабого ресурсного обеспечения сельского хозяйства наиболее целесообразными в луговодстве являются малозатратные технологии создания сеяных сенокосов, основанные на использовании адаптивных травостоев многолетних луговых трав и экологически безопасном применении минерального и органического удобрений. Использование сеяных бобовых и бобово-злаковых агрофитоценозов позволяет решать проблему кормового белка в зоне развитого животноводства и обеспечивать высокую окупаемость антропогенных затрат [4]. Одним из самых дешёвых и эффективных источников азота является потенциальная симбиотическая активность бобовых культур, максимальное использование которых позволяет существенно сократить потребление минерального азота, уменьшить загрязнение растениеводческой продукции и окружающей среды продуктами разложения азотных удобрений [5, 6].

Основная цель исследований – разработка ресурсосберегающих, экологически безопасных технологических приёмов создания и использования сеяных луговых травостоев (подбор злаковых, бобово-злаковых; разработка эффективных систем удобрений) на низинном выработанном торфянике в Волго-Вятском районе.

Методика

Исследования проводились на Кировской лугоболотной опытной станции, расположенной в Волго-Вятском районе РФ.

В полевом опыте высевали 3 типа травосмесей: злаковая – костреч безостый Моршанский 312, тимофеевка луговая Позднеспелая ВИК, овсяница луговая Дединовская 8; бобово-злаковая – клевер луговой Дымковский, тимофеевка луговая, овсяница луговая и лядвенец рогатый, клевер луговой, тимофеевка луговая, овсяница луговая тех же сортов. Схемы систем удобрений применительно к типам травостоев приведены в таблицах 1 и 2.

Почва – сильно сработанная выработанная торфянисто-глеевая. Выработанный торфяник находился в сельскохозяйственном производстве с 1963 года. Глубина остаточного слоя торфа – 0–10 см; содержание общего азота – 0,12%; P_2O_5 – 18,6 мг; K_2O – 4,2 мг на 100 г почвы. Уровень грунтовых вод колебался в пределах – 0,9–1,2 м.

Использование травостоев в опыте – двуукосное, на сено. Фосфорные удобрения (суперфосфат и фосфоритная мука) вносили весной в один приём, азотное и калийное (NH_4NO_3 и KCl) равными частями под каждый укос. Все учёты и наблюдения проводили по методикам, утверждённым для исследований в кормопроизводстве и луговодстве. Статистическая обработка данных урожайности сенокосов проведена методом дисперсионного анализа [7]. Агроэнергетическая и экономическая оценки технологий создания сеяных сенокосов рассчитаны согласно методике ВНИИ кормов [8].

Метеорологические условия в годы проведения исследований были различные по температурному режиму и атмосферному увлажнению вегетационного периода.

Результаты и обсуждение

Злаковые травостои без внесения удобрений обеспечивали урожайность 33,7 ц/га сухого вещества (СВ). При использовании органо-минеральных удобрений (навоз 20,40 т/га под запашку + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$) они отзывались увеличением урожая в 2,6-2,8 раза и способствовали получению 87,5-94,0 ц/га СВ (табл.1). При внесении меньшей дозы ($\text{N}_{60-90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ на фоне навоза 40 т/га) урожайность повышалась в 2,0-2,2 раза и составила 69,1-75,6 ц/га СВ. Использование органической системы удобрений в луговом кормопроизводстве имеет ограниченные перспективы и может применяться на небольших площадях. Однако эта система в условиях сильно сработанных выработанных торфяников выполняет средообразующую роль при залужении луговыми травами. Кроме того, утилизация навоза обуславливает значительную экономию дорогостоящих минеральных удобрений, в первую очередь азотных [9, 10]. Злаковые травостои при органических системах удобрений (навоз 20,40 т/га под запашку + навоз 20 т/га поверхностно) увеличивали урожай в 1,5 раза и обеспечивали получение 49,0-49,6 ц/га СВ. Одна тонна навоза (при дозах 20 и 40 т/га) окупалась 55-65 кг СВ (в сумме за 5 лет).

Клеверо-злаковые агрофитоценозы при применении комбинированных систем удобрений (навоз 40 т/га под запашку + $\text{P}_{60-90}\text{K}_{90-120}$) обеспечивали урожайность 59,4–62,9 ц/га СВ и более высокую (63,3–69,8 ц/га) – при органических. Лядвенцево-клеверо-злаковые травостои при комбинированных удобрениях обеспечили получение 60,1–64,4 ц/га СВ

и практически одинаковую при органических – 61,5–62,7. На всех типах травостоев весеннее поверхностное внесение навоза предпочтительнее осеннего, что связано с минимальными потерями азота и калия в весенний период [11, 12].

Злаковые и бобово-злаковые травостои при использовании удобрений формировали агрофитоценозы ценного ботанического состава. Основную долю в злаковых травостоях занимал кострец безостый. При использовании комбинированных удобрений (навоз + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$) доля его составила 70–73%, тимфеевки луговой и овсяницы луговой 13–17% (табл.1). Кострец безостый при органических системах удобрений занимал 38–55% травостоя, другие сеяные злаки 23–32%.

Клеверо-злаковые агрофитоценозы при использовании комбинированных и органических удобрений отличались высоким содержанием клевера лугового (38–47%) и сеяных злаков (20–37%). Клевера лугового содержалось в травостоях больше при внесении фосфоритной муки и весенних поверхностных подкормках навозом (46–47%). Клеверо-злаковые агрофитоценозы в 1-й год пользования содержали 89–97% клевера и к 4-му году переформировались в злаковые (9–29%). Лядвенцево-клеверо-злаковые травостои характеризовались более ценным ботаническим составом при применении комбинированных удобрений и содержали 28–35% лядвенца рогатого, 19–20% клевера лугового, 21–28% сеяных, 24–25% несеяных злаков и разнотравья. Многовидовые травостои к 5-му году пользования при комбинированных удобрениях переформировались в злаково-бобовые (23–30 лядвенца и 4–8% клевера), при органических – в злаково-разнотравные (22–27 и 0–2% соответственно).

Сено злаковых травостоев на сильно сработанном выработанном торфянике при использовании комбинированных удобрений (навоз + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$) содержало 10,3–10,8% сырого протеина (СП) и 31,2-31,9% сырой клетчатки (Скл) и соответствовало требованию стандарта 2-го класса качества (табл.1). При внесении более низких доз минерального удобрения ($\text{N}_{60-90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ на фоне навоза) и применении органических удобрений концентрация сырого протеина (9,1–9,6%) уменьшалась, и сено отвечало требованию стандарта 2-го класса качества.

Сено клеверо-злаковых и лядвенцево-клеверо-злаковых агрофитоценозов отличалось высоким содержанием сырого протеина

Таблица 1

Урожайность, ботанический состав, качество корма сеяных травостоев в зависимости от удобрений на сильно сработанном выработанном торфянике (в среднем за 2000 – 2004 гг.)

Основное удобрение, под заашку	Подкормка, поверхностно	Урожайность, ц/га СВ	Ботанический состав травостоев, %				Качество корма		
			сеяные злаки	в т.ч. костреч б/о	бобовые	несеяные злаки и разнотравье	% СВ		В 1 кг СВ ОЭ, МДЖ
							СП	СКл	
Костреч безостый + тимopheевка луговая + овсяница луговая									
–	Без удобрений	33,7	76	35	1	23	8,8	30,7	9,1
Навоз 20 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	93,5	89	73	–	14	10,3	31,9	8,9
Навоз 40 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	94,0	85	72	–	15	10,8	31,5	9,0
Навоз 40 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ , фосфоритная мука	87,5	85	68	–	15	10,8	31,2	9,1
Навоз 80 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	92,6	86	70	–	14	10,3	31,9	8,9
Навоз 40 т/га	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	75,6	82	58	–	18	9,8	31,6	9,0
Навоз 40 т/га	N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	69,1	79	51	–	21	9,1	31,1	9,0
Навоз 20 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	49,0	68	30	–	32	9,5	29,8	9,2
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	49,6	76	17	–	24	9,4	29,6	9,2
Навоз 80 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	51,2	78	55	–	22	9,1	30,4	9,1
Навоз 80 т/га	Навоз 20 т/га, весной	56,1	82	49	–	18	9,6	31,3	9,0
Клевер луговой + тимopheевка луговая + овсяница луговая									
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀	62,9	27	–	40	33	13,6	28,7	9,3
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀ , фосфоритная мука	59,6	20	–	46	34	14,2	26,9	9,6
Навоз 40 т/га	P ₆₀ K ₉₀	59,4	37	–	38	25	13,9	26,7	9,6
Навоз 20 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	65,1	28	–	40	32	15,0	27,4	9,5
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	63,3	28	–	40	32	14,3	27,6	9,5
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, весной	69,8	26	–	47	27	14,7	27,1	9,5
Лядвенец рогатый + клевер луговой + тимopheевка луговая + овсяница луговая									
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀	64,4	29	–	49	24	14,3	29,4	9,3
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀ , фосфоритная мука	62,1	35	–	55	24	14,4	28,7	9,4
Навоз 40 т/га	P ₆₀ K ₉₀	60,1	28	–	47	25	14,0	29,3	9,3
Навоз 20 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	62,7	22	–	40	36	14,2	27,7	9,5
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	61,5	24	–	40	35	14,0	29,0	9,4
НСР ₀₅		2,27							

Таблица 2

Агроэнергетическая и экономическая эффективность технологий создания сеяных травостоев в зависимости от удобрений на сильно сработанном выработанном торфянике (в среднем за 2000 – 2004 гг. в ценах 2-го квартала 2009 г.)

Основное удобрение, под заправку	Подкормка, поверхностно	Затраты совокупной энергии			А.К.	Приведенные затраты, руб./га	Себестоимость 100 корм. ед., руб.	Условно чистая прибыль, руб./га	Рентабельность производства, %
		ГДЖ/га	на 1 ГДЖ ОЭ, МДЖ	на 1 ц СП, ГДЖ					
Кострец безостый + тимофеевка луговая + овсяница луговая									
–	–	4,2	183	1,91	5,5	2685	159	3718	138
Навоз 20 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	20,8	332	2,89	3,0	10088	225	6966	69
Навоз 40 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	21,0	331	2,76	3,0	10214	224	7122	70
Навоз 40 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ , фосфоритная мука	19,7	331	2,77	3,0	8633	200	7756	90
Навоз 80 т/га	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	21,2	341	2,83	2,9	10377	234	6480	62
Навоз 40 т/га	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	17,1	335	3,05	3,0	8099	220	5915	73
Навоз 40 т/га	N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	14,3	306	3,04	3,3	7330	218	5465	75
Навоз 20 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	27,5	811	7,86	1,2	4707	188	4785	102
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	27,8	808	7,94	1,2	4832	191	4774	99
Навоз 80 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	28,0	800	8,00	1,3	5099	198	4678	92
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, весной	28,1	741	7,03	1,3	5269	193	5116	97
Клевер луговой + тимофеевка луговая + овсяница луговая									
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀	12,4	282	1,94	3,5	7864	238	4684	60
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀ фосфоритная мука	11,1	259	1,76	3,9	6394	196	6002	94
Навоз 40 т/га	P ₆₀ K ₉₀	11,5	269	1,85	3,7	6815	207	5714	84
Навоз 20 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	30,3	650	4,15	1,5	6065	170	7486	123
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	30,8	681	4,53	1,5	6213	179	6962	112
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, весной	30,9	618	4,01	1,6	6438	168	8093	126
Лядвенец рогатый + клевер луговой + тимофеевка луговая + овсяница луговая									
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀	12,4	276	1,80	3,6	7932	238	4726	60
Навоз 40 т/га	P ₉₀ K ₁₂₀ фосфоритная мука	11,1	253	1,66	3,9	6498	196	6076	94
Навоз 40 т/га	P ₆₀ K ₉₀	11,5	274	1,83	3,7	6854	217	5135	75
Навоз 20 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	30,2	674	4,51	1,5	5998	175	7055	118
Навоз 40 т/га	Навоз 20 т/га, осенью	30,7	707	4,72	1,4	6170	188	6283	102

(13,6–15,0% и 14,0–14,4% соответственно), невысоким – сырой клетчатки (26,7–28,7% и 27,7–29,4%) при комбинированных и органических удобрениях и соответствовало требованию стандарта 1-го класса качества.

Корм разных типов травостоев по минеральному составу соответствовал нормам кормления сельскохозяйственных животных (Р – 0,4–0,5%; К – 2,3–3,0%), отличался высокой питательностью в злаковых (8,9–9,2 МДж обменной энергии (ОЭ) и 0,64–0,68 корм.ед. в 1 кг СВ) и бобово-злаковых (9,3–9,6 МДж ОЭ и 0,69–0,74 корм.ед.) травостоях.

Под влиянием внесения удобрений и выноса урожая трав элементов питания в почве выработанного торфяника увеличивалась кислотность почвенного раствора (рН сол. с 4,9 до 4,7–4,8), гидролитическая кислотность (с 2,94 до 4,94–7,84 мг-экв на 100 г почвы), уменьшилось содержание подвижного алюминия (с 3,74 до 0–0,28), кальция (с 312 до 231–294 мг на 100 г почвы), степень насыщенности основаниями (с 81 до 64–72%). Пищевой режим сильно сработанного торфяника улучшился за счёт увеличения содержания подвижного фосфора (с 18,6 до 27,3–43,2), обменного калия (с 4,2 до 6,2–24,3 мг на 100 г почвы), общего азота (с 0,12 до 0,17–0,24%), углерода (с 3,1 до 3,6–4,3%). Благодаря этим изменениям энергоёмкость почвенного плодородия повысилась на 36–58%. Среднегодовая прибыль валовой энергии почвы при применении комбинированных удобрений составила 44–64, органических – 40–50 ГДж/га.

На сильно сработанном выработанном торфянике более высокий агроэнергетический коэффициент (АК) получен на бобово-злаковых травостоях при использовании комбинированных удобрений – 3,6–3,9 (табл. 2). Более низкие удельные затраты на производство 1 ГДж обменной энергии (253–282 МДж) и 1 ц сырого протеина (1,66–1,94 ГДж) получены на клеверо-злаковых и лядвенцево-клеверо-злаковых травостоях при применении комбинированных удобрений. На злаковых травостоях при использовании комбинированных удобрений удельные затраты повышались до 306–335 МДж на производство 1 ГДж ОЭ и до 2,76–3,05 ГДж – на производство 1 ц СП. При применении органических удобрений (навоз 20,40 т/га под заправку + навоз 20 т/га поверхностно) затраты антропогенной энергии на злаковых и бобово-злаковых травостоях были высокими (27,5–30,9 ГДж/га), и окупались они

сбором обменной энергии лишь в 1,2–1,6 раза. Удельные затраты на производство 1 ГДж ОЭ составили 605–707 МДж, 1 ц СП – 4,01–4,72 ГДж на бобово-злаковых травостоях и значительно выше – на злаковых (741–811 МДж и 7,03–8,00 ГДж соответственно).

При специализации хозяйств в животноводческом направлении, базирующейся на внутрихозяйственных возобновляемых ресурсах, экономически наиболее выгодно применение органических удобрений при создании бобово-злаковых травостоев. При этом условно чистая прибыль составила 6283–8093 руб./га при низкой себестоимости 100 корм. ед. 168–188 руб. и высокой рентабельности производства сена (102–126%).

Злаковые агрофитоценозы отличались лучшими экономическими показателями при применении комбинированных удобрений (навоз 20, 40 т/га под заправку + $N_{120}P_{90}K_{120}$): условно чистая прибыль составила 6966–7122 руб./га, себестоимость 100 корм. ед. 224–225 руб., при рентабельности производства 69–70%. Более эффективно применение в составе минеральной подкормки фосфоритной муки. По сравнению с внесением суперфосфата прибыль увеличивалась на бобово-злаковых сенокосах на 28–29%, злаковых – 9%, снижалась себестоимость 100 корм. ед. на 18 и 11%, повышалась рентабельность на 57 и 23%.

Злаковые сенокосы при применении органических удобрений (навоз 20, 40 т/га под заправку + навоз 20 т/га поверхностно) характеризовались меньшей условно чистой прибылью (4774–4785 руб./га), но более низкой себестоимостью 100 корм. ед. (188–191 руб.) и большей рентабельностью производства сена (99–102%).

Заключение

На основе разработанных технологий создания сеяных сенокосов при двухукосном использовании в Волго-Вятском районе Нечернозёмной зоны РФ на сильно сработанных выработанных торфяниках рекомендуются следующие травостои и приёмы удобрений:

1. Для получения урожайности в течение пяти лет 62,1–65,1 ц/га СВ на клеверо-злаковых травостоях необходимо вносить ежегодно весной 20 т/га (на фоне 40 т/га основного) или осенью (на фоне 20 т/га).

2. При наличии в хозяйствах достаточного количества минеральных удобрений для

получения урожайности 70–75 ц/га СВ на злаковом травостое следует ежегодно применять (на фоне навоза 20 т/га) полное минеральное удобрение в дозе $N_{60-90}P_{60}K_{90}$, а для производства 95–100 ц/га СВ – $N_{120}P_{90}K_{120}$.

Литература

1. Зотов А.А., Сабитов Г.А., Щукин Н.Н. Сенокосы и пастбища на торфяниках России. М: Аверс Пресс, 2003. 436 с.

2. Ресурсосберегающие технологии создания и использования сенокосов и пастбищ на осушенных торфяниках в Нечернозёмной зоне России (рекомендации). Ярославль: Аверс Пресс, 2002. 44 с.

3. Уланов А.Н. Экологические основы восстановления ухудшенных и деградированных торфяных и выработанных почв, используемых в интенсивном кормопроизводстве // Проблемы и перспективы природопользования на торфяных почвах. Киров: Оричи, 1999. С. 7–14.

4. Зотов А.А., Кульбаев М.К. Оценка технологий создания сеяных травостоев на торфяниках // Кормопроизводство. 1998. № 12. С. 8–12.

5. Журавлёва Е.Л. Клеверо-злаковые травостои на выработанном низинном торфянике // Луга на болотах. Киров: Миньон ВМП «Авитек», 1993. С. 82–85.

6. Косолапов В.М., Зотов А.А., Уланов А.Н. Кормопроизводство на торфяных почвах России. М.: Вятка, 2009. 858 с.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 350 с.

8. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства. М.: РАСХН, 1995. 174 с.

9. Кутузова А.А. Перспективные энергосберегающие технологии в луговодстве XXI века // Кормопроизводство: проблемы и пути решения: сб. науч. тр. ВНИИК. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. С. 31–35.

10. Многовариантные системы лугового кормопроизводства в Нечернозёмной зоне РФ (практическое руководство). М.: ФГУ РЦСК, 2006. 54 с.

11. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстильного навоза. М.: РАСХН, 2006. 463 с.

12. Ефимов В.Н., Царенко В.П. Удобрение сельскохозяйственных культур на мелиорированных торфяных почвах. М.: Росагропромиздат, 1988. 126 с.

Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами

© 2009. Р.В. Галиулин¹, д.г.н., с.н.с., Р.А. Галиулина¹, н.с., Б.И. Кочуров², д.г.н., в.н.с.,¹Учреждение Российской академии наук

Институт фундаментальных проблем биологии РАН,

²Учреждение Российской академии наук Институт географии РАН,

e-mail: rauf-galiulin@rambler.ru

Сформулированы методологические особенности фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. Сущность данного способа заключается в посеве и выращивании на загрязнённых участках специально подобранных видов сельскохозяйственных растений для извлечения тяжёлых металлов корневой системой и накопления их в надземной биомассе, в последующем утилизируемой. Приведены примеры практического применения фиторемедиации, включающей проведение *a priori* специальных вегетационных опытов и *in situ* ремедиации почвы, загрязнённой тяжёлыми металлами.

Methodological phytoremediation peculiarities of soil polluted with heavy metals are formulated. The method consists in sowing and growing specially chosen species of agricultural plants with heavy metals absorbing root-system and heavy metals accumulating over-ground biomass that is to be utilized. Examples are shown of using phytoremediation in practice, including special vegetation experiments *a priori* and heavy metals polluted soil remediation *in situ*.

Ключевые слова: почва, тяжёлые металлы, фиторемедиация, методология, *a priori* вегетационные опыты, *in situ* ремедиация

Key words: soil, heavy metals, phytoremediation, methodology, vegetation experiments *a priori*, remediation *in situ*

Загрязнение почв тяжёлыми металлами, поступающими в составе газопылевых выбросов, атмосферных осадков, загрязнённых промышленными стоками поливных вод, и др. может происходить при 2-х различных сценариях: хронически, постоянно, образуя со временем техногенные геохимические аномалии металлов, а также при аварийных ситуациях, т. е. «залповых» их выбросах. Так, вследствие хронического воздействия свинцовой плавильни (г. Пршибрам, Чехия) содержание кадмия, свинца и цинка в почве достигло соответственно 114, 7040 и 12557 мг/кг, что было в более чем сто и десятки раз выше их предельно допустимых концентраций (ПДК), равных 1, 140 и 200 мг/кг [1]. Аварийный пылевой выброс соединений хрома, характеризовавшийся позеленением цвета снежного покрова на близлежащих территориях, включая и детский сад, был результатом отключения фильтров газоочистки на предприятии «Русский хром» (г. Первоуральск, Свердловская обл.) [2]. Не желая того, человек «свою долю» тяжёлых металлов может получать напрямую со вдыхаемым воздухом или почвенной пылью на урбанизированных территориях, а также через продукты питания, производимые на загрязнённых садово-огородных участках или сель-

скохозяйственных угодьях. Особую опасность на загрязнённых урбанизированных территориях представляет почва и пыль, в частности, игровых площадок. В результате преднамеренного (геофагия) или случайного поглощения детьми загрязнённых почв (в среднем до 135 мг/день, по данным Агентства по охране окружающей среды США) может возрастать содержание тяжёлых металлов в крови [3]. При этом превышение концентрации, например, свинца в крови более 10 мкг/л вызывает нейротоксический эффект. Риск тяжёлых металлов, попадающих в организм человека, состоит также в том, что ряд их соединений характеризуется канцерогенностью. В этой связи чрезвычайно опасными являются газопылевые выбросы металлургических производств, вызывающие повышение заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований, среди которых первое место занимает рак лёгких [4]. К числу инициаторов канцерогенного заболевания, возникающего в результате процессов окисления-восстановления в организме или растворения частиц в плазме крови, относят некоторые соединения никеля, цинка, свинца, кадмия и хрома.

В этой связи проблема ремедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, становит-

ся особенно актуальной для территорий, так называемых экологически неблагополучных регионов, к числу которых можно отнести Челябинскую область. Этот регион занимает одно из «ведущих» мест в стране по концентрации промышленного производства, и загрязнение воздушного бассейна и территорий, особенно вокруг предприятий чёрной металлургии, достигает десятки километров [5, 6]. По данным космических съёмок, техногенное загрязнение земель области тяжёлыми металлами охватывает 29,5 тыс. кв. км при её общей площади 87,9 тыс. кв. км.

Между тем известны различные способы ремедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, среди которых особый интерес вызывает их фиторемедиация, что заключается в посеве и выращивании на загрязнённых участках специально подобранных видов сельскохозяйственных растений для извлечения тяжёлых металлов корневой системой и накопления их в надземной биомассе, в последующем утилизируемой [7]. При этом коэффициент накопления тяжёлых металлов растениями, как отношение содержания металлов в растении и почве, повышают посредством внесения в последнюю, так называемых эффекторов фиторемедиации. Способ фиторемедиации считается простым в исполнении, «щадящим» почву и экономически целесообразным по сравнению с механическими и физико-химическими способами. Так, если механические способы связаны со «срезанием» наиболее загрязнённого поверхностного слоя почвы и его размещением на свалках для дальнейшей утилизации (секвестрирование) или перемешиванием с менее загрязнёнными подповерхностными слоями почвы посредством плантажной вспашки, т. е. на глубину > 40 см (разбавление), или его покрытием «привозной» чистой почвой (землевание), то физико-химические способы осуществляются путём промывки почвы специальными реагентами для извлечения из неё тяжёлых металлов (хемоэкстракция) или её ремедиации, посредством воздействия на загрязнённый слой постоянного электрического тока через электроды (электрокинетическая ремедиация).

В настоящее время накоплен значительный объём информации по проблеме фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, который необходимо было проанализировать, систематизировать и обобщить, чтобы сформировать ясное представление об этом способе ремедиации земель и в дальнейшем его успешно реализовывать на практике [8].

Цель данной работы заключалась в формулировании методологических особенностей фиторемедиации с иллюстрацией результатов практического применения этого способа, включающего проведение *a priori* специальных вегетационных опытов и *in situ* ремедиации почвы, загрязнённой тяжёлыми металлами.

I. Методологические особенности фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. Анализ, систематизация и обобщение информации по проблеме фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, позволил сформулировать следующие методологические особенности этого способа.

– Для целей фиторемедиации прежде всего необходимо подобрать определённые виды сельскохозяйственных растений, так как растения-гипераккумуляторы тяжёлых металлов из числа диких видов, такие как ярутка синеватая (*Thlaspi caerulescens*), бурачок стенный (*Alyssum murale*), резуха Галлера (*Cardaminopsis halleri*) и др., которые хотя и накапливают в десятки раз больше металлов, чем обычно обнаруживаемые их количества в растениях, но отличаются низкой скоростью роста и относительно небольшой надземной биомассой. Сельскохозяйственные растения, используемые для ремедиации почвы, должны отличаться высокой скоростью роста и производить большую надземную биомассу, иметь глубоко разрастающуюся корневую систему, высокую сопротивляемость к болезням и вредителям, быть отзывчивыми к обычной агротехнике, удобными для уборки и непривлекательными для домашних и диких животных, чтобы не вызывать случаи интоксикации насыщенной тяжёлыми металлами надземной биомассой.

– Содержание тяжёлых металлов в почве загрязнённого участка, предназначенного для фиторемедиации, должно быть приемлемым для растений, т. е. не вызывать у всходов выраженных фитотоксических симптомов (обесцвечивания, пигментации и пожелтения листьев, задержки роста и др.), что характеризует их толерантность к тяжёлым металлам и, одновременно, способность максимально поглощать последние корневой системой и перемещать в надземную биомассу за счёт потока, создаваемого испарением воды листовой поверхностью растений (эвапотранспирация).

– Для повышения коэффициента накопления тяжёлых металлов в растениях необходимо применять так называемые эффекторы фиторемедиации в виде комплексов из

числа полиаминополиуксусных кислот, таких как этилендиаминтетрауксусная (ЭДТА), дигидроксиэтилендиаминдиуксусная (ДДДА), диэтилентриаминпентауксусная (ДТПА), этилен-бис(оксиэтилентриамин) тетрауксусная (ЭТТА), этилендиаминдигидроксифенилуксусная (ЭДФА), циклогексан-*транс*-1,2-диаминтетрауксусная (ЦДТА) и другие вещества, которые способны образовывать прочные водорастворимые внутрикомплексные соединения со многими металлами. Комплексоны повышают растворимость, подвижность металлов в почве, а следовательно, их поглощение корневой системой и накопление в надземной биомассе [9]. Считается, что тяжёлые металлы поглощаются растением и транслоцируются в форме комплекса «хелатообразующий агент-металл», так как концентрация этого агента берётся для целей фиторемедиации в значительных миллимолярных количествах, что может изменить систему ионного транспорта в растении [10]. Это явление было продемонстрировано на примере раствора ЭДФА (пурпурного цвета), окрашивающего листья различных растений в пределах 12 ч после его внесения в почву, загрязнённую тяжёлыми металлами. При фиторемедиации комплексоны в виде водных растворов их солей вносят под растения в фазу достижения ими максимальной надземной биомассы, что позволяет повысить коэффициент накопления тяжёлых металлов растениями, а следовательно, сократить время ремедиации почвы. Следует также отметить, что при внесении комплексонов в почву необходимо избегать дождливых дней с целью уменьшения риска загрязнения грунтовых вод тяжёлыми металлами, вследствие возрастания их содержания в почвенном растворе и возможной миграции по почвенному профилю.

– Фиторемедиацию почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, необходимо проводить путём кратного посева и возделывания растений в течение одного вегетационного сезона, если, конечно, это позволяют климатические условия, и вплоть до достижения в ней соответствующих санитарно-гигиенических нормативов, т. е. ПДК или ОДК (ориентировочно допустимых концентраций). При этом экономически целесообразным для фиторемедиации считается период продолжительностью 5-10 лет. В каждом случае фиторемедиация завершается жаткой, сбором и утилизацией загрязнённой тяжёлыми металлами надземной биомассы растений, так как уборка всей корневой биомассы, первоначально насыщаемой тяжё-

лыми металлами, затруднительна. Надземная биомасса растений в дальнейшем может быть использована для извлечения из неё цветных металлов, т. е. повторного их использования (рекуперация), путём её предварительного высушивания, озоления и последующей специальной обработки.

– В целом *in situ* фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, складывается из следующих основных стадий и процессов: выращивание определённого вида сельскохозяйственного растения с соответствующим агротехническим подходом; внесение в почвы хелатообразующего агента для увеличения растворимости и подвижности металлов; поглощение растворённых металлов корневой системой растения; транслокация растворённых металлов в надземную биомассу растения; концентрирование металлов в растении за счёт испарения влаги (рис.) [11].

II. Примеры фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. Обычно *in situ* фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, предшествует предварительное обследование участка на уровень его загрязнённости, отбор почвенных образцов для



Рисунок. Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами: 1 – выращивание растений; 2 – внесение в почву хелатообразующего агента; 3 – поглощение растворённых металлов корневой системой; 4 – транслокация растворённых металлов в надземную биомассу; 5 – концентрирование металлов в растении [11].

проведения *a priori* специального вегетационного опыта с определённым видом сельскохозяйственного растения и эффектора фиторемедиации, что позволяет заранее проверить потенциал ремедиации загрязнённых почв.

Пример № 1. Классическим примером реализации *in situ* фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, можно считать работу [12], когда в качестве объекта ремедиации был взят участок площадью ~ 420 кв. м, содержащий свинец в пределах 200-1800 мг/кг, на территории заброшенного завода в г. Трентон (шт. Нью-Джерси, США), где ранее было налажено производство аккумуляторов. Экологический риск данного участка заключался в возможности хронического эолового (ветрового) переноса почвенной пыли, загрязнённой свинцом, инициирующим рак лёгких, на близко расположенные школы, церкви и жилые дома.

На первом этапе отбирались образцы почвы с глубины 0–15 см для оценки уровня содержания свинца и проведения вегетационного опыта с горчицей сизой или сарептской (*Brassica juncea*) продолжительностью 4 недели. Выбор горчицы не случаен, так как этот вид растения широко используется в исследованиях по фиторемедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. В качестве эффектора фиторемедиации использовалась также наиболее часто применяемая в экспериментах ЭДТА в дозах 2,5, 5,0 и 10 ммоль/кг, вносимая в почву спустя 3 недели роста и развития горчицы. Было установлено, что горчица способна поглощать из почвы существенные количества свинца. При этом концентрация металла в надземной биомассе растения достигала наибольшего значения (5400 мг/кг) при применении ЭДТА в дозах 2,5 и 5,0 ммоль/кг по сравнению с 10 ммоль/кг.

На втором этапе дважды, до и после фиторемедиации, отбирались образцы почвы полойно (0–15, 15–30 и 30–45 см) по условной сетке (3×3 м) для представления результатов анализа пространственного распределения свинца в виде картосхемы. Затем почва удобрялась, фрезеровалась на глубину до 10–15 см до посева горчицы и в почвенный профиль помещались тензиометры на различных глубинах (15, 30, 60 и 90 см) для контроля содержания влаги. Через стационарные надземные опрыскиватели производилось увлажнение почвы для компенсации потери воды растениями при эвапотранспирации, а также внесение раствора ЭДТА в дозе 200 ммоль/кв. м. Надземная биомасса горчицы скашивалась

через 6 недель роста и развития растений. Затем почва фрезеровалась на глубину до 10 см, и ещё дважды осуществлялся посев горчицы и сбор её надземной биомассы. В целом фиторемедиация продолжалась с апреля по сентябрь месяцы, и в результате средняя концентрация свинца в поверхностном слое почвы (0–15 см) уменьшилась на 13% от 429 до 373 мг/кг, что, по мнению авторов, явилось обнадеживающим результатом. Следует также отметить, что содержание свинца в подповерхностных слоях почвы не возрастало в условиях применения ЭДТА, как вещества увеличивающего растворимость и подвижность металла, что было важно с точки зрения риска загрязнения им грунтовых вод.

Пример № 2. При планировании проведения фиторемедиации в больших масштабах, особенно на загрязнённых тяжёлыми металлами сельскохозяйственных угодьях, также целесообразно *a priori* оценить её потенциал посредством постановки специальных вегетационных опытов с разными почвами, тяжёлыми металлами и дозами эффекторов фиторемедиации. С этой целью нами были проведены исследования с горчицей сизой на выщелоченном чернозёме из сельскохозяйственного угодья, находящегося в импактной зоне, т. е. в районе техногенного влияния г. Челябинска [13]. Как известно, выщелоченные чернозёмы Челябинской области, являясь преобладающими почвами лесостепи на большей её территории (от 56 до 54 параллели), имеют огромное значение для сельскохозяйственного производства. Вданном случае риск состоял в загрязнении воздушного бассейна и территорий, включая садово-огородные участки и сельскохозяйственные угодья, газопылевыми выбросами предприятий чёрной и цветной металлургии, машиностроения и энергетики, распространяющимися на значительные расстояния.

В опыте моделировалась ситуация, связанная с накоплением меди и никеля в течение нескольких лет в почве под влиянием газопылевых выбросов. Выбор меди и никеля не случаен, так как эти вещества наряду с хромом, цинком, свинцом и кадмием относятся к секстету основных металлических загрязнителей почв. Экологический риск загрязнения этими металлами окружающей среды состоит в том, что некоторые соединения меди вызывают у людей и животных злокачественные опухоли кожи, а никель – опухоли носа, придаточных пазух, лёгких, желудка и кишечника.

Для вегетационного опыта почву предварительно обрабатывали солями меди и никеля

Литература

(по 100 мг/кг), затем производили посев семян горчицы. Спустя 7,5 недели, по достижении горчицей максимальной надземной биомассы, в почву вносили ЭДТА в виде водного раствора её натриевой соли в дозах от 1 до 10 ммоль/кг и через 1 неделю растения срезали, высушивали и анализировали в них содержание меди и никеля. Анализы проводили и в почвенных пробах, отобранных до и после фиторемедиации. Как оказалось, с увеличением дозы ЭДТА коэффициенты накопления тяжёлых металлов, а следовательно, потенциал ремедиации почвы возрастали относительно контроля (без внесения ЭДТА) для меди в 2,8-43,6 раза, для никеля – в 1,8-25,3 раза. Для оценки эффективности фиторемедиации были проведены соответствующие расчёты с использованием экспоненциальной зависимости, т. е. период достижения фоновой концентрации меди и никеля вычисляли по формуле:

$$t = \ln(y_0/y)/k,$$

где y_0 – искусственно созданная концентрация металла в почве; y – фоновая концентрация металла в почве; k – константа скорости убыли содержания металла в почве.

Было установлено, что кратность посева и выращивания горчицы с применением ЭДТА значительно сокращает время ремедиации почвы, загрязнённой тяжёлыми металлами. Так, при однократном посеве и выращивании растения время достижения фоновых концентраций меди (31,6 мг/кг) и никеля (63,5 мг/кг) при внесении в почву ЭДТА в дозах 1–10 ммоль/кг уменьшалось относительно контроля (без внесения ЭДТА) соответственно от 14,9 и 22,5 года до 7,4–5,8 и 8,8-6,9 года. В целом двукратный посев и выращивание горчицы в течение одного вегетационного сезона может позволить в два раза сократить время ремедиации почвы, загрязнённой тяжёлыми металлами, т. е. для меди от 14,9–5,8 до 7,4–2,9 года, для никеля от 22,5–6,9 до 11,3–3,4 года.

В заключение следует отметить, что насущной задачей сегодняшнего дня является крупномасштабная реализация способа фиторемедиации на территориях экологически неблагоприятных регионов с целью создания условий для безопасного проживания населения, а также планомерного возвращения загрязнённых дефицитных пахотных земель в севообороты после их ремедиации с помощью растений. Однако осуществление фиторемедиации, как и любого другого способа ремедиации почв, имеет смысл при условии полного прекращения массивированного техногенного загрязнения земель тяжёлыми металлами.

1. Mikanova O., Kubat J., Mikhailovskaya N., Voros I., Biro B. Influence of heavy metal pollution on some soil-biological parameters in the alluvium of the Litavka river // Rostlinna Vyroba. 2001. V. 47. № 3. P. 117–122.

2. Ованесянц А.М., Красильникова Т.А., Летников Б.С. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в ноябре 2004 г. // Метеорология и гидрология. 2005. № 2. С. 99–103.

3. Mercier G., Duchesne J., Carles-Gibergues A. A simple and fast screening test to detect soils polluted by lead // Environmental Pollution. 2002. V. 118. P. 285–296.

4. Уральшин А.Г. Особенности медико-демографических показателей, характеризующих состояние населения, отдельных городов Челябинской области // Проблемы экологии Южного Урала. 1995. № 2. С. 39–43.

5. Новосёлов А.В. Угрозы экологической безопасности Челябинской области и деятельность органов управления // Проблемы экологии Южного Урала. 1998. № 1. С. 29–41.

6. Грибовский Г.П., Грибовский Ю.Г., Плохих Н.А. Биогеохимические провинции Урала и проблемы техногенеза // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. Тр. Биогеохимической лаборатории. М.: Наука, 2003. Т. 24. С. 174–187.

7. Galiulin R.V., Bashkin V.N., Galiulina R.A., Kucharski R. Airborne soil contamination by heavy metals in Russia and Poland, and its remediation // Land Contamination a. Reclamation. 2002. V. 10. № 3. P. 179–187.

8. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Фитоэкстракция тяжёлых металлов из загрязнённых почв // Агрохимия. 2003. № 3. С. 77–85.

9. Galiulin R.V., Bashkin V.N., Birch P., Kucharski R. Influence of phytoextraction effectors on the ferment activity of heavy metal polluted soil // Land Contamination a. Reclamation. 1999. V. 7. № 2. P. 133–141.

10. Huang J.W., Chen J., Berti W.R., Cunningham S.D. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction // Environmental Science a. Technology. 1997. V. 31. № 3. P. 800–805.

11. Dushenkov S., Kapulnik Y., Blaylock M., Sorochinsky B., Raskin I., Ensley B. Phytoremediation: a novel approach to an old problem // Global Environmental Biotechnology. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1997. P. 563–572.

12. Blaylock M.J., Elless M.P., Huang J.W., Dushenkov S.M. Phytoremediation of lead-contaminated soil at a New Jersey Brownfield site // Remediation. 1999. V. 9. № 3. P. 93–101.

13. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Возняк В.М. Фитоэкстракция меди и никеля из загрязнённого выщелоченного чернозёма // Агрохимия. 2004. № 12. С. 36–40.

Работа выполнена в рамках проекта № 01-05-96414, P2001 Урал, поддержанного грантом Российского фонда фундаментальных исследований совместно с Правительством Челябинской области.

Уровень современного медицинского облучения населения

© 2009. С.А. Кальницкий¹, к.б.н, в.н.с., М.И. Балонов¹, д.м.н, зав. лаб.,Н.М. Вишнякова¹, к.м.н, зам. директора, М.Н. Тихонов², с.н.с.,¹ФГУН НИИ радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Роспотребнадзора,²ФГУП НИИ промышленной и морской медицины

Федерального медико-биологического агентства России,

e-mail: irh@ek6663.spb.edu, niipmm@mail.axon.ru

Представлен анализ современного состояния медицинского облучения в России и в мире. Акцент сделан на специальные рентгенорадиологические исследования, включая компьютерную томографию. Определена долгосрочная и краткосрочная тенденции изменения уровня медицинского облучения. Делается прогноз в отношении дальнейшего развития событий. Показаны основные проблемы использования источников ионизирующего излучения в отечественной медицине. Предложены пути совершенствования радиационной безопасности в медицине.

The article presents the analysis of contemporary state of medical radiation in Russia and in the world. Special roentgen-radiological investigations including computer tomography are focused on. Long-term and short-term tendencies of changing medical radiation level are determined. The article also gives some prognosis. Main problems of using ionizing radiation in Russia medicine are shown. The ways of improving radiation safety in medicine are offered.

Ключевые слова: медицинское облучение, рентгенологические исследования, доза облучения, компьютерная томография, пациенты, население, радиационная безопасность

Key words: medical radiation, roentgen investigations, radiation doze, computer tomography, patients, population, radiation safety

Рентгенологические и радиологические диагностические и лечебные исследования играют важную роль в современной медицине, их роль, методы и количество в мире неуклонно возрастают [1]. Параллельно увеличивается радиационная нагрузка в виде дозы облучения пациентов, проходящих рентгенорадиологические исследования (РРИ), а также всего населения, поскольку деятельность и масштабы использования лучевой диагностики касаются практически каждого человека.

В отношении медицинского облучения пациентов, неизбежно сопутствующего деятельности лучевой диагностики, в настоящее время имеются две противоположные тенденции. Одна из них состоит в том, что старые, более высокодозные рентгеновские аппараты постепенно заменяются современными цифровыми низкодозными, и поэтому дозы от обычной рентгеновской диагностики (стандартных исследований) снижаются. Внедрение же инновационной техники (специальных исследований) и, в частности, компьютерной томографии (КТ) ведёт к повышению соответствующих компонентов дозы. Как видно на рисунке 1, в большинстве стран с развитым здравоохранением (по классификации НКДАР ООН) вторая тенденция доминирует, в итоге средняя годовая эффективная доза от медицинского облучения на

душу населения приближается в настоящее время к 1,5 мЗв [1].

Данная тенденция наглядно видна на примере лидера мирового здравоохранения США [2], где число КТ за 10 лет увеличилось в 3 раза (рис. 2).

В связи с прогрессирующим внедрением инновационных технологий (цифровые изображения, компьютерная томография, ангиографические и интервенционные процедуры

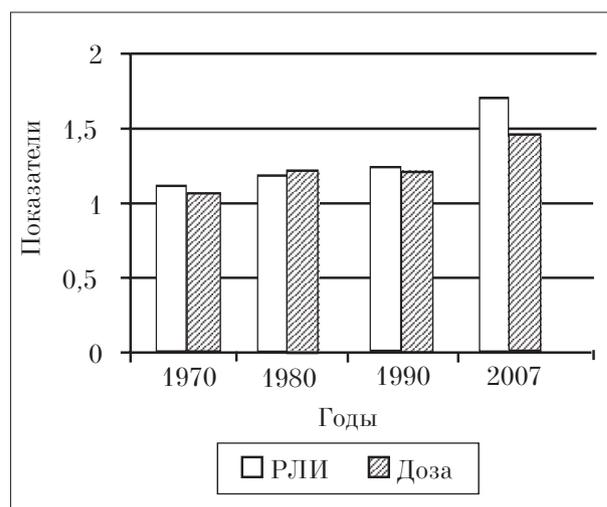


Рис. 1. Тенденции медицинского облучения в экономически развитых странах (число рентгенологических исследований на 1 человека и средняя индивидуальная доза облучения населения в мЗв/чел.)

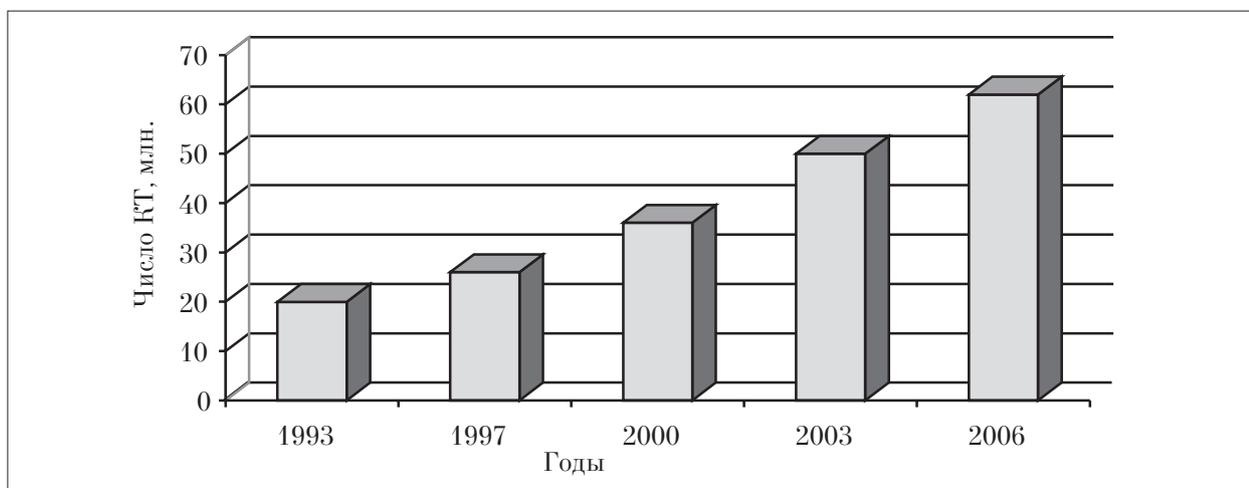


Рис. 2. Динамика компьютерных томографий в США

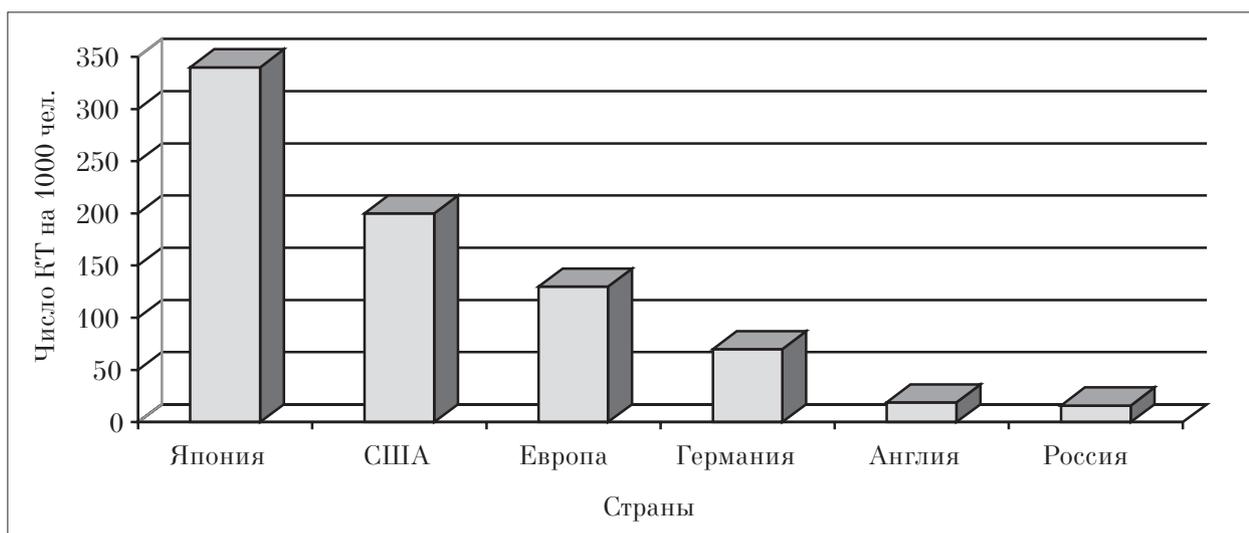


Рис. 3. Число компьютерных томографий в разных странах

и т. д.) растёт их диагностическая и лечебная эффективность. Масштабы использования новых технологий в ряде ведущих стран достигли громадных размеров (рис. 3).

Одновременно значительно растёт доза облучения на пациентов и население (рис. 4). Это ставит вопрос о радиационной безопасности в медицине в ряд приоритетных радиоэкологических проблем. Данный факт заслуживает серьёзного внимания с точки зрения национальной безопасности, поскольку доза на пациента при КТ составляет 3-14 мЗв; при этом облучается, например, каждый третий житель Японии и каждый пятый житель США, включая детей.

На примере США видно, что средняя доза на душу населения от медицинского облучения за десятилетие увеличилась за счёт КТ почти в 6 раз с 0,5 до 3,0 мЗв/чел., впервые превысив годовую дозу от природных источников излучения (рис. 5). При этом общее облучение

населения от всех источников ионизирующего излучения (ИИИ) практически удвоилось: с 3 до 5,5 мЗв/чел. в год. В основном это увеличение вызвано неограниченным использованием компьютерной томографии.

В России уровень использования специальных лучевых технологий, включая КТ, значительно ниже (16%). Тем не менее, КТ также постоянно развивается, достаточно сказать, что за последние 5 лет её объём увеличился в 3 раза, а доза – в 4,5 раза [3].

Вышеперечисленная тенденция для экономически развитых стран в отношении специальных исследований наблюдается в России применительно к стандартным рентгеновским исследованиям и прежде всего к рентгенографии (производству снимков). Их выполняется необоснованно завышенное количество: суммарное число РРИ составляет 1500%.

Несмотря на это, в нашей стране средняя годовая эффективная доза от медицинского

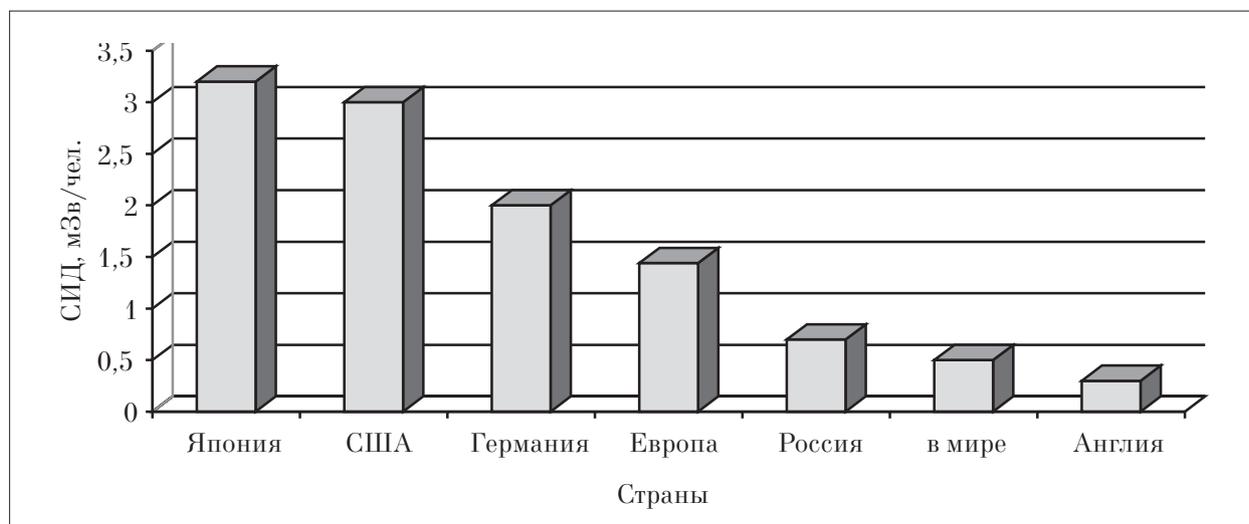


Рис. 4. Средняя индивидуальная доза (СИД) медицинского облучения населения в разных странах в настоящее время

облучения на душу населения в настоящее время является низкой, составляя 0,7 мЗв/чел. в 2007 г. и пока преобладает тенденция к её дальнейшему снижению, чего нельзя сказать о количестве РРИ – и без того их высокое количество на протяжении последних десятилетий увеличивается (рис. 6).

Если экономический рост в стране, несмотря на кризис, продолжится и будет сопровождаться развитием здравоохранения, это приведёт к расширению парка современной аппаратуры и росту числа рентгенологических исследований, включая специальные. В этом случае есть основания ожидать роста уровня медицинского облучения в ближайшем будущем, так как это происходит в зарубежных государствах. Это тем более вероятно, поскольку

современная структура РРИ и, соответственно, дозы медицинского облучения населения России (по сравнению с экономически развитыми европейскими странами) оптимальными не являются.

Данное заключение наглядно подтверждается на примере использования медицинских ИИИ в Великобритании (рис. 7). Здесь средняя индивидуальная доза медицинского облучения населения с учётом использования современных высокоинформативных методов исследования (которые составляют более половины всех РРИ) остаётся на очень низком уровне – 0,33 мЗв/чел., что в 10 раз ниже, чем в США, и в 2 раза меньше, чем в России. При этом частота РРИ населения является незначительной и составляет всего 700‰.

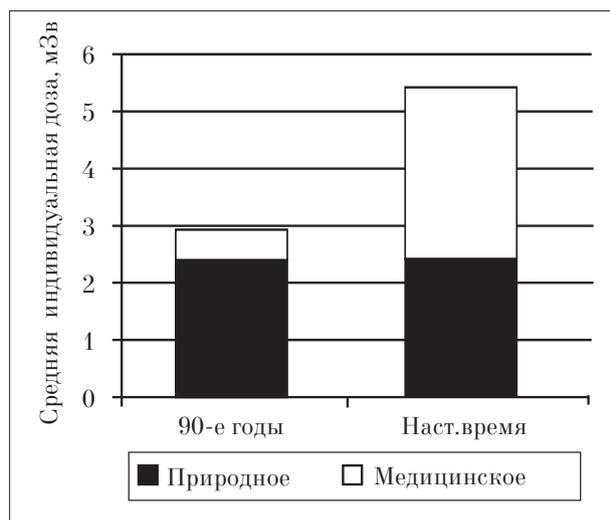


Рис. 5. Средние дозы общего и медицинского облучения населения в США в 90-е годы и в настоящее время

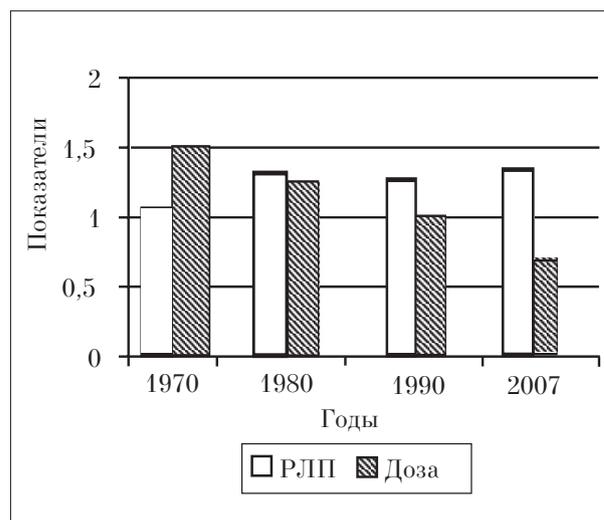


Рис. 6. Тенденции медицинского облучения в России (число рентгенологических исследований на 1 человека и средняя индивидуальная доза облучения населения в мЗв/чел.)

Философия радиационной защиты пациентов от медицинского облучения заключается в том, что она должна применяться в том объёме и методах, которые нужны для достижения медицинских целей диагностики и лечения. Для решения этой задачи разработана современная международная методология и инструменты защиты, которые успешно внедряются во многих странах с развитым здравоохранением [4-7]. В России эти методы хорошо известны и частично внедрены через систему регулирования и надзора, однако многое ещё предстоит сделать, особенно среди лиц, реально устанавливающих уровни медицинского облучения: это, как ни странно, лечащие врачи общего профиля (терапевты, пульмонологи, фтизиатры и др.), направляющие пациентов на РРИ, а также персонал рентгенорадиологических отделений, куда входят врачи-рентгенологи и радиологи, а также средний медицинский и технический персонал лечебно-профилактических учреждений.

Современную ситуацию применительно к медицинскому облучению в России удобно охарактеризовать на материалах Справочника «Дозы облучения населения РФ в 2007 г.», подготовленного ФГУН НИИРГ [3]. Информация о дозах облучения у населения РФ за счёт медицинских диагностических РРИ получена на основе данных, поступающих по форме 3-ДОЗ в систему ЕСКИД, а также приведённых в радиационно-гигиеническом паспорте Российской Федерации за 2007 г.

Численность населения Российской Федерации, учтённая в справочнике при оценке средних и коллективных доз, составила в 2007 г. 142 млн. человек. Общее число организаций, использующих в своей деятельности ИИИ, равняется 20,3 тыс., в том числе 13,9 тыс. – медицинские учреждения. Численность специалистов, работающих с ИИИ, в том числе персонала группы А, в 2007 г. составила 245 тыс. человек, из них 77 тыс. человек – персонал медицинских учреждений. Суммарное количество всех диагностических рентгенорадиологических процедур, выполненных в России в 2007 г., достигло 214 млн., что означает 1,5 процедуры в среднем на каждого жителя России.

Коллективная годовая эффективная доза облучения населения РФ за счёт диагностического использования медицинских ИИИ в 2007 г. составила 99,6 тыс. чел.-Зв, что соответствует средней индивидуальной дозе 0,70 мЗв в год в среднем на одного жителя России и 0,46 мЗв – в среднем на одну процедуру. При этом в ряде регионов зарегистрированы

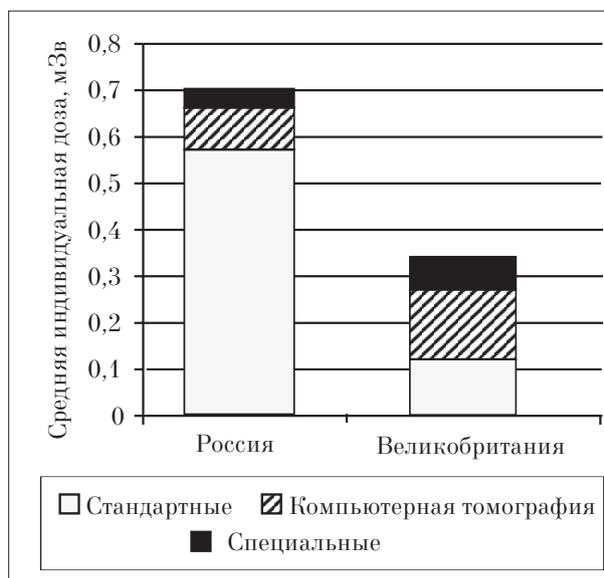


Рис. 7. Средние индивидуальные дозы медицинского облучения населения в России и Великобритании

максимальные дозы медицинского облучения, среди них Владимирская, Вологодская, Ивановская и Орловская области. Наибольшее значение средней дозы медицинского облучения в 2007 г. в расчёте на одного жителя получено для Вологодской области – 1,39 мЗв, а максимальная средняя доза на одну процедуру – 1,0 мЗв имела место во Владимирской области [3]. На необходимость разобраться в причинах повышенного медицинского облучения в ряде регионов указывает Главный государственный санитарный врач РФ Г.Г. Онищенко [8]. Он же является сторонником уделения медицинскому облучению повышенного внимания и аргументирует данный тезис общепризнанным фактом, что использование ИИИ в медицине располагает наибольшими резервами оправданного снижения индивидуальных и коллективных доз.

Динамика средних индивидуальных (на душу населения) и коллективных эффективных доз медицинского облучения населения РФ за период 2002–2007 гг. приведена в таблице 1. Из представленных данных следует упомянутое выше постепенное снижение к 2007 г. как индивидуальных, так и коллективных доз медицинского облучения населения (рис. 8). На данный факт было обращено внимание Роспотребнадзора по результатам радиационно-гигиенической паспортизации [8]. Однако при этом следует учитывать, что снижение дозы облучения сопровождается непропорциональным увеличением числа рентгеновских исследований, часть из которых являются необоснованными [9].

Таблица 1

Изменение средних индивидуальных и коллективных годовых эффективных доз медицинского облучения населения Российской Федерации в 2002 – 2007 гг.

Показатель	Срок наблюдения, год					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Средняя годовая доза, мЗв/чел.	0,94	0,86	0,80	0,79	0,80	0,70
Коллективная доза, тыс. чел.-Зв	134,7	122,9	115,7	114,8	112,9	99,6
Число РЛП* на 1000 чел.населения, ‰	1230	1230	1340	1260	1420	1500

Примечание: * – рентгенологическая процедура.

Таблица 2

Статистика диагностических рентгенорадиологических процедур в Российской Федерации в 2007 г.

Показатель	Флюорография	Рентгенография	Рентгеноскопия	Компьютерная томография	Радионуклидные исследования	Прочие	Всего
Абсолютное число процедур, тыс.	76 703	130 503	3 260	2 232	649	1 993	213 709
Число процедур на 1000 чел., ‰	540	920	23	16	5	14	1505
Средняя эффективная доза на процедуру, мЗв	0,29	0,27	5,72	5,96	4,64	3,69	0,46
Коллективная доза, чел.-Зв	22 554	34 765	18 638	13 308	3 011	7 349	99 624
Вклад в коллективную дозу, %	25,1	36,3	18,8	11,0	2,2	6,7	100

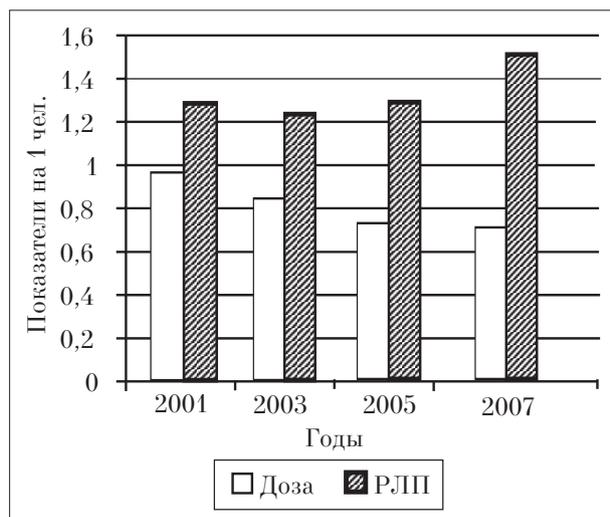


Рис. 8. Динамика рентгенологических исследований и средней индивидуальной дозы облучения населения России за последние годы

Обобщённые по России статистические данные о структуре и количестве рентгенорадиологических процедур, а также о средних индивидуальных (на душу населения) и коллективных эффективных дозах (по видам процедур) представлены в таблице 2. Структура исследований и дозы облучения пациентов и населения принципиально отличаются от аналогичных значений в зарубежных странах. На первом плане у нас доминируют стандартные (рутинные) исследования.

Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения населения России вносят рентгенография – 36,3% (от 18,4 до 83,8% в разных субъектах РФ) и флюорография – 25,1%, (от 4,9 до 76,0%). Вклад рентгеноскопических исследований составляет 18,8% (от 0 до 56,4%), а на долю

всех остальных процедур приходится 20,1%. К числу благоприятных тенденций по сравнению с данными предыдущих лет следует отнести снижение общего числа рентгеноскопий и флюорографий за счёт увеличения количества рентгенографий.

Средняя доза от наиболее распространённых видов исследований – флюорографии и рентгенографии, рассчитанная по данным формы 3-ДОЗ, составляет 0,27–0,29 мЗв на процедуру.

Число КТ в России составляет 16‰, или 1% от общего числа рентгеновских исследований, что несоразмерно меньше, чем в большинстве зарубежных стран. Вклад КТ в дозу облучения населения также незначителен и составляет 11%.

На основании вышесказанного важной отечественной радиационно-гигиенической проблемой применительно к медицинскому облучению является снижение доз облучения пациентов от стандартных исследований. В таблице 3 дана сравнительная оценка измеренных доз у пациентов на примере исследования органов грудной клетки в России в целом, в г. Москве и г. Санкт-Петербурге в 2006 г., в Германии и в мире в 1997 – 2007 гг.

Из данных таблицы 3 видно, что диапазон измеренных доз в Санкт-Петербурге и в Москве меньше национального среднего значения дозы, полученного по официальным данным. В мире аналогичное значение дозы в 1,5 раза ниже, чем в России, а измеренные дозы в

Германии меньше, чем в Санкт-Петербурге, в Москве и в мире. Из этого следует, что в России имеется существенный резерв дальнейшего снижения лучевой нагрузки на население за счёт оптимизации медицинского облучения.

С учётом представленных в Справочнике [3] данных, коллективная эффективная доза облучения населения РФ в 2007 г. от всех ИИИ оценена величиной 594 тыс. чел.-Зв, а средняя индивидуальная – 4,2 мЗв (табл. 4). При этом 83% коллективной дозы обусловлено природными источниками излучения и около 17% – медицинским облучением (рис. 9). На долю остальных источников излучения приходится лишь около 0,2% коллективной дозы.

Таким образом, медицинское облучение остаётся важным фактором радиационного воздействия на население и требует постоянного и пристального внимания специалистов.

Между тем опыт общения с врачами – рентгенологами и радиологами, а также врачами-гигиенистами, осуществляющими надзорные функции, показывает, что степень их информированности о современной системе защиты от медицинского облучения представляется недостаточной и требует совершенствования.

Для повышения информированности отечественных медицинских работников и внедрения с их помощью в практику рентгенологии и радиологии современных приёмов радиационной защиты необходима интенсификация образовательной работы на уровне базового образования, профессиональной

Таблица 3

Сравнительные данные по эффективным дозам облучения органов грудной клетки пациентов за одно исследование в прямой проекции (мЗв)

Россия [10]	Москва, Санкт-Петербург*	Германия [2]	Среднее в мире [2]
0,15	0,01-0,30	0,02-0,05	0,1

Примечание: * – форма 3-ДОЗ.

Таблица 4

Статистика облучения населения России различными видами источников излучения в 2006 г. [3]

Показатель	Эксплуатация ИИИ	Техногенный фон	Природные источники	Медицинское облучение	Всего
Средняя эффективная доза, мЗв	0,0035	0,0067	3,47	0,70	4,18
Коллективная доза, чел.-Зв	501	958	492 760	99 615	593 834
Вклад в коллективную дозу, %	0,084	0,16	83,0	16,8	100

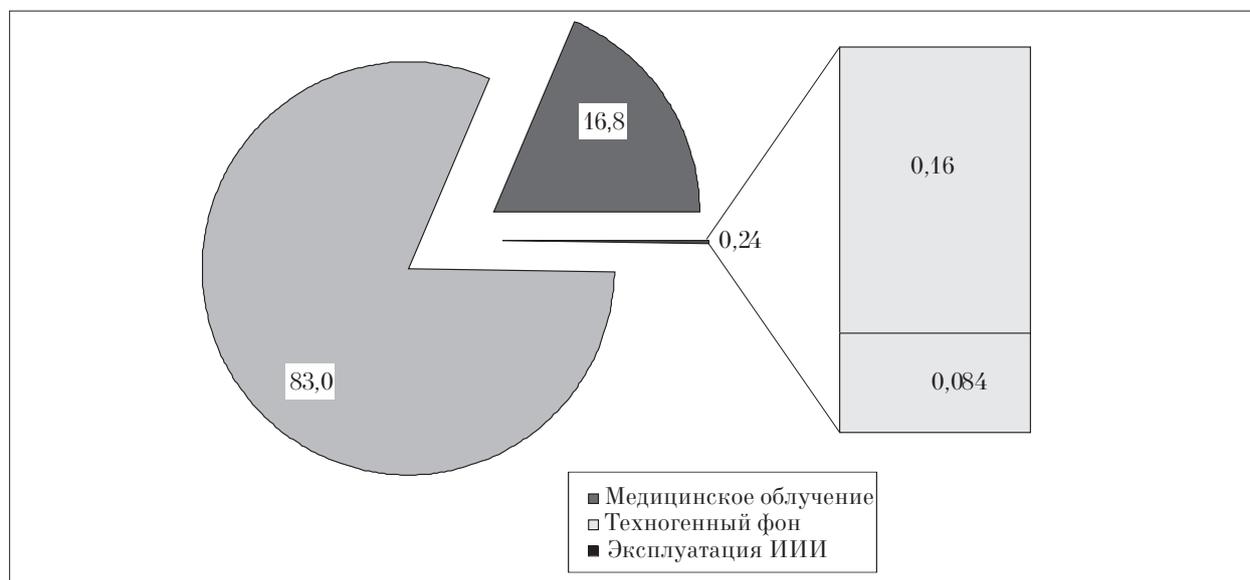


Рис. 9. Процентный вклад основных источников излучения в среднюю суммарную дозу облучения у жителей Российской Федерации в 2007 г.

переподготовки и профессиональных обществ и собраний. Остаётся актуальным также выпуск соответствующей научной и учебной литературы.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- масштабы и уровни медицинского облучения в России, которые сопоставимы с воздействием ведущего источника облучения населения – природного, несомненно, заслуживают постоянного серьёзного внимания отечественных специалистов по радиационной защите;

- исходя из опыта экономически развитых стран с высоким уровнем здравоохранения, следует ожидать роста уровня медицинского облучения населения в России;

- регулирование и контроль медицинского облучения, этически и методологически значительно отличающегося от радиационной защиты при использовании других ИИИ, до сих пор оставляет много нерешённых научных и особенно практических задач как в международном, так и, особенно, в российском планах;

- методологию и практику защиты от медицинского облучения следует внедрять, в первую очередь, среди основной категории лиц, отвечающих за качественное и безопасное применение ионизирующих излучений в медицине: врачей-рентгенологов и радиологов.

Литература

1. Sources and Effects of Ionising Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radia-

tion Report to the General Assembly with Scientific Annexes. UNSCEAR. United Nations. New York. 2000. 566 p.

2. Medical exposure to ionizing radiation. United national scientific committee on the Effects of Atomic Radiation. A/AC.82/R.669. UNSCEAR. Vienna. 2008. 305 p.

3. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2007 году. Информационный сборник / Авт.: Барковский А.Н., Барышков Н.И., Кормановская Т.А. и др. СПб. 2008. 66 с.

4. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. МАГАТЭ. Вена. 1997. 356 с.

5. Applying radiation safety standards in diagnostic radiology and interventional procedures using X rays. IAEA. Vienna, 2006. 110 p.

6. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication No. 103/ Ann. ICRP, v. 37 (2-3). Pergamon Press, Oxford. 2007. 327 p.

7. European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images, European Commission, EUR 16260 EN. 1996. 88 p.

8. Онищенко Г.Г. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации по результатам радиационно-гигиенической паспортизации // Гигиена и санитария. 2009. № 3. С. 4–7.

9. Водоватов А.В., Золотарева Т.Н. Оптимизация рентгенодиагностического облучения пациентов // Сб. тез. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности в медицине. 18-21 июня 2007г. Санкт-Петербург». СПб. 2007. С. 22–24.

10. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. МУК 2.6.1.1797-03. М.: Роспотребнадзор, 2004. 29 с.

Фенологические особенности лесных насекомых подзоны средней тайги Республики Коми

© 2009. Е.В. Юркина¹, д.б.н., зав. кафедрой, С.В. Пестов², к.б.н., н.с.,
¹Сыктывкарский лесной институт, ²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
e-mail: evjur@yandex.ru, pestov@ib.komisc.ru

Исследованы лесные насекомые трёх основных трофических групп: фитофаги (522 вида), энтомофаги (316 видов), сапрофаги (110 видов). Для 619 видов были получены данные о сроках развития, появлении имаго после перезимовки, откладке яиц, отрождении личинок, окукливании (у насекомых с полным циклом превращения), появлении взрослых особей. На основании сроков лета имаго были выделены феногруппы.

It is explored the forest insects of three trophical groups: herbivorous (522 species), entomophagous (316), saprophagous (110) in Komi Republic. We got data about term of development, appearance imago after winter, oviposition, appearance larvae, puparisation (for insects with complete breeding cycles) and appearance adults for 619 species. It divides into on the phenological groups on the basic terms of appearance imago.

Ключевые слова: фенология, насекомые, Республика Коми
Key words: phenology, insects, the Komi republic

Энтомофауна Республики Коми характеризуется преобладанием лесных видов. В целом среди насекомых численно преобладают виды из отряда двукрылые. Личинки большинства видов связаны с водой и влажной почвой. Первые из них служат кормовой базой ценных промысловых рыб, вторые участвуют в разложении растительных остатков. На втором месте стоят представители отряда жесткокрылые, связанные с лесами. В середине 50-х годов XX века особую опасность представляли стволовые виды насекомых-вредителей в подсосных древостоях. Сейчас они из-за сведения подсоски к минимуму не столь многочисленны. Изучение видового разнообразия и роли отдельных видов насекомых в лесных экосистемах имеет уже довольно длительную историю, однако некоторые аспекты экологии лесных насекомых освещены очень слабо. Одним из таких направлений является изучение сезонной динамики (фенологии) лесных насекомых. Особую актуальность фенологические исследования приобретают в связи с оценкой влияния антропогенных изменений на живые организмы и природную среду в целом. Полученные в ходе этих исследований данные позволяют планировать борьбу с опасными для лесного и сельского хозяйства видами насекомых.

Целью настоящей работы является обобщение наших многолетних исследований фенологии насекомых в лесных экосистемах средней тайги Республики Коми.

Район исследований

Район исследований расположен на северо-востоке европейской части Российской Федерации. Таежная зона занимает более 95% Коми. Подзона средней тайги охватывает 39,5% территории республики. В соответствии с агроклиматическим районированием республики она входит в состав Вычегодско-Мезенского и Летского среднетаежного районов. Исследуемый район находится под влиянием арктических и бореальных (атлантических и континентальных) воздушных масс и испытывает воздействие циклонов. Климат умеренноконтинентальный, с продолжительной многоснежной зимой и коротким прохладным летом. Среднегодовые температуры воздуха постепенно увеличиваются к югу от -6°C в тундре до $+1^{\circ}\text{C}$ на юге республики. Преобладают осадки в виде дождя. Сплошной снежный покров устойчиво сохраняется более семи месяцев на севере и шести – на юге. Высота снежного покрова в лесу в среднем равняется 70 см [1]. В подзоне средней тайги развиты типичные подзолистые почвы. Черты подзон в зоне тайги выражаются в таких признаках, как таксационные показатели древостоев (сомкнутость крон, полнота, высота, диаметр деревьев, бонитет), которые уменьшаются при движении с юга на север, усложнение структуры (увеличение числа ярусов) при движении с севера на юг, появление новых видов.

Материал и методы исследований

Основными объектами исследований являлись лесные насекомые трёх экологических групп: фитофаги (522 вида), энтомофаги (316 видов), сапрофаги (110 видов). Их изучение проводили с использованием всего имеющегося комплекса способов сбора и лабораторных энтомологических методов [2]. Для проведения фенологических исследований сравнимые многолетние наблюдения велись из года в год на одних и тех же участках в подзоне средней тайги. Из общего массива данных по насекомым (948 видов из 15 отрядов), наиболее приближённых к исследуемым лесным формациям, взято 619 видов, фитофагов, энтомофагов, сапрофагов, для которых имелись наиболее полные данные о сроках развития.

У насекомых отмечали следующие фенофазы: появление имаго после перезимовки; откладка яиц; отрождение личинок; оукливание (у насекомых с полным циклом превращения); появление взрослых особей. При этом фиксировали начало явления (вылет насекомого), увеличение количества особей, разгар или максимум лёта, уменьшение количества особей и прекращение лёта. За начало массового лёта насекомых принимали тот день, за который на участке было получено не менее 5-10 насекомых данного вида. При наблюдениях за растительноядными насекомыми параллельно фиксировали сезонное развитие растений, составляющих их кормовую базу. Вели изучение видового состава и наблюдение за сезонной активностью двукрылых комплекса «гнус» [3]. Для кровососущих насекомых отмечали даты: первого лёта; первые укусы; массовый лёт; конец лёта, когда нападений не отмечается.

Результаты и обсуждение

В средней тайге массовый лёт многих видов относится ко второй половине июня. Среди этой группы насекомых наиболее известны крупные виды жуков, бабочек боярышниц (*Aporia crataegi* (L.)), голубянок (*Heodes virgaureae* (L.), *Everes agriades* (Pallas)), мух-журчалок (*Brachyopa panzeri* Goffe, *Helophilus pendulus* (L.), *Myathropa florea* (L.), *Temnostoma apiforme* (F.)).

В средней тайге календарь лёта открывает бабочка крапивница, первый вылет которой происходит 15 апреля. В конце апреля вылетают с мест зимовок бабочки с-белое, траурница и лимонница. Вылет с зимовок

кровососущих комаров *Anopheles messeae* Falleroni начинается с апреля, начала мая. В конце мая появляются слепни *Hybomitra lurida* (Fll.) и *H. nitidifrons* (Szilady). Самыми массовыми видами слепней с середины июня по начало июля являются виды *H. bimaculata* (Mq.) и *H. lundbecki* Lyneborg. В конце июля наиболее массовыми и назойливыми становятся *Hematopota pluvialis* (L.) и *Tabanus bromius* (L.). Последними (в начале-середине июля) появляются кровососущие мокрецы и мошки. Наибольшую опасность для человека представляют лишь несколько видов мокрецов (*Culicoides achradyi* Kettle et Lawson, *C. fascipennis* (Staeger), *C. helveticus* Callot, Kremer et Dedit) и мошек (*Byssodon maculatus* (Mg.), *Cnetha latipes* (Mg.), *Odagmia ornata* (Mg.), *Schoenbaueria pusilla* (Fries), *Simulium longipalpe* Belt. и *Wilhelmia equina* (L.)).

У большинства насекомых Севера развитие одного поколения длится год. Имеются насекомые, развивающиеся с двухгодичной генерацией: златки (*Chrysobothris chrysostigma* L. и *Melanophila cyanea* Fabr.), усачи (*Judolia sextamaculata* L.), клопы-подкорники (*Aradus cinnatomeus* Panz.), бабочки (*Petrova resinella* L., *Aporia crataegi* L.) и др. Более продолжительные генерации в северных условиях могут быть, например, у большого соснового долгоносика (*Hylobius abietis* L.), злаковых щелкунов (*Agriotes*), усачей (*Oxymirus cursor* L. и *Pachyta quadrimaculata* L.) Бывают случаи и ещё более продолжительного развития, например, у майского хруща (*Melolontha hippocastani* F.). Имеются также виды, дающие за один сезон несколько поколений. К ним относятся многие виды тлей и их хищники.

Пример сроков наступления фенологических явлений у широко распространенного в подзоне средней тайги вида – сосновой побеговой огневки *Dioryctria mutata* Fuchs. показан на рисунке 1.

Сезонная динамика растительноядных насекомых связана с наличием кормовой базы. Так, появление взрослых особей майского хруща связано с появлением листьев на берёзы, а черёмуховой тли (*Rhopalosiphum padi* (L.)) – распусканием листьев на черёмухе, жуков-листоблошек из семейства *Chrysomelidae* – культурных видов растений семейства крестоцветные и многих сорных растений. Они появляются в среднем через неделю после начала вегетации этих растений.

Жизненный цикл насекомых сложился исторически в процессе их эволюционного

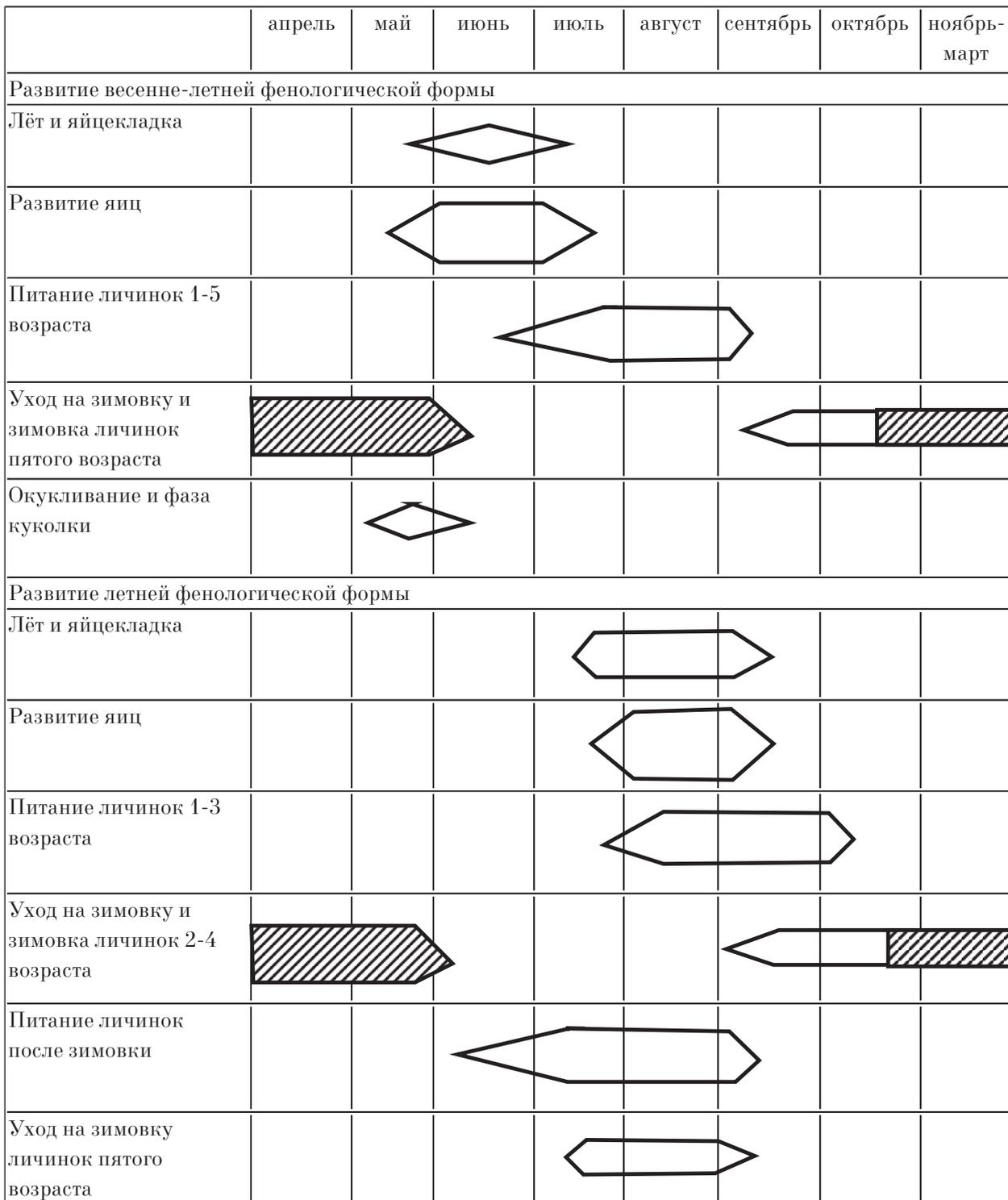


Рис. 1. Фенология сосновой побеговой огнёвки (*Dioryctria mutatella* Fuchs.) в условиях средней тайги Республики Коми

развития в условиях определённой географической среды. Продолжительность их развития в любой фазе в известной мере зависит от климата и погодных условий местности. Поэтому и сроки появления отдельных фаз развития насекомых будут различны в раз-

ных местах: они меняются по годам даже в пределах одного и того же места. Средняя многолетняя дата вылета майского хруща в окрестностях г. Сыктывкара приходится на 22 мая. Крайние даты 16 апреля и 5 июня. Длительность развития насекомых может быть

одинаковой в пределах всего распространения вида и может изменяться в зависимости от географических условий. Так, обыкновенный сосновый пилильщик (*Diprion pini* (L.)) в лесной зоне развивается за год, а в степной – даёт два поколения в год. Майский хрущ в лесостепной зоне имеет четырёхлетнюю генерацию, а на севере лесной зоны развитие длится пять лет. Для данного вида характерны так называемые лётные годы, повторяющиеся через 4-5 лет, в зависимости от продолжительности генерации.

Установление сроков появления отдельных фаз развития насекомых играет большую роль при борьбе с ними. Многолетние наблюдения за насекомыми позволяют установить средние даты их появления и связать их с наступлением ряда других хорошо заметных фенологических явлений. Так, феносигналом кладки яиц жуком короедом-типографом (*Ips typographus* (L.)) является цветение одуванчика, а появления имаго большого соснового долгоносика (*Hylobius abietis*) – цветение сон-травы.

Среди внешних факторов сезонной динамики природы для насекомых особо значим световой режим. В условиях умеренного климата большинство листо- и хвоегрызущих насекомых по фотопериодической реакции относятся к длиннодневному типу. С сокращением продолжительности светового дня они вступают в стадию покоя. Продолжительность дня может регулировать и другие сезонные процессы, например, плодовитость самок, смену партеногенеза на половое размножение с оплодотворением. Продолжительный световой день в условиях севера в какой-то мере компенсирует недостаток тепла. В северных условиях отмечается наступление фенологических фаз при более низкой сумме эффективных температур, чем в южных регионах. К насекомым короткого дня относятся некоторые виды, связанные с генеративными органами. Созревание урожая ягод и появление некоторых клопов щитников идёт синхронно. Например, ягодный клоп *Dolycoris baccarum* (L.) обилён на ягодных кустарниках в августе. Имеются животные с нейтральным отношением к длине светового дня. Их сезонное развитие определяется другими факторами. Широко распространены с мая до первой декады августа клопы семейства Lygaeidae (*Rhyparochromus pini* (L.)). К данной группе принадлежат чешуекрылые, вступающие в диапаузу на стадии гусеницы, некоторые прямокрылые насекомые (*Decticus*

verrucivorus (L.)). Рыжие лесные муравьи рода *Formica* активны в течение всего вегетативного сезона.

Температурный режим – ещё один важнейший фактор сезонного развития природы, играющий большую роль в жизни насекомых. При этом важна не только сумма температур, но и продолжительность тёплого периода. Не менее важна и длительность безморозного периода. Наступление определённых фенологических фаз зависит от среднесуточной температуры. Приход каждого конкретного явления определяется суммой эффективных температур. Необходимая для созревания шишек ели сумма эффективных температур (1200°C) позволяет в районе г. Сыктывкара получать созревшие шишки. При меньшей сумме температур семена не вызревают. Жизнь многих насекомых, в частности конофагов, напрямую зависит от этого.

Изучение погоды в прошлом и в настоящее время показывает, что периоды засух, продолжающиеся иногда несколько лет подряд, чередуются с влажными годами. Это уже выходит за пределы ежегодных ритмов и требует особого рассмотрения. Многолетняя цикличность в явлениях природы отражена в многовековой летописи неживой природы. Многолетняя периодичность определяется изменениями погоды, закономерной её сменой под влиянием солнечной активности и выражается чередованием урожайных и неурожайных лет, лет обилия или малочисленности популяций. На исследуемой территории периодическое повышение численности насекомых фитофагов отмечено у подкорного соснового клопа (*Aradus cinnamomeus*), восточного майского хруща (*Melolontha hippocastani*), большого соснового долгоносика (*Hylobius abietis*), побеговьюна почкового (*Evertia turionata* Нб.), смолёвщика (*Evertia resinella*), сосновой побеговой огнёвки (*Dioryctria mutata*), рыжего соснового пилильщика (*Neodiprion spinifer* Geoffr.) и др.

Эндогенные факторы определяются закреплёнными свойствами самого организма – наследственным кодом [4]. Каждому виду живых организмов свойственна своя наследственно закреплённая программа сезонного развития. Эта программа передаётся от поколения к поколению. И никакими внешними факторами не изменить ход сезонного развития.

Данные о структуре естественных сезонов окрестностей г. Сыктывкара приводятся в работе Л.Н. Соловкиной [5]. Сезоны подразделены на 13 подсезонов. Зима, длящаяся 162 дня, занимает почти половину года. Этот период

начинается с замерзания реки, которое происходит по средним многолетним данным 12 ноября. Насекомые в зимний период находятся в диапаузе. Немногочисленные насекомоядные птицы, зимующие в лесах, собирают их с ветвей или из-под коры. В зимнее время, во время оттепели на снегу всё же можно обнаружить активных насекомых. Они относятся к отрядам коллембол (Hypogastruridae, Isotomidae, Entomobryidae), двукрылых (Limoniidae, Trichoceridae, Chironomidae, Chaoboridae, Muscidae) и скорпионниц (Boreidae).

Средняя продолжительность весны составляет 55 дней. Начало весны сопровождается капелью и интенсивным таянием снежного покрова. Около 10 апреля среднесуточная температура переходит 0 °С, но остаётся большая разница между температурой в ночной и дневной период. Пробуждаются наиболее холодовыносливые членистоногие: гренландские мухи (*Protophormia terraenovae*), комары-толкунчики (*Empis* sp.), муравьи (*Formica* sp.), некоторые мелкие бабочки, пауки. Начинается лёт пчел, шмелей, дневных бабочек, жуков и других насекомых. Появляются дождевые черви. С переходом средней температуры через 10-15 °С наступает предлетье. Для него характерен зелёный аспект древесной и травянистой растительности. Наряду с растениями, бабочки крапивницы, стрекозы, майские хрущи, муравьи, шмели, пчёлы, комары-толкунчики создают в тайге весенние аспекты. С повышением активности насекомых, в том числе комаров, гнуса, связан прилёт насекомоядных птиц: кукушек, ласточек, стрижей и др.

На основании сроков появления имаго среди насекомых выделено пять фенологических групп. Ранневесенняя и весенняя феногруппы насекомых (с 1 апреля по 20 июня) фитофагов представлены видами, относящимися к шести отрядам (табл. 1). В этот период одними из первых появляются особи, зимовка которых проходила на стадии имаго. У бабочки крапивницы *Aglais urticae* (L.) и мухи-журчалки *Syrphus ribesii* (L.) зимуют только оплодотворённые самки. Далее появляются те, которые зимовали на стадии куколки или личинки старшего возраста и окуклились ранней весной. Так, после схода снега выходят с мест зимовки жуки большого соснового долгоносика (*Hylobius abietis*). Они питаются корой на стволиках и ветвях сосны обыкновенной. С середины мая и до начала июня идёт лёт бабочек побеговьюнов, огнёвок и множества других видов, связанных с растущей листвой, хвоей, молодыми побегами, генеративными органами, древесиной. Пик лётной активности – третья декада июня.

Выживаемость многих растительноядных представителей насекомых тесно связана с совпадением сроков развития личинок и отдельных фаз вегетации древесных пород. Так, минимальная смертность гусениц почкового побеговьюна (*Evertia turionata*) первого возраста бывает в том случае, когда массовый выход гусениц совпадает с завершением роста побегов в длину и закладывания почек на майских побегах. Одновременно происходит яйцекладка и дополнительное питание видов, у которых оно имеется. Летняя группа также

Таблица 1

Представленность видов фитофагов в фенологических группах среди насекомых в средней тайге Республики Коми

Отряды	Фенологическая группа, количество видов				
	ранневесенняя	весенне-раннелетняя	летняя	позднелетне-осенняя	растянутая
<i>Orthoptera</i>	–	–	4	1	–
<i>Psocoptera</i>	–	–	1	–	–
<i>Homoptera</i>	–	4	9	3	–
<i>Heteroptera</i>	–	9	16	2	3
<i>Thysanoptera</i>	–	–	–	–	1
<i>Coleoptera</i>	–	19	65	2	10
<i>Lepidoptera</i>	5	11	10	–	–
<i>Hymenoptera</i>	2	15	5	–	–
<i>Diptera</i>	9	–	19	1	–
Итого видов:	16	58	129	9	14
Доля группы, %	7,1	25,7	57,1	4,0	6,2

многочисленна и разнообразна. Завершают развитие насекомые, зимовка которых проходила на стадии яйца или личинок младшего возраста. Активны имаго видов, живущих несколько лет. Данная фенологическая группа самая разнообразная (8 отрядов) и самая многочисленная в видовом отношении (129 видов). В августе насекомые-фитофаги уже не так многочисленны. Это в основном представители семейства саранчовые из отряда прямокрылые, клопы-слепняки и пенница жуковидная (*Lepyronia coleopterata* (L.)) из отряда равнокрылых. У некоторых видов лёт растягивается на весь вегетационный сезон или его основную часть. Например, имаго клопов *Rhyparochromus pini* при пике лёта в первой декаде июля единично встречаются с 1 мая по 9 августа.

Средняя продолжительность летнего сезона составляет 91 день. В первой и второй декаде июня возможно вторжение циклонов и заморозки. В 50% это происходит при уже развивающихся растениях, что приводит к их повреждениям. За начало лета принято считать цветение шиповника. Это период самого продолжительного на севере стояния солнца над горизонтом. В массе появляются разные виды мух, в том числе слепни, обильным становится лёт разнообразных дневных бабочек. Завершается подсезон цветением калины и поповника. Над лугами и в лесах летают стрекозы, бабочки, стрекозут кузнечики, появляются кровососущие комары и другие представители гнуса. Истребление насекомых птицами, по сравнению с ранним летом, не снижается. Со спадом лета связано появление первых жёлтых листьев на деревьях, созревание брусники, шиповника. Количество комаров и слепней

уменьшается. Наблюдается максимум развития прямокрылых.

Вплоть до третьей декады июля растительноядных членистоногих сопровождают множество насекомых энтомофагов (табл. 2). В летний период максимально число видов и отрядов насекомых (161 и 6 соответственно). Затем их количество снижается. Часто хищные представители имеют растянутые сроки активности. Паразитические виды нередко принадлежат к позднеосенней фенологической группе, что связано с их приуроченностью к куколочной стадии развития насекомых, появляющейся в конце лета. В качестве примера можно привести мух-тахин из подсемейства фазии, развивающихся в теле клопов из семейства щитников. Самки фазий откладывают яйца на поверхность тела клопов во второй половине лета. Зимуют личинки фазий в теле хозяина. Между двумя видами животных, один из которых живёт за счёт другого, должно существовать фенологическое совпадение. Оно должно быть очень точным в случае паразита, цикл развития которого охватывает нескольких промежуточных хозяев.

Осенний сезон включает 57 дней. Приметами начала осени служат пожелтение листья листопадных деревьев и начавшийся отлёт птиц. Резко уменьшается число насекомых. На общем пасмурном прохладном фоне нередко периоды тёплой ясной погоды. В августе насекомые уже не столь активны. На границе лета и осени ещё встречаются виды из фенологической группы с растянутым сроком активности.

Растительный опад, животные остатки утилизируются сапрофагами, многие из которых также имеют растянутые сроки вы-

Таблица 2
Представленность видов энтомофагов в фенологических группах среди насекомых в средней тайге Республики Коми

Отряды	Фенологическая группа, количество видов				
	ранневесенняя	весенне-раннелетняя	летняя	позднелетне-осенняя	растянутая
<i>Orthoptera</i>	–	1	–	–	–
<i>Heteroptera</i>	–	1	1	–	–
<i>Raphidioptera</i>	–	–	1	–	–
<i>Neuroptera</i>	–	1	6	–	–
<i>Coleoptera</i>	5	17	73	6	25
<i>Hymenoptera</i>	1	4	33	3	8
<i>Diptera</i>	16	1	47	16	–
Итого видов	22	25	161	25	33
Доля группы, %	8,3	9,4	60,5	9,4	12,4

Таблица 3

Представленность видов сапрофагов в фенологических группах среди насекомых в средней тайге Республики Коми

Отряды	Фенологическая группа, количество видов				
	ранневесенняя	весенне-раннелетняя	летняя	позднелетне-осенняя	растянутая
<i>Blattoptera</i>	–	–	1	–	1
<i>Mecoptera</i>	–	–	–	–	1
<i>Coleoptera</i>	4	7	67	1	10
<i>Diptera</i>	3	1	29	1	1
Итого видов	7	8	97	2	13
Доля группы, %	5,5	6,3	76,4	1,6	10,2

хода (табл. 3). Среди таких представителей, например, жук афодий навозный (*Aphodius fimetarius* (L.)).

В начале сентября наблюдаются первые заморозки, но возможны возвраты тепла. В период становления осени появляется последний рой комаров-толкунчиков (средняя многолетняя дата – 22 сентября). Листопадные деревья и почти все кустарники уже лишены листвы. Травы готовы к зимнему покою. В подсезон разгара осени наблюдается прекращение лёта пчёл (средняя многолетняя – 26 сентября). Мир беспозвоночных, за редким исключением, замирает. Окончание листопада попадает на пору поздней осени-предзимья. Среднесуточная температура переходит нулевую отметку. Выпадает первый снег. Организмы полностью готовы к зиме. Установившийся снежный покров и ледостав знаменуют начало зимы.

На примере модельной группы – мух-журчалок нами изучены особенности сезонной активности [6, 7]. Взрослые насекомые питаются пыльцой и нектаром, при этом отмечена избирательность отдельных видов журчалок в посещении цветков тех или иных видов растений. Они играют важную роль в опылении цветковых растений. Имаго связаны в основном с луговыми экосистемами и опушками лугов. Личинки развиваются либо в воде (детритофаги), в почве и разлагающейся древесине (сапрофаги), либо в наземно-воздушной среде (фитофаги и хищники). Личинки-сапрофаги из триб Xylotini и Milesini участвуют в разложении органических остатков в лесных экосистемах. Хищники из триб Pipizini, Melanotomatini, Syrphini регулируют численность некоторых вредителей леса (хермесов и пядениц). Журчалки начинают активно летать с середины мая. Первыми появляются представители родов *Cheilosia* и *Platycheirus*. Лёт заканчи-

вается в середине октября. Общая продолжительность лёта составляет около 140 дней. Пик лёта приходится на середину июля. По времени лёта виды журчалок нами разделены на 10 фенологических групп (табл. 4). В классификации фенологических групп, которая была разработана на основании рекомендаций М.В. Несиной [8], более детализированы некоторые группы, приведённые выше для насекомых в целом. Имеются следующие соответствия этих классификаций: ранневесенняя (весенняя), весеннераннелетняя (весенне-летняя и раннелетняя), летняя (общелетняя, среднелетняя, ранне-среднелетняя, средне-позднелетняя), позднелетне-осенняя (позднелетне-осенняя, позднелетняя), растянутая (всесезонная). Также детально дать характеристику всех изученных насекомых пока не представляется возможным.

В соотношении трофических групп в течение сезона наблюдаются некоторые изменения. Доля фитофагов (максимальна в начале июля) постепенно убывает, что связано, вероятно, с моновольтинностью и с зимовкой большинства видов этой группы на стадии личинки. Для сапрофагов характерно преобладание летней и среднелетней фенологических групп, поэтому доля их возрастает в разгар лета и к осени постепенно снижается. Постепенное возрастание доли детритофагов к концу лета и началу осени связано с большим числом всесезонных видов, а виды, лёт которых приурочен только к весне и началу лета, единичны.

В последние годы всё чаще и чаще обсуждаются проблемы, возникающие в связи с глобальным потеплением климата, и поднимается вопрос о влиянии этих изменений на растительный, животный мир и неживую природу северных регионов. За последнее время отмечается продвижение ряда видов на север. Ранее для Республики Коми не была отмечена

Таблица 4

Представленность видов журчалок разных фенологических и трофических групп в Республике Коми

Фенологическая группа	Трофические группы личинок журчалок									
	детритофаги		фитофаги		хищники		сапрофаги		другие группы	
	виды	%	виды	%	виды	%	виды	%	виды	%
Весенне-летняя	1	2,3	5	17,2	1	1,3	–	–	–	–
Весенняя	–	–	–	–	2	2,6	1	3,0	–	–
Всесезонная	6	14,0	–	–	8	10,3	1	3,0	1	9,1
Ранне-среднелетняя	8	18,6	6	20,7	20	25,6	10	30,3	1	9,1
Общелетняя	5	11,6	5	17,2	12	15,4	4	12,1	–	–
Позднелетне-осенняя	5	11,6	–	–	2	2,6	–	–	–	–
Позднелетняя	–	–	1	3,4	–	–	1	3,0	1	9,1
Раннелетняя	5	11,6	4	13,8	15	19,2	3	9,1	4	36,4
Среднелетняя	7	16,3	8	27,6	11	14,1	10	30,3	2	18,2
Средне-позднелетняя	6	14,0	–	–	7	9,0	3	9,1	2	18,2
Всего видов	43	100	29	100	78	100	33	100	11	100

горбатка *Centrotus cornutus* (L.) (Homoptera, Membracidae). Исследования, проведённые нами, показали, что этот вид широко распространён по всей подзоне средней тайги, имаго активны с конца мая по начало августа. Отмечается увеличение встречаемости и численности жука бронзовки вонючей *Oxythyrea funesta* (Poda), имаго питаются лепестками и нектаром сложноцветных и встречаются в течение всего июля. Обычным видом в средней тайге Коми стал шершень *Vespa crabro* (L.). Он строит гнёзда в дуплах деревьев и в старых заброшенных домах. Активный лёт имаго отмечается в конце лета. Несмотря на очень интенсивное исследование слепней, ранее на европейском Севере не был отмечен слепень сильвий рыжий *Silvius vituli* (F.). Он был найден в г. Великий Устюг и Прилузском районе Коми [3]. Неожиданным было обнаружение мухи-журчалки шмелевидки воздушной *Vollucella inanis* (L.) в окрестностях г. Сыктывкара, поскольку ближайšie точки находок были юг Кировской области и Ленинградская область, где этот вид очень редок и занесён в Красную книгу [9]. Личинки паразиты в гнёздах складчатокрылых ос *Vespula germanica* (F.) и *V. vulgaris* (L.). Имаго обоих последних видов летает в начале августа.

Заключение

В лесных экосистемах средней тайги Республики Коми отмечено 948 видов насекомых, из которых для 619 имелись наиболее полные данные о сроках развития видов. Среди пяти выделенных фенологических групп абсолютно преобладающими являются ви-

ды летней группы (387 видов, или 62,5 %). Доля представителей весенней группы заметно выше среди фитофагов, что связано с координацией их жизненного цикла с жизненным циклом кормовых растений. Появление энтомофагов запаздывает по сравнению с появлением их жертв, что отражается в повышении среди хищников доли позднелетних видов. Для модельной группы насекомых мух-журчалок разработана более детальная классификация фенологических групп. Выявлены особенности сезонной активности журчалок разной трофической специализации.

При продвижении к северу происходит адаптация жизненных циклов насекомых к более суровым условиям, изменяются фенологические особенности отдельных видов насекомых. Это выражается в уменьшении числа генераций у поливольтинных видов. Виды, которые в более южных широтах размножаются каждый год, на севере могут иметь многолетнюю генерацию. В северных условиях отмечается наступление фенологических фаз при более низкой сумме эффективных температур, чем в южных регионах.

Пока мы не можем сказать достоверно, является ли изменение климата определяющим фактором продвижения этих видов на север. Помимо изменения климата, возможно, более значительное влияние на изменение сезонного цикла насекомых оказывает урбанизация. В городах создаётся особенный метеорологический режим, определяющий условия развития насекомых-вредителей зелёных насаждений и, поэтому способствующий вспышкам их численности. Вследствие этого по-

является необходимость в выявлении видов, особо чувствительных к изменению погодноклиматических условий, а также изучения особенностей их стаиального распределения, трофических связей и фенологии.

Литература

1. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
2. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М.: Высшая школа, 1971. 424 с.
3. Остроушко Т.С., Панюкова Е.В., Пестов С.В. Двукрылые насекомые (Insecta, Diptera) комплекса «гнос» фауны европейского северо-востока России // Беспозвоночные европейского северо-востока России. Сыктывкар, 2007. С. 190–235.
4. Шульц Г.Э. Общая фенология. Л. 1981. 188 с.
5. Природа Сыктывкара и окрестностей / Отв. ред. Л.Н. Соловкина. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1973. 160 с.
6. Пестов С.В. Мухи-журчалки (Diptera, Syrphidae) таёжной зоны северо-востока Русской равнины: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. С-Пб. 2007а. 20 с.
7. Пестов С.В. Обзор сапроксильных журчалок европейского северо-востока России // Беспозвоночные европейского северо-востока России. Сыктывкар, 2007б. С. 236–255.
8. Несина М.В. Новый подход к классификации фенологических данных на примере пядениц (Lepidoptera, Geometridae) // Энтومол. обозрение. 1994. Т. LXXIII. Вып. 3. С. 606–615.
9. Красная книга природы Ленинградской области. Том 3. Животные / Отв. ред. Г.А. Носков. СПб. 2000. 672 с.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭВОЛЮЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА
В ПРИРОДНОЙ И КУЛЬТИГЕННОЙ СРЕДЕ»

20 – 23 октября 2009 года на базе Национального дендрологического парка «Софиевка», который с апреля 2005 года обладает статусом научно-исследовательского института НАН Украины, (г. Умань), была проведена Международная научная конференция «Эволюция растительного мира в природной и культигенной среде», посвящённая 200-летию со дня рождения Чарльза Дарвина и 150-летию его эволюционной теории. Конференция была организована Советом ботанических садов и дендропарков Украины, Национальным дендрологическим парком «Софиевка» НАН Украины и Украинским обществом генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова. В её работе приняли участие 195 человек из Польши, России и Украины. Среди них: 1 академик Украинской академии аграрных наук, 4 член-корреспондента Национальной академии наук Украины, 11 докторов, 36 кандидатов наук, 32 аспиранта, а также магистранты, студенты биологических и агрономических специальностей украинских университетов.

В конференции участвовали представители научных учреждений и высших учебных заведений: НИИ сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова РАСХН, Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН, Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины, Институт ботаники им. М.Г. Холодного НАН Украины, НИИ защищённого грунта, Институт корнеплодных культур УААН, Научный центр экомониторинга и биоразнообразия мегаполиса НАН Украины, НИИ экобиотехнологии и биоэнергетики Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Национальный дендрологический парк «Софиевка» НАН Украины, Ботанический сад Польской академии наук, Главный Ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Ботанический сад-университет Уральского научного центра РАН, Донецкий ботанический сад НАН Украины, Ботанический сад Одесского национального университета им. И.И. Мечникова, Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского, Северо-Осетинский государственный университет, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Уманский государственный педагогический университет им. П. Тычины, Уманский государственный аграрный университет, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Полтавский педагогический университет им. В.Г. Короленко, Винницкий государственный аграр-

ный университет, Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Артёмовская опытная станция института питомниководства и садоводства УААН, опытное хозяйство «Новокаховское» НБС-ННЦ, Государственная научная сельскохозяйственная библиотека УААН.

На конференции были обсуждены теоретические и прикладные проблемы эволюции: видов в природе и в условиях интродукции, растительного покрова, систем размножения, культивируемых растений в селекционном эксперименте, сопряжённых эволюционных процессов в системе «хозяин-паразит», а также дидактичные вопросы преподавания эволюционной теории в высшей школе.

Конференцию открыл директор Национального дендрологического парка «Софиевка» НАН Украины, д. б. н., член-кор. НАН Украины И.С. Косенко. В своём выступлении он отметил, что именно теория выдающегося ученого Чарльза Дарвина дала научное, последовательное, материалистическое решение важнейших проблем биологической науки и является основой современной синтетической теории эволюции. Проблемы, обсуждаемые на конференции, напрямую связаны с основными направлениями деятельности дендрологического парка «Софиевка»: изучение природной и культурной флоры Правобережной лесостепи Украины; сохранения в искусственных условиях в зоне южной части Правобережной лесостепи Украины коллекции живых растений, в том числе редких и исчезающих, а также насаждений и ландшафтных композиций парка; проведение научно-исследовательских работ в области интродукции и акклиматизации растений и охраны растительного мира, а также разработка вопросов ландшафтного паркового строительства; разработка технологий размножения наиболее ценных видов растений и внедрение их в культуру; научно-просветительская работа в области ботаники и охраны природы, декоративного садоводства и ландшафтной архитектуры.

На пленарном заседании выступили: член-корреспондент НАН Украины, д.б.н., зав. отделом генетики клеточных популяций Института молекулярной биологии и генетики НАН Украины В.А. Кунах с докладом о пластичности генома соматических клеток и адаптивности растений; член-корреспондент НАН Украины, д.б.н., председатель Совета ботанических садов и дендропарков Украины Т.М. Черевченко с докладом «Приспособление

орхидных к опылению»; член-корреспондент НАН Украины, д.б.н. С.С. Малюта (Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины) с докладом «Дарвинизм: прошлое и настоящее»; д.б.н., зам. директора по научной работе Научного центра экомониторинга и биоразнообразия мегаполиса НАН Украины Е.Н. Байрак по методике преподавания предмета «Современные взгляды на эволюцию органического мира».

Работа конференции включала 6 секций. В первый день работы конференции были сделаны доклады в секции 1 «Эволюция видов в природе и в условиях интродукции» и в секции 2 «Эволюция растительного покрова». Были представлены доклады об эволюции разных систематических групп растений (отдела Покрытосеменные, родов *Rhododendron*, *Rosa*, *Crataegus*, *Sorbus*, *Malus* и др.), конвергентной эволюции гидрофитов и гелофитов, роли мутагенеза и полиплоидии в видообразовании, генезисе флоры южного Подолья, антропогенной трансформации фитобиоты, эволюции природных экосистем (лугов, степей, лесов), изучении коллекций декоративных растений в ботанических садах.

Во второй день работы конференции проходили заседания в секциях 3 «Эволюция систем размножения», 4 «Эволюция культивируемых растений в селекционном эксперименте», 5 «Дидактические вопросы преподавания эволюционной теории». Были сделаны доклады об использовании мутантных генов в селекции томата, о коллекции сортов сирени, укоренении парковых роз, активации селекционного процесса мягкой озимой пшеницы методом химического мутагенеза и другие. С интересом было воспринято сообщение о генеалогии Чарльза Дарвина, в частности, о славянских корнях его бабушки Мери Говард (докладчик А.И. Опалко).

Для гостей конференции была проведена экскурсия по Национальному дендрологическому парку «Софиевка» НАН Украины. Это выдающееся творение садово-паркового искусства конца XVIII – начала XIX веков мирового значения, достопримечательность паркового строительства и архитектуры Украины. Автором топографического, архитектурного проектов и строительства был польский военный инженер Л. Метцель. История парка началась с 1796 года, когда копались пруды, сооружались водопады, прокладывались аллеи, высаживались деревья местных пород и экзотические растения из разных стран.

В настоящее время парк «Софиевка» занесён в государственный реестр национального культурного наследия, в 2007 году он занял первое место в конкурсе «7 чудес Украины». Современный парк занимает 180 гектаров. В нём произрастает

около 3,5 тыс. видов, форм и культиваров растений, из них 167 хвойных, 122 лиан, более 850 травянистых, 58 видов мохообразных. Здесь есть реликтовые виды, такие как *Fissidens exiguus* Sull., *Zelkova carpinifolia* (Pall.) Dipp., *Gingo biloba* L. и другие.

С 1955 года «Софиевка» как научное учреждение, находится в ведении Академии наук Украины. В 2005 году за выдающийся вклад в развитие ботанической науки и дендрологии парк получил статус научно-исследовательского института Национальной академии наук Украины с четырьмя научными отделами и двумя лабораториями.

Научный гербарий Национального дендрологического парка «Софиевка» НАН Украины внесён в Международный перечень гербариев *Index Herbariorum*, база данных которого находится в Нью-Йоркском ботаническом саду (куратор гербария И.П. Диденко). С 2009 года в гербарии хранятся образцы вятской флоры.

Учёные «Софиевки» плодотворно сотрудничают с польскими коллегами, с научными и образовательными учреждениями Китая, Ботаническим садом университета Грегора Менделя в Брно (Чехия), Кишинёвским ботаническим садом (Молдова) и с Главным ботаническим садом им. Н.В. Цицина РАН и Центральным сибирским ботаническим садом СО РАН.

На заключительном заседании участники конференции отметили значимость и важность исследований, проводимых в русле современной эволюционной теории, результаты которых были представлены на конференции, а также их высокий научный уровень. После плодотворной дискуссии была принята резолюция, в которой предложено продолжить фундаментальные и прикладные исследования актуальных вопросов эволюционной теории в рамках научной тематики учреждений стран-участниц. Синтетическая теория эволюции должна стать основой поиска нового консенсуса и будет содействовать последующему развитию биологической науки. Участники международной конференции поддержали предложение постоянно расширять и углублять международное сотрудничество в отрасли биологических, сельскохозяйственных, исторических и других наук.

И.В. Пуртова, к. с.-х. н. доцент кафедры селекции и семеноводства с курсом защиты растений Вятской государственной сельскохозяйственной академии, А.И. Опалко, к. с.-х. н., доцент, заместитель директора по научной работе Национального дендрологического парка «Софиевка» НАН Украины

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
«ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ЕСТЕСТВЕННОЙ
И АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

г. Киров, 30 ноября – 6 декабря 2009 г.

В 2009 году на базе Вятского государственного гуманитарного университета (ВятГГУ) прошла Всероссийская научная школа для молодёжи «Инновационные методы и подходы в изучении естественной и антропогенной динамики окружающей среды». Школа проведена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям.

Основные направления работы школы: «Биологические аспекты экологических исследований» (руководитель – д.б.н., проф. Н.П. Савиных), «Палеогеографические исследования эволюции растительности, климата, почв и ландшафтов» (руководитель – д.с.-х.н., проф. А.М. Прокашев), «Экологические исследования в оценке состояния окружающей среды» (руководитель – д.т.н., проф. Т.Я. Ашихмина).

В общей сложности в работе Школы участвовало 288 человек из 18 городов России (Арзамас, Белгород, Борок, Вологда, Екатеринбург, Ижевск, Йошкар-Ола, Казань, Киров, Курган, Нижний Тагил, Пермь, Самара, Санкт-Петербург, Саратов, Стерлитамак, Сыктывкар, Уфа). Основной контингент слушателей – студенты старших курсов, бакалавры, аспиранты, молодые учёные, научные сотрудники академических учреждений, преподаватели вузов и специалисты природоохранных служб.

Работа научной школы была организована в виде пленарных лекций, посвящённых общим и методологическим проблемам научных исследований в целом и экологических проблем в частности; специализированных лекций по отдельным проблемам каждого направления Школы; семинарских занятий с элементами практической деятельности; конкурсов научно-исследовательских работ участников; круглых столов по наиболее обсуждаемым в настоящее время проблемам.

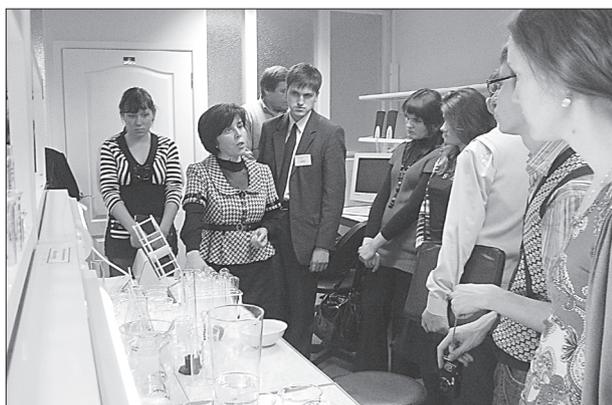
В первый день на открытии научной школы с приветствием выступил проректор по НИР ВятГГУ, д.и.н., профессор В.Т. Юнгблюд. Лекцией «История развития космических исследований» дважды Героя Советского Союза, лётчика-космонавта, д.т.н., члена-корреспондента РАН В.П. Савиных в переполненном зале начались первые занятия молодых участников научной школы. В этот же день для всех участников школы были проведены открытые лекции д.г.н., профессором Института

географии РАН Б.И. Кочуровым «Экодиагностика территорий», «Землепользование и землеустройство на региональном и муниципальном уровнях», «Эффективность регионального природопользования и устойчивое развитие»; д.т.н., профессором Вятского государственного гуманитарного университета Т.Я. Ашихминой «Методология комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного загрязнения»; д.п.н., профессором ВятГГУ Ю. А. Сауровым «Основы методологии деятельности научной школы».

В рамках направления «Биологические аспекты экологических исследований» состоялись лекции: «Биоморфологические аспекты экологических исследований» (д.б.н., профессор Савиных Н.П., ВятГГУ), «Исследования ценопопуляций растений на современном этапе» (к.б.н., с.н.с. Тетерюк Л.В., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), «Динамика флоры естественных и антропогенных экосистем» (Тарасова Е.М., ГПЗ «Нургуш»), «Грибы в наземных экосистемах» (д.б.н., профессор Широких А.А., ВятГГУ).

Участникам были также предложены семинарские занятия по следующим темам: «Методы биоморфологических исследований» (Савиных Н.П., ВятГГУ), «Методы проведения ценопопуляционных исследований редких и охраняемых видов сосудистых растений» (Тетерюк Л.В., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), «Методика изучения активности видов сосудистых растений» (Тарасова Е.М., ГПЗ «Нургуш»), «Изоляция и предварительная идентификация почвенных грибов-микробиот» (Широких А.А., ВятГГУ), «Методы изучения почвенных водорослей» (к.б.н., доцент Кондакова Л.В., ВятГГУ).

В рамках направления «Палеогеографические исследования эволюции растительности, климата, почв и ландшафтов» работы Всероссийской научной школы для молодёжи был прочитан цикл лекций: «Последовательная смена ландшафтов Северной Евразии в связи с эволюцией климата в кайнозое», «Смены эколого-климатических обстановок на пространстве Северной Евразии за последние 130 тысяч лет» (д.г.н., профессор Пахомов М.М., ВятГГУ), «Методы реконструкции растительности и климата по палинологическим данным» (д.г.н., профессор Борисова О.К., Институт географии РАН); «Почвы с полигенетическим профилем как маркеры истории почвенного по-



Рабочие моменты научной школы

крова Вятского Прикамья», «Истории развития почвенного покрова Вятского Прикамья в послеледниковье» (д.с.-х.н., профессор Прокашев А.М., ВятГГУ).

На семинарских занятиях д.г.н. О.К. Борисовой, доц., к.г.н. И.А. Жуйковой, проф., д.с.-х.н. А.М. Прокашева и доц., к.с.-х.н. Н.Д. Охорзина рассмотрены и апробированы возможности использования палинологических, палеопедологических, а также почвенно-географических методов для решения конкретных палеогеографических и других задач.

В рамках направления «Экологические исследования в оценке состояния окружающей среды» состоялись лекции: «Дистанционное зондирование, дешифрирование космических снимков и геоинформационные технологии в экологических исследованиях» (д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор Савиных В.П. Московский государственный университет геодезии и картографии), «Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий» (д.б.н., профессор Л. И. Домрачева, Вятская государственная сельскохозяйственная академия), «Методы и подходы экологической физиологии растений в оценке состояния окружающей среды» (д.б.н., профессор Т.К. Головкин, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), «Биотехнологические методы повышения стрессоустойчи-

вости растений к неблагоприятным экологическим факторам» (д.б.н., с.н.с. Широких И.Г. Зональный НИИ сельского хозяйства Северо-Востока РАСХН им. Н.В. Рудницкого).

В рамках данного направления были проведены семинарские занятия, которые вызвали большой интерес участников школы. На семинарском занятии «Изменение $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -газообмена растений на действие неблагоприятных факторов среды с использованием портативной газометрической системы», которое провёл к.б.н., с.н.с. И.В. Далькэ (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), участники Школы познакомились с современными газоанализаторами, которые используются для определения параметров газообмена растений. На занятии к.х.н. старшего преподавателя ВятГГУ Д.Н. Данилова «Возможности сканирующей зондовой микроскопии при изучении биологических объектов» у участников школы была возможность поработать на сканирующих зондовых микроскопах «Nanoeducator», позволяющих работать с наночастицами. На занятии к.т.н., с.н.с. Г.Я. Кантора «Построение тематических карт экологического содержания средствами ГИС» участники Школы познакомились с компьютерными программами, используемыми для построения карт. Занятие «Использование биотест-систем в оценке воды, почвы, атмосферного воздуха», которое проводили специалисты лаборатории биоиндикации

и биотестирования Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Кировской области к.б.н., с.н.с Т.И. Кочурова, с.н.с. Н.А. Шулятьева, с.н.с. Н.В. Бородина, дало возможность слушателям школы познакомиться с методиками биотестирования, внесёнными в Государственный реестр методик для целей биоиндикации и биотестирования.

В ходе занятий школы были проведены круглые столы: «Новые подходы, методы и методики биологического мониторинга», «Современное состояние и актуальные проблемы естественно-научных эволюционно-генетических исследований окружающей среды», «Инновационные методы и подходы в оценке состояния природных и техногенных территорий». В работе круглых столов приняли участие учёные, в том числе доктора и кандидаты наук из учреждений РАН и образовательных центров, аспиранты, а также студенты.

В рамках школы проведён конкурс научно-исследовательских работ молодых учёных, победители которого награждены дипломами и памятными призами.

По результатам работы научной школы изданы сборники лекций, семинаров и материалов участников Всероссийской научной школы «Инновационные методы и подходы в изучении естественной и антропогенной динамики окружающей среды».

Мероприятия Научной школы (лекции, семинары, индивидуальные консультации, круглые столы, конкурсы научно-исследовательских работ, выставка научной и учебной литературы) позволили добиться высокого уровня освоения участниками школы современных научных и методических отечественных и мировых достижений в области экологии и рационального природопользования. Этому в немалой степени способствовали созданные условия учебной деятельности (специализированные учебные аудитории, современное научное оборудование и средства программного обеспечения).

На заключительном заседании участники школы отметили высокий научный и методический уровень лекций, семинаров, круглых столов, проведённых ведущими отечественными учёными. Каждому участнику научной школы были выданы удостоверения о повышении квалификации государственного образца (всего 138 удостоверений). Участниками было высказано единодушное мнение об успешности прошедшего мероприятия, его полезности и необходимости, а также о целесообразности проведения подобных Научных школ в будущем.

*Т.Я. Ашихмина, д.т.н.,
председатель оргкомитета Научной школы,
С.Ю. Огородникова, к.б.н.,
отв. секретарь Научной школы*

**ВСЕРОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИОЛОГИИ, ЭКОЛОГИИ
И БИОТЕХНОЛОГИИ МИКРООРГАНИЗМОВ»**

В последнюю неделю 2009 года на биологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова состоялся Всероссийский симпозиум по проблемам физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов. Примечательно, что это научное мероприятие было посвящено сразу двум замечательным датам – 125-летию со дня рождения выдающегося русского микробиолога академика РАН Владимира Николаевича Шапошникова и 120-летию со дня рождения другого замечательного русского микробиолога профессора Евгения Евгеньевича Успенского.

Первый день работы симпозиума был посвящён воспоминаниям современников и учеников этих двух выдающихся учёных. С докладами о научной деятельности В.Н. Шапошникова выступили внук учёного академик РАН М.В. Иванов и ученик Владимира Николаевича профессор МГУ Н.С. Егоров. В своих выступлениях они осветили

весь жизненный путь В.Н. Шапошникова и его выдающиеся успехи в области физиологии и эволюции биоэнергетических процессов микроорганизмов. Академик В.Н. Шапошников предстал перед слушателями как основатель оригинальной и прогрессивной школы советских микробиологов в Московском государственном университете, один из создателей отечественной промышленной микробиологии. Владимир Николаевич принадлежит к славной плеяде учёных и воспитателей Московского университета.

Жизненному пути выдающегося микробиолога, альголога и гидробиолога Е.Е. Успенского был посвящён доклад Н.Н. Колотиловой. Жизнь Е.Е. Успенского проходила на фоне ярких событий и крутых поворотов в истории России, повлиявших на его судьбу и отразившихся в биографии. Е.Е. Успенский внёс заметный вклад в распространение научных знаний, органи-

зацию и развитие науки: он был профессором Московского университета и ряда других вузов, основателем кафедры микробиологии в МГУ и основоположником Московской школы микробиологов, основателем журнала «Микробиология». Но в 1938 году жизнь Е.Е. Успенского трагически оборвалась: в числе многих своих современников он был репрессирован и, как стало известно много позднее, расстрелян. На несколько десятилетий имя опального учёного было вычеркнуто из истории науки, а многие документы и научные материалы утрачены. В докладе сделана попытка более полно воссоздать канву и историю научной деятельности Е.Е. Успенского, используя имеющиеся публикации, архивные материалы, а также некоторые косвенные данные и другие источники. Текст доклада «О жизненном пути Е.Е. Успенского» опубликован отдельной брошюрой, а многие сведения, приведённые в этом докладе, публикуются впервые.

Второй день работы симпозиума начался с открытия стендовой сессии, на которой были представлены доклады по разным отраслям микробиологии. Среди стендовых докладов особо привлекали внимание сообщения, посвящённые люминесцентным фотобактериям и их использованию в биомониторинге загрязнённых сред; биосенсорам для детекции экотоксикантов в водных системах; аборигенной микрофлоре, как перспективным объектам экологических биотехнологий; а также многие другие интересные постеры. Следует отметить, что все стенды выполнены на высоком техническом уровне, а сама сессия была очень интересной и вызвала много дискуссий среди участников симпозиума.

Пленарная сессия была открыта докладом академика М.В. Иванова (ИНМИ РАН) «Биогеотехнология микроорганизмов», в котором излагались основные научные достижения в технологии использования микроорганизмов в обогащении руд полезных ископаемых и нефтеносных пластов. Разработанная автором технология бактериально-химического окисления золотосодержащего концентрата арсениспиритных руд позволяет повысить содержание золота с 6 до 120 г на тонну концентрата.

Два следующих пленарных доклада профессоров А.И. Нетрусова и А.А. Цыганкова были посвящены микробным биотехнологиям получения альтернативных источников топлива. В современных условиях энергетического кризиса исследования в этом направлении являются очень актуальными. Профессором А.И. Нетрусовым была представлена лабораторная установка по биоконверсии этанола в углеводородное топливо, что позволяет в 14 раз повысить его эффективность как топлива.

Теоретическим и прикладным аспектам микробной экологии был посвящён доклад профессора А.М. Семёнова. В своём сообщении автор изложил основные экологические концепции применительно к миру микроорганизмов. На основании многолетних исследований автором предложена концепция волнообразного развития микробных популяций в природных средах и разработана экспериментальная модель ризосферы. Амплитуда колебаний кривой, отражающей состояние микробных сообществ в динамике, может быть использована для расчёта индекса устойчивости почв к различным экологическим факторам.

Секционные доклады были посвящены вопросам физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов. В экологическом плане большой интерес вызвали доклады, посвящённые использованию микроорганизмов как стимуляторов роста растений (Доронина Н.В., ИБФМ им.Г.К. Скрыбина; Широких А.А. и др., НИИСХ Северо-Востока); применению микроорганизмов для биомониторинга и восстановления техногенно нарушенных сред (Исмаилов А.Д., МГУ; Сморгалов И.А., Институт экологии растений и животных УрО РАН; Сироткина М.С., МГУ), использованию микроорганизмов для биоконверсии отходов различных производств (Абрамов С.М., МГУ).

В целом симпозиум прошёл в атмосфере интересных научных дискуссий. Участникам симпозиума была предложена интересная экскурсия в учебно-научный Музей земледения. Многочисленные экспозиции этого уникального музея расположились на пяти верхних этажах главного корпуса университета и рассказывают о планете Земля во всём её многообразии. Богатая и разнообразная натурная коллекция, научная графика, рельефные макеты, ландшафтная живопись создают впечатляющий образ нашей планеты. На фотографических и скульптурных портретах запечатлены выдающиеся естествоиспытатели России и мира. Экспозиция музея рассказывает о происхождении, строении и эволюции Земли, землетрясениях и вулканах, об удивительном мире минералов, о происхождении жизни, о тайнах океанов и морей, о природных зонах, о глобальных и региональных экологических проблемах. Расположение музея в высотной части главного здания МГУ позволяет с высоты птичьего полёта полюбоваться прекрасной панорамой Москвы.

В заключение хочется поблагодарить организаторов симпозиума за прекрасную организацию и проведение этого научного мероприятия.

*А.А. Широких, ГУ НИИСХ
Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого*

**КАК, РЕШАЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ,
НАПРАВИТЬ РОССИЮ В РУСЛО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ?
(РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ «ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ»)**

Мировой экономический кризис поставил на повестку дня вопрос об устойчивом развитии, и в нашей стране активно разрабатываются, анализируются различные программы антикризисных мероприятий. В этой связи представляет серьезный интерес учебное пособие «Экологический менеджмент в условиях глобализации экономики», которое вышло в 2009 году в Издательстве «КолосС» (тираж 10000 экз). Пособие подготовлено коллективом авторов: С.М. Сухоруковой, П.В. Сухоруковым, Е.И. Хабаровой, И.С. Прониным, В.М. Туминым и предназначено студентам для использования при изучении курсов: «Экологический менеджмент», «Экономика природопользования и природоохранных мероприятий», «Управление охраной окружающей среды», «Экономика и управление на предприятиях химической промышленности».

В учебном пособии:

- рассматриваются различные подходы к определению феномена глобализации, её последствий, дестабилизирующих развитие национальных экономик;
- даётся сравнительный анализ концепций глобализации экономики (с позиции социо-эколого-экономически устойчивого развития) в рамках институциональной и либеральной теории экономики;
- предлагается система институтов для управления процессом перехода к социо-эколого-экономически устойчивому развитию России;
- раскрывается содержание экологического менеджмента и условия его применения на уровне мета-, макро- и микроэкономики при решении задач перехода мирового сообщества к устойчивому развитию;
- показывается роль международных, национальных зарубежных и российских коммерческих банков в решении социо-эколого-экономических проблем устойчивого развития;
- рассматривается изменение климата как фактор социо-эколого-экономического риска;
- анализируется содержание Киотского протокола и механизмы его реализации.

Существенной особенностью учебного пособия является то, что решение проблем авторами даётся в рамках не «рыночно-либеральной», а «институциональной» теории экономики. Авторы исходят из того, что при сложившихся тенденциях глобализации только институциональное направление экономической теории по-

зволяет найти способы экологически безопасного и экономически эффективного использования природных ресурсов России при одновременном решении её социальных проблем (банкротства градообразующих предприятий и безработицы, растущей примитивизации подготовки кадров и т. д.). С этой целью внимание уделено задачам формирования диверсифицированной экономики с преобладающим удельным весом наукоёмких отраслей перерабатывающей промышленности как основе социо-эколого-экономически устойчивого развития России. Это, по мнению авторов, может служить основой антикризисных программ, способствуя устойчивому развитию России как в кратко-, так и в долгосрочной перспективе. Причём, как видно из содержания книги, воссоздание многоотраслевой экономики не направлено на возврат России к изоляции от мирового сообщества. Авторы учебного пособия придерживаются того мнения, что глобализация – это объективный, исторически неизбежный процесс, но России следует использовать его преимущества, не превращаясь в экологическую колонию для развитых стран. При этом следует заметить, что в этом вопросе содержание учебного пособия представляет не только позицию авторов, но знакомит и со взглядами других отечественных и зарубежных экономистов.

Итак, решение проблем перехода к устойчивому развитию рассматривается в условиях глобализации. Глобализация – это интернационализация всех факторов производства: рынков капитала, рабочей силы, научной информации и главное – природных ресурсов. Интернационализируются и воспроизводственные процессы. При этом глобализация порождает технологическое сближение стран в сфере промышленного производства, которое основано на технологиях, поддающихся унификации. Это способствует возникновению такого феномена, как «международное технологическое» разделение труда. Цепь технологических стадий промышленного производства оказывается «распределённой» между различными странами. Но интернационализация промышленного производства становится той особенностью глобализации, которая определяет её негативные экологические последствия, поскольку Транснациональные корпорации (ТНК) целенаправленно перебазируют наиболее «грязные» стадии производства на территории развивающихся стран. Проникая в другие страны, ТНК стремятся подчинить их природные ресурсы технологическим интересам

развитых стран. В результате появляются «экологические колонии». Если на их территории, помимо добывающей, сохраняется и перерабатывающая промышленность, то преимущественно в наиболее энерго-, водоёмких технологических стадиях. При этом наукоёмкие звенья в цепи промышленных технологий развитые страны сосредотачивают на своих территориях и объявляют о своём переходе к «постиндустриальной», «информационной» стадии цивилизации. Но начавшееся ухудшение экологической ситуации в странах базирования промышленного производства начинает негативно сказываться на глобальной экологической ситуации. В результате в мире растёт осознание экологической взаимозависимости стран. Поэтому развитые страны выходят на стандартизацию нормативов производственной деятельности с точки зрения их экологической чистоты. Эти меры, безусловно, способствуют повышению экологической культуры в промышленности тех стран, которые отстали в этом отношении. Однако сам характер международного «технологического» разделения труда, складывающегося за последние десятилетия, продолжает настораживать, поскольку он породил не только экологические, но и связанные с ними социальные и экономические последствия, которые дестабилизировали развитие многих национальных экономик. Это касается и России. Тем не менее наблюдается заметное ускорение процессов глобализации. Тут играет большую роль то, что заключение всякого рода сделок легко преодолевает национальные границы благодаря появлению компьютерных технологий, которые, создав техническую основу для виртуализации финансовой сферы, способствовали тому, что мировой финансовый рынок стал более интегрированным и масштабным. На этом фоне возросла роль международных банков, в частности, при определении направлений транснациональных инвестиционных потоков в сфере природопользования. Особенностью рецензируемого учебного пособия является то, что в нём даётся материал (до сих пор не встречавшийся в учебных пособиях по экологическому менеджменту) по той роли коммерческих банков, которую они могут играть в решении эколого-экономических проблем. Даются примеры позитивной роли национальных банков ряда зарубежных стран, при этом формулируются причины того, почему такой роли не выполняют коммерческие банки в России. Дается анализ недостатков природоохранной деятельности на территории России таких банков, как Всемирный и Европейский банк реконструкции и развития. Мировой экономический кризис, начавшийся в 2008 году, показал общую зависимость стран от финансовой глобальной системы. При этом становится всё более

очевидным, что для обеспечения устойчивого развития и финансовой сферы необходимо изменение эколого-экономической политики развития реального сектора. Содержание такой политики авторы предлагают в своём учебном пособии.

Для реализации социо-эколого-экономического устойчивого развития важное значение приобретает наличие многоуровневой системы экологически ориентированного менеджмента. Экологический менеджмент, представляющий собой «гибкое» управление при наличии неизвестных параметров, является инструментом постоянной адаптации общества к условиям его существования и, в частности, вариантом коэволюционных возможностей компонентов биосферы, к которым относится и человечество.

Исходные инициативы международного бизнес-сообщества по противостоянию локальным и региональным негативным тенденциям в окружающей среде представляли собой добровольные кодексы, направленные на улучшение поведения корпораций в экономической и социальной сферах и на повышение их престижа. Метеорологические изменения планетарного масштаба заставили развитые страны повернуться лицом к экологическим проблемам, осознать экологическую взаимозависимость стран и выступить инициаторами заключения первого глобального соглашения по предотвращению катастрофических изменений климата, известного как Киотский протокол. Несомненное достоинство протокола заключается в использовании экономических механизмов для решения глобальных экологических проблем. В настоящее время Киотский протокол стал катализатором проведения «климатической» политики, важными элементами которой являются унификация нормативов производственной деятельности с точки зрения их экологической чистоты, принятие мер по повышению энергоэффективности и энергосбережению, всесторонней политики по адаптации экономики к изменению климата.

Конечно, при этом были учтены не все моменты устойчивого развития России и глобализирующейся экономики. Внимание сконцентрировано лишь на экологическом аспекте устойчивости и связанных с этим социальных и экономических проблемах.

Подводя итог, хочу высказать мнение, что пособие полезно не только студентам, оно может быть интересно работникам реального сектора экономики и читателям, интересующимся вопросами глобализации и экологического менеджмента.

О.В. Макаров, профессор кафедры «Экономика и организация химического производства» МИТХТ им. М.В. Ломоносова

К публикации принимаются статьи в соответствии с тематикой журнала, объёмом (включая подписи к рисункам, таблицы, аннотацию и список литературы) до 16 машинописных страниц.

В предлагаемых для публикации научных статьях должно содержаться:

- обоснование актуальности,
- чёткая постановка целей и задач исследования,
- методика, результаты и их обсуждение, заключение или выводы.

Заглавие должно быть кратким (8-10 значащих слов), информативным и по возможности точно отражать содержание статьи.

Статья должна иметь индекс УДК.

К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (объёмом до 400 знаков), **ключевые слова (до 6 слов и словосочетаний)**. В английском переводе перед текстом аннотации помещается английское название статьи, инициалы и фамилия автора в английской транскрипции, название учреждения и почтовый адрес на английском языке.

Все материалы должны быть набраны в текстовом редакторе Word книжным шрифтом (14 кегль) с одной стороны листа бумаги стандартного формата (А4). На странице рукописи должно быть не более 30 строк, отпечатанных через 1,5 интервала, в каждой строке не более 65 знаков, включая пробелы между словами. Все поля рукописи должны быть не менее 20 мм. Размер абзацного отступа – 5 знаков.

Ссылки на литературу даются цифрами в квадратных скобках по порядку упоминания в тексте.

Список литературы прилагается в конце статьи. Приводятся фамилии всех авторов и полное название цитируемой работы. Следует строго соблюдать следующий порядок библиографического описания.

Для журнальных статей:

1. Кабилов Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408-411.

2. Gautret P., De Wit R., Camoin G., Golibic S. Are environmental conditions recorded by the organic matrices associated with precipitated calcium carbonate in cyano-bacterial microbialites? // Geobiology. 2006. V. 4. № 2. P. 93-107.

Для сборников научных трудов, материалов конференций и тезисов докладов:

1. Левин С.В., Гузев В.С., Асеева И.В., Бабьева И.П., Марфенина О.Е., Умаров М.М. Тяжёлые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5-46.

2. Мишарин С.И., Колесниченко А.В., Антипина А.И., Войников В.К. Влияние низких температур на синтез белков озимой ржи и пшеницы // 2-й съезд Всерос. о-ва физиологов раст.: Тез. докл. Ч. 2. М. 1992. С. 139.

3. Ханисламова Г.М. Использование коллембол для лабораторной оценки токсичности загрязняющих почву

соединений // Проблемы охраны окружающей среды на Урале. Уфа. 1995. С. 152-157.

Для авторефератов диссертаций:

1. Ступникова И.В. Термостабильные белки злаков в период низкотемпературной адаптации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: СИФИБР СО РАН. 2001. 20 с.

Для монографий:

1. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1973. 141 с.

Таблицы не должны быть громоздкими. Каждая таблица должна иметь порядковый номер и название. Табличный материал приводится в тексте. Нумерация таблиц сквозная. Не следует повторять и пересказывать в тексте статьи цифры и данные, приведённые в таблицах.

Рисунки предоставляют с приложением подрисуночных подписей для всех рисунков на отдельной странице. Рисунки снабжаются всеми необходимыми цифровыми или буквенными обозначениями, пояснениями в подписях к ним. На обороте каждого рисунка карандашом указывается его номер и фамилия авторов.

Иллюстративные материалы выполняются в программах Corel DRAW, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator. Электронный вариант каждой таблицы и рисунка записывается в отдельный файл в формате программы, в которой они были созданы. Подписи к иллюстрациям следует давать отдельным списком.

Фотоснимки (размером не менее 9x12 см) представляются с чётким, контрастным изображением и хорошо проработанными деталями. На обороте иллюстрации необходимо указать фамилию автора, название статьи и номер рисунка. Ксерокопии не принимаются.

Направляемая в редакцию статья должна быть подписана всеми авторами с указанием фамилии, имени и отчества (полностью) и содержать следующие данные: наименование организации, в которой выполнена работа, должность, учёная степень и звание, почтовый адрес, телефоны (рабочий и домашний), факс, адрес электронной почты автора (соавторов), отпечатанные на отдельном листе. В названиях учреждений не следует использовать сокращения.

Для публикации представляется электронный вариант (на магнитном носителе или пересылкой по электронной почте) и распечатка статьи в двух экземплярах. К статье прилагается экспертное заключение о возможности публикации материалов в открытой печати.

При несоблюдении этих требований статья не рассматривается редакцией и возвращается авторам на доработку. Статьи проходят обязательное рецензирование. **Рецензия авторам предоставляется.** Решение о принятии их для публикации в журнале принимается на заседании редколлегии.

Экземпляр журнала с опубликованной статьёй авторам не высылаётся и распространяется только по подписке. Гонорар не выплачивается. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**

Электронный вариант и бумажная копия статьи автору не возвращаются.