



Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ № 1, 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, Gilyarovsky St., JSC «MK-Periodica»

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

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

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

Подписано в печать 07.02.2009. Формат 60x84 $\frac{1}{8}$. Печать офс. Бумага офс. Усл.п.л. 12,5. Тираж 1150 экз. Заказ № 1376.

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННЫХ СОВЕТОВ

Н.П. Лавёров

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

ПРЕЗИДИУМ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

В.А. Грачёв

д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН, председатель Общественного совета Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору

В.И. Холстов

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

В.Н. Чупис

д.ф.-м.н., директор ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии к.э.н., директор ОАО «Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт «Кировпроект»

В.Г. Ильницкий

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

В.А. Алексеев

В.А. Антонов

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

С.И. Барановский

Г.А. Баталова

Л.И. Домрачева

Г.П. Дудин

И.А. Жуйкова

Л.Л. Журавлёва

Г.М. Зенова

В.И. Измалков

Г.Я. Кантор

Б.И. Кочуров

Г.Г. Кузяхметов

В.И. Курилов

В.З. Латыпова

В.Н. Летов

Ли Юй

В.А. Малинников

А.Г. Назаров

Ю.Г. Пузаченко

В.П. Савины

В.А. Сысуев

В.И. Теличенко

Т.А. Трифонова

А.И. Фокин

В.Т. Юнгблюд

О.В. Яковенко

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

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

д.б.н., профессор, проректор по науке Вятской государственной сельскохозяйственной академии к.г.н., доцент Вятского государственного гуманитарного университета

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

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

д.т.н., профессор Военной Академии Генштаба МО РФ к.т.н., научный сотрудник лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН

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

д.б.н., профессор Башкирского государственного университета

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

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

д.м.н., профессор Российской медицинской академии последипломного образования Министерства здравоохранения России

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

<i>Т.А. Зубкова, Л.О. Карпачевский</i> Нанотехнологии в почве	4
<i>Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, Л.Б. Попов, Ю.Н. Зыкова</i> Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор)	8

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ

<i>В.Ю. Охалкина, Б.А. Шабалин</i> Методы поддержания микробных культур. Часть I. Криоконсервация	18
<i>В.П. Иванов, С.И. Марченко, Н.В. Акименков</i> Экологическое состояние окружающей природной среды по показателям стабильности развития березы повислой	28

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

<i>А.А. Абрамова, В.Г. Исаков</i> Оценка вклада сточных вод объекта уничтожения химического оружия в г. Камбарке в общее загрязнение водных объектов	33
<i>М.В. Радкевич, В.Е. Радкевич</i> Можжевельниковые деревья – индикаторы степени загрязнённости воздуха	38

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

<i>В.С. Петросян</i> Диоксины: пугало или реальная угроза?	41
--	----

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>В.А. Алексеев, А. Хедр, Е.М. Козаченко</i> Снижение влияния аварийных сбросов в системах фильтрации сточных вод	48
--	----

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

<i>М.В. Россинская, Н.Г. Трегулова, Н.П. Россинский</i> Оценка эффективности основных способов обеззараживания шахтных вод	54
--	----

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

<i>В.Н. Чупис, И.В. Панов, В.И. Быстренина, Л.Л. Журавлёва</i> Совершенствование и унификация процесса паспортизации отходов производства	61
---	----

АГРОЭКОЛОГИЯ

<i>Е.П. Янин</i> Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек агроландшафтов (формирование, состав, экологическая оценка)	66
<i>О.А. Поладич, Л.Н. Шихова, Е.А. Русских, Е.М. Лисицын</i> Изменение морфофизиологических параметров овса и ячменя под действием высоких концентраций алюминия и кадмия	72

ЭКОЛОГИЯ И ВОЕННО- ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС

<i>В.М. Кузнецов</i> Безопасность объектов использования атомной энергии в постчернобыльский период	78
---	----

ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>А.Н. Ляпунов</i> Влияние антропогенной трансформации ландшафтов на распространение, видовое разнообразие и численность рукокрылых (<i>Chiroptera: Vespertilionidae</i>) в бассейне реки Вятки	89
--	----

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ ПРЕДПРИЯТИЯ ХРОНИКА

<i>В.А. Сысуев, И.А. Устюжанин</i> Аграрная наука – экологические аспекты	95
---	----

<i>С.Ю. Огородникова, Т.Я. Ашихмина</i> VI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития»	98
--	----

БИБЛИОГРАФИЯ

Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий (коллективная монография под ред. Т.Я. Ашихминой, Н.М. Алалыкиной)	100
--	-----

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS of ECOLOGY

<i>T.A. Zubkova, L.O. Karpatchevskiy</i> Nanotechnologies in Soil	4
<i>L.I. Domracheva, L.V. Kondakova, L.B. Popov, Yu.N. Zikova</i> Bioremediation Potential of Soil Cyanobacteria (review)	8

METHODOLOGY And METHODS of RESEARCH. MODELS And FORECASTS

<i>V.Yu. Okhapkina, B.A. Shabalin</i> Methods of Microbe Cultures Sustenance. Part I. Cryoconservation	18
<i>V.P. Ivanov, S.I. Marchenko, N.V. Akimenkov</i> Ecological State of the Natural Environment According to the Indices of <i>Betula pendula</i> Growth Stability	28

MONITORING of ANTHROPOGENICALLY DAMAGED TERRITORIES

<i>A.A. Abramova, V.G. Isakov</i> Estimation of Kambarka Chemical Weapon Destruction Object Drain Water Impact on Overall Water Objects Contamination	33
<i>M.V. Radkevitch, V.E. Radkevitch</i> Juniper Trees as Air Contamination Indicators	38

ECOTOXICOLOGY

<i>V.S. Petrosyan</i> Dioxyns: Scarecrow or Real Threat?	41
--	----

ECOLOGICAL RISK And ECOLOGICAL SAFETY

<i>V.A. Alekseyev, A. Khedr, E.M. Kozachenko</i> Reducing Emergency Emissions Influence on Drain Water Filtration Systems	48
---	----

INDUSTRY ECOLOGY

<i>M.V. Rossinskaya, N.G. Tregulova, N.P. Rossinskiy</i> Evaluation of the Main Ways of Mine Water Disinfection	54
---	----

ECOLOGICAL EXPERTISE

<i>V.N. Chupis, I.V. Panov, V.I. Bistrenina, L.L. Zhiravleva</i> Perfection and Unification of Production Residue Certification Process	61
---	----

AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>E.P. Yanin</i> Technogenic Geochemical Associations of Small Rivers Bed Sediments in Agricultural Landscapes (origin, structure, ecological assessment)	66
<i>O.A. Poladitch, L.N. Shikhova, E.A. Russkikh, E.M. Lisitsyn</i> Change in Morphological-physiological Characteristics of Oats and Barley under the Influence of High Concentration of Aluminum and Cadmium	72

ECOLOGY And MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX

<i>V.M. Kuznetsov</i> Safety the Objects that Use Atomic Energy in Post-Chernobyl Period	78
--	----

ECOLOGY of POPULATIONS

<i>A.N. Lyapunov</i> The Impact of Anthropogenic Landscape Transformation on Spread and Specific Diversification and Number of <i>Chiroptera: Vespertilionidae</i> in the Vyatka River Basin	89
--	----

ECOLOGICAL PORTRAIT OF ENTERPRISE

<i>V.A. Sysuyev, I.A. Ustuzhanin</i> Agrarian Science – Ecological Aspects	95
--	----

CHRONICLE

<i>S.Yu. Ogorodnikova, T.Ya. Ashikhmina</i> VI All-Russia Scientific-Practical Conference with International Participation «The Problems of Regional Ecology in Conditions of Sustainable Development»	98
--	----

BIBLIOGRAPHY

The Collective Monograph under the Editorship of T.Ya. Ashikhmina, N.M. Alalikina «Bioindicators and Biotesting Systems in Estimating the Environment of Technogenic Territories»	100
---	-----

Нанотехнологии в почве

© 2009. Т.А. Зубкова, д.б.н., ведущий научный сотрудник;
Л.О. Карпачевский, д.б.н., профессор
МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,
e-mail: zubkova@soil.msu.ru

Показано, что образовалась новая область почвоведения – молекулярное почвоведение, связанное с изучением почвенных ксенообъектов, к которым относятся частицы, составляющие коллоидную фракцию, микроорганизмы, почвенная матрица.

It is shown that a new branch of Soil Studies has been developed – Molecular Soil Studies. This branch deals with soil xeno-objects, such as particles that constitute colloidal fraction, microorganisms, soil matrix.

Ключевые слова: наноустройства, нанообъекты, почвенная матрица, организация микроорганизмов

Нанотехнологии

Нанотехнология — это область знания, ориентированная на изучение материалов, а также методов и приёмов, обеспечивающих возможность создавать и модифицировать объекты из компонентов с размерами частиц менее 100 нм. Размер объектов, с которыми имеют дело нанотехнологи, лежит в диапазоне от 0,1 до 100 нм. Нанометр (нм) очень и очень мал. Большинство атомов имеют диаметр от 0,1 до 0,2 нм, а толщина нитей ДНК – около 2 нм. Диаметр эритроцитов – 7000 нм, а толщина человеческого волоса – 80 000 нм. Нанообъекты встречаются во многих природных телах. Так, в наших почвах размеры частиц колеблются от нескольких млн. нм до 2 – 1 тыс. нм и меньше 100 нм. Следовательно, в почвах есть наночастицы с особыми свойствами.

Объектами нанотехнологий могут быть макроскопические тела, атомарная структура которых создаётся и контролируется с разрешением на уровне отдельных атомов. К наночастицам и нанопорошкам относят объекты, в которых три характеристических размера находятся в диапазоне до 100 нм. Нанотрубки и нановолокна имеют размеры в диапазоне до 100 нм, а у наноплёнок хотя бы один характеристический размер должен находиться в диапазоне до 100 нм.

Почему такое ошеломляющее внимание к таким мелким частицам, в чём загадка и в чём их возможности? Когда-то Демокрит, а за ним и Лукреций высказали мысль, что наименьшее количество данного вещества –

атом, неделимый. Но наименьшее количество вещества – скорее, его молекула. И вот, оказалось, что молекула или группа молекул вещества могут иметь совершенно иные свойства по сравнению с самим веществом. Стало ясно, что наблюдается зависимость свойств объекта от размеров наночастиц. Причина этому – квантовые эффекты и эффекты межмолекулярных взаимодействий, такие как Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия, которые проявляются в средах с наночастицами. Например, ионизация атомов, флуоресценция, энергия отрыва валентного электрона, электропроводимость, адсорбционные и каталитические свойства зависят не только от заряда атомного ядра и положения электрона в атоме, а также и от размера наночастиц.

Разнообразие свойств среди нанообъектов одного и того же вещества связано со способностью этих частиц самоорганизовываться. Поэтому один из важнейших вопросов, стоящих перед нанотехнологией — как заставить молекулы группироваться определённым способом, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства.

Наноконструкторы в природе

В природе действительно существуют подобные системы и осуществляются подобные процессы. Так, известны биополимеры, способные организовываться в особые структуры. Один из примеров — белки, которые не только могут сворачиваться в глобулярную форму, но и образовывать

комплексы — структуры, включающие несколько молекул протеинов (белков).

Мы сами состоим из устройств, которые прекрасно научились работать с нанообъектами. Это наши клетки — кирпичики, из которых состоит наш организм. Клетка всю свою жизнь работает с нанообъектами, собирая из различных атомов молекулы сложных веществ. Собрав эти молекулы, клетка размещает их в различных частях — одни оказываются в ядре, другие — в цитоплазме, а третьи — в мембране.

В абиотической среде также существуют наноконструкторы, которые руководят процессами роста кристаллов, когда из атомов и молекул образуется целый минерал определённой, характерной именно для него формы. Человек ещё не овладел нанотехнологиями, которыми владеет каждая клетка человека, однако выращивать кристаллы с заданными свойствами уже научился (искусственные кристаллы для лазеров, ювелирных изделий и др.).

А что же почва? Почва — это биокосная природная среда, где живое и неживое сосуществуют нераздельно. Почва — это тоже нанореактор, и в ней осуществляются механизмы, воссоздать которые мы пока не можем, но вправе их распознать для того, чтобы управлять и манипулировать свойствами почвы.

Нанустройства в почве

В почве также существуют нанообъекты. Это, в первую очередь, мельчайшие элементарные частицы, которые составляют коллоидную фракцию гранулометрического состава по-

чвы. В разных почвах их содержится разное количество — от 1 до 40 и более процентов от массы почвы.

К нанообъектам можно отнести и микроорганизмы, правда, их размеры намного больше 100 нм. Меньшие размеры имеют вирусы, но об их распространении в почве пока ещё мало информации (где-то на уровне 10000 вирусных частиц в одном грамме почвы). Главный нанообъект в почве — почвенная матрица, с ней связана работа всех почвенных нанореакторов [1, 2]. Матрица относится к наноплёнкам, поскольку имеет толщину в несколько нанометров, хотя общая площадь матрицы может превышать наноразмеры. Матрица представляет поверхность твёрдых частиц, по химическому составу она может быть минеральной, органической и органо-минеральной, а также и биологической, когда речь идёт о поверхности микроорганизмов. Матрица неоднородна, выделяются активные элементы — это центры различной природы (кислотные, основные). Активные центры различаются также и по «силе» — энергии связи с другими соединениями. Энергетическое поле активных центров распространяется на расстояния в несколько десятков нанометров от геометрической поверхности (СВВ1С1 — матрица, ВВ1 — геометрическая поверхность матрицы, ВАА1В1 — зона влияния матрицы на рис. 1) и таким образом расширяет зону влияния матрицы (рис. 1).

Формирование агрегатной структуры

Одним из нанотехнологических процессов, созданных самой почвой, можно считать образование почвенной структуры. О механизмах

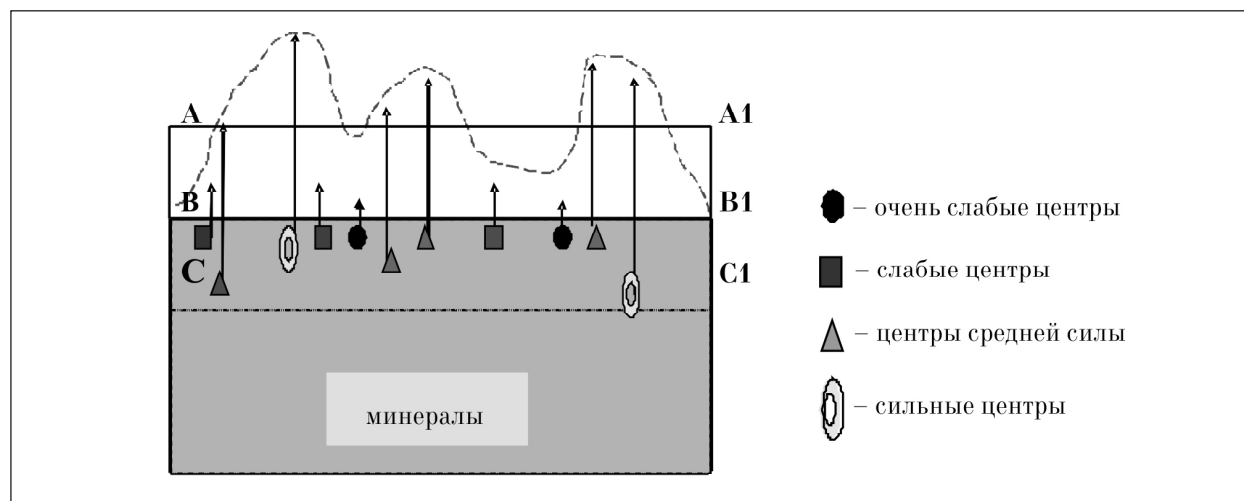


Рис.1. Схема дальнего действия энергетически неоднородных активных центров минеральной поверхности (пояснения в тексте)

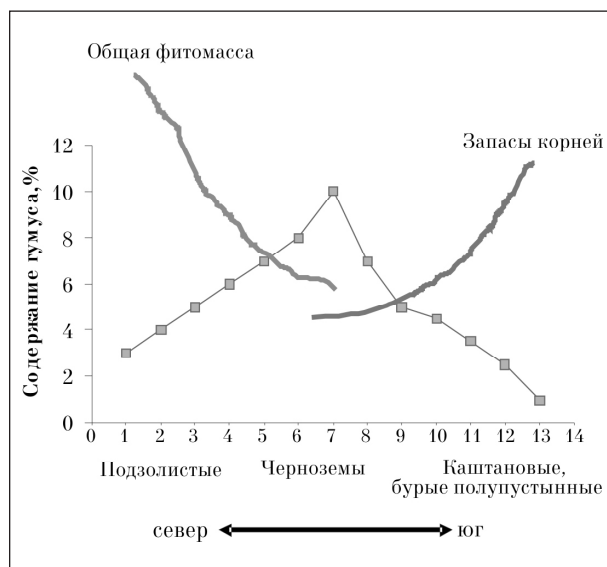


Рис.2. Распределение фитомассы, запаса корней и гумуса в экосистемах Европейской части России (по Л.О. Карпачевскому, 2005)

формирования агрегатов известно много [3], однако до сих пор не удаётся их синтезировать. Это означает одно: человек ещё не овладел природными нанотехнологиями по образованию агрегатов. Правда, внесение в почву небольших доз производных акриловой кислоты способствовало формированию почвенных агрегатов, но это единственный пример искусственного создания почвенной структуры. Подтверждение этому – почвогрунты или газонные смеси, которые после первого дождя размываются. Показано, что именно поверхностные свойства отвечают за формирование контактов и прочностных свойств агрегатов, а не химический состав частиц [1].

Организация органического вещества в гумусе. Это работа другого наноконструктора в почве, хотя в основе его опять лежит матрица, сначала исходная минеральная, а потом уже и сама органоминеральная. Разберёмся в этом процессе подробнее. О том, что гумус в почве – не просто набор или смесь органических соединений, а целостная система, система органических веществ по М.И. Дергачёвой [4], говорит его относительная стабильность и компонентный состав. Во-первых, 35 – 45% от гумуса составляет негидролизующий остаток, который невозможно отделить от минеральных компонентов, причём он постоянен, независимо от зонального типа почв [5]. По убыванию прочности связи с минералами компоненты гумуса располагаются в ряд: гумин > гуминовые кислоты > фульвокислоты > водорастворимое органическое вещество, т. е. поддерживается определённая органи-

зация органических соединений. Гумус – не только стабильная, но и динамическая система, хотя участвует в обменных реакциях его незначительная часть. Фрагментарный обмен составляет 0,01 – 0,001% в год по А.Д. Фокину [6].

Как же образуется такая организованная система гумусовых веществ? Источники гумуса известны (растительные остатки и микроорганизмы), но кто готовит гумус в почве? Если главный поставщик органических компонентов в почву растительность, то где же связь содержания гумуса в почве с фитомассой? Её нет (рис. 2). Также не обнаружено влияния и массы корней различного диаметра [7]. С организмами тоже странные «штучки» наблюдаются. Так, максимальная активность организмов отмечается в подстилке, но чем мощнее подстилка, а значит, и больше организмов в ней, тем меньше образуется гумуса в почве.

Переработка органического вещества, поступающего в почву, осуществляется ферментами как внутри организмов, так и внеклеточными. При этом все обнаруженные в почвах внеклеточные ферменты работают на разложение органических субстратов. Имобилизованные ферменты, способствующие синтезу полимеров, в почве пока не найдены. Но в почве работают и абиотические катализаторы, в частности, глинистые минералы, которых «хоть отбавляй». Долгое время внимание уделялось организмам и ферментам и недооценивалась роль минеральных катализаторов в почве. А ведь в их присутствии, т. е. на поверхности, происходят процессы, приводящие к укрупнению органических молекул. В отсутствии же минералов процессы не идут, хотя есть реагирующие компоненты, и микроорганизмы присутствуют. Внутри микроорганизмов не найдено высокомолекулярных компонентов гуминовых кислот, т. е. они не могут синтезировать гумус и накапливать его в почве. Выходит, что минеральная матрица служит плацдармом для формирования гумусоподобных веществ, гумусовых полимеров и контролирует этот процесс.

Таким образом, биохимическая схема показывает, что микроорганизмы переводят органические вещества в разные формы, создавая предгумусовые компоненты, а сам гумус – процесс физико-химический и контролируется минеральной матрицей почв.

Организация микроорганизмов в почве происходит по нескольким параметрам: по структуре, по функциональным особен-

ностям микроорганизма, морфологическим свойствам и др. Главный организатор микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности в почве – это почвенная матрица, на которой все они закрепляются с разной силой. Свободно «плавающих» и «летающих» в почве почти нет, ведь она часто пересыхает (следовательно, раствора нет) или, напротив, обводнена (значит, воздуха нет). Причем адгезия клеток бывает необратимая [8]. А раз они закреплены на матрице, то возникает вопрос: они по собственному желанию связываются с почвенными частицами, или по необходимости. И кто их принуждает? Матрица? Значит, она руководит адгезией микроорганизмов и иммобилизацией ферментов и создаёт мозаичную структуру их распределения в пространстве.

Организация опада в подстилке – это следующий природный конструктор, и проявляется он в формировании последовательности горизонтов (O1, O2, O3), которые связаны между собой функционированием и являются «фабрикой» гумуса.

Таким образом, в почве существуют нанотехнологические процессы, которые создала сама природа (образование агрегатов, гумуса, подстилки и др.), и задача человека расшифровать их таким образом, чтобы можно было не только манипулировать свойствами почвы, но и создавать искусственные почвы. Частично эти процессы под контролем. Так, например, капельное орошение, при котором контролируется содержание и доступность растениям воды.

Итак, образовалась новая область почвоведения – молекулярное почвоведение, которое изучает почвенные нанобъекты, а также реакции, процессы, механизмы [9]. Другая задача молекулярного почвоведения – установление мостов между миром микрочастиц и макросвойствами почвы, ведь между ними разница в 10^9 раз.

В почвоведении используется феноменологический подход, основанный на эмпирических данных, который допускает констатацию связей путём «есть связь – нет связи». Однако передача информации с молекулярного уровня на макроуровень имеет свои допущения и запреты, основанные на фундаментальных закономерностях строения тела. Ещё в 60-е годы прошлого века физики доказали, что прочность пористого твёрдого тела зависит от двух параметров – это число контактов между

частицами и средней силы единичного контакта [10]. Использование этих достижений в почвоведении показало, что механическая прочность агрегатов, как аналогов твёрдых пористых тел, пропорциональна числу контактов. А они определяются структурными параметрами: общая пористость агрегата, размер и форма пор, площадь удельной поверхности, гранулометрический состав почвы [1]. Это означает, что не отдельные молекулы, а взаимодействия между молекулами во многом определяют свойства почвенного макротела (агрегата). То есть нанобъекты, организовываясь определённым способом, создают разнообразие структурных особенностей в почвах.

Итак, в почве пока существуют нанотехнологии только природного происхождения. Человек лишь частично овладел некоторыми элементарными механизмами и использует их на практике (капельное орошение, мелиорация солонцов, известкование почв). Поэтому молекулярное почвоведение или нанопочвоведение – это широкое поле для исследований.

Литература

1. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: Рузаки, 2001. 296 с.
2. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Экологические функции почвенной матрицы // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2004. № 1. С. 30-37.
3. Гумматов Н.Г., Пачепский Я.А. Современные представления о структуре почв и структурообразовании. Механизмы и модели. Пушкино. 1991. 32 с.
4. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв. Новосибирск: Наука, 1989. 110 с.
5. Пономарева В.В., Плотнокова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.
6. Фокин А.Д. Участие различных соединений растительных остатков в формировании и обновлении гумусовых веществ почвы // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 60-65.
7. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
8. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: МГУ, 1987. 256 с.
9. Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А. Молекулярное почвоведение // Жизнь и безопасность. 2004. № 2-За. С. 68-87.
10. Ребиндер П.А., Щукин Е.Д., Марголис Л.Я. О механической прочности пористых дисперсных тел. Докл. АН СССР. 1964. Т.154. № 3. С. 695-698.

Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор)

© 2009. Л.И. Домрачева¹, д.б.н., профессор; Л.В. Кондакова², к.б.н., заведующая кафедрой;
Л.Б. Попов³, соискатель; Ю.Н. Зыкова¹, аспирант

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия,

²Вятский государственный гуманитарный университет,

³Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

e-mail: nm-flora@rambler.ru

В обзоре даётся оценка цианобактериям как организмам, которые способствуют оздоровлению почвы благодаря разнообразным механизмам адаптации путём подавления фитопатогенов и детоксикации загрязнителей.

In the review cyanobacteria are considered as organisms that contribute to soil remediation owing to different adaptation mechanisms, by means of plant pathogens neutralization and pollutants detoxication.

Ключевые слова: цианобактерии, ремедиация, детоксикация, микробные консорциумы

Антропогенная нагрузка на почву неизбежно приводит её к физической, химической и биологической деградации, становится причиной утраты плодородия, накопления токсичных веществ в продуктах питания и кормах. Поэтому чрезвычайно важен поиск и реализация путей восстановления (ремедиации) исходных качеств почвы. В этом плане всё большую популярность завоевывают приёмы биоремедиации, которые включают использование организмов различных систематических уровней и их консорциумы для проведения рекультивационных работ. Становление супрессивности почвы зависит как от освобождения её от фитопатогенов и фитотоксинов микробного происхождения, так и от детоксикации загрязнителей и ксенобиотиков техногенного и агрогенного происхождения. Однако остаются практически не востребованными уникальные экологические и физиологические возможности цианобактерий (ЦБ).

Оценка цианобактерий как объектов биотехнологии

ЦБ (цианопрокариоты, цианеи, синезелёные водоросли) – древнейшие фототрофные организмы планеты. История биосферы – это в подавляющей степени история микробов и того, как они создали биосферу, в которой появились более сложно организованные существа [1]. Г.А. Заварзин [1] историю биоты на Земле представляет в виде схемы аддитивной эволюции с этапами: I. Прокариоты;

II. Прокариоты + протисты; III. Прокариоты + протисты + многоклеточные. Определяющими на каждом этапе являются первичные продуценты – оксигенные фотоавтотрофы: 1) цианобактерии; 2) цианобактерии + водоросли; 3) цианобактерии + водоросли + высшие растения.

Таким образом, единственными организмами планеты, прошедшими через её историю в неизменном виде, остаются ЦБ. Сам по себе факт их выживания и процветания в современной биосфере, резко отличной от той, в которой они зародились примерно 3,5 млрд. лет тому назад, априори свидетельствует об огромном адаптационном потенциале. В классической монографии Э.А. Штиной и М.М. Голлербаха «Экология почвенных водорослей» [2] обобщены все известные к тому времени факты выживания ЦБ в экстремальных условиях: способность длительное время сохранять жизнеспособность при засухе; выживать при очень низких и очень высоких температурах; противостоять сильной инсоляции; выдерживать радиоактивное излучение; быть толерантными к высоким концентрациям солей; выносить действие токсикантов; вегетировать в анаэробных восстановительных условиях и т. д. В прошедшие с момента выпуска этой монографии годы появились новые сведения о специфике экотопов ЦБ, механизмах их адаптации, консортивных связях, физиологических и биохимических возможностях [1, 3 – 10]. Находит подтверждение гипотеза о том, что ЦБ первородно существовали в виде симбиоза, прежде всего, с гетеротрофной

микрофлорой, выполняющей роль редуцентов и стабилизирующей существование первичного ценоза. Показано, что ни одна группа микроорганизмов не использовала в таком объёме симбиотических отношений, как ЦБ. Именно эта группа прокариотных фототрофов обеспечивает самые массовые всплески размножения в природе, обладая способностью до предела насыщать биотопы и давать продукцию, выходящую за пределы обычной для данного биотопа, создавая «лаvinу живого вещества». Такая специфическая особенность связана с древностью ЦБ и может рассматриваться как биологическая адаптация, вытекающая из высокой биогеохимической энергии размножения [11]. Вступая в тесные симбиотические взаимовыгодные симбиотические связи со своими консортами, ЦБ в то же время в борьбе за жизненное пространство выделяют химические соединения, подавляющие рост других микроорганизмов [12 – 14], среди которых наибольший интерес в агрономическом плане представляют фитопатогены. При культивировании, в отличие от гетеротрофных микробов-продуцентов, ЦБ, являясь фотоавтотрофами, не требуют сред с органическими компонентами и не нуждаются в связанных соединениях азота. При этом выполняется одно из условий успешного биотехнологического производства – максимальная дешевизна питательных сред. ЦБ отвечают и второму важнейшему требованию микробной биотехнологии – высоким темпам размножения, что приводит к созданию максимальной продукции в предельно краткие сроки. Создание музейной коллекции ЦБ, с помощью которой возможен скрининг на выявление практически значимых штаммов, опирается на выделение ЦБ из природных сред. Для целей сельскохозяйственной биотехнологии наиболее удобно использовать такой природный феномен, как «цветение» почвы, при котором интенсивность размножения ЦБ и микроводорослей на поверхности почвы приводит к формированию визуально заметных налётов, плёнок, корочек с плотностью клеток до 40 млн./см². Очень часто в ходе сезонной сукцессии или вследствие определённых антропогенных воздействий происходит монофикация подобных разрастаний, вследствие которой на долю цианобактерий приходится до 90–98% численности фототрофных популяций. Именно ЦБ создают самые прочные монодоминантные сообщества. Среди них отмечены такие виды, как *Microcoleus vaginatus* [15 – 17], *Microcoleus sp.sp.* [18], *Nostoc commune* [19,

4, 20 – 22], *Cylindrospermum licheniforme* [9], *Nostoc muscorum* [23]. В многовидовых альгоцианобактериальных сообществах в роли доминантов особенно часто выступают виды родов *Nostoc*, *Cylindrospermum*, *Scytonema*, *Microcoleus*, *Phormidium*.

Сравнительное изучение списка доминантов показывает, что это нитчатые и колониальные формы, т. е. популяции, эволюционно приспособленные к существованию в агрегированном состоянии. Это виды, которые обладают высоким коэффициентом размножения, способные быстро переходить от состояния покоя к вегетации и наоборот, без промежуточных стадий привыкания. Так, например, возобновление азотфиксации и фотосинтеза происходит через 30 минут после реувлажнения сухих цианобактериальных корочек [4]. К ускорению жизненного ритма отдельных популяций ЦБ приводит размножение сразу группами клеток: гормогониями, обрывками нитей, целыми нитями. У цилиндроспермума, например, они могут формироваться внутри спор (акинет) и содержат до 50 клеток [9]. При неблагоприятных условиях размножение данной популяции происходит интенсивнее не гормогониями, отшнуровывающимися от основных трихомов, а быстрым их формированием внутри спор с толстыми оболочками, где среда более стабильна по сравнению с поверхностью почвы. Нити внутри спор формируются за двое-трое суток, после чего высвобождаются. Наличие двух механизмов размножения (непосредственного деления клеток и образования гормогониев, а также формирование нитей внутри спор) обеспечивает преимущество цилиндроспермума перед другими ЦБ, потенциальными доминантами в определённых биотопах. Развитие другой ЦБ *Nostoc muscorum* проходит в почве через несколько стадий: 1. Прорастание споры, в результате чего протопласт делится на две равные части, оболочка лопаётся и «проросток» выходит наружу. 2. Рост и деление первичного трихома, при этом трихом периодически отчленяет от себя отдельные гормогонии, которые тоже энергично растут. В полевых условиях уже на третьи-пятые сутки трихом перестаёт отчленять гормогонии, но продолжает активно расти. Постепенно формируются колонии. 3. Стадия колонии начинается с разрастания трихома во всех трёх плоскостях, чем и обеспечивается формирование шаровидно-приплюснутых образований. Трихом продолжает активно расти и выделяет слизь. 4. Гормогонияльная стадия

начинается с образования внутри колонии газовых пузырьков. Скопление газа внутри колонии приводит к разрыву трихома в одном или нескольких местах и распаду трихома на массу гормогониев, которые расползаются по субстрату со скоростью 1–2 мм/сек. За период активного движения гормогонии отползают от материнской колонии на расстояние 2–3 см, после чего останавливаются, растут, появляются гетероцисты, в которых идёт процесс азотфиксации, затем гормогонияльная и колониальная стадии многократно повторяются. 5. Спорообразование наступает, когда внешние условия не благоприятствуют дальнейшему размножению ЦБ при помощи гормогониев [23].

Удержание отдельных трихомов ЦБ или их биоплёнок и колоний на любых субстратах (песок, скалы, почва, поверхность семян, корней и т. д.) осуществляется за счёт выделения слизи и электростатических сил притяжения.

Подобные механизмы размножения и расселения в почве ЦБ сохраняют и при реинтродукции, при внесении их биомассы вместе с посевным растительным материалом [9].

Цианобактерии – антагонисты фитопатогенов

Агрессивность фитопатогенов, вызывающих массовые заболевания сельскохозяйственных, лесных и декоративных культур, не снижается, несмотря на широко применяемые химические средства защиты растений. Более того, круг фитопатогенов постоянно расширяется за счёт перехода многих сапротрофных микроорганизмов к факультативному или облигатному паразитизму [24]. Этому во многом способствует выведение высокопродуктивных сортов растений, требующих строгого соблюдения агротехники, которые на малейшее ухудшение условий питания, водоснабжения, освещения отвечают ослаблением иммунитета. Подрывается иммунитет растений и в результате загрязнения окружающей среды, что также открывает «ворота» инфекциям.

В настоящее время в защите растений большие надежды возлагают на использование биопрепаратов, содержащих микробы-антагонисты. Среди отселектированных штаммов, обладающих сверхсинтезом антибиотиков, известны микромицеты, граммотрицательные и грамположительные бактерии, включая особые мицелиальные формы –

актиномицеты. Особенно успешно применение комплексных, искусственно сконструированных микробных консорциумов, в которых агрономически полезные свойства одних микробов дополняются антагонистической, ростстимулирующей, гидролитической активностью других микроорганизмов. Однако по-прежнему наиболее остро стоят вопросы поиска среди антагонистических штаммов наиболее ранних колонизаторов ризопланов, которые бы становились первопоселенцами на корнях, опережая патогенов [25]. В этом плане фототрофы практически не привлекают внимания разработчиков биопрепаратов. Одна из причин состоит в том, что в ризосфере культурных растений фототрофы и, в частности, ЦБ находятся в таком малом количестве (десятки тысяч клеток/г), что не могут реально оказывать ингибирующий эффект на вредные микроорганизмы. Пик их размножения всегда приурочен к поверхности почвы в периоды «цветения», и территориально они удалены и от стеблей, и от корней растений. В то же время многочисленные лабораторные испытания показывают, что в ряду антагонистов они могут занять лидирующие позиции по сравнению с сапротрофами, выделяя активные бактерицидные и фунгицидные соединения. Более того, при воздействии на здоровое растение ЦБ оказывают стимулирующее влияние [4, 9, 26, 27]. Именно ЦБ принадлежит особое место среди микроорганизмов, так они выделяют в окружающую среду широчайший спектр биологически активных веществ. В многокомпонентной системе этих соединений идентифицированы производные алифатических терпенов, терпеновые спирты, эфиры, эфирные масла, альдегиды, летучие кислоты, фенолы, ауксины, антибиотики, алкалоиды, сапонины, фитогормоны [7, 14, 28 – 40].

Наиболее последовательные и длительные исследования антагонистической активности почвенных ЦБ проводятся на кафедре ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э.А. Штиной Вятской государственной сельскохозяйственной академии. В частности, в сериях лабораторных, вегетационных и полевых опытов показано, что многие штаммы альгологически чистых культур ЦБ вызывают резкое угнетение популяций особо опасных фитопатогенных грибов р. *Fusarium*. Так, при культивировании на искусственных питательных средах происходит замедление роста, усыхание и лизис мицелия

Fusarium culmorum, *F. nivale* и *F. oxysporum* [9, 41]. Столь же велика антифузариозная активность ЦБ при совместном развитии популяций в почве, лишённой высших растений, т. е. в период, когда фузариоз находится на стадии сапрофитного существования. Под влиянием *Nostoc paludosum*, *N. linckia* и *Microchaeta tenera* через неделю экспозиции в почве прекращается развитие мицелия гриба, хотя в контрольном варианте этот показатель превышает 5 м/см² почвы. Сильный фунгицидный эффект отмечен у ЦБ на фоне провокационного заражения семян злаков и бобовых культур при проведении вегетационных опытов [41 – 44].

Серия полевых испытаний убедительно доказала результативность цианобактериальной обработки семян хвойных в условиях лесопитомников [45 – 48]. Искусственные древостои, к которым относятся и лесные питомники, изначально являются неустойчивыми экосистемами и вследствие этого разрушаются грибами биотрофного комплекса сильнее, чем естественные лесные сообщества. Фитопатогенные грибы в лесопитомниках, поражающие живые саженцы, способны к быстрому накоплению биомассы, формированию высокой патогенности и агрессивности и, как следствие, к масштабному поражению сеянцев с формированием очагов распространения, усыхания и накопления патогенов [49]. В течение нескольких лет в Кировской области массовая гибель сеянцев ели была отмечена в лесопитомнике Слободского лесхоза, а сосны – в Юмском лесопитомнике Свечинского лесхоза. Обработка однолетних сеянцев ели полужидкой (0,5% агаризованная среда) культурой *Nostoc paludosum* с титром 800 тыс. кл./мл увеличила годовой прирост сеянцев на 44%, количество здоровых растений возросло на 17,1% [44, 46]. При высаживании сеянцев на лесокультурные площади с цианобактериальной обработкой корневой системы их приживаемость увеличилась на 10%. В полевом опыте для сохранения сеянцев сосны использовали различные методики применения ЦБ: предварительное замачивание семян в чистых и смешанных культурах ЦБ; полив инокулятом после посева семян; обработку корневой системы двухлетних саженцев [44, 48]. Использование тройной смеси культур (*N. paludosum* + *N. linckia* + *Microchaete tenera*) было наиболее эффективным, вызвало увеличение прироста сеянцев на 45%, а саженцев – на 200% по сравнению с контролем.

В городских экосистемах особенно чувствительны к болезням цветочные культуры, так как происходит наложение патогенного фона на химическое загрязнение урбанозёмов. Красота городов во многом определяется степенью их озеленения и декоративного убранства. Постоянно растёт площадь городских цветников не только в парках, скверах и дворах, но непосредственно на улицах, возле торговых, учебных и офисных зданий. Пестицидная обработка семян и рассады в условиях города совершенно не желательна. Поэтому и в данном случае наиболее приемлемы биометоды защиты растений. Была проведена серия опытов с различными сортами астр, в ходе которых установили защитное действие чистых культур ЦБ и при выращивании рассады, и при посадке растений в открытый грунт [50 – 52]. При этом эффективность применения ЦБ *Nostoc paludosum* была выше, чем таких сертифицированных препаратов, как Гамаир, Алирин Б, Байкал-ЭМ1.

Все описанные выше исследования проведены с альгологически чистыми культурами ЦБ, т. е. штаммы очищены от фототрофов (водорослей и других ЦБ), но в своих чехлах содержат бактерии-спутники. Их видовой состав и численность чрезвычайно разнообразны: аммонификаторы, олигонитрофилы, денитрификаторы, актиномицеты [53] меняются в зависимости от изменяющихся условий. Вероятно, клетки фототрофа «рекрутируют» в сообщество бактерии, помогающие ему выжить в конкретных условиях, ограничивая доступ других, то есть регулируют их состав [10]. Партнёры цианобактериальных комплексов взаимосвязаны так, что конечные продукты жизнедеятельности одного вида служат ресурсом для другого, а изъятие этих ресурсов – необходимое условие поддержания разницы концентраций субстрата и продукта. Разнообразие биохимических и физиологических реакций, осуществляемых ЦБ, приводит к неоднозначным последствиям для организмов, проживающих в совместных с ЦБ местообитаниях. Часть выделяемых соединений используется другими организмами для биосинтетических и энергетических нужд. Другие соединения могут выступать в качестве специфических химических раздражителей – биостимуляторов или биоцидов. Исследования, проведённые в последние годы, свидетельствуют о том, что при замене аборигенной микрофлоры бактерий-спутников ЦБ на агрономически полезные штаммы бактерий можно

получить цианобактериальные консорциумы, обладающие высоким агробиотехнологическим потенциалом [42, 44, 54 – 57]. С этой целью выделяют из коллекции ЦБ наиболее эффективные по накоплению биомассы и технологичности культивирования штаммы; проверяют наличие у них антагонистического и ризогенного эффекта; разрабатывают систему получения аксеничных культур; «подсаживают» в слизь аксеничных культур определённые полезные штаммы азотфиксирующих бактерий или бактерий-антагонистов. Гомеостатическое состояние консорциума достигается при заражении ЦБ, находящихся в логарифмической стадии роста и при титре каждого бактериального партнёра не выше 10⁶ кл./мл культуральной среды. При этом гетеротрофные партнёры занимают место естественных бактерий-спутников, капсулируясь в слизи ЦБ. Создание би- и трёхкомпонентных консорциумов ЦБ и хемотрофных бактерий (штаммы различных видов *Rhizobium*, *Agrobacterium radiobacter*, *Pseudomonas fluorescens*, *Arthrobacter mysores*) показало, что искусственные консорциумы могут длительное время расти и сохраняться в течение нескольких лет на чисто минеральных безазотистых средах, при этом хемотрофные партнёры существуют за счёт прижизненных экссудатов ЦБ и веществ их слизи. ЦБ не элиминируют подсаживаемых бактериальных спутников, не отмечено антагонизма между ЦБ и «вселенцами». Защитная роль ЦБ для сапротрофных партнёров сохраняется и при их интродукции в почву. Введение в почву инокулюма через семена или путём поверхностной обработки почвы сопровождается изменением микробиологического статуса почвы в сторону, полезную для высших растений: увеличивается высота растений, количество листьев, содержание сухого вещества, длина и объём корневой системы, урожайность, ингибируется развитие фитопатогенов. Таким образом, цианобактериальные консорциумы с программируемым составом (для них предлагается название агроциан) являются перспективными и действенными биопрепаратами на современном уровне развития сельского хозяйства.

Детоксикационные возможности цианобактерий

Второй практически значимой способностью ЦБ является их способность к обез-

вреживанию токсикантов. Перечень поллютантов, попадающих в почву в результате деятельности человека, чрезвычайно велик и включает вещества естественного происхождения и искусственно синтезированные. К числу приоритетных загрязнителей биосферы относятся нефть и нефтепродукты, соли тяжёлых металлов (ТМ), радионуклиды, пестициды. Степень их стойкости и скорость деградации различны и во многом определяются наличием организмов, способных их усваивать, детоксифицировать, гидролизовать, обезвреживать. Механизмы трансформации ксенобиотиков различны у разных организмов и могут быть обусловлены морфологическими и физиологическими особенностями [58]. В круге организмов-биоремедиаторов ЦБ выделяются многообразием путей обезвреживания поллютантов.

В первую очередь адаптация ЦБ к неблагоприятным внешним воздействиям обусловлена интенсивным выделением внеклеточной слизи. Доля этих веществ в общем балансе клетки весьма существенна и составляет примерно 30% связываемого за сутки углерода или 40% чистой суточной продукции фотосинтеза [59]. При этом указанные объёмы могут значительно колебаться как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения в зависимости от вида, физиологического состояния и функциональной активности клеток и условий окружающей среды [60].

Образование гелеподобных слизистых частиц (полисахаридных или полипептидных) многофункционально. Для структурно-функциональной организации микробных популяций в виде биоплёнок межклеточный слизистый матрикс рассматривается как элемент структуры колоний, играющий роль интегрирующего компонента в обеспечении жизнеспособности и нормального функционирования популяций, представляющих собой полиморфные многоклеточные системы [61 – 63]. Биоплёнки являются одним из видов микробных консорциумов, играющих важнейшую роль в биосферных геохимических процессах. В их развитии чрезвычайно важна межклеточная коммуникация посредством ауторегуляторов, например, галогенофуранов [64]. Эти структурированные сообщества являются способом защиты клеток от стрессовых условий [65]. Предполагается, что в случае биоплёнок затруднено проникновение действующего токсического начала в глубинные слои. Удалённые

от поверхности клетки успевают перейти в устойчиво-адаптационное состояние, если для этого требуется меньше времени, чем проникновение и действие антимикробного агента [66]. Например, установлено, что чувствительность ЦБ *Nostoc paludosum* к ионам свинца резко возрастает при разрушении биоплёнки этой ЦБ и снижении титра клеток, количество погибших клеток ностока повышается при этом в 8 раз [67].

Гликокаликс (выделяемая ЦБ слизь) может рассматриваться как иммобилизованная вода в матриксе полимера с очень высокой механической плотностью сообщества, соответствующей примерно 1–2% агаризованной среды. Экзополимеры в подобных сообществах удерживают организмы внутри локального пространства и обеспечивают макростабильность по отношению к физическим факторам (вымыванию), обеспечивают макроструктуру сообщества с оптимальными диффузными расстояниями, создают транспортные «коллоиды» для проникновения питательных веществ, ограничивают проникновение вредных факторов как химической природы, так и мелких хищников – протист [1]. Поэтому биоплёнки нельзя рассматривать только как простую сумму составляющих их клеток: они представляют собой качественно новый тип сообществ, которые можно рассматривать как «города микробов» [68]. Способность к гиперсинтезу экзоцеллюлярных слизей у ЦБ нашла, в частности, практическое применение при мелиорировании почв. Разработаны методы и аппаратура для приготовления и рассеивания ЦБ инокулянтов по почвенной поверхности. После контакта с водой ЦБ переходят из состояния покоя в активную стадию и начинают связывать частички мелиорируемой почвы, образуя почвенные агрегаты и содействуя структурированию почвы [69]. Скорость перехода из покоя к быстрой активации процессов жизнедеятельности (фотосинтез, азотфиксация, деление клеток) при регидратации у ЦБ очень высока и составляет 10 – 20 мин. [4, 70, 71].

Экссудация слизи приводит к проявлению у ЦБ сорбционных свойств, способствующих внеклеточной детоксикации поллютантов [72 – 75]. Чем большее количество слизи выделяется, тем полнее связываются поллютанты из раствора [76]. Связывание ТМ осуществляется как полисахаридами, так и липофильной фракцией клеток [77]. Более того, возможна дистанционная детоксикация, при которой система защиты

ЦБ от ТМ включает связывание металла не только клеточными структурами, слизистой оболочкой, но и экзополисахаридами в культуральной среде [78]. Различные ЦБ обладают разной сорбционной способностью. Так, обнаружено, что поглощение свинца из жидкой среды составляет у *N. paludosum* около 80%, у *N. muscorum* – 91,3% от изначальной концентрации [79]. Сорбционная ёмкость различных штаммов ЦБ р. *Phormidium* колебалась (в мг металла/г сорбента) от 5 до 150 для меди, от 5 до 400 для свинца, от 5 до 340 для урана [80]. При этом биомасса ЦБ может многократно использоваться в циклах сорбции-десорбции металла без снижения эффективности его удаления, что уже применяется в специальных установках по очистке сточных вод [81].

Существуют и другие адаптационные механизмы, позволяющие ЦБ выживать в условиях сильного загрязнения. В частности, экспериментально доказано, что внутри клетки большую роль в связывании ионов ТМ имеет глутатион и ферменты глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы, поддерживающие его окислительно-восстановительное состояние. Предполагают, что глутатионовая система может служить первой линией обороны в системе защиты клеток от ТМ в период, предшествующий формированию такого важного инструмента защиты, как металлсвязывающие белки [82]. Образование внутри клеток нерастворимых сульфидов – также один из способов детоксикации ТМ, обнаруженный у *Nostoc muscorum* и *Plectonema boryanum* [83, 84]. У ряда ЦБ в загрязнённых средах наблюдается увеличение числа гранул гликогена и образование полифосфатных гранул, которые захватывают ионы ТМ, находящиеся в избытке [85]. Предлагается использование в качестве биоремедиационного агента ЦБ *Phormidium valderianum*, которая активно разлагает фенол за счёт наличия ферментов полифенолоксидаза и лакказы [86].

В детоксикации поллютантов важную роль играют гетеротрофные спутники ЦБ, биомасса которых в зависимости от фазы роста фототрофного партнёра составляет 3,36 – 12,26% по отношению к биомассе цианопрокариот [87]. Например, гетеротрофные спутники участвуют в синтезе сульфидов ТМ в слизи ЦБ [88].

Особенно детально изучены бактериальные консорциумы ЦБ, обитающих в нефтезагрязнённых почвах [89 – 95]. Установлено, что в чехлах ЦБ, способных расти в присутствии

неочищенной нефти и разлагать её компоненты, живут бактерии, окисляющие углеводороды, относящиеся 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 ЦБ снабжают их «жилым» и продуктами фотосинтеза – кислородом и органическим веществом. Цианобактериальный компонент данных консорциумов представлен такими видами, как *Nostoc commune*, *Microcoleus chthonoplastes*, *Phormidium tenuissimum*, *Synechocystis minuscula*, *Synechococcus elongates*, *Oscillatoria* spp. Выделенные из нефтезагрязнённых обитаний цианобактериальные сообщества способны не только адаптироваться к нефти, но и активизировать процесс очистки от нефти как водных, так и почвенных экосистем. Было обнаружено, что при внесении в загрязнённую почву наращенной биомассы осцилляториевого сообщества эффективность очистки почвы от нефтепродуктов за 30 – 90 дней доходила до 100% в зависимости от концентрации нефтепродукта. Активизация деятельности сообщества и интенсификация процессов деструкции загрязнителя зависела не от внесённой биомассы, а от числа внесённых отрезков нитей ЦБ, так как из любого отрезка образуется одна зона зарастания, распространение которой не зависит от изначальной биомассы [96].

Доказано снижение токсичности такого специфического загрязнителя, как метилфосфоновая кислота, в тех случаях, когда в среде выращивания семян пшеницы, пелюшки и горчицы присутствовали природные плёнки *Nostoc commune* [97], а также при внесении в почву суспензии *Nostoc paludosum* [98].

Таким образом, краткий обзор экологических возможностей ЦБ показывает, что эти организмы в виде монокультур, искусственно сконструированных цианобактериальных консорциумов или природных биоплёнок, являются перспективными объектами для разработки новых методов и приёмов ребиотации почв, фитотоксичных вследствие химического или биологического (накопление фитопатогенов и фитотоксинов) загрязнения. При этом использование ЦБ позволяет решить одну из основных задач почвенной биотехнологии – повышение скорости вос-

становительных процессов при абсолютной экологической безопасности применяемых интродуцентов.

Литература

1. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
2. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
3. Гусев М.В., Никитина К.А. Цианобактерии (физиология и метаболизм). М.: Наука, 1979. 228 с.
4. Панкратова Е.М. Роль азотфиксирующих синезелёных водорослей (цианобактерий) в накоплении азота и повышении плодородия почвы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. 1981. 39 с.
5. Заварзин Г. А., Крылов Н.Н. Цианобактериальные сообщества – колодец в прошлое // Природа. 1983. №3. С. 59-68.
6. Панкратова Е.М. Участие цианобактерий в круговороте азота в почве и создании её плодородия // Успехи микробиологии. М.: Наука, 1987. Т. 21. С. 212-242.
7. Андреюк Е.И., Коптева Ж.П., Занина В.В. Цианобактерии. Киев: Наукова думка, 1990. 200 с.
8. Панкратова Е.М. Почвенные цианобактерии в прошлом Земли и их экологическая роль в настоящем и возможная в будущем // Экология и почвы. Пущино. 2001. С. 84-104.
9. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
10. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в естественных условиях и в конструируемых системах // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 4-14.
11. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М.: Наука, 1965. 523 с.
12. Сиренко Л.А. Физиологические основы размножения синезелёных водорослей в водохранилищах. Киев: Наукова думка, 1972. 203 с.
13. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.Н. Фитопланктон и вода. Киев: Наукова думка, 1986. 134 с.
14. Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка, 1988. 256 с.
15. Маркова Г.И. Динамика развития синезелёной водоросли *Microcoleus vaginatus* (Vauch.) Com. в группировке шибляка (миндальника эфемерно-ячменного) // Ботанический журнал. 1976. №3. С. 369-373.
16. Шушueva М.Г. Формирование водорослевых группировок на отвалах угольных разработок в Кузбассе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л. 1977. 24 с.
17. Belnap J., Gardner J. Soil microstructure in soils of the Colorado plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus* // Great Basil Natur. 1993. V. 53. №1. P. 40-47.

18. Danin A., Bar-Or Y., Dor I., Yisraeli I. The role of cyanobacteria in stabilization of sand dunes in Southern Israel // *Ecol. Mediter.* 1989. V. 15. № 1-2. P. 55-64.
19. Носкова Т.С. Сообщества водорослей некоторых почв Кировской области: Дис. ... канд. биол. наук. Киров. 1968. 286 с.
20. Дубовик И.Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий. Уфа: Изд-во Башк. ун-та, 1995. 156 с.
21. Закирова З.Р. Синезелёные водоросли (цианобактерии) антропогенно-нарушенных почв и их консортивные связи: Дис. ... канд. биол. наук. Уфа. 2006. 208 с.
22. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Перушина О. А., Фокина А.И. Биоплёнки *Nostoc commune* – особая микробная сфера // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 15-19.
23. Морарь С.Н. Особенности развития водорослей на рисовых полях Кубани: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Краснодар. 1973. 24 с.
24. Монастырский О.А. Факторы эволюции высокотоксикогенных штаммов рода *Fusarium* в агроценозе // С.-х. биология. Сер. Биология растений. 1998. № 1. С. 28-34.
25. Кураков А.В. Грибы в круговороте азота в почвах: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва. 2003. 50 с.
26. Калинин А.А. Цианобактерии как возможные компоненты диазотрофных микробных ассоциаций и их влияние на растения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва. 1995. 23 с.
27. Панкратова Е.М., Зяблых Р.Ю., Ковина А.Л., Трефилова Л.В., Устюжанин И.А. Исследование формирования и эффективность в агробиотехнологии цианобактериальных консорциумов // 60 лет высш. аграр. образ. Северо-Востока Нечерноземья: Матер. 1 Всерос. науч.-практ. конф. Киров. 2004. С. 161 – 163.
28. Кирпенко Ю.А., Сиренко Л.А., Орловский В.М. Лукина Л.Ф. Токсины синезелёных водорослей и организм животного. Киев: Наукова думка, 1977. 250 с.
29. Сакевич А.И. Экзометаболиты пресноводных водорослей. Киев: Наукова думка, 1985. 199 с.
30. Бершова О.И., Контева Ж.П., Танцюренко Е.В. Взаимоотношения синезелёных водорослей – возбудителей «цветения» воды с бактериями // «Цветение» воды. Киев: Наукова думка, 1982. С. 334-345.
31. Горюнова С.В., Ржанова Г.Н., Орлеанский В.К. Синезелёные водоросли (биохимия, физиология, роль в практике). М.: Наука, 1969. 228 с.
32. Silvey J.K., Wyatt J.T. The interrelationship between fresh-water bacterial, algae and actinomycetes in south bewestern reservoirs // Structure and function fresh-water microlidae communit. Blacksburg: Cambridge, 1973. 249 p.
33. Kajiyama S., Kanzaki Y., Kawazu K., Kobayashi A. Nostofungicide, an antifungal lipopeptide from the fieldgrown terrestrial blue-green alga *Nostoc commune* // Tetrahedron Lett. 1998. V. 39(22). P. 3737-3740.
34. Кадырова Г.Х. Продуцирование ауксинов цианобактериями // Узб. биол. ж. 2004. № 4. С. 9-13.
35. Орлеанский В.К., Герасименко Л.М., Миходюк О. С., Зеленков В. Н. Теромофильные цианобактерии (синезелёные водоросли) – перспективный источник нетрадиционного сырья // Актуальные проблемы инноваций с нетрадиционными природными ресурсами и создания функциональных продуктов: Матер. 3-й Рос. науч.-практ. конф. М. 2005. С. 20-22.
36. Scholz B., Liebezeit G. Chemical screening for bioactive substances in culture media of microalgae and cyanobacterial from marine and brackish water habitats: First results // *Pharm. Biol.* 2006. V. 44. № 7. P. 544-549.
37. Sergeeva E., Liame A., Beryman B. Evidence for production of the phytohormone indole-3-acetic acid by cyanobacteria // *Planta.* 2002. V. 215. № 2. P. 229-238.
38. Vardi A., Schatz D., Beeri K., Levine A., Kaplan A. Cyanobacterium-dinoflagellate cross-talk, may determine the dynamics and composition of the phytoplankton assemblage // 5 European Workshop on the Molecular Biology of cyanobacteria. Stocholm. 2002. P. 10.
39. Volk R.-B. Screening of microalgal culture media for presense of algicidal compouds and isolation and identification of two bioactive metabolites, excreted by the cyanobacteria *Nostoc insulare* and *Nodularia harveyana* // *J. Appl. Phycol.* 2005. V. 17. № 4. P. 339-347.
40. Asthana R.K., Strivastava a., Singh A.P. Identification of an antimicrobial entity from the cyanobacterium *Fischerella sp.*, isolated from bark *Azadirachta india (Neem)* // *J. Appl. Phycol.* 2006. V. 18. № 1. P. 33-39.
41. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Ветлужских И.Л. Цианобактериальное ингибирование фузариозных инфекций // Вопросы экологии и природопользования в аграрном секторе. М.: АНХ, 2003. С. 236-240.
42. Калинин А.А., Домрачева Л.И., Третьякова А.Н., Трефилова Л.В. Антагонистическое действие почвенных цианобактерий на фитопатогенный гриб *Fusarium culmorum* и перспективы их использования для биологической защиты растений от заболеваний // Здоровье – Питание – Биологические ресурсы: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 125-летию со дня рожд. акад. Н.В. Рудницкого. Киров. 2002. Т.1. С. 377-383.
43. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Ветлужских И.Л. Цианобактериальный контроль за развитием фитопатогенных грибов // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: теория, методика, практика: Матер. Всерос. науч. шк. Киров. 2003. С. 242-245.
44. Трефилова Л.В. Использование цианобактерий в агробиотехнологии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов. 2008. 25 с.
45. Третьякова А.Н., Трефилова Л.В., Домрачева Л.И., Гребнева О.И. Потенциал цианобактерий в борьбе

с патогенными грибами ели // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 80-летию ВНИИОЗ. Киров, 2002. С. 517-518.

46. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В. Использование почвенных цианобактерий при выращивании посадочного материала ели и сосны // Почвы – национальной достояние России: Матер. IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск. 2004. Кн. 2. С. 330.

47. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В., Домрачева Л.И., Третьякова А.Н. Подавление микопаразитов ели и грибных заболеваний сельскохозяйственных культур с помощью цианобактерий // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: Матер. междунар. конгресса. М. 2002. С. 172-175.

48. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Третьякова А.Н., Гребнева О.И., Дудолова Г.М. Биологическая защита сеянцев от болезней в питомниках // Леса Кировской области. / Под ред. Видякина А.И., Ашихминой Т.Я., Новосёлова С.Д. Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2008. С. 292-299.

49. Стороженко В.Г. Стратегии и функции грибных сообществ лесных экосистем // Грибные сообщества лесных экосистем. М.-Петрозаводск. 2000. С. 37-41.

50. Ковина А.Л., Попов Л.Б., Домрачева Л.И., Ковин Д.А. Перспективы применения биопрепаратов при выращивании декоративных культур // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. 2. Киров. 2007. С. 83-85.

51. Ковина А.Л., Домрачева Л.И., Попов Л.Б., Калинин А.А., Елькина Т.С. Защитное действие биопрепаратов при выращивании рассады декоративных культур // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: Матер. 10-й Всерос. науч.-практ. конф. Киров. 2008. С. 104-105.

52. Ковина А.Л., Попов Л.Б., Домрачева Л.И., Елькина Т.С., Ковин Д.А. Применение биопрепаратов при выращивании астр в городской среде // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Матер. VI-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Ч. 2. Киров: Изд-во «О-Краткое», 2008. С. 279-281.

53. Штина Э.А., Панкратова Е.М. Взаимодействие азотфиксирующих синезелёных водорослей с микроорганизмами-спутниками // Актуальные проблемы биологии синезелёных водорослей. М. 1974. С. 61-78.

54. Ковина А.Л. Микробные агроконсорциумы на основе цианобактерий: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Москва. 2001. 23 с.

55. Панкратова Е.М., Зяблых Р.Ю., Калинин А.А., Ковина А.Л., Трефилова Л.В. Конструирование микробных культур на основе синезелёной водоросли *Nostoc paludosum* Kütz. // Альгология. 2004. Т. 14. № 4. С. 445-458.

56. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В., Зяблых Р.Ю., Устюжанин И. А. Цианобактерия *Nostoc paludosum* Kütz как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий р. *Rhizobium* // Микробиология. 2008. Т. 77. № 2. С. 266-272.

57. Зяблых Р.Ю. Консорциумы микроорганизмов на основе почвенных азотфиксирующих цианобактерий и их агробиотехнологический потенциал: Автореф. ... канд. биол. наук. Ставрополь. 2008. 18 с.

58. Фокина А.И., Домрачева Л.И., Широких И.Г., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю. Микробная детоксикация тяжёлых металлов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 1. С. 4-10.

59. Fogg G.E. Nalewaiko Cr., Watt W.D. Extracellular products of phytoplankton photosynthesis // Pro. Roy. Soc. Ser. Biol. Sci. 1965. V. 162. № 989. P. 517-534.

60. Moore B.G., Tischer R.G. Biosynthesis of extra cellular polysaccharides by the blue-green alga *Anabaena flos-aquae* // Can. J. Microbiol. 1965. V. 11. № 6. P. 877-885.

61. Azam F., Fonda U.S., Funari E. Significance of bacteria in the mucilage phenomenon in the northern Adriatic sea // Ann. Ist. Super. Sanita. 1999. V. 35. № 3. P. 411-419.

62. Surette M.G. Interaction and communication in mixed microbial communities // Bacterial neural net works: Euresco conf. 2002. P. 14.

63. Sutherland I.W. A natural terrestrial biofilms // J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 1996. V. 17 (3/4). P. 185-189.

64. Николаев Ю.А., Плакунов В.К. Биоплёнка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма? // Микробиология. 2007. Т. 76. № 2. С. 149-163.

65. Jefferson K.K. What drives bacteria to produce a biofilm // FEMS Microbiol. Lett. 2004. V. 236. P. 163-173.

66. Szomolay B., Klapper I., Ockery J., Stewart P.S. Adaptive responses to antimicrobial agents in biofilms // Environ. Microbiol. 2005. V. 7. № 8. P. 1186-1191.

67. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23-28.

68. Watnick P., Kolter R. Biofilm, city of microbes // J. Bacteriol. 2000. V. 182. P. 2675-2679.

69. Riley M.A. Orr M.J. Johansen J.R. Cyanobacterial inoculants for land reclamation // Engineering Technology, Inc. № 09/245032; Pat. USA 6228136, 08.05.01.

70. Kazuhiko S., Manabu H., Junko N., Takaharu Y., Hiroyuki K. Recovery of photosynthetic systems during rewetting is quite rapid in a terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune* // Plant and Cell Physiol. 2002. № 2. P. 170-176.

71. Harel Y., Ohad I., Kaplan A. Activation of photosynthesis and resistance to photoinhibition in cyanobacteria within biological desert crust // *Plant Physiol.* 2004. V. 136. № 2. P. 3070-3079.
72. Дмитриева А.Г. Влияние ионов металлических руд и концентратов на рост и развитие *Microcystis aeruginosa* Kütz. Emend. Elenk. d культуре // «Цветение» воды. Вып. 2. Киев: Наукова думка, 1969. С. 207-215.
73. Шнюкова Е.И. Аккумуляция ионов металлов экзополисахаридами *Nostoc linckia* (Roth) Born. et Flach. (Cyanophyta) // *Альгология.* 2005. Т.15. № 2. С. 172-180.
74. Parker D.L., Michalick J.E., Plude M.J., Clark T.P., Egan L., Flom J.J., Rau L.C., Kumar H.D. Sorption of metals by extracellular polymers from the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa flos-aquae strain C 3-40* // *J. Appl. Phycol.* 2000. V. 12. № 3. P. 219-224.
75. Бреховских А.А. Защитные механизмы автотрофной цианобактерии *Nostoc muscorum* от токсического воздействия ионов кадмия: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Москва. 2006. 26 с.
76. Tien Chien-Jund, Sigeo D.C., White K.N. Copper adsorption kinetics of cultured algae cells freshwater phytoplankton with emphasis on cell surface characteristics // *J. Appl. Phycol.* 2005. V. 17. № 5. P. 379-389.
77. Лябушева О.А. Накопление элементов клетками цианобактерий: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. М.: МГУ, 2004. 21 с.
78. Бекасова О.Д., Бреховских А.А., Москвина М.И. О механизме детоксикации ионов кадмия цианобактерией *Nostoc muscorum* при участии её внеклеточных полисахаридов // *Биофизика.* 2002. № 3. С. 515-523.
79. Фокина А.И. Влияние свинца на структуру фототрофных микробных комплексов почвы: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Сыктывкар. 2008. 23 с.
80. Кузякина Т.И. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов на активных вулканах и в гидротермах. Владивосток: Дальнаука, 2004. 251 с.
81. Paperi R., Michaletti E., Phillippis 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.
82. Саванина Я.В., Лебедева А.Ф., Барский Е.Л. Значение глутатионовой системы в накоплении и детоксикации тяжёлых металлов в клетках цианобактерий и микроводорослей // *Вестн. МГУ. Сер. 16.* 2003. № 3. С. 29-37.
83. Бекасова О.Д., Орлеанский В.К., Никандров В.В. Аккумуляция кадмия и алюминия цианобактерией *Nostoc muscorum* // *Микробиология.* 1999. Т. 68. С. 851-859.
84. Lengke M.F., Ravel B., Fleet M.E., Wanyer G., Gordon R.A., Southam G. Mechanisms of gold bioaccumulation by filamentous cyanobacteria from gold (III) – chloride complex // *Environ. Sci. and Technol.* 2006. V. 40. № 20. P. 6304-6309.
85. Andrade L., Keim C.N., Farina M., Pfeiffer W.C. Zinc detoxification by cyanobacterium from a metal contaminated by Brazil // *Braz. Arch. Biol. and Technol.* 2004. V. 47. № 1. P. 147-152.
86. Shashirekha S., Uma L., Subramaniam G. Phenol degradation by the marine cyanobacterium *Phormidium valderianum* // *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 1997. V. 19. № 2. P. 130-133.
87. Тиберкевич Н.Я., Сакевич А.И. Бактерии-спутники в культурах цианопрокариот и зелёных водорослей // *Гидробиол. ж.* 2001. Т. 37. № 1. С. 54-63.
88. Москвина М.И., Бреховских А.А., Никандров В.В. Роль гетеротрофных спутников цианобактерии *Nostoc muscorum* в синтезе сульфида кадмия // *Микробиология.* 2003. Т. 72. № 2. С. 284-285.
89. Неганова Л.Б., Казакова Е.Н., Штина Э.А. Роль почвенных синезелёных водорослей в стимуляции углеродородокисляющих микроорганизмов // *Актуальные проблемы современной альгологии. Тез. докл. 1-й Всесоюз. конф.* Киев: Наукова думка, 1987. С. 171.
90. Киреева Н.А. Микробиологические процессы в нефтезагрязнённых почвах. Уфа: БашГУ, 1994. 172 с.
91. Киреева Н.А., Кузяхметов Г.Г., Мифтахова А.М., Водопьянов В.В. Фитотоксичность антропогенно загрязнённых почв. Уфа: Гилем, 2003. 266 с.
92. Sanchez O., Diestra E., Esteve L., Mas J. Molecular characterization of an oil-degrading cyanobacterial consortium // *Microbial. Ecol.* 2005. V. 50. № 4. P. 580-588.
93. Сопрунова О.Б. Функционирование цианобактериальных сообществ в условиях техногенных экосистем // *Вестн. МГУ. Сер. 16.* 2006. № 2. С. 24-29.
94. Закирова З.Р. Синезелёные водоросли (цианобактерии) антропогенно-нарушенных почв и их консортивные связи: Дис. ... канд. биол. наук. Уфа. 2006. 208 с.
95. Киреева Н.А., Дубовик И.Е., Закирова З.Р. Консортивные связи цианобактерий типичного чернозёма при загрязнении нефтью // *Почвоведение.* 2007. № 6. С. 749-755.
96. Шадрин О.И. Циано-бактериальные сообщества в практике рекультивации техногенных экосистем // 8-й съезд Гидробиол. о-ва РАН: тез. докл. Т. 3. Калининград. 2001. С. 89-90.
97. 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.
98. Скугорева С.Г., Огородникова С.Ю., Головки Т.К., Ашихмина Т.Я. Фитотоксичность фосфорорганических соединений и ртути. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 152 с.

Методы поддержания микробных культур. Часть I. Криоконсервация

© 2009. В.Ю.Охупкина¹, д.м.н., старший научный сотрудник;
Б.А.Шабалин², д.м.н., ведущий научный сотрудник,

¹Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ,

²Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН,
e-mail: veronika@ptlan.com

В статье сделана попытка обобщить имеющиеся данные литературы по методам криоконсервации, которые могут быть использованы для поддержания и хранения микроорганизмов в музейных коллекциях, представить механизмы их воздействия на микробные клетки, а также оценить их положительные и отрицательные стороны с учётом наиболее вероятных условий и областей их применения.

The article presents the attempt to summarize the literature data on cryoconservation methods that can be used for keeping microorganisms in museums' collections. It also presents the mechanisms of their influence on microbe cells and estimates their positive and negative features taking into account the possible conditions and spheres of their applicability.

Ключевые слова: криоконсервация, методы хранения, анабиоз,
механизмы повреждения, криопротекторы

Создание и поддержание коллекций микробных культур является неотъемлемой частью функционирования лабораторий, занимающихся проведением экологических исследований. Изучение выделяемых из природной среды изолятов не представляется возможным без наличия типовых референтных штаммов микробов. Использование микроорганизмов в качестве тест-объектов в биомониторинге окружающей среды требует применения стабильных по свойствам эталонов культур, обеспечивающих стандартность и достоверность результатов.

Основной задачей коллекционной работы является поддержание исходных характеристик микробных культур, обуславливающих возможность их целевого использования.

Анализ данных литературы [1 – 6] показывает, что, несмотря на широкое разнообразие приёмов и методов сохранения микробных культур, имеется возможность выбрать круг основных требований, обязательных к применению во всех случаях лабораторных исследований и в практике промышленной микробиологии.

– Метод должен обеспечивать высокий уровень выживаемости микробов, как в процессе подготовительных работ, так и во время хранения в течение возможно длительного периода времени.

– Осуществление метода хранения микробных культур не должно приводить к запуску механизмов селекции в клеточной популяции во избежание формирования и накопления клона клеток с повышенной резистентностью к неблагоприятным внешним воздействиям (замораживание, высушивание). Должна обеспечиваться сохранность всего естественного разнообразия микробной популяции.

– В процессе хранения должна поддерживаться стабильность биологических свойств микробов, в том числе должна быть исключена возможность генетических изменений в клетках.

– Должна обеспечиваться чистота сохраняемой культуры, невозможность её контаминации посторонней микрофлорой в процессе хранения, а также при проведении некоторых обязательных манипуляций, например, при пересевах микробов на питательных средах.

– На выбор метода хранения той или иной микробной культуры в значительной мере влияет её уникальность, значимость для коллекции. Для хранения редких, ценных культур применяются методы, сводящие к минимуму риск их утраты. Дополнительным страхующим моментом служит

одновременное использование нескольких различных методов.

– Выбор методов хранения должен осуществляться исходя из имеющихся условий: объёма самой коллекции, наличия средств и материалов, обеспеченности оборудованием, квалификации персонала и тому подобного.

– Применяющиеся методы хранения должны одновременно обеспечивать возможность транспортировки сохраняемых культур, не требуя дополнительных условий при этом.

С учётом вышесказанного следует отметить, что единого универсального метода хранения микробных культур, отвечающего всем предъявляемым требованиям, нет. В каждом отдельном случае должен быть индивидуальный подход. Методы хранения микробных культур широко варьируют для разных видов микроорганизмов в силу большого разнообразия присущих им биологических свойств. Даже для разных штаммов одного вида не всегда приемлем один и тот же метод. В то же время большинство исследователей [1 – 3, 7, 8] в качестве основных выделяют следующие методы сохранения микробных культур:

- субкультивирование на питательных средах;
- замораживание;
- высушивание.

Кроме того, в литературе [9] имеются также указания на возможность подразделения всех методов хранения микробов на:

- методы непродолжительного хранения, к которым относят субкультивирование, хранение культур под минеральным маслом, обычное высушивание и обычное замораживание микробов при температуре от 0° до минус 20 °С;
- методы продолжительного хранения, к которым относят глубокое замораживание (ультразамораживание) и сублимационное высушивание микроорганизмов.

Выбор того или иного метода в конечном счёте определяется биологическими особенностями микроорганизма, целями и задачами работ и практическими возможностями лабораторий.

Анабиоз как физиологическая основа методов длительного хранения микробных культур

Явление так называемой скрытой жизни, когда процессы жизнедеятельности организ-

ма настолько снижены, что не представляется возможным доказать их наличие современными методами исследования, довольно широко распространено в природе. Впервые этот феномен при высушивании микроскопических животных был открыт в начале XVIII века Антоном Левенгуком. В последующем данным вопросом занимались многие учёные, пытались доказать или опровергнуть возможность существования этого интересного явления. Анабиоз при замерзании живых организмов был открыт и изучен в конце XIX и начале XX века.

Сам термин «анабиоз» ввёл в 1873 году Прейер, он же предложил называть состояние при высушивании живых организмов со способностью к последующему оживанию анабиотическим [10].

Уже в конце XIX века сложились две основные точки зрения на сущность анабиоза. Первая рассматривала его как явление «минимальной жизни» с глубокой степенью торможения обменных процессов. Другая – считала возможным существование жизни вне связи с процессом обмена веществ в некоем устойчивом состоянии, не допускающем смерти.

Анализируя данные литературы по этому вопросу [11, 12], более правомерной надо полагать первую точку зрения. Вероятнее всего жизненные процессы тормозятся до такой степени, что не улавливаются современными методами исследования, но обеспечивают минимальный жизненный уровень и способствуют полному восстановлению жизнеспособности организма. В пользу этого свидетельствуют следующие факты: высушенные организмы не могут оживать при беспрестанно длительном хранении, длительность процесса оживания прямо пропорциональна времени хранения, по мере хранения идёт постепенное отмирание объектов, невозможна абсолютная дегидратация клетки, в противном случае неминуемо наступает денатурация белка и смерть [10, 12].

И всё же некоторые исследователи и в настоящее время склонны считать анабиоз полной приостановкой жизненных процессов. Например, А.М. Голдовский выделяет три возможных состояния существования живых организмов [13].

- Состояние жизни (биоз) характеризуется двусторонним обменом веществ, сочетанием ассимиляции и диссимиляции, единством структуры и функции. В пределах его возможно временное

снижение интенсивности жизни (гипобиоз), что присуще спячке, оцепенению.

– Промежуточное состояние между жизнью и анабиозом (мезобиоз) характеризуется односторонним обменом веществ, проявлением только диссимиляции.

– Анабиоз характеризуется полным отсутствием обмена веществ и незначительными процессами разрушения, отличными от диссимиляции.

Анабиоз и мезобиоз А.М. Голдовский относит к нежизненным состояниям, поскольку при них отсутствует двусторонний обмен веществ – главный признак жизни, роста, развития.

Из приведённых сведений видно, что до сих пор вопрос о состоянии жизненных функций у высушенных и замороженных микробов остаётся открытым. Как бы то ни было, анабиоз является одной из защитно-приспособительных природных реакций по отношению к неблагоприятным внешним воздействиям, классическим примером чего служит спорообразование у некоторых видов микроорганизмов. Неполное раскрытие сущности анабиоза не мешает, однако, широко применять его в практической деятельности.

Все эффективные методы хранения микроорганизмов основаны на искусственном переводе их в анабиотическое состояние, чего можно достичь, изменив экспериментальным путём условия окружающей среды. Известно, что основным фактором, обеспечивающим протекание биохимических процессов в клетке, является вода. Она составляет от 75 до 85% от массы микробной клетки и служит дисперсионной средой для коллоидов, растворителем для кристаллоидов и сама является компонентом многообразных реакций в клетке. Потеря влаги ведёт к замедлению жизнедеятельности микробной клетки. Устранения действия воды можно добиться либо её удалением (высушивание), либо переводом в неактивное состояние (замораживание).

Использование низких температур для консервирования различных продуктов биологического происхождения известно давно. Однако большая часть исследований по этому вопросу проводилась во второй половине XIX века. В этот же период были достигнуты огромные успехи в области физических наук, касающиеся создания низких температур и приборов для их регистрации.

В настоящее время в различных областях деятельности человека широко применяется

искусственный холод, который позволяет получить низкие температуры, недостижимые с помощью естественных охлаждающих агентов.

Основные механизмы повреждения клеток в процессе замораживания-оттаивания

Изменения, наступающие в биологических объектах под влиянием низких температур, можно разделить на:

- физиологические;
- физико-химические;
- механические [11].

Из явлений физиологического порядка следует отметить «холодовой» (температурный) шок [9, 11, 14]. Термин «температурный шок» был введён Миловановым в 1934 году [9]. Этот феномен заключается в повреждении и гибели клеток при внезапном охлаждении от температуры, при которой происходил рост клеток или они суспендировались, до точки замерзания, но ещё без кристаллизации. Его действию более подвержены клетки в логарифмической фазе роста. Например, при быстром охлаждении молодой культуры *Escherichia coli* от температуры 37 °C до 0 °C гибнет 95% особей. Температурного шока можно избежать при постепенном охлаждении в том же диапазоне температур, что способствует так называемой холодовой адаптации. На чувствительность клеток к шоку влияет состав среды, в которой находятся клетки, концентрация клеток, конечная температура, скорость охлаждения.

В основе шокового феномена лежит нарушение барьерных функций клеточных мембран и гибель клетки [14, 15]. Повреждение мембран связывают с изменениями фазового состояния входящих в их состав липидов [5, 6, 16]. При резком охлаждении они переходят из жидкокристаллического состояния в кристаллическое, мембрана становится менее пластичной и легко повреждается при малейших дополнительных воздействиях, одновременно повышается её проницаемость для растворённых веществ, и они теряются из клетки. Это предположение подтверждают исследования ауксотрофов *E.coli*, характеризующихся определённым набором жирных кислот [14]. Различный жирнокислотный состав липидов мембран обуславливает различную температуру перехода липидов в кристаллическое состояние, а следовательно, и температуру, при которой происходит нару-

шение проницаемости мембран для ионов при холодовом шоке. Таким образом, при замораживании суспензий клеток ещё до начала льдообразования мембрана уже находится в нестабильном состоянии.

Физико-химические и структурные изменения в клетке определяются в основном вне- и внутриклеточной кристаллизацией воды и эвтектической концентрацией солей. Оба указанных процесса тесно взаимосвязаны [11, 14].

При замораживании любого биологического объекта отмечается эвтектическое разделение раствора. Сначала кристаллизуется чистая вода, а соли концентрируются в незамерзшей части до тех пор, пока не будет достигнута максимальная концентрация. Предел максимальной концентрации солей, вслед за которым наступает полное затвердевание раствора при низкой температуре, называется эвтектической точкой (для NaCl она составляет минус 21,5 °C при концентрации 22,4%). Ниже указанной температуры эвтектическая смесь будет образовывать кристаллическое вещество. В живых объектах правильнее говорить об эвтектической зоне с диапазоном около 10 °C, что обусловлено содержанием в клетке разнообразных солей. При нагревании замороженных растворов наблюдается обратная картина. Если в раствор добавить глицерин, то перехода через эвтектическую точку не происходит, а образуется стеклообразная гелевидная масса, содержащая от 60 до 70% глицерина. Образование концентрированного раствора солей в клетке является одним из важных повреждающих факторов, для уменьшения влияния которого используют различные защитные среды.

Согласно современным представлениям основное повреждающее действие при низкотемпературном воздействии на биологические объекты связано с изменением агрегатного состояния воды (льдообразованием) [9, 14, 15, 17, 18]. При построении кривой зависимости выживания микробов от скорости замораживания на ней имеется максимум, соответствующий оптимальной скорости. При скорости замораживания ниже этой величины отмечается внеклеточное льдообразование, клетки при этом уменьшаются в объёме. Если скорость замораживания больше оптимальной, то лёд образуется внутри и снаружи клеток. В цикле работ Мазура [19] показано, что повреждающий фактор замораживания связан с образованием льда в клетке, причём его выраженность определяется количеством

и размерами кристаллов льда. Важно отметить, что размеры кристаллов льда зависят не только от скорости замораживания, но и оттаивания из-за возможности рекристаллизации [16]. Принято считать, что чем выше скорость замораживания, тем меньше размеры образующихся кристаллов льда. При сверхбыстром охлаждении до значительно низких температур от минус 150 °C до минус 196 °C протоплазма клетки превращается в стекловидное вещество, минуя стадию кристаллизации (витрификация) [9, 16].

Большинство авторов [9, 12, 14, 15, 18] считает, что повреждающее действие внутриклеточного льда обусловлено его механическим воздействием на мембранные структуры клеток. Высказано предположение о повреждении мембран большими потоками воды через них, которые возникают при замораживании-оттаивании вследствие градиента химического потенциала воды, а также за счёт нарушения проницаемости мембран при сжатии клетки и проникновении внутрь веществ, сконцентрированных снаружи [15]. При последующем оттаивании в клетке дополнительно накапливается вода, что может привести к так называемому осмотическому шоку.

Подводя итог, следует отметить, что можно выделить несколько основных повреждающих факторов в процессе замораживания-оттаивания:

- образование внутри- и внеклеточного льда;
- повышение внутри- и внеклеточного осмотического давления;
- повышение ионной силы вне и внутри клеток;
- наличие осмотических потоков воды;
- нарушение проницаемости мембран для растворённых веществ.

Факторы, влияющие на устойчивость микробных клеток в процессе замораживания-оттаивания

Об исключительной устойчивости микробов к действию низких температур сообщали ещё Макфэдайн и Роуланд (1900 год) [9]. При замораживании культур возбудителей брюшного тифа, дифтерии, холеры, сибирской язвы, стафилококка, протей и молочнокислых бактерий на 20 часов при температуре минус 182 °C ими было установлено, что все микробные культуры после оттаивания были жизнеспособны.

В одном из своих обзоров Мазур [19] условно разделил микроорганизмы на 4 группы по отношению их к замораживанию-оттаиванию:

- хорошо переносящие и замораживание и оттаивание;
- более чувствительные к замораживанию, чем к оттаиванию;
- нечувствительные к замораживанию и хранению только при определённых условиях;
- не переносящие ни замораживания, ни хранения.

В таблице 1 представлен перечень наиболее значимых факторов, определяющих устойчивость микроорганизмов в процессе замораживания-оттаивания, приведённый Калкоттом [14].

Чувствительность разных видов микробов к замораживанию-оттаиванию неодинакова. В литературе [19] имеются сведения, что грамотрицательные бактерии более чувствительны к замораживанию, чем грамположительные. Из грамположительных микробов наибольшей устойчивостью обладают кокки. Подобное различие, вероятно, связано с особенностями строения клеточной стенки. Даже в пределах одного вида разные штаммы показывают неодинаковую чувствительность к низким температурам [14].

Для ряда бактерий установлено, что наиболее подвержены повреждениям клетки в логарифмической фазе роста. Состав среды культивирования также может влиять на криочувствительность бактерий [19, 20]. Например, некоторые виды рода *Pseudomonas* различаются по чувствительности к замораживанию в зависимости от того, выращены ли они на питательном бульоне, либо на цитратной среде Косера [15]. Выращивание клеток *Lactobacillus bulgaricus* на среде с олеатом натрия увеличивает их резистентность, при этом в составе их липидов содержится повышенное количество C_{19} -циклопропановой кислоты [15]. Наличие в среде культивирования кислорода также влияет на криоустойчивость, показано, что для клеток *E.coli* увеличение аэрации приводит к повышению их резистентности к холоду. Арпай показал, что выживаемость бактериальных клеток при замораживании в значительной степени зависит от количественного содержания нуклеиновых кислот. Чем их больше, тем клетка устойчивее к действию низких температур, а накопление нуклеиновых кислот прямо зависит от среды культивирования. Они накапливаются в наибольшем количестве на обогащённых питательных средах [цит. по 10].

Влияние состава среды, в которой производится замораживание, будет рассмотрено

Таблица 1

Известные факторы, влияющие на выживаемость микробов при замораживании и оттаивании (по Mac Leod и Calcott, 1976) [14]

Фактор	Авторы
Тип и штамм микроорганизма	Mazur, 1966
Плотность популяции	Major, Mc Dougal, 1955
Питательный состав среды выращивания	Calcott, Mac Leod, 1974
Фаза и скорость роста	Davies, 1970; Calcott, Mac Leod, 1974
Состав среды для замораживания	Harrison, 1956; Postgate, Hunter, 1961
Скорость охлаждения до точки замерзания суспензии	Sherman, Albus, 1923; Meynell, 1958
Скорость охлаждения от точки замерзания суспензии	Mazur, 1966; Davies, 1970
Время выдерживания при низкой температуре	Haines, 1938; Harrison, 1956
Температура выдерживания	Haines, 1938; Straka, Stokes, 1959
Скорость нагревания до точки плавления	Mazur, 1966; Calcott, Mac Leod, 1974
Разведение среды при определении жизнеспособности	Bretz, Hartsell, 1959
Метод определения жизнеспособности	Postgate, 1969
Среда, используемая для оценки жизнеспособности	Straka, Stokes, 1959

Таблица 2

Характеристика скоростей охлаждения

Характер изменения температуры	Скорость изменения температуры	Пределы изменения	Авторы
Сверхбыстрое	От 2 секунд и менее	От 0 до минус 190 °С	Люйе, 1941
Быстрое	От 2 секунд до 2 минут	От 0 до минус 79 °С	Смит, Польдж, 1950
Медленное	10 минут и более	От 0 до минус 79 °С	Смит, Польдж, 1950
Очень медленное	1 час и более	На 20 °С в любых пределах	Польдж, Лавлок, 1952

ниже. В целом же надо отметить, что наличие в среде замораживания солей оказывает неблагоприятное воздействие. Однако некоторые ионы, например Mg^{2+} , оказывают протективное действие при замораживании. Для защиты клеток от гибели при криоконсервации используются самые различные соединения, механизм действия которых будет рассмотрен далее.

Для каждого вида микроорганизмов имеется оптимальная скорость замораживания. Некоторые авторы [21] для выбора оптимального режима и температуры замораживания клеток рекомендуют проводить предварительную оценку с использованием метода электронной микроскопии, который позволяет проследить структурные изменения в клетке в результате воздействия низких температур. О. Смит рекомендует условно различать следующие скорости охлаждения (табл. 2) [9].

Заслуживает внимания процедура двухэтапного замораживания биологических объектов, разработанная Фаррантом [22, 23], основанная на выборе условий, обеспечивающих эффективную дегидратацию клеток при относительно слабом воздействии концентрированных солей. При этом сначала замороженная культура кратковременно выдерживается при температуре от минус 20 °С до минус 30 °С, а затем температуру понижают до минус 196 °С. Этот метод был продемонстрирован на примере эукариотических клеток, которые являются более чувствительными к действию низких температур, чем клетки прокариотов. Таким образом, использование данного метода консервации вполне возможно и для микробов.

Следует отметить, что при кратковременном замораживании микроорганизмы высоко устойчивы в очень большом диапазоне низ-

ких температур. Однако наибольшая гибель во время непосредственного замораживания наблюдается при более высоких температурах до минус 30 °С и связана в основном с эвтектическим повреждением, в то время как в процессе длительного хранения микробы проявляют лучшую выживаемость при температурах ниже минус (70-80) °С [1, 14, 19, 20, 24 – 27]. Калкотт [14] приводит следующие данные: при температуре минус 80 °С гибель микробов при хранении в 1000 раз меньше, чем при температуре от минус 10 °С до минус 15 °С.

В настоящее время применяют криоконсервацию микробов при температурах от 0 °С до минус 196 °С. Обычное замораживание при температуре от 0 до минус 20 °С в принципе не рекомендуется вследствие высокого риска эвтектического повреждения клеток. Вместе с тем некоторые бактерии могут сохраняться таким образом от 6 до 24 месяцев. Замораживание при минус 70 °С используется для сохранения самых разнообразных микроорганизмов: бактерий, простейших, грибов, вирусов. Замораживание при минус 140 °С и минус 196 °С (в парообразной и жидкой фазе азота) обычно применяют для чувствительных к повреждению биологических объектов, этот процесс называется ультразамораживанием.

Как известно, повторные замораживания и оттаивания крайне неблагоприятно сказываются на выживаемости микроорганизмов. Существуют методики, позволяющие избежать этого. В национальной коллекции типовых культур Великобритании с этой целью применяют замораживание микробной суспензии при температуре минус (60 – 76) °С в смеси со стеклянными бусами [1]. По мере надобности из сосуда с криоконсервированной культурой

извлекается асептически одна или несколько бусин, с которых и производится высеv.

При оттаивании криоконсервированных культур также нужно соблюдать ряд требований. Быстрое нагревание всегда более предпочтительно, чем медленное, оно оказывает больший протективный эффект. Особенно важно это для ультразамороженных культур, их оттаивают максимально быстро, так как во время медленного размораживания создаётся угроза рекристаллизации и дополнительного повреждения клеток. Такие культуры рекомендуют нагревать при температуре от 20 °C до 60 °C по Э.Я. Граевскому [10], 40 °C по И.В. Смирнову [25].

Кроме того, при определении жизнеспособности клеток после оттаивания надо учитывать влияние на клетки самих манипуляций при проведении той или иной методики. Очень большое значение имеет питательная среда, на которую высевают культуру, так как именно она обуславливает способность клеток к размножению [14, 20]. В литературе [15] приводится деление всех клеток замороженной популяции на 3 вида:

- неповреждённые;
- повреждённые;
- нежизнеспособные.

Неповреждённые клетки могут расти как на минимальных, так и на богатых питательных средах. Клетки повреждённые растут только на богатой питательной среде. Нежизнеспособные клетки не растут даже на богатых средах. Соотношение этих видов клеток в замороженной популяции зависит от многих факторов, и в первую очередь от условий замораживания-оттаивания. Способность повреждённых клеток расти на богатой питательной среде указывает на возможность репарации повреждений. Репарация повреждений на фоне низкой температуры может быть двух видов: неметаболической и метаболической. Первый вид репарации связан с возможностью восстановления структуры мембран клеток после замораживания за счёт их естественной способности к самоорганизации. Метаболическая репарация находится в связи со специфическими факторами среды. Так показано, что такие добавки к среде, как триптиказа, глутаминовая кислота, аланин, положительно влияют на репарацию повреждённых клеток, а серин и некоторые ионы, например, меди, уменьшают число восстановившихся клеток [15].

Таким образом, чувствительность микробов к замораживанию-оттаиванию является

функцией многих переменных и связана непосредственно как со свойствами самих микробов, так и с условиями криоконсервации.

Структурная основа повреждений микробов при замораживании-оттаивании

Основной структурой, повреждаемой при замораживании-оттаивании, является цитоплазматическая мембрана, как один из самых активно функционирующих элементов клетки. Главным образом, подобное повреждение сводится к нарушению её барьерных свойств и может носить временный и стойкий характер [24, 27 – 30]. Временное повреждение в основном сводится к выходу из клетки некоторых низкомолекулярных веществ, в частности, ионов калия, его обратимость связана с возможностью самопроизвольного восстановления структуры мембран при положительных температурах [24]. Стойкие повреждения обуславливают выход из клетки ряда внутриклеточных ферментов, что определяется по увеличению их доступности для добавляемых извне субстратов [15]. После замораживания-оттаивания страдают некоторые энзиматические функции мембран: активный транспорт, дыхание, что может быть связано либо с выходом из клетки субстратов энергетического обмена, либо с частичной инактивацией соответствующих ферментных систем. Нарушение функций мембран, вероятнее всего, имеет под собой основной структурные изменения, что подтверждается обнаружением во внеклеточной среде компонентов мембраны: липополисахаридов, белков, липидов [31].

Чувствительность генетических структур микробов к криоконсервации невелика. В пользу этого свидетельствует отсутствие мутаций после низкотемпературного воздействия на микроорганизмы [25]. Но есть отдельные указания на возможность одонитевых разрывов ДНК в ходе замораживания-оттаивания [26]. Кроме того, имеются указания [30, 31] на возможность метаболического повреждения генома клеток в процессе выхода их из анабиотического состояния. Подобные повреждения, связанные с дисбалансом ферментных систем клетки, особенно выражены при повторном замораживании-оттаивании, а также при нагревании микробов в процессе оттаивания до 37 °C. Они выражаются в разрывах ДНК и накоплении продуктов дегра-

дации на фоне подавленного синтеза ДНК и белка. Данное повреждение генома, вероятно, является одной из причин гибели клеток при замораживании-оттаивании. Нельзя также исключить возможность повреждения некоторых белков при воздействии низких температур. Однако этот вопрос до конца ещё не изучен.

Таким образом, на основании литературных данных следует признать, что наиболее уязвимой структурой при замораживании-оттаивании является мембрана, и её повреждение в значительной мере определяет чувствительность микробов в процессе криоконсервации.

Криозащитные вещества

Применение криозащитных веществ в процессе низкотемпературной консервации биологических объектов является одним из самых доступных, перспективных и широко разрабатываемых в настоящее время путей повышения устойчивости микробов к замораживанию.

Существует несколько подходов к классификации криопротекторов. По составу среды выделяют простые и сложные криопротекторы: к простым относят вещества или смеси с идентифицированной химической структурой (глицерин, диметилсульфоксид); к сложным относятся смеси неопределённого состава (молочный белок, мясной экстракт, сыворотка) [19].

Криопротекторы подразделяют также в зависимости от избирательности их действия на том или ином этапе криоконсервации [27]. Выделяют вещества, защищающие от повреждений в процессе замораживания (глицерин, сахара, гликоли), а также во время хранения (яичный белок, молочный белок, сыворотка).

Наиболее традиционным является деление криопротекторов на проникающие и непроникающие [27]. Проникающие криопротекторы (глицерин, диметилсульфоксид) по мере замерзания внеклеточной воды концентрируются и снижают степень эвтектического повреждения клеток, их целесообразно применять при низких скоростях замораживания [9]. Непроникающие криопротекторы (поливинилпирролидон, декстран, полиэтиленгликоль) вызывают дегидратацию клеток и снижают внутриклеточную кристаллизацию воды, они также непосредственно влияют на мембраны клеток [19].

Одним из самых эффективных и наиболее давно известных криопротекторов является представитель многоатомных спиртов – глицерин. Его защитные свойства были случайно открыты в 1949 году Польджем. Однако ещё в 1946 году Ростан уже применял его для защиты сперматозоидов лягушки при хранении их в условиях низкой температуры [9]. Важное достоинство глицерина заключается в том, что он – естественный метаболит во многих клеточных реакциях, не оказывает вредного влияния на ферментативные системы клетки, не токсичен даже в высоких концентрациях. Глицерин обладает замечательной растворимостью. Его низкий молекулярный вес позволяет ему хорошо проникать внутрь клетки. Что касается механизма криозащитного действия этого соединения, то целый ряд исследователей полагает [9, 10, 14, 15], что глицерин изменяет структуру воды в клетках и вокруг них за счёт перераспределения водородных связей, при этом снижается точка замерзания воды и замедляется скорость кристаллизации. По данным Смита [9], в присутствии (15 – 20) % глицерина температура образования льда в клетках снижается до минус (10-20) °С. Замедление скорости кристаллизации воды в клетке приводит к уменьшению повреждающего действия концентрированного раствора солей до достижения эвтектической точки. Рассматривалась также способность глицерина содействовать развитию витрификации при сверхбыстром ультразамораживании [9]. Исследованиями А.Д. Заморского [11] было показано влияние глицерина и на форму образующихся кристаллов льда, что тоже уменьшает повреждение клеток в процессе замораживания.

Подобным механизмом действия обладает диметилсульфоксид. По данным Феррента, 40%-ная концентрация его в замораживаемой суспензии клеток практически полностью предотвращает увеличение концентрации NaCl в растворе и эвтектическое повреждение при охлаждении до минус 80 °С [11].

Прочие низкомолекулярные вещества (глюкоза, лактоза, сахароза, маннит, сорбит, мочевины) в клетку не проникают и по механизму действия напоминают высокомолекулярные криопротекторы. Надо отметить, что их защитное действие наиболее выражено непосредственно в ходе замораживания, а в процессе хранения этот эффект отсутствует.

Высокомолекулярные вещества, такие как поливинилпирролидон, пептон, гликоли,

декстран, белки, желатоза и другие относятся, как указывалось выше, к непроницающим криопротекторам. Они оказывают стабилизирующее действие на внеклеточную воду за счёт перераспределения водородных связей, могут изменять проницаемость мембран для ионов натрия и калия, регулируют потоки воды через мембрану клетки во время замораживания-оттаивания, уменьшая тем самым осмотическое повреждение клеток [9, 14, 18, 20]. Из них широкое применение для целей криопротекции нашёл поливинилпирролидон, однако отдельными исследованиями отмечено, что существует возможность проявления бактерицидного эффекта поливинилпирролидона при использовании его в концентрации порядка 10% [33]. Относительно применения гликолей в качестве криопротекторов имеются данные, что они в высоких концентрациях токсичны для клеток, а в обычных концентрациях способны ингибировать некоторые ферментные системы клетки [34].

Издавна с целью защиты микробных культур при замораживании и хранении применяли стабилизирующие среды так называемого неопределённого состава: яичный белок, обезжиренное молоко, кровь, сыворотку, солодовый экстракт. Их действие, вероятно, носит смешанный характер. Эти смеси показывают хороший защитный эффект в процессе длительного хранения культур.

Исследования по сравнению действия проникающих и непроницающих криопротекторов (глицерина и декстрана) проводили Л.Ф. Смирнова и С.С. Автушенко [35]. Они оценивали степень их протективного влияния на мембраны клеток по количеству освобождённых из них низкомолекулярных биополимеров. Глицерин не влиял на проницаемость мембран в исходной культуре при замораживании до минус 10 °С и не защищал их от действия детергента лаурилсульфата натрия, но был эффективен при ультразамораживании при минус 196 °С, что, вероятно, связано с его влиянием преимущественно на внутреннюю мембрану клеток. Декстран же более эффективен в защите внешней мембраны вследствие взаимодействия с её структурами и стабилизации их. Он значительно снижал потерю клетками низкомолекулярных биополимеров как в исходной культуре, так и при замораживании до минус 10 °С и при влиянии детергента. Наиболее благоприятные результаты получены при совместном использовании глицерина и декстрана.

В литературе имеются отдельные сведения и по некоторым другим способам хранения микробных культур в замороженном состоянии, например, в трупах и органах инфицированных животных [20].

В заключение следует привести несколько практических рекомендаций. Замораживание микробных суспензий желательно производить в небольшом объёме от 1 до 2 см³. В качестве защитных сред можно использовать 15-процентный глицерин, 10-30-процентный раствор глюкозы, лактозы, сахарозы, 1-процентный раствор диметилсульфоксида, 5-10-процентный желатин, 5-процентный раствор пептона, 30-50-процентную сыворотку животных, инактивированную в течение 1 часа при температуре 56 °С, 30-50-процентное обезжиренное молоко. Средняя продолжительность хранения микробных суспензий в замороженном состоянии составляет: при минус (15-20) °С – 6 месяцев; при минус 30 °С – от 6 до 9 месяцев; при минус 40 °С 12 месяцев; при минус (50-60) °С – до 3 лет; при минус (70-80) °С и ниже – не менее 10 лет [11, 36] при условии строгого соблюдения температурного режима хранения, так как даже кратковременные колебания температуры значительно снижают жизнеспособность микробов.

Таким образом, низкотемпературная консервация микробных культур весьма перспективна ввиду своей простоты, доступности и эффективности в плане выживаемости микробов и сохранения стабильности их биологических свойств.

Литература

1. Maintenance of Microorganisms. A manual of Laboratory Methods / Ed. by B.E. Kirsop, J.J. Snell. - London: Academic Press, 1984. 207 p.
2. The Role of Culture Collection in the Era of Molecular Biology / Ed. by R.R. Colwell. Amer. Soc. for Microbiol. Washington, D.S. 1976. 132 p.
3. Методы хранения коллекционных культур микроорганизмов. Москва. 1967. 167 с.
4. Clark W. A., Teary D. H. History of American Type Culture Collection. Adv. in Appl. Microbiol. 1974. V. 17. P. 295-309.
5. Кудрявцев В.И. Коллекции типовых культур микроорганизмов в Англии // Микробиология. 1963. Т. 32. Вып. 5. С. 909-911.
6. Кудрявцев В.И. Коллекции типовых культур микроорганизмов // Микробиология. 1965. Т. 34. Вып. 3. С. 564-567.

7. Теоретические и практические аспекты современной криобиологии. Киев. 1989. 78 с.
8. Евтушенко Л.И., Хоксворт Д.Л. Руководство по организации и деятельности коллекций культур микроорганизмов // Микробиология. 1993. Т. 62. С.721-723.
9. Смит О. Влияние низких температур на живые ткани и клетки // Применение замораживания-высушивания в биологии / Под ред. Р. Харриса. Москва. 1956. 503 с.
10. Колесов С.Г. Анабиоз патогенных микроорганизмов. Москва. 1959. 142 с.
11. Никитин Е.Е., Звягин И.В. Замораживание и высушивание биологических препаратов. Москва. 1979. 337 с.
12. Беккер М.Е., Дамберг Б.Э., Раппопорт А.И. Анабиоз микроорганизмов. Рига. 1981. 178 с.
13. Голдовский А.М. Анабиоз. Москва. 1980. 167 с.
14. Калкотт П. Замораживание и размораживание микробов. Москва. 1980. 71 с.
15. Говорунов И.Г., Пучков Е.О. Низкотемпературная консервация бактерий // Общие вопросы микробиологической промышленности. Вып. 4. Москва. 1982. 19 с.
16. Orndorff G.R., MacKenzie A.P. The function of the suspending medium during the freeze-drying preservation of *Escherichia coli* // Cryobiology. 1973. V. 10. № 6. P. 475-487.
17. Пушкарь Н.С., Белоус А.М. Введение в криобиологию. Киев. 1975. 204 с.
18. Рэ Луи Консервация жизни холодом. Москва. 1962. 175 с.
19. Mazur P. In: Cryobiology. New-York - London: Academic Press. 1966. P. 213-315.
20. Эшвуд-Смит М. Консервирование микроорганизмов замораживанием, сушкой из замороженного состояния и обезвоживанием в эксикаторе. Москва. 1982. 36 с.
21. Свентицкий Е.Н., Чурилина С.Е., Писаревский Ю.С., Курганская Г.В. Наблюдение процессов низкотемпературной кристаллизации в водной суспензии клеток методом электронной микроскопии // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1989. № 8. С. 14-17.
22. Daw A., Farrant J., Morris G.J. Membrane leakage of solutes after thermal shock of freezing // Cryobiology. 1973. V. 10. № 2. P.126-133.
23. The frozen cell / Ed. by G.E.W. Wolstenholm, M.O'Connor. London: Churchill, 1970. 97 p.
24. Calcott P.H., Mac Leod R.A. The survival of *Escherichia coli* from freeze-thaw damage: permeability barrier damage and viability // Can. J. Microbiol. 1975. V. 21. № 11. P. 1724-1732.
25. Bradly S.G. // Culture Collection: Perspectives and Problems Proceedings of the Specialists Conference on Culture Collection (S.M. Martin ed.). University of Toronto Press. Canada, 1963. 214 p.
26. Swartz Harold M. Effect of oxygen on freezing damage: II. Physicalchemical effects // Cryobiology. 1971. V. 8. № 3. P. 255-264.
27. Mac Leod R.A., Calcott P.H. // The Survival of Vegetative Microbes: 26-th Symp. Soc. Gen. Microbiol. University Cambridge. Cambridge, E.A., 1976. P. 81.
28. Цуцаева А.А., Кудогоцева О.В. Криостабильность дрожжевых клеток и их чувствительность к основным факторам замораживания // Микробиология. 1990. Т. 59. С. 339-341.
29. Тимошин А.А., Раппопорт А.И., Бекер М.Е. Влияние высушивания на термоиндуцированные структурные перестройки цитоплазматической мембраны клеток дрожжей // Микробиология. 1990. Т. 59. С. 679-682.
30. Иванов В.Н., Раппопорт А.И., Пиндрус А.А., Саулите Л.А., Шифрук Т.А. Фазоспецифичность повреждений и репарации поврежденных клеток дрожжей при обезвоживании-регидратации и замораживании-оттаивании // Микробиология. 1988. Т. 57. С. 341-344.
31. Цуцаева А.А., Казанская Л.Н., Балыбердина Л.М., Маркова В.М., Кудогоцева О.В., Кадникова Н.Г. Влияние условий криоконсервирования на морфофункциональные свойства *Saccharomyces cerevisiae* // Микробиология. 1988. Т. 57. С. 338- 400.
32. Файбич М.М. Стабилизация вакцинных препаратов в процессе высушивания и хранения // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1968. № 2. С. 59-66.
33. Мальцев В. Н., Стрельников В. А., Федоровский Л. Л. Влияние поливинилпирролидона на микробные клетки // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1987. № 4. С. 9-11.
34. Галаев Ю. В., Фролов В. И., Кириш Ю. Э. Влияние полимеров на биологические свойства микроорганизмов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1987. № 4. С. 110-111.
35. Смирнова Л. Ф., Автушенко С. С. О механизмах защитного действия криопротекторов на клетки *E. coli* // Микробиология. 1988. Т. 57. Вып. 3. С. 494-498.
36. Герна Р. Хранение микроорганизмов // Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхардта и др. Москва. 1983. Т. 1. 210 с.

Экологическое состояние окружающей природной среды по показателям стабильности развития берёзы повислой

© 2009. В.П. Иванов¹, д.б.н., профессор; С.И. Марченко¹, к.с.-х.н., доцент;

Н.В. Акименков², к.г.н., директор

¹Брянская государственная инженерно-технологическая академия,

²РЦ ГЭКиМ по Брянской области,

e-mail: marbryansk@mail.ru

Анализируется состояние лесных сообществ в условиях антропогенного воздействия методом дендроиндикации. Сделана попытка увязать величину показателя стабильности развития берёзы повислой и содержания некоторых металлов в листьях берёзы.

The state of forest communities in conditions of anthropogenic impact is analyzed with the help of dendro-identification method. An attempt is made to find out correlations between birch growth stability and the content of some metals in birch leaves.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, берёза повислая, стабильность развития, стресс, содержание металлов

Экологические системы в последние десятилетия испытывают постоянный прессинг различных негативных воздействий усиливающегося антропогенеза. Леса зелёных зон вокруг городов испытывают негативные воздействия из-за фрагментирования территории (густая дорожно-тропиночная сеть, разрубленные трассы ЛЭП, газо- и нефтепроводы), ежегодного увеличения количества отдыхающих (замусоривание леса бытовыми отходами, последствия от разведения костров в пожароопасный период) и ряда других причин, связанных с деятельностью человека. Брянские леса не являются исключением – прессинг на окружающую природную среду в районе г. Брянска продолжает возрастать [1].

Современные методы биоиндикации позволяют изучать динамику происходящих в экосистемах процессов, давать оценку напряжённости стрессовых воздействий комплекса факторов, оказывающих влияние на гомеостаз живых организмов. Наиболее перспективным методом биоиндикации в настоящее время является оценка стабильности развития берёзы повислой, рассчитанной по величине флуктуирующей асимметрии (ФА) листовых пластинок [2]. Эта методика получает широкое применение в мониторинге природных систем в районах техногенных воздействий [3].

Объектом настоящих исследований являлась территория опытного лесничества (обра-

зовано в 1906 г.) Брянской государственной инженерно-технологической академии, расположенного к востоку от г. Брянска. Лесной массив стал испытывать значительное антропогенное воздействие с 40-х годов, особенно в период Великой Отечественной войны. Постепенно рекреационная нагрузка увеличилась (посещение леса отдыхающими, проведение практик студентов, создание турбазы, строительство дач для партактива области, открытие памятника брянским партизанам и подведение дорог к нему и т. д.). Возрастала и техногенная нагрузка. В настоящее время лесной массив разрезают крупные автодороги (Москва – Украина, Брянск – Орел); железная дорога (Брянск – Орёл); ЛЭП 35-110 Кв; нефтепродуктопроводы. Длительное время по соседству, в п. Белые Берега, работала ТЭС с использованием в качестве топлива торфа. Строительство в начале 70-х годов крупного «разъездного узла» на пересечении автодорог Москва – Украина, Брянск – Орёл вызвало изменения гидрологического режима на значительной площади.

Исследования, выполняемые с 2006 г., позволили дать оценку экологического состояния лесных экосистем. В соответствии с методическими рекомендациями [2] в 11 пунктах на территории опытного лесничества были собраны листья берёзы повислой в конце июня – начале июля 2006 г.

Всего со 110 деревьев (по 10 деревьев в каждом пункте) собрано 1212 листьев для

определения морфометрических признаков листовых пластинок. Выполнено 110 серий фиксирования (сканирования) полевых материалов, составивших графическую базу данных. Обработка выполнена с использованием компьютера [4]. Проведено 12120 измерений пластических признаков листовых пластинок (при помощи дигитайзера сняты координаты 13332 контрольных точек). Проведена стандартная статистическая обработка 1334 рядов данных.

Анализ полученных результатов с использованием программы Surfer® 8 (метод Polynomial Regression) позволил выявить общую тенденцию (плоскостной тренд) ухудшения экологического состояния по показателям стабильности развития берёзы повислой на территории опытного лесничества в направлении с северо-востока на юго-запад, с приближением к г. Брянску. Выявлена неоднородность экологического состояния экосистем по показателям стабильности развития берёзы повислой: пункты хорошего (низкие значения величины флуктуирующей асимметрии) и кризисного состояния природных экосистем [5].

Собранные листья, после определения величины флуктуирующей асимметрии каждой серии образцов, высушивали до воздушно-сухого состояния и гербаризировали. Сделана попытка выявить зависимость величины флуктуирующей асимметрии листьев от содержания металлов в них. Листья измельчали и прессовали в таблетки при помощи гидравлического ручного пресса ПРГ-10. Определение содержания металлов в листьях осуществляли в аналитической лаборатории РЦ ГЭКиМ по Брянской об-

ласти на рентгеновском флуоресцентном спектрометре «Спектроскан-МАКС-G».

Результаты определения содержания металлов в образцах листьев позволили выявить ряд химических элементов, имеющих аналогичную динамику с показателем стабильности развития берёзы повислой.

Корреляционная матрица (табл. 1) имеет значительное количество пар данных, характеризующихся довольно высокими значениями коэффициентов корреляции. Так, например, корреляция между величиной показателя стабильности развития берёзы повислой и содержанием в листьях стронция, цинка и меди может характеризоваться как заметная (по Чеддоку), а хрома, железа и марганца – как высокая. Так как количество наблюдений (пунктов пробоотбора) невелико, при корреляционном анализе оценивали величину преобразованного коэффициента корреляции (z).

Оказалось, что, несмотря на довольно высокое значение коэффициента корреляции пары ФА-Sr ($r=0,598\pm0,267$; $t_r=2,24$), количества пунктов наблюдений оказалось недостаточно для обоснования достоверности выводов; величина преобразованного коэффициента корреляции $z=0,689$ оказалась недостоверна $t_z=1,95$ – меньше критического значения для 95%-ного уровня значимости $t_{95\%}=2,26$. Аналогичные результаты получены для цинка и меди.

В паре ФА-Zn $r=0,522\pm0,284$; $t_r=1,84$. Величина преобразованного коэффициента корреляции $z=0,579$; $t_z=1,64 < t_{95\%}=2,26$. В паре ФА-Cu $r=0,661\pm0,250$; $t_r=2,64$. Величина преобразованного коэффициента корреляции $z=0,795$; $t_z=2,25 < t_{95\%}=2,26$.

Таблица 1
Корреляционная матрица значений флуктуирующей асимметрии листьев берёзы повислой и содержания в них некоторых металлов

	ФА	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr
ФА	1,00										
Sr	0,60	1,00									
Pb	-0,24	-0,02	1,00								
As	-0,39	-0,18	0,95	1,00							
Zn	0,52	0,22	0,45	0,27	1,00						
Cu	0,66	0,49	-0,06	-0,15	0,53	1,00					
Ni	0,36	0,26	-0,15	-0,16	0,29	0,71	1,00				
Co	-0,15	-0,11	0,02	0,15	-0,29	-0,12	0,32	1,00			
Fe	0,82	0,62	-0,12	-0,26	0,43	0,49	0,09	-0,58	1,00		
Mn	0,82	0,63	-0,12	-0,26	0,42	0,48	0,09	-0,56	1,00	1,00	
Cr	-0,72	-0,43	0,07	0,16	-0,47	-0,49	-0,62	-0,23	-0,49	-0,51	1,00

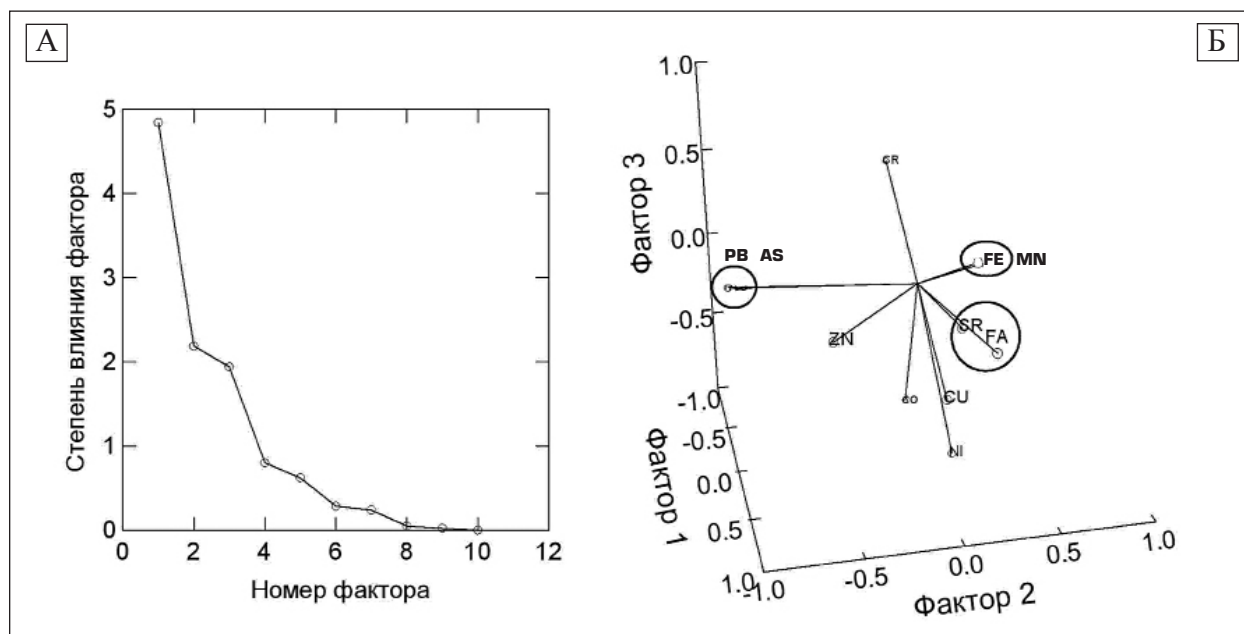


Рис. 1. Графическое представление результатов факторного анализа матрицы данных

Достоверность корреляции величины флуктуирующей асимметрии и содержания в листьях железа и марганца удалось обосновать на 95%-ном уровне значимости. В паре ФА-Fe $r=0,815 \pm 0,193$; $t_r=4,23$. Величина преобразованного коэффициента корреляции $z=1,143$; $t_z=3,23 > t_{95\%}=2,26$. В паре ФА-Mn $r=0,815 \pm 0,193$; $t_r=4,23$. Величина преобразованного коэффициента корреляции $z=1,143$; $t_z=3,23 > t_{95\%}=2,26$.

Достоверность корреляции величины флуктуирующей асимметрии и содержания в листьях хрома также удалось обосновать на 95%-м уровне значимости, однако связь обратная: $r=-0,724 \pm 0,230$; $t_r=3,15$. Величина преобразованного коэффициента корреляции $z=-0,916$; $t_z=2,59 > t_{95\%}=2,26$.

Следует отметить, что и между содержанием некоторых металлов выявлены достоверные корреляции. Например, высокая достоверная корреляция на 95%-ном уровне значимости между содержанием никеля и меди; весьма высокая достоверная – на 99,9%-ном уровне значимости между содержанием железа и марганца, мышьяка и свинца.

Результаты факторного анализа (рис. 1, А) свидетельствуют о том, что количество факторов вполне может быть сокращено, по крайней мере до 6. Результаты вращения матрицы данных по алгоритму QUARTIMAX (рис. 1, Б) демонстрируют значительное сходство факторных нагрузок у пар данных ФА-Sr, Fe-Mn, Pb-As.

Графическое представление данных по содержанию металлов в листьях, сопостав-

ленное показателям стабильности развития берёзы повислой в каждом из пунктов наблюдений в границах опытного лесничества, свидетельствует о некоторых специфических особенностях варьирования анализируемых показателей. В качестве иллюстрации приводим модели, построенные по данным содержания стронция в образцах листьев (рис. 2).

Попытка построения множественной регрессионной модели, в которую мы включили значения (содержание металлов в листьях), характеризующиеся прямой корреляционной связью с величиной показателя стабильности развития берёзы повислой, показала довольно тесную связь между величиной флуктуирующей асимметрии листьев берёзы повислой и совокупным действием абсолютного содержания в них стронция, цинка, меди, никеля, железа и марганца.

Получены следующие результаты: множественный коэффициент корреляции $R=0,88$; $R^2=0,77$; нормированный $R^2=0,44$; стандартная ошибка 0,0031.

Данные множественного регрессионного анализа показывают, что 77,4% общей вариации результирующего признака объясняется вариацией факторных признаков. Это говорит о том, что выбранные факторы оказывают довольно значительное влияние на величину показателя стабильности развития берёзы повислой. К сожалению, рассчитанный уровень значимости $F=0,22 > 0,05$ не позволяет говорить о значимости полученного коэффици-

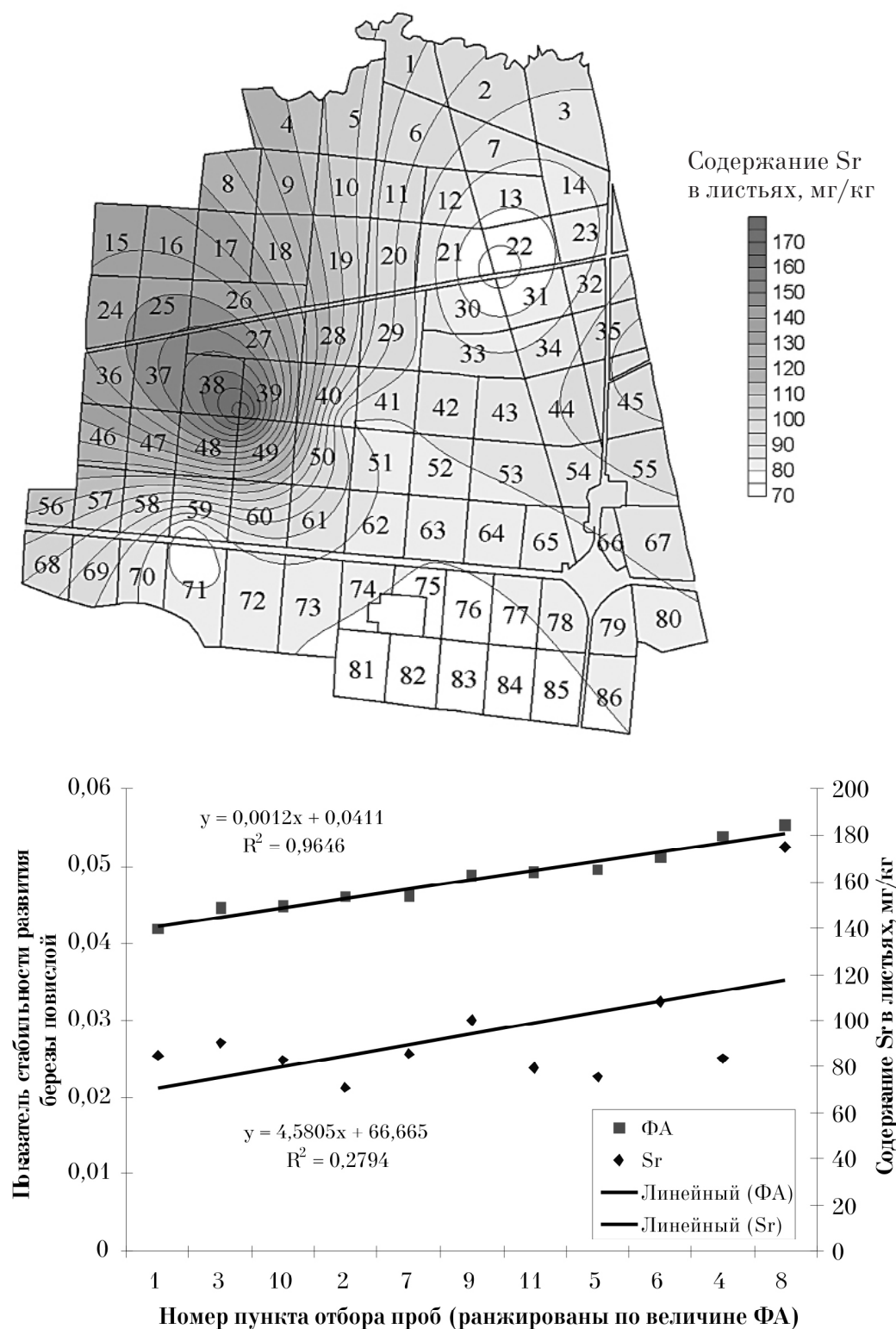


Рис. 2. Модели содержания стронция в образцах листьев

ента детерминации. Не удалось подтвердить и значимость полученных коэффициентов уравнения. Вместе с тем имеются некоторые параллели с аналогичными исследованиями в Орловской области, в районе шлакоотвала «Думчинский» [6]. Совпали общие тенденции

по таким металлам, как железо, марганец и никель.

Вероятно, на экологическое состояние природной среды в условиях опытного лесничества оказывает влияние не только загрязнение биоты тяжёлыми металлами, но

и иные факторы, что требует продолжения исследований. Расширение географии исследований позволит получить новые данные о влиянии различных факторов на величину интегрированного показателя стабильности развития берёзы повислой и использовать их при оценке состояния лесных экосистем.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды по Брянской области в 2006 г.» / Сост. В.П. Иванов, М.Ю. Смирнова, С.И. Марченко, Д.И. Нартов, А.И. Сахаров. Брянск. 2007. 299 с.
2. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
3. Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Акименков Н.В. Использование интегрированного показателя стабильности развития берёзы повислой в мониторинговых исследованиях // Мониторинг природных экосистем в зонах защитных мероприятий объектов по уничтожению химического оружия. Пенза. 2007. С. 47-53.
4. Марченко С.И. Техника выполнения измерительных работ с использованием компьютера: учеб. пособие. Брянск: БГИТА, 2008. 20 с.
5. Марченко С.И., Шошин В.И. Результаты оценки экологического состояния окружающей природной среды территории Опытного лесничества БГИТА по показателям стабильности развития берёзы повислой // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. Вып. 1. 2007. С. 52-56.
6. Кузнецов М.Н., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Соболева Л.М. Оценка экологического состояния окружающей природной среды в районе складирования отходов алюминиевого производства // Вестник МАНЭБ. 2008. Т. 13. № 2. С. 10-18.

Российская академия наук
Уральское отделение РАН
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
Русское ботаническое общество
Российский фонд фундаментальных исследований

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ! ПРИГЛАШАЕМ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ

в работе II Всероссийской научно-практической конференции
«ВОДОРΟΣЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТАКСОНОМИИ, ЭКОЛОГИИ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОНИТОРИНГЕ»

(в рамках конференции планируется проведение школы
для молодых специалистов альгологов)

5 – 9 октября 2009 г., г. Сыктывкар

Целью конференции является ознакомление с современными подходами и методами в области изучения таксономии, разнообразия, генетики и экологии водорослей.

На конференции будут рассмотрены проблемы по следующим направлениям.

- Современная таксономия водорослей (морфологические, функциональные, молекулярно-генетические аспекты).
- Разнообразие, экология и география водорослей. Структура и функционирование альгоценозов.
- Флоры водорослей. Редкие виды и малоизученные группы.
- Использование альгоиндикации в оценке качества водной и наземной среды.
- Современные методы и подходы к изучению пресноводных и почвенных водорослей.

Контактные адреса и телефоны оргкомитета:

167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28,
тел.: (8212) 24-52-98; факс: (8212) 24-01-63,
эл. почта: algo@ib.komisc.ru, веб: http://ib.komisc.ru/add/conf/algo_2009

Оценка вклада сточных вод объекта уничтожения химического оружия в г. Камбарка в общее загрязнение водных объектов

© 2009. А.А. Абрамова, аспирант; В.Г. Исаков, д.т.н., заведующий кафедрой, Ижевский государственный технический университет, e-mail: aaa2785@mail.ru

В данной статье приводятся результаты расчёта по определению вклада сточных вод объекта уничтожения химического оружия в г. Камбарка в загрязнение рек Кама, Камбарка, Буй.

The article presents the results of calculating the share of drain water from the chemical weapon destruction object in Kambarka town in contamination of the Rivers Kama, Kambarka, Bouy.

Ключевые слова: химическое оружие, сточные воды, отравляющие вещества, кратность разбавления

Проблема уничтожения ХО и все вопросы, связанные с обеспечением экологической безопасности при функционировании объектов уничтожения ХО, остаются актуальными для России. Под обеспечением экологической безопасности понимается «состояние защищённости природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера».

Одним из потенциальных источников экологической опасности на объектах уничтожения химического оружия (УХО) являются сточные воды (СВ).

Целью проводимого исследования являлось определение эффективности переработки сточных вод объекта УХО в г. Камбарке Удмуртской Республики.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: выявление источников образования СВ на объекте уничтожения химического оружия в г. Камбарке Удмуртской Республики; оценка антропогенного воздействия на гидросферу в зоне влияния промышленного объекта.

На объекте УХО в г. Камбарке образуются производственные, хозяйственно-бытовые и дождевые сточные воды. Производственные и хозяйственно-бытовые СВ, в случае загрязнения отравляющими веществами (ОВ), направляются на установку термического уничтожения отходов с последующим прохождением реагентной очистки и сбросом очищенных стоков в хозяйственно-бытовую канализацию и далее самотёком

в р. Каму. Дождевые СВ объекта УХО после очистки на локальных очистных сооружениях самотёчным выпуском сбрасываются в р. Камбарку и в р. Буй. В аварийном случае дождевые СВ подвергаются термическому обезвреживанию.

В статье приведены результаты исследования по оценке вклада СВ объекта УХО в г. Камбарке в загрязнение водных объектов. Проведён расчёт кратностей разбавления сточных вод, сбрасываемых в реки Кама, Камбарка, Буй, и определено состояние водных объектов в контрольных створах на расстоянии 500 м от места выпуска сточных вод.

Для расчёта кратностей разбавления СВ использовались методика А.В. Караушева для рассеивающих выпусков (р. Кама и р. Камбарка) и методика Фролова – Родзиллера для сосредоточенных выпусков (р. Буй) (табл. 1) [1, 2]. Данные методики применяются для расчёта предельно допустимых сбросов веществ в водные объекты со сточными водами. Отличительной особенностью методики А.В. Караушева является детальная проработка методов решения уравнения турбулентной диффузии, позволяющих получать поле концентрации загрязняющего вещества в пределах всего рассматриваемого участка, от места сброса сточных вод до контрольного створа. Исходные данные для расчёта представлены в табл. 2 [3, 4].

В результате проведения расчётов для реки Камбарки было построено поле концентраций взвешенных веществ на участке от места сброса СВ до контрольного створа (рис. 1).

Таблица 1

Описание методик, применяемых для расчёта кратностей разбавления сточных вод в водных объектах

Автор методики	Определяемый параметр		
	Коэффициент Шези	Коэффициент турбулентной диффузии	Кратность разбавления сточных вод
Караушева	$C = \frac{1}{n_{ш}} \sqrt{H}$	$D = \frac{g \cdot H \cdot \vartheta}{M \cdot C}$	$n = \frac{S_{ст}}{S_{max}}$
Фролова-Родзиллера	$C = \frac{R^y}{n_{ш}}$	$D = \frac{g \cdot \vartheta \cdot H}{37 \cdot n_{ш} \cdot C^2}$	$n_0 = \frac{q + \gamma \cdot Q}{q}$

Примечание:

R – гидравлический радиус потока, м;
 $y = 2,5 \cdot \sqrt{n_0} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n_0} - 0,1)$;
 $n_{ш}$ – коэффициент шероховатости ложа реки;
 H – средняя глубина реки, м;
 g – ускорение свободного падения,
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;
 ϑ – средняя скорость течения реки, м/с;

M – коэффициент, зависящий от C , $M = 0,7C + 6$;
 $S_{ст}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточной воде, мг/л;
 S_{max} – максимальная концентрация загрязняющего вещества на контрольном створе реки, мг/л;
 q – расход сточной воды, м³/с;
 γ – коэффициент смешивания;
 Q – расход воды водотока, м³/с.

Из рисунка 1 следует, что максимальная концентрация взвешенных веществ на расстоянии 500 м от места выпуска составит от 4 до 6 мг/л, а именно, согласно расчёту, 5,41 мг/л. Следовательно, кратность разбавления $n = 1,8$ СВ даёт увеличение концентрации взвешенных веществ в контрольном створе р. Камбарки на 2,11 мг/л (39% от общего загрязнения реки взвешенными веществами). В соответствии с СанПин 2.1.5.980-00 «Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [5] допускается повышение содержания взвешенных веществ в водном объекте после сброса в него сточных вод не более чем на 0,75 мг/л по сравнению с фоновым значением. В данном случае

степень очистки СВ по взвешенным веществам недостаточна для выполнения нормативных требований. По нефтепродуктам на контрольном створе наблюдается превышение ПДК в 8 раз, что обусловлено высоким их фоновым содержанием в реке (рис. 2, рис. 3).

Для определения максимальных концентраций загрязняющих веществ, сбрасываемых в р. Каму через рассеивающий выпуск, была использована номограмма, аппроксимирующая детальный метод расчёта разбавления Караушева, изложенный выше.

Из построенной номограммы (рис. 4) определяется относительное значение концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе $\bar{S}_{max} = 0,01$. Абсолютные значения находятся по формуле:

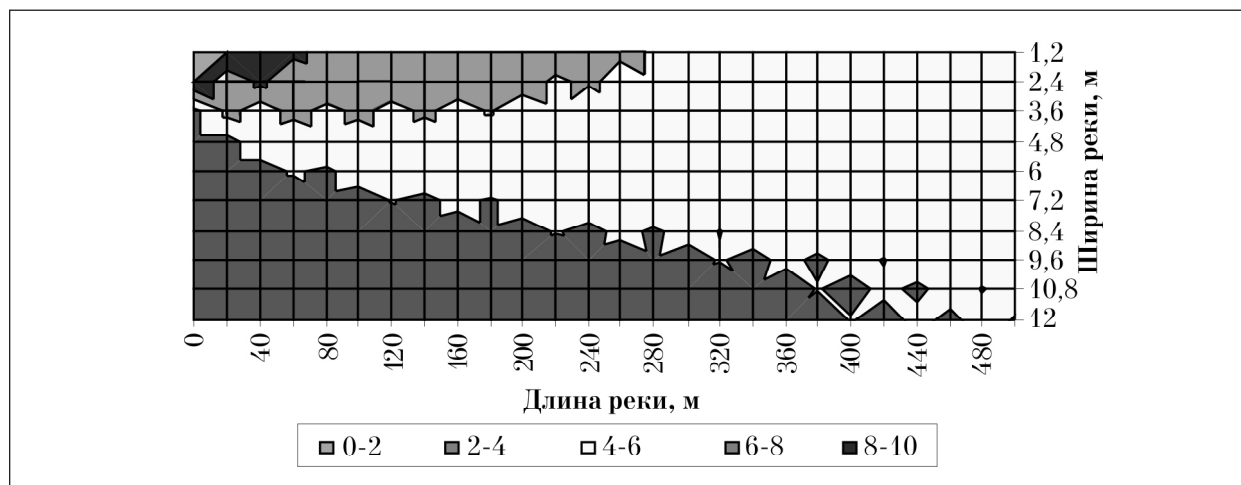


Рис. 1. Поверхностная диаграмма распространения взвешенных веществ в р. Камбарка (мг/л)

Таблица 2

Исходные данные для расчета

Свойства водного объекта									Характеристика источника загрязнения		Фон водного объекта
Название	Расчетываемая длина, м	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м	Коэффициент извилистости водотока, Ф	Ширина водотока, м	Шероховатость дна, n_m	Мин. 30-суточный расход (Q) 95% обеспеч. летний, м ³ /сек	Средняя скорость течения реки, м/с	Название; расход (макс. в час)	Загрязняющие вещества, мг/л	
р. Буй	500	2	3,5	4,52	60	0,05	5	0,036	Очистные сооружения дождевых и бытовых стоков; 55,2	Нефтепродукты 0,05; взвешенные вещества 10.	Нефтепродукты 0,375; взвешенные вещества 3,3.
р. Камбарка	500	1	1,5	–	12	0,05	0,17	0,013	Очистные сооружения дождевых стоков; 112,5	Взвешенные вещества 10; нефтепродукты 0,05.	Взвешенные вещества 3,3; нефтепродукты 0,375.
р. Кама	500	3,5	4,5	–	650	0,035	–	0,3	Очистные сооружения бытовых стоков; 1120	Мышьяк 0,013; взвешенные вещества 1,5; нефтепродукты 0,03; сульфаты 62; хлориды 34; нитраты 8; нитриты 0,02; аммоний 0,4; СПАВ 0,1.	Взвешенные вещества 15,8; нефтепродукты 0,278; сульфаты 39; хлориды 29; нитраты 0,6; нитриты 0,009; аммоний 0,5; СПАВ 0,018.

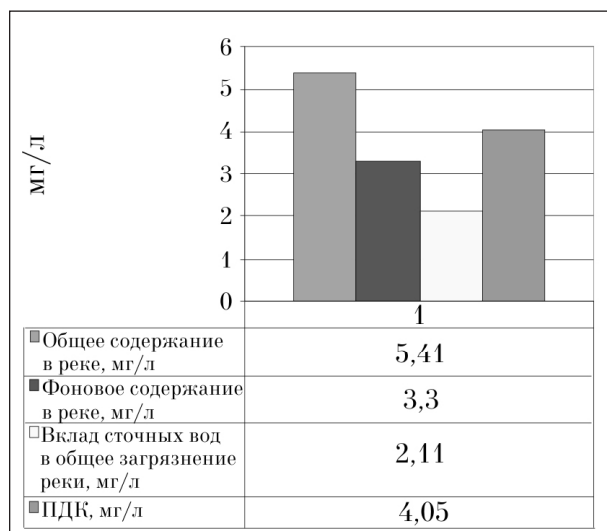


Рис. 2. Вклад сточных вод, сбрасываемых в р. Камбарку, в общее загрязнение реки взвешенными веществами

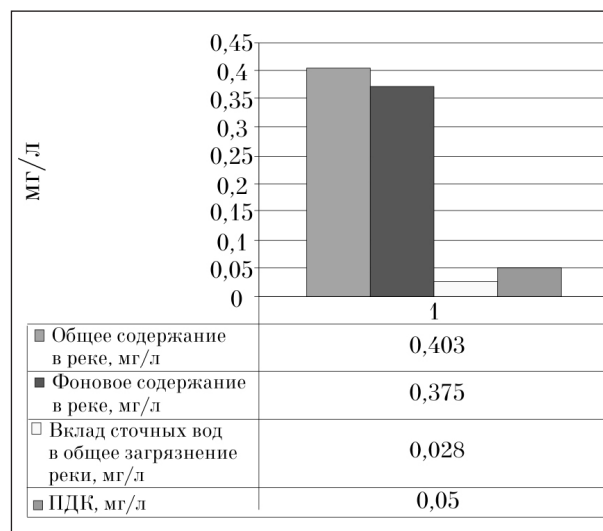


Рис. 3. Вклад сточных вод, сбрасываемых в р. Камбарку, в общее загрязнение реки нефтепродуктами

$$s_{\max}(x) = \bar{s}_{\max}(x) \cdot s_{\text{ст}}$$

Абсолютные значения максимальных концентраций $S_{\max}$ загрязняющих веществ на расстоянии 500 м от места сброса в реку Каму сточных вод представлены в табл. 3.

Кратность разбавления сточных вод в р. Каме $n=100$.

Результаты расчёта показывают, что на контрольном створе р. Камы превышение

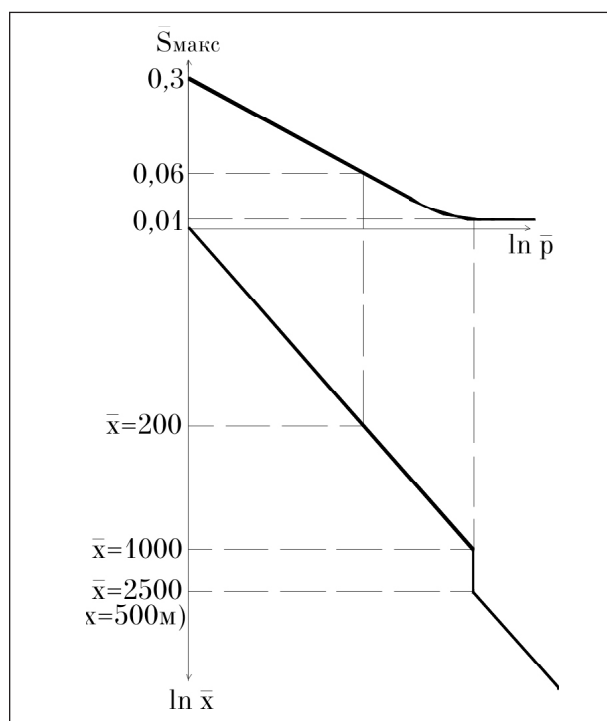


Рис. 4. Номограмма изменения относительных концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе р. Камы

ПДК по загрязняющим веществам, попадающим со сточными водами, не наблюдается (табл. 3). Следовательно, вклад объекта УХО в г. Камбарке в общее загрязнение реки минимален: по нефтепродуктам 0,1 %, по взвешенным веществам 0,09%, по железу 0,1%, по сульфатам 1,6%, по хлоридам 2,06%, по азоту нитратному 12%. Однако наблюдается превышение фоновое содержания S_e нефтепродуктов над ПДК в 5,6 раза, железа в 5 раз, меди в 3 раза в р. Каме, что, согласно уравнению баланса вещества в воде водного объекта, делает сброс их в реку недопустимым.

Для реки Буй кратность разбавления СВ $n=56$. Рассчитанная концентрация взвешенных веществ на контрольном створе р. Буй равняется 3,42 мг/л. Из них 3,3 мг/л составляет фоновая концентрация и лишь 0,12 мг/л (3,5%) привносят СВ. По нефтепродуктам наблюдается фоновое превышение ПДК (ПДК=0,05 мг/л) в 7,5 раза, что обусловлено высоким их фоновым содержанием. Вклад СВ составляет 0,3% (рис. 5 и рис. 6).

Таким образом, в результате проведённых расчётов выявлено, что очистные сооружения объекта УХО и г. Камбарке в основном справляются с очисткой сточных вод до требований рыбохозяйственных нормативов, что позволяет говорить о достаточной эффективности обработки СВ. Исключение составляет р. Камбарка, на контрольном створе которой будет наблюдаться превышение ПДК по взвешенным веществам. Вклад сточных вод в общее за-

Таблица 3

Максимальные концентрации загрязняющих веществ S_{max} в контрольном створе р. Кама

Загрязняющее вещество	S_e , мг/л	S_{cm} , мг/л	S_{max} , мг/л	ПДК _{р.х.} , мг/л
Мышьяк	–	0,013	0,00013	0,05
Взвешенные вещества	15,8	1,5	0,015	$S_e+0,75$
Нефтепродукты	0,278	0,03	0,0003	0,05
Железо общее	0,5	0,05	0,0005	0,1
Медь	0,003	0,001	0,00001	0,001
Сульфаты	39	62	0,62	100
Хлориды	29	61	0,61	300
Азот нитратный	0,6	8	0,08	40
Азот нитритный	0,009	0,02	0,0002	0,08
Аммоний	0,5	0,4	0,004	0,5
СПАВ	0,018	0,1	0,001	0,5

Примечание: S_e – фоновая концентрация загрязняющего вещества в речном потоке по данным [3]; S_{cm} – концентрация загрязняющего вещества в сбрасываемой сточной воде по данным [4]; ПДК_{р.х.} – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водного объекта рыбохозяйственного назначения.

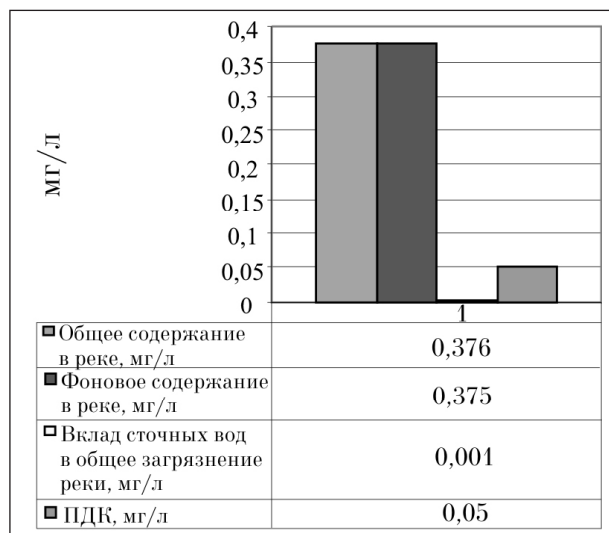


Рис. 5. Вклад сточных вод, сбрасываемых в р. Буй, в общее загрязнение реки нефтепродуктами

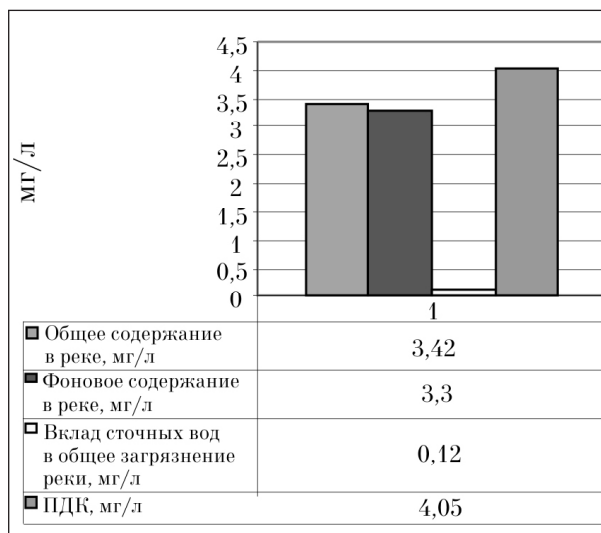


Рис. 6. Вклад сточных вод, сбрасываемых в р. Буй, в общее загрязнение реки взвешенными веществами

грязнение водных объектов не превышает 12–39% (0,25% по мышьяку, 12% по нитратам, 39% по взвешенным веществам). Повышенные концентрации некоторых загрязняющих веществ (нитриты, нитраты, сульфаты, фосфаты, взвешенные вещества, БПК) на контрольных створах рек связаны с их высокими фоновыми значениями.

Литература

1. Методика расчёта предельно допустимых сбросов веществ в водные объекты со сточными водами). Харьков: ВНИИВО, 1990. 58 с.

2. Воробьёва О.Г. Инженерная защита окружающей среды. СПб.: «Лань», 2002. 288 с.

3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды в Удмуртской Республике в 2006 г.» // Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. 230 с.

4. Информация об экологическом состоянии природной среды на границах санитарно-защитной зоны и в зоне защитных мероприятий объекта по уничтожению ХО в г. Камбарке в 2007 году. Ижевск: РЦ СГЭКиМ по УР, 2007.

5. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. СанПин 2.1.5.980-00. М: Федеральный центр санэпиднадзора Минздрава России, 2000. 24 с.

Можжевеловые деревья – индикаторы степени загрязнённости воздуха

© 2009. М.В. Радкевич¹, к.т.н., старший преподаватель; В.Е. Радкевич², к.т.н., доцент,

¹Ташкентский государственный авиационный институт,

²Ташкентский автомобильно-дорожный институт,

e-mail: marvik@yandex.ru

Предлагается использовать зелёные насаждения в качестве индикаторов загрязнения выхлопными газами и твёрдыми частицами, поступающими с городских магистралей.

Green plantations are suggested to serve as indicators of pollution with exhaust and particulate matter coming from city highways.

Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение окружающей среды, индикация, зелёные насаждения, повреждение кроны

Ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что автомобильный транспорт стал бичом современных крупных городов.

Можно составить довольно длинный список загрязнений, поступающих в окружающую среду от автотранспорта. Городская атмосфера загрязняется выхлопными газами автомобилей, а также выбросами различных автотранспортных предприятий (автозаправочных станций (АЗС), станций техобслуживания и др.). Вредное влияние на окружающую среду оказывает также применение противогололёдных солей на автострадах. Однако главное место среди загрязнений занимают выхлопные газы автомобилей, для снижения количества которых принимаются самые различные меры:

- совершенствуются конструкции двигателей с целью уменьшения расхода топлива и достижения полноты сгорания;
- совершенствуются системы выхлопа путём каталитической обработки выхлопных газов;
- применяются различные добавки к бензину, а также используются газобразные топлива;
- предпринимаются различные организационные мероприятия (регулирование транспортных потоков, экологическое обучение водителей, своевременное техническое обслуживание автомобилей и т. п.).

Перечисленные меры пока не могут обеспечить достаточного снижения загазованности атмосферы городов из-за возрастающих темпов автомобилизации.

В ближайшее время не следует ожидать массового выпуска электромобилей и автомобилей на водородном топливе, т. к. по прогнозам век бензиновых двигателей и дизелей будет продолжаться до тех пор, пока не иссякнут запасы углеводородного топлива, т. е. не менее 50 лет. А с учётом вероятности разработки месторождений в Арктике и Антарктиде, возможно, ещё дольше, и столько же времени будет стоять на повестке дня проблема выхлопных газов.

Самое правильное направление борьбы с ними – это их обезвреживание в источнике, т. е. в автомобиле. Однако, как мы видим, это пока полностью не удаётся.

Препятствовать распространению выхлопных газов, уже попавших в атмосферу, гораздо сложнее. В идеале следовало бы изолировать дороги от окружающей среды, например, создать подземные магистрали [1]. Поскольку такое решение проблемы требует больших капитальных затрат, необходимо, по крайней мере, обеспечивать трассы какими-либо газоулавливающими устройствами. До недавнего времени вопрос о принудительной очистке воздуха вдоль автомобильных магистралей, а также на АЗС и т. п. не ставился. Но в последнее время появились публикации, в которых высказывается мысль о возможности очистки воздуха от выхлопных газов с помощью строительных конструкций, выполненных из самоочищающегося бетона [1]. Для защиты атмосферы города от выбросов АЗС предлагается оборудовать АЗС воздухозаборными колонками [2]. Пока бремя защиты населения от выхлопных газов и других загрязнений, попавших в городскую

атмосферу, несут только зелёные насаждения. Они служат не только механическими фильтрами, но также биохимическими детоксикаторами вредных веществ. Однако способность растений к детоксикации ограничена концентрацией этих веществ в воздухе. При достижении определённой концентрации появляются признаки повреждений растений (пожелтение, усыхание и т. п.).

Очевидно, что наиболее серьёзные повреждения возникают в зонах повышенных концентраций вредных веществ. Следовательно, растения до некоторой степени могут служить индикаторами таких зон.

Для того чтобы более конкретно говорить об искусственной очистке загрязнённого воздуха в зонах городских магистралей, прежде всего необходимо изучить закономерности распределения вредных выхлопов и других загрязнений в воздухе. С этой целью были проведены наблюдения повреждений можжевельных деревьев, растущих вдоль проезжей части дороги. Наблюдения проводились на отрезке улицы Афросиаб (одна из центральных улиц г. Ташкента) между двумя светофорами (рис. 1).

Ширина улицы – 20 м. Интенсивность движения днём ~1000 автомобилей/час. Вдоль проезжей части на расстоянии 1,2 – 1,5 м от её кромки высажены можжевельные деревья (54 с одной стороны улицы и 73 – с другой).

Все эти деревья имеют чётко выраженные повреждения. Форма повреждённого дерева представлена на рис. 2, а. Изучая фото, можно приблизительно представить себе, что дерево срезано некоторой плоскостью *n-n* (рис. 2, б).

Обращает на себя внимание тот факт, что эти «плоскости среза» располагаются

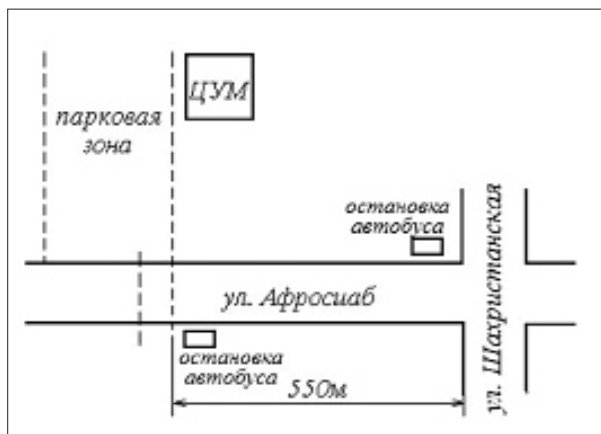


Рис. 1. План-схема участка проведения исследований

вполне определённым образом, а именно навстречу движущемуся автомобилю под углом $\alpha = 20 - 30^\circ$ по отношению к дороге (рис. 3). Объяснение такого явления может быть следующим: за движущимися автомобилями образуется область разрежения, куда со всех сторон устремляется воздух, содержащий загрязнения. Эта движущаяся струя воздуха ударяется о деревья и повреждает их. Статистическая значимость наблюдаемого явления не вызывает сомнений, т. к. однотипно повреждены все 100% деревьев.

Описанные повреждения можжевельных деревьев можно наблюдать и на других улицах. Однако степень повреждения не одинакова на разных улицах.

На некоторых улицах, например, на ул. Шахристанской (рис. 1), видимые повреждения вообще отсутствуют. Можно предположить, что степень повреждения деревьев связана как с интенсивностью движения, так и с направлением господствующих ветров.

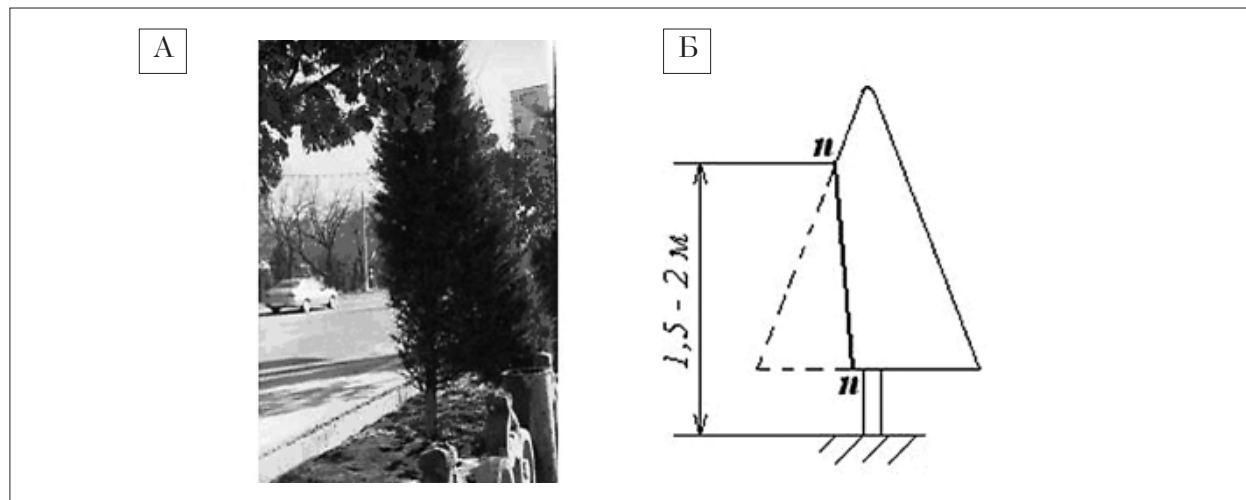


Рис. 2. Форма повреждений кроны можжевельных деревьев: а) фото, б) схема

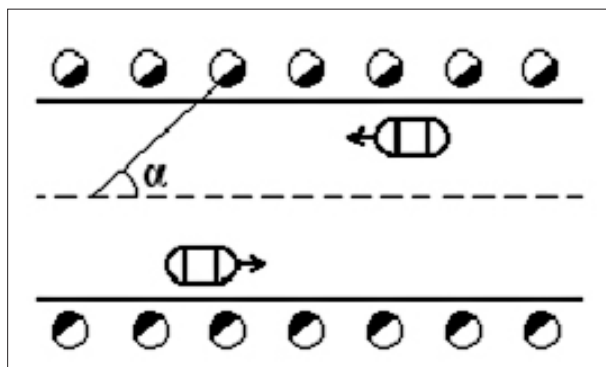


Рис. 3. Схема расположения поврежденных кроны деревьев по отношению к дороге

К сожалению, можжевельные деревья высажены далеко не на всех улицах. Но и по имеющимся можно составить некоторое представление о направленных компактных струях загазованного воздуха, которые, вполне возможно, удастся улавливать и очищать.

Теперь коротко коснёмся вопроса о распространении других загрязняющих веществ, также связанных с автомобильным транспортом. Холодная и снежная зима 2007–2008 г. вызвала необходимость многократного применения противогололёдной соли. Наблюдения за насаждениями после высыхания слоя соли позволили получить дополнительную

информацию о распространении в воздухе твёрдых частиц, поступающих с автотрассы. Тонкодисперсная солевая пыль поднималась в воздух проходящими автомобилями и оседала на деревьях. Видимый солевой налёт на деревьях, преимущественно со стороны проезжей части, наблюдался на расстоянии до 20 м от неё на высоте до 3 – 5 м. Солёный привкус на хвое ощущался в парковой зоне (рис. 1) на расстоянии около 100 м от проезжей части.

Приведённые сведения ещё раз показывают, какой загрязнённой является зона дыхания людей, и заставляют задуматься о принятии неотложных мер по её очистке.

Литература

1. Иванов В.Н., Сторчевус В.К. Экология и автомобилизация. К.: Будивэльник, 1990. 129 с.
2. Шутова А. Самоочищающийся бетон // Строительная газета. 2007. No. 11. С.13
3. Компанец М.А. Проблемы загрязнения окружающей среды автомобильными заправочными станциями // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Проблемы развития автотранспорта и транспортных коммуникаций в Центрально-Азиатском регионе». Ташкент. 2007. С. 150-152

Диоксины: пугало или реальная угроза?

© 2009. В.С. Петросян, д.х.н., зав. лабораторией,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
e-mail: ecohealth@voxnet.ru

Приведены факты, обосновывающие высокую токсичность хлора и хлорорганических продуктов (пестициды, растворители, ПХБ, ПВХ и др.), получение, использование и утилизация которых приводят к появлению в окружающей среде ещё более токсичных диоксинов и фуранов. В мире идёт интенсивный процесс осознания идеи, что проблему диоксинов и фуранов практически невозможно решить без отказа от повсеместного использования хлора и его аналогов.

High toxicity of chlorine and chlorine-organic compounds (pesticides, solvents, PCB, PVC, etc.) is proved with the facts. Formation, use and utilization of these substances lead to appearing even more toxic dioxins and furans in the environment. All over the world it is being realized that the problem of dioxyns and furans is impossible to solve without overall rejection of chlorine and its analogues.

Ключевые слова: диоксины, фураны, хлорорганические пестициды, бытовые отходы, токсичность, загрязнение

В последние годы жители России достаточно часто слышат и читают о так называемых диоксинах, об их смертельной опасности для живых организмов вообще и для людей в частности. К сожалению, подавляющее большинство россиян не знает, о чём реально идёт разговор, что это за вещества, каково их происхождение и влияние на окружающую среду и на человека, как предохранить себя и своих близких от воздействия этих экотоксикантов. Такая ситуация объясняется тем, что практически во всех школах и вузах преподаватели не рассказывают о «диоксинах» школьникам и студентам по двум причинам: 1) эти вещества не входят в учебные программы по химии и другим предметам; 2) большинство преподавателей сами практически ничего не знают об этих токсикантах. На русском языке о «диоксинах» написано очень мало, что и стимулировало публикацию этой статьи.

Немного истории. Профессор Колледжа Королевы в Нью-Йоркском университете Барри Коммонер, которого слушатели Открытого Экологического университета при МГУ им. М.В. Ломоносова помнят по блестящим лекциям, прочитанным в 1990–1991 учебном году, считает, что историю диоксинов и фуранов нужно рассматривать начиная с 26 мая 1971 года, когда в небольшом американском городке Таймз Бич в штате Миссури для уменьшения пыли при скачках на грунт ипподрома раз-

брызгали примерно десять кубометров того, что считалось техническим маслом [1]. Через несколько дней ипподром был усеян трупами птиц, ещё через день заболели наездник и три лошади, а в течение июня умерло 29 лошадей, 11 кошек и 4 собаки. В августе того же года заболело ещё несколько взрослых и детей, после чего власти были вынуждены провести исследование, в результате которого были эвакуированы все жители Таймз Бич. Данное исследование привело к заключению, что причиной всех этих смертей и заболеваний явились диоксины и фураны, обнаруженные в грунте на ипподроме в концентрациях от 30 до 53 миллионных долей (м.д. или ppm). При этом было показано, что так называемое техническое масло оказалось химическими отходами производства 2,4,5-трихлорфенола, использовавшегося в качестве промежуточного продукта при производстве 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты. Препарат применялся во время войны во Вьетнаме в качестве дефолианта (гербицида, вызывающего опадание листьев), известного под торговой маркой 2,4,5-Т («Оранжевый реагент»). Можно предположить, что как 2,4,5-трихлорфенол, так и 2,4,5-Т могут (в первом случае с отщеплением двух молекул хлористого водорода, а во втором – двух молекул хлоруксусной кислоты) превращаться в 2,3,7,8-ТХДД, который вызвал смерти и заболевания в Таймз Бич.

В последующие годы, по мере накопления информации и выявления биологических

эффектов, а также исследования механизмов воздействия диоксинов и фуранов на живые организмы, события в Таймз Бич и другие «диоксиновые» инциденты стали привлекать всё большее внимание учёных и широкой общественности, в результате чего на сегодняшний день накоплено достаточно много данных о свойствах этих экотоксикантов.

Токсичность диоксинов и фуранов.

В результате событий в Таймз Бич уже к 1978 году было доказано, что питание мышей и крыс пищей, содержащей диоксины и фураны, приводит к более частым заболеваниям раком, чем животных, питавшихся пищей, не загрязнённой этими токсикантами. В 1985 году Агентство по охране окружающей среды США в результате проведённых экспериментов на животных и рассмотрения возможных механизмов индуцирования рака пришло к выводу, что предельно допустимая концентрация (ПДК) диоксинов и фуранов для взрослого человека составляет 320 триллионных частей грамма в день и что такая ежедневная доза приводит к риску возникновения рака с вероятностью один к миллиону в течение жизни.

Б. Коммонер ссылается в работе [1] на исследование вопроса о содержании диоксинов и фуранов в продуктах питания, потребляемых в США, проведённое Арнольдом Шектером. Основной вывод этого исследования: каждый американец получает ежедневно с пищей от 0,3 до 3,0 пкг/кг этих токсикантов, что увеличивает риск заболевания раком в течение жизни до вероятности 50 – 500 на миллион.

В 1994 году Агентство по охране окружающей среды США опубликовало фундаментальный четырёхтомный доклад [2], в котором резюмируется, что диоксины и фураны не только обладают канцерогенным эффектом и приводят к возникновению «хлоракне» (заболевание, выражающееся в появлении тяжёлой формы угрей, уродующих кожу), но и обуславливают разрушение эндокринных систем (особенно тех, которые связаны с половым развитием), оказывают вредное воздействие на критических стадиях развития эмбриона (в частности, поражение у плода нервной системы), вызывают развитие иммунодефицита (приводящее к возрастанию чувствительности к инфекционным заболеваниям).

А.В. Фокин и А.Ф. Коломиец в 1985 году опубликовали статью [3], в которой сопоставили два вида смертельных доз диоксинов и фуранов: минимальную летальную дозу MLD (характеризующую общую токсичность)

и половину полной летальной дозы LD_{50} (при получении которой гибнет 50% исследуемых животных). Оказалось, что по общей токсичности (MLD, моль/кг) диоксины и фураны ($3,1 \times 10^{-9}$) превосходят самые сильные химические яды: кураре ($7,2 \times 10^{-7}$), стрихнин ($1,5 \times 10^{-6}$), цианистый натрий ($3,1 \times 10^{-4}$) и боевое отравляющее вещество диизопропилфторфосфат ($1,6 \times 10^{-5}$) и уступают лишь природным токсинам ботулизма ($3,3 \times 10^{-17}$) и дифтерии ($4,2 \times 10^{-12}$). Что же касается значений LD_{50} (мг/кг), то они для диоксинов и фуранов изменяются следующим образом: 0,5 (куры), 0,3 (собаки), 0,1 (кошки и мыши), 0,05 (крысы) и 0,001 (морские свинки).

С.С. Юфит в своей работе [4] провёл примерный расчёт, основанный на предположении, что из 150 миллионов россиян около 100 миллионов содержат в себе диоксины и фураны, но что только 10% из них поражены ими в опасной степени. Если превышение заболеваемости и смертности в этой «референтной группе» над средним уровнем считать 20% и учесть, что смертность от рака в России в начале 90-х годов составляла примерно 200 человек на 100 тысяч населения, то получится, что в «референтной группе» от поражения диоксинами и фуранами умерло 4 000 человек. Сопоставление результатов этого расчёта с аналогичными американскими оценками показало, что в обеих странах ситуация примерно одинаковая (для США получается примерно 3 500 смертей в год). Что касается заболеваемости раком, то, учитывая российскую статистику начала 90-х годов (примерно 400 тысяч человек в год), мы приходим к выводу, что 5 000 из них заболело от диоксинов и фуранов. При этом у женщин из этой группы будет в 2 раза больше гинекологических заболеваний и осложнений беременности, в 3 раза больше выкидышей, в 4 раза больше мертворождённых детей, в 6 – 8 раз больше врождённых уродств и т. д., и т. п.

Международная шкала факторов токсичности. Качественный и количественный анализ смесей диоксинов и фуранов крайне сложен и требует специалистов высочайшей квалификации и очень дорогого оборудования. Анализы проводятся с помощью современных хроматомасс-спектрометров, производимых несколькими фирмами западных стран по цене в среднем 400 тысяч долларов, а один анализ образца воды, почвы, атмосферы или биоты на диоксины и фураны стоит около тысячи долларов. Узнав после проведения

такого анализа, какие конгенеры диоксинов и фуранов содержатся в интересующем вас объекте окружающей среды и сколько в этом объекте каждого из них, необходимо оценить суммарную токсичность идентифицированных веществ. Для этой цели решили использовать Международную шкалу факторов токсичности (ФТ), в которой каждый фактор – это значимый коэффициент, на который нужно умножить концентрацию найденного диоксина или фурана, чтобы получить эквивалент токсичности (ЭТ) для каждого из конгенов.

В книге американки Лоис Мари Гиббс [5], испытавшей вместе с детьми в своём доме под Нью-Йорком воздействие диоксинов и фуранов, содержавшихся в сбросах отходов в проходившем неподалёку Канале Любви, есть, в том числе, и таблица, указывающая на содержание этих токсикантов в продаваемой в США говядине и удачно иллюстрирующая, как нужно пользоваться факторами и эквивалентами токсичности (табл. 1).

Из приведённых данных следует, что относительная токсичность 2,3,7,8-ТХДД принята за единицу, а все остальные конгенеры, обладая меньшей токсичностью, дают свой вклад в итоговую токсичность в зависимости от количеств каждого из них в исследуемом образце. При этом общая токсичность выражается в единицах эквивалента токсичности.

Н.А. Ключев и др. опубликовали [6] данные по анализу диоксинов и фуранов в российской говядине (их содержание составляло от 1,69 до 5,97 нг/кг), из которых следует, что и в этом случае мясо было загрязнено существенно выше нормы (0,9 нг/кг).

Допустимая суточная доза. Отметим, прежде всего, что в США эта доза равна 0,006 пкг на килограмм веса человека, тогда как в России она существенно выше (10 пкг/кг).

Российская ПДК для атмосферного воздуха – 0,5 пкг/м³. Норма загрязнения питьевой воды в нашей стране – 20 пкг/л, поэтому человек весом в 60 кг, при условии, что он потребляет три литра воды в день, может получить с водой лишь 10% диоксинов и фуранов от суточной нормы. В то же время расчёты [4] показывают, что при потреблении даже нежирной рыбы (с количеством жира до 5%), в которой количество диоксинов и фуранов может быть около 50 пкг/г жира [7], 500 граммов рыбы даст уже 1250 пкг токсикантов, что в два раза превышает допустимую суточную дозу.

Если же речь идёт, например, о любителях деликатесной байкальской голомянки, которая наполовину состоит из жира и, как показано в наших исследованиях [8, 9], легко биоаккумулирует хлорорганические экотоксиканты, то в этом случае имеют место существенно более высокие уровни накопления диоксинов и фуранов, а следовательно, и более серьёзные экотоксикологические эффекты.

С.С. Юфит [10], основываясь на экспериментальных данных, полученных в Башкортостане, Архангельской, Владимирской, Волгоградской и Нижегородской областях, по содержанию диоксинов и фуранов в грудном молоке российских женщин (в среднем 20 пкг/г жира при средней жирности около 3%), пришёл после соответствующих расчётов к выводу, что ребёнок весом 5 кг в день без ущерба для здоровья может выпивать только 100 мл молока. Этот печальный результат обусловлен экспериментально доказанным фактом, согласно которому во время лактации происходит экстракция диоксинов и фуранов из организма женщины и концентрирование их в грудном молоке. Оказывается, за весь период вскармливания женщина передаёт ребёнку до 40% содержащихся в ней диоксинов и фуранов. Отсюда и рекомендация

Таблица 1
Содержание и токсичность диоксинов и фуранов в американской говядине

Тип диоксина или фурана	Концентрация (нг/кг)	Фактор токсичности	Эквивалент токсичности (нг/кг)
2,3,7,8-ТХДД	0,019	1	0,019
1,2,3,7,8-ПХДД	0,062	0,5	0,031
2,3,4,7,8-ПХДФ	1,783	0,5	0,892
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	4,846	0,1	0,485
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	0,496	0,1	0,050
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	1,157	0,01	0,012
ИТОГО:			1,489

автора этих данных – если женщина решила завести ребёнка, то она должна сразу же отказаться от потребления жирной (молочной, мясной и рыбной) пищи и перейти на вегетарианскую диету (овощи, фрукты, бобовые, хлеб и орехи). Эта рекомендация базируется на расчётах американских специалистов, согласно которым жители США из поступаемых в организм с пищей 119 пкг диоксинов и фуранов в день получают: 49 пкг – с мясом, 41 пкг – с молочными продуктами, 13 пкг – с птицей, 8 пкг – с рыбой и 4 пкг – с яйцами. Американская оценка поступления в организм человека диоксинов и фуранов из воздуха и с пылью – 3,0 пкг/день. Что же касается питьевой воды, то в наших работах [11] показано, что в отличие от других хлорорганических экотоксикантов (моно- и полихлорзамещённых алканов, алкенов и бензолов, легко образующихся при хлорировании природной воды на станциях подготовки питьевой воды в результате взаимодействия молекулярного хлора с растворённым в природной воде гумусовым веществом), образование при этом диоксинов и фуранов в заметных количествах маловероятно.

О механизме токсического действия диоксинов и фуранов. Этот вопрос подробно обсуждался на конференции «Биологические основы оценки риска диоксинов и родственных соединений», проходившей в Нью-Йорке в 1990 году [1]. Основной вывод, сделанный в результате многодневных дискуссий, – наблюдаемые экотоксикологические эффекты обусловлены взаимодействием диоксинов и фуранов с белком, называемым Ah-рецептором, которое обеспечивает их влияние на синтез белков через генетическую систему клеток.

Основные источники диоксинов и фуранов в окружающей среде.

1. Химическая промышленность. Шведские химики Раппе и сотр. [12] уже десять лет назад провели интересный эксперимент, пропустив через очищенную воду газообразный хлор из баллона, и показали, что в этой воде имеются диоксины и фураны. Сделав предположение, что эти токсиканты содержатся в самом хлоре, Раппе с сотр. [13] изучили состав хлора, получаемого на химических предприятиях по известной реакции электролиза хлористого натрия в воде (1):



и показали, что содержание диоксинов и фуранов в хлоре, продаваемом в баллонах потребителям, достигает 650 нг/г. При этом было сделано предположение, что диоксины и фураны образуются в качестве примесей при взаимодействии являющегося основным продуктом данной реакции хлора с углеродом из электродов и кислородом воздуха. Однако, как показало недавнее исследование [14], замена графитовых электродов на титановые не привела к исчезновению в образующемся хлоре диоксинов и фуранов и, следовательно, нужны новые исследования для полного выяснения данного вопроса.

Выше уже отмечалось, что диоксины и фураны оказываются в объектах окружающей среды, например, в результате выбросов и сбросов с предприятий, производящих хлорорганические пестициды (2,4,5-Т и др.). Среди других промышленных методов получения хлорорганических продуктов, при осуществлении которых образуются диоксины и фураны, выделим следующие:

1) синтеза хлорбензолов и полихлорированных бифенилов (ПХБ), широко используемых в качестве жидких диэлектриков, смазочных веществ, высокотемпературных теплоносителей и гидравлических жидкостей;

2) производство растворителей ряда хлорзамещённых алканов, в частности, ди- и полихлорзамещённых этанов и этиленхлоргидрина);

3) производство хлорзамещённых полимеров, и прежде всего, поливинилхлорида (ПВХ).

Каждому из этих классов хлорорганических продуктов, получение и использование которых представляет собой реальную угрозу здоровью среды и населения, можно (и нужно) посвятить отдельные статьи (и даже книги), однако в рамках этой статьи мы вынуждены ограничиться лишь упоминанием этих классов соединений, с каждым из которых связано появление диоксинов и фуранов в окружающей среде.

В целом необходимо отметить, что многие высокотемпературные процессы, в которых принимают участие органические и неорганические соединения, в состав которых входят один или несколько атомов хлора (включая молекулярный хлор), могут давать в качестве побочных продуктов примеси диоксинов и фуранов, попадающих с выбросами или сбросами с промышленных предприятий в объекты окружающей среды.

Таблица 2

Количество мусоросжигательных заводов (МСЗ) и их доля в общей утилизации мусора в развитых странах

Страна	Число МСЗ	Доля сжигаемого мусора, %	Доля мусора, сжигаемого с получением энергии, %	Доля сжигаемых илов, %
Япония	1900	75	Почти всё	Неизвестно
Франция	170	42	67	20
США	168	16	Неизвестно	Неизвестно
Италия	94	18	21	11
Германия	47	35	Неизвестно	10
Дания	38	65	Почти всё	19
Великобритания	30	7	33	7
Швеция	23	55	86	0
Испания	22	6	61	Неизвестно
Канада	17	9	7	Неизвестно
Нидерланды	12	40	72	10

2. Целлюлозно-бумажная промышленность даёт несколько меньшее, но всё-таки значительное количество диоксинов и фуранов. Учитывая, что для отбеливания целлюлозы традиционно использовался либо сам хлор, либо его производные (оксид хлора, хлораты и гипохлориты), а при делигнификации древесины содержащий фенольные фрагменты лигнин (которого в древесине около 25%) взаимодействует с хлорными реагентами, поэтому образование диоксинов и фуранов (или, по крайней мере, их предшественников) становится весьма вероятным. Вокруг этого вопроса постоянно ведётся острая дискуссия, что наглядно иллюстрируется, например, последними публикациями в международном журнале «Химия и токсикология окружающей среды» [15,16], в которых представители различных правительственных органов США не соглашались друг с другом по поводу оценки риска для биоты при загрязнении почв диоксинами и фуранами с предприятий данной отрасли.

3. Автомобильный транспорт, использующий топливо с добавками тетраэтилсвинца и 1,2-дихлорэтана, добавляемых, соответственно, для повышения антидетонационных свойств топлива и уменьшения отложения свинца внутри двигателя, стал новым источником выбросов диоксинов и фуранов. В отделении экологического контроля ВНИИ Природы госкомэкологии России недавно показано, что автомобили, работающие на таком топливе, на каждый километр пути выбрасывают в атмосферу около 12 пкг 2,3,7,8-ТХДД, т. е. примерно 500 пкг ЭТ/км. При этом в выхлопных газах кроме 2,3,7,8-ТХДД

содержатся в значительных количествах некоторые конгенеры ГкХДД, а также ОХДД и ОХДФ.

4. Мусоросжигательные заводы (МСЗ) в западных странах, где бытовые и промышленные отходы считалось проще сжечь, чем захоронить, стали основными источниками диоксинов и фуранов. В таблице 2 приведены данные, показывающие [17], что число таких заводов в этих странах разное и, соответственно, мусора они тоже сжигают разные количества, но проблема возникает везде одна и та же – загрязнение окружающей среды токсикантами более опасными, чем те, которые содержатся в сжигаемых отходах.

При анализе данных в табл. 2 на первый взгляд может удивить отсутствие взаимосвязи между числом МСЗ и общим процентом сжигаемого мусора. Однако если учесть, что разные МСЗ имеют различную мощность, то тогда всё становится на свои места. В этой статье мы не обсуждаем общие проблемы, связанные со строительством и функционированием МСЗ (это сделано весьма подробно в сборнике докладов [17] и недавней брошюре С.С. Юфита [18]), а лишь показываем на примере других стран, какие следует использовать пути минимизации загрязнения окружающей среды диоксинами и фуранами. В этом смысле для России показательны примеры двух стран: маленькой по размерам и числу жителей Голландии и сравнимыми с нами по населению и территории США.

Из табл. 2 следует, что в Голландии 12 МСЗ сжигали в 1990 году 40% всех отходов. При этом выбросы диоксинов и фуранов

составили 611 г ЭТ/год (0,00019 г ЭТ/тонну мусора), что составило 79% от всего количества этих токсикантов. После принятия в 1990 году новых государственных нормативов 4 из 12 МСЗ были закрыты, а 8 оставшихся были реконструированы таким образом, что они стали соответствовать этим нормативам. В результате в 1995 году количество диоксинов и фуранов, выброшенных МСЗ страны, составило 4 г ЭТ/год (0,000001 г ЭТ/тонну мусора), что уже не превышало 7% от суммарного выброса этих токсикантов.

Это сразу же сказалось на двух важнейших показателях, характеризующих ситуацию в стране [19]: 1) попадание диоксинов и фуранов с пищей уменьшилось с 127,3 пкг ЭТ/день в 1989 году до 69,6 пкг ЭТ/день в 1996 году; 2) на соответствующую величину уменьшилось и загрязнение диоксинами и фуранами грудного молока кормящих матерей, а именно: ежедневное поступление этих экотоксикантов в организмы детей с грудным молоком снизилось с 163 пкг ЭТ/кг веса ребёнка в 1989 году до 68 пкг ЭТ/кг веса ребёнка в 1996 году.

Что касается США, то, конечно же, в отличие от Голландии, в которой уже давно нет места для безопасного захоронения высокотоксичных отходов, у американцев (как и в России) такие места пока ещё имеются. Именно этим объясняются данные табл. 2, согласно которым в США в 90-х годах сжигалось только 16% промышленных и бытовых отходов, а основная их масса шла на строго регламентируемое захоронение. В последние годы, после того, как было показано [20], что МСЗ имеют чрезвычайно высокие уровни выбросов диоксинов и фуранов (от ~6000 нг/нм³ в Гонолулу и штате Мэриленд до ~43000 нг/нм³ в штате Вирджиния), они были остановлены (либо навсегда, либо на реконструкцию).

В России МСЗ пока не получили широкого распространения и нужно надеяться, что все, кто имеет отношение к утилизации отходов (работники коммунальных служб и органов охраны природы, инженеры и конструкторы, представители неправительственных экологических организаций), будут в высшей мере сознавать свою ответственность перед обществом, принимая те или иные решения по этой проблеме.

Заключение. Итак, не претендуя на полное изложение проблемы, мы надеемся, что читатель достаточно хорошо осознал,

что диоксины и фураны в объектах окружающей среды, включая живые организмы (и в том числе человека), представляют собой серьёзную опасность, не меньшую, а, возможно, и большую, чем радиоактивное загрязнение (тем более, что обнаруживать диоксины и фураны гораздо сложнее, чем радионуклиды). Эта реальная угроза человечеству уже нашла глубокое понимание в ряде развитых стран (прежде всего, в Нидерландах, США, Германии и Японии), в которых на федеральном уровне приняты обширные и стабильно финансируемые Программы исследований и практических мероприятий, направленные на выявление уровней загрязнения различных объектов окружающей среды диоксинами и фуранами и предотвращение дальнейших выбросов и сбросов этих экотоксикантов при различных видах хозяйственной деятельности. Выполнение этих Программ привело, например, к снижению в Нидерландах выбросов диоксинов и фуранов в атмосферу с 620 г ЭТ в 1988 году до 100 г ЭТ в 1995 году, а в Германии в 1990 году общие выбросы составили примерно 850 г ЭТ, а к 2000 году они уменьшались до 8 (!!!) г ЭТ в год. В России выполнение Федеральной программы «Защита окружающей природной среды и населения от диоксинов и диоксиноподобных токсикантов на 1996 – 1997 годы» явилось лишь первым шагом на пути решения этой важнейшей государственной проблемы, который пока не нашёл дальнейшего воплощения.

Тем временем в мире идёт интенсивный процесс осознания идеи, что проблему диоксинов и фуранов практически невозможно решить без отказа от повсеместного использования хлора и его аналогов. Эта идея, которую ещё несколько лет назад не воспринимали в принципе представители химической и других отраслей промышленности, а также транспорта, энергетики и сельского хозяйства, широко использующие хлор и хлорсодержащие продукты, в последнее время начинает получать поддержку в правительственных кругах развитых стран. Достаточно сказать, что вывод Международной Объединённой Комиссии США и Канады по решению проблемы загрязнения Великих озёр о том, что использование хлора и его соединений необходимо исключить из промышленных процессов, нашёл поддержку Президента США. Правительства европейских стран (Нидерланды, Швеция, Австрия, Германия, Швейцария, Дания, Норвегия, Испания), а также Австралии, Индонезии, Канады и Японии под-

держали отказ фирм от использования ПВХ для производства бутылок, упаковок и кабелей, для изготовления детских товаров и при строительстве общественных зданий. Крупнейшие автомобильные концерны «Вольво» и «СААБ» уже с 1997 года не используют ПВХ при производстве автомобилей. Для замены ПВХ многие лаборатории мира (в том числе и наша лаборатория в МГУ) ведут интенсивные исследования по нахождению новых условий получения полимерных материалов, не содержащих хлор и обладающих свойствами, позволяющими успешно использовать их вместо ПВХ.

Прежде чем сделать окончательный вывод, необходимо напомнить об уже состоявшемся «хлорорганическом» прецеденте, когда в 1948 году швейцарскому химику Паулю Мюллеру присудили Нобелевскую премию за хлорорганический инсектицид ДДТ, спасший в те годы миллионы людей от малярии, а в 1972 году, когда стало ясно, что ДДТ и его основной метаболит ДДЕ, накапливаясь в жировых тканях живых организмов, оказывают сильнейшие экотоксикологические эффекты на людей и животных, использование ДДТ в развитых странах было законодательно запрещено.

Таким образом, мы приходим к выводу, что сам высокотоксичный хлор и все токсичные хлорорганические продукты (пестициды, растворители, ПХБ, ПВХ и др.), получение, использование и утилизация которых приводит к появлению в окружающей среде ещё более токсичных диоксинов и фуранов, должны быть в максимально короткие сроки выведены из контакта с населением нашей страны.

Литература

1. Коммонер Б. Политическая история диоксинов. М.: «Два Мира», 1996.
2. Estimating exposure to dioxin-like compounds, US EPA, Washington DC. 1994.
3. Фокин А.В., Коломиец А.Ф. Диоксин – проблема научная или социальная. // Природа. М. 1985. № 3.
4. Юфит С.С. Диоксины: основные понятия и проблемы. М.: «Два Мира», 1996.

5. Gibbs L.M., Dying from dioxin: a citizens' guide to rebuilding our health and reclaiming democracy. South End Press, 1995.
6. Ключев Н.А. и др. // «Диоксины: экологические проблемы и методы анализа». Уфа. 1995.
7. Liem, A.K.D. Berg R.v.d, Bremmer H.J., Hesse J.M., Sloof W. (eds), Integrated criteria document for dioxins. Dutch national institute for public and environment protection. 1993.
8. Lebedev A.T., Poliakova O.V., Karakhanova N.K., Petrosyan V.S., Renzoni, The contamination of birds with organic pollutants in the Lake Baikal region // The Science of Total Environment. 1998. P. 153-162.
9. Петросян В.С. Химическое загрязнение и окружающая среда // Бюлл. Центра Экол. Политики. 1999. № 6. С. 16-18.
10. Юфит С.С. Право вскармливать грудью: в группе риска – младенцы // Зел. мир. 1999. № 3. С. 297.
11. Мошкарин Н.А., Бродский Е.С., Ключев Н.А., Лебедев А.Т., Петросян В.С. Возможность образования полихлорированных бифенилов, дибензофуранов и дибензодиоксинов при хлорировании воды // Токсикологический вестник. 1995. № 1. С. 42-45.
12. Rappe C.et al. // Chemosphere. V. 19. P. 1875-1880
13. Rappe C.et al., Levels, profile and pattern of PCDDs and PCDFs in samples related to the production and use of chlorine // Chemosphere. 1991. V. 23. P. 1629-1636.
14. Versar, Inc., Formation and sources of dioxin-like compounds; a background issue paper for USEPA, National Center for Environmental Assessment. Springfield, VA. 1996.
15. Meyn O., Zeeman M., Wise M., Keane S.E., Terrestrial wildlife risk assessment for TCDD in land-applied pulp and paper mill sludge // Environ. Toxicol. Chem. 1997. V. 16. P. 1789-1801.
16. Gillespie W.J., TCDD in land-applied pulp and paper mill sludge: a valid risk assessment? // Environ. Toxicol. Chem. 1999. V. 18. P. 109.
17. Waste Incineration and the Environment, R.E.Hester and R.M.Harrison (eds.), Royal Society of Chemistry, Manchester, Great Britain, 1994.
18. Юфит С.С. Мусоросжигательные заводы – помойка на небе. М.: «Два Мира», 1998.
19. Furst P., Wilmer K. //Dioxin-97. 1997. V. 33. P.116-121.

**Снижение влияния аварийных сбросов
в системах фильтрации сточных вод**© 2009. В.А. Алексеев¹, д.т.н., проректор; А. Хедр¹, аспирант; Е.М. Козаченко², инженер,¹Ижевский государственный технический университет,²МУП «Воткинский водоканал»,

e-mail: lazer@istu.ru

В статье предлагается подход к предотвращению попадания загрязняющих веществ при аварийных сбросах промышленных предприятий на очистные сооружения и в природные водоёмы. Метод основан на непрерывной регистрации уровня загрязнения сточных вод системой оптических датчиков и перенаправлении потока в резервные отстойники в случае обнаружения аварийного сброса.

The article presents the measures preventing poison substances leak into treatment facilities and natural water reservoirs in case of emergency drains at industrial enterprises. The method is based on continuous registration of drain water contamination level by means of optic sensors as well as on redirection of the water flow into reserve setting reservoirs in case of emergency drain.

Ключевые слова: сточные воды, контроль загрязнения, аварийный сброс

Рост промышленного и сельскохозяйственного производства сопровождается интенсивным загрязнением окружающей среды, что наносит ущерб и природе, и обществу. Одним из наиболее опасных видов загрязнения окружающей природной среды является загрязнение воды – ценнейшего и незаменимого природного ресурса [1].

Общие запасы воды на Земле составляют более миллиарда кубических километров, из которых только 0,3% приходится на поверхностные воды. Анализ водопользования за 5 – 6 прошедших десятилетий показывает, что ежегодный прирост безвозвратного водопотребления, при котором использованная вода теряется для природы, составляет 4 – 5%. Ограниченные запасы пресной воды ещё больше сокращаются из-за их загрязнения. Главную опасность представляют сточные воды (промышленные, сельскохозяйственные, бытовые), поскольку значительная часть использованной воды возвращается в водные бассейны в виде сточных вод.

Наиболее распространёнными загрязнителями воды являются масла на предприятиях по переработке сельхозпродукции, нефть и нефтепродукты. Нефть может попасть в воду в результате естественных её выходов в районах залегания. Но основные источники загрязнения связаны с человеческой деятельностью: нефтедобычей, транспортировкой, переработкой и использованием нефти в качестве топлива и промышленного

сырья, переработкой сельскохозяйственной продукции [2].

Ошибки и технические неполадки в процессе бурения и эксплуатации скважин приводят к «залповым» сбросам нефти и нефтяного газа, что вызывает локальные, но очень сильные загрязнения окружающей среды [3].

В течение последних 5 лет в пищевых отраслях ежегодно образуется 45 – 47 млн. т вторичного сырья и отходов, из них в мясной промышленности 0,8 – 0,7 млн. т, в молочной 12,5 – 11,9, в зерноперерабатывающей 5 – 4,5, в масложировой 1,2 – 1, в сахарной 18 – 16, в спиртовой 12 – 11, в пивоваренной 0,8 – 0,7. Предприятия пищевой промышленности загрязняют в основном воду, в меньшей степени – воздух и почву.

Сброс загрязнённых сточных вод предприятиями пищевой промышленности составляет 2 – 3% от сброса предприятиями всех отраслей промышленности России.

Наиболее характерными для сточных вод предприятий пищевой промышленности являются взвешенные вещества, жир, общий и аммонийный азот, хлориды, фосфаты, тяжёлые металлы, СПАВ, нефтепродукты. В последние годы фиксируется увеличение в сточных водах количества нефтепродуктов, сульфатов, фенолов, нитратов, алюминия [4].

Современные предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции имеют очистные сооружения для подготовки сброса промышленных водных стоков в водоёмы.

Очистные сооружения обеспечивают качественную очистку сточных вод с использованием фильтров различной конструкции. Существующие системы очистки сточных вод не обеспечивают полного извлечения загрязняющих веществ, в частности, большинство фильтров не предназначены для очистки стоков от маслянистых веществ.

В случае непреднамеренного аварийного кратковременного сброса маслянистых веществ дорогостоящие устройства фильтрации могут быть повреждены или качество очистки будет ниже. Аварийные сбросы связаны с нарушением технологического процесса по неопытности оператора или в связи с аварией на одной из установок.

Сегодня многочисленные аварийные ситуации стали неотъемлемой частью нормальной эксплуатации оборудования. Можно сказать, что катастрофичной стала обычная производственная деятельность [5].

На рисунке 1 выделены наиболее вероятные причины аварийных сбросов.

В аварийной ситуации может возникнуть необходимость в изменении способов обработки воды.

Архитектура действующей сегодня системы контроля качества воды была разработана в начале 90-х годов и не удовлетворяет современным требованиям. Предварительный анализ стоимости аналитической техники показал, что создание на каждой водопроводной станции современной аналитической лаборатории является экономически невыгодным. Высокочувствительные избирательные приборы имеют высокую стоимость и окупаются только при большом потоке проб [6].

Для обеспечения безопасности населения нужно применять технические средства контроля над внезапным загрязнением рек.

Сброс производственных сточных вод в городскую канализацию должен осуществляться через самостоятельные выпуски с устройством

за пределами территории предприятия контрольных колодцев, которые оборудуются приспособлениями (автоматическими пробоотборниками, измерительными устройствами и т. п.) для постоянного (т. е. непрерывного) контроля над составом и расходом производственных сточных вод [7].

Желательно, чтобы технология анализа была экспрессной, имела бы предельно простую подготовку проб, а приборы могли бы работать во внелабораторных условиях.

Для анализа растворов существует ряд стандартных методов, применяемых в лабораториях. Степень загрязнения воды при этом определяется показателями, приведёнными в таблице 1 [8].

Рассмотрим некоторые методы контроля, группирующиеся вокруг способов и особенностей современного химического анализа (рис. 2.)

Однако все рассмотренные выше методы имеют общий недостаток – требуют долговременной предварительной подготовки проб.

Отработанную воду, не подлежащую повторному применению, предприятия сбрасывают обратно в водоёмы. Естественно, предварительно эта вода проходит через фильтры очистки, однако в случае аварии они не смогут предотвратить сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, особенно если в систему слива попадут вещества, на которые эти фильтры не были рассчитаны. Таким образом, возникает задача своевременного распознавания аварийного сброса с целью принятия соответствующих мер по предотвращению распространения загрязнения.

Проведённые нами исследования показали, что в отдельных случаях аварийные сбросы, протекающие в течение определённого интервала времени, представляют собой «сгусток» неоднородной жидкости в основной трубе, отводящей сточную воду к фильтрам.

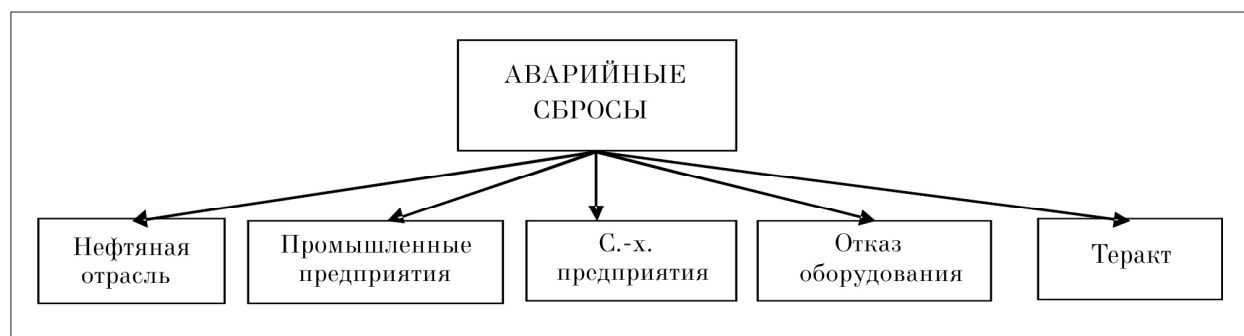


Рис. 1. Наиболее вероятные причины аварийных сбросов

Таблица 1

Химические, физические, гидробиологические и токсикологические показатели загрязнённости воды

Степень загрязнённости	Растворённый кислород, мл/л		БПК ₃ , млО ₂ /л	Окисляемость, О ₂ /л	Аммонийный азот, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Прозрачность		Запах, баллы	Нефть, мл/л	pH	Коли-титр	Биологический показатель *БПЗ, %	Отношение ПДК вещества к ПДК воды
	Летом	Зимой					по Секи, м	по Снелленду, см						
Очень чистая	9	13–14	0,5–1,0	1	0,05	1–3	2	30	1	0	6,5–8,5	100–10	0+5	0
Чистая	8	11–12	1,1–1,9	2	0,1	4–10	2–1	30–20	2	0,1–0,2	6,5–8,5	1–10	6+10	0,1–0,9
Умеренно грязная	6–7	9–10	2,0–2,9	3	0,2–0,3	11–19	1–0,3	19–3	3	0,3	6–9	0,05–1	11+20	1–5,9
Загрязнённая	4–5	4–5	3,0–3,9	4	0,4–1	20–50	0,3–0,1	2–1	4	1	5–6, 9–10	0,005–0,05	21+60	6–10,9
Грязная	2–3	0,5	4–10	5–15	1,1–3	51–100	0,1–0,02	1–1,5	5	2	5–6, 9–10	0,005–0,001	61+99	11–20
Очень грязная	0	0	10	15	3	100	0,02	0,5	5	3	2–4, 11–13	0,001	100	20

Примечание: *БПЗ – биологический показатель, показывающий отношение количества одноклеточных организмов, не содержащих хлорофилл, к общему количеству организмов, включая содержания хлорофилла.

При подобной аварии изменяется плотность сточных вод на определённом интервале времени, «сгусток» сточной жидкости, которую можно фиксировать косвенными измерениями оптической плотности. Одним из методов косвенного измерения является турбидиметрический способ, основанный на измерении изменения интенсивности рассеянных световых потоков при воздействии лазерного излучения на поток жидкости [9]. Излучение лазера через входное окно в сточной трубе проходит через поток воды и попадает на фотоприёмник, находящийся за вторым окном в трубе. Электрический сигнал с фотоприёмника преобразуется в цифровой сигнал, который регистрируется ЭВМ. Производится обработка цифрового сигнала в ЭВМ и по её результатам прини-

мается решение о перераспределении потока воды. Обнаружение «сгустка» сточной жидкости позволит обеспечить контроль движения его по основной трубе и при соответствующей автоматике отвести его в специальный отстойник. Таким образом, прекратить временно поступление сточной воды на фильтры.

На рисунке 3 показана схема автоматизации устранения аварийного сброса в сточных водах. Анализатор жидкости 1 производит непрерывный контроль параметров воды, характеризующих её загрязнённость (пропускание, плотность и т. д.). Пока концентрация растворённых веществ изменяется в некоторых допустимых пределах, вода, проходя через фильтры очистки, поступает в окружающую среду (водоём).

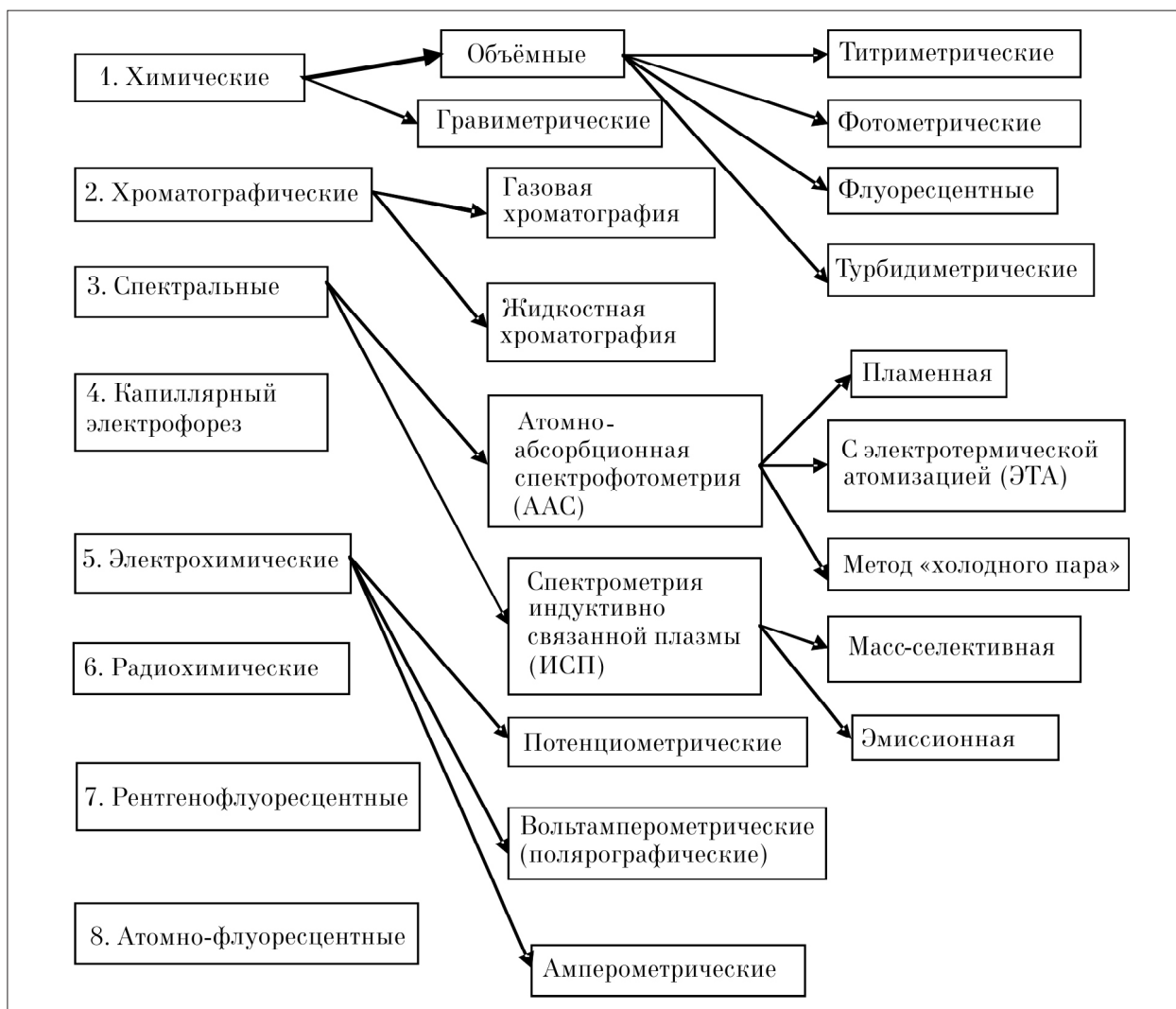


Рис. 2. Основные аналитические методы, используемые при контроле качества воды

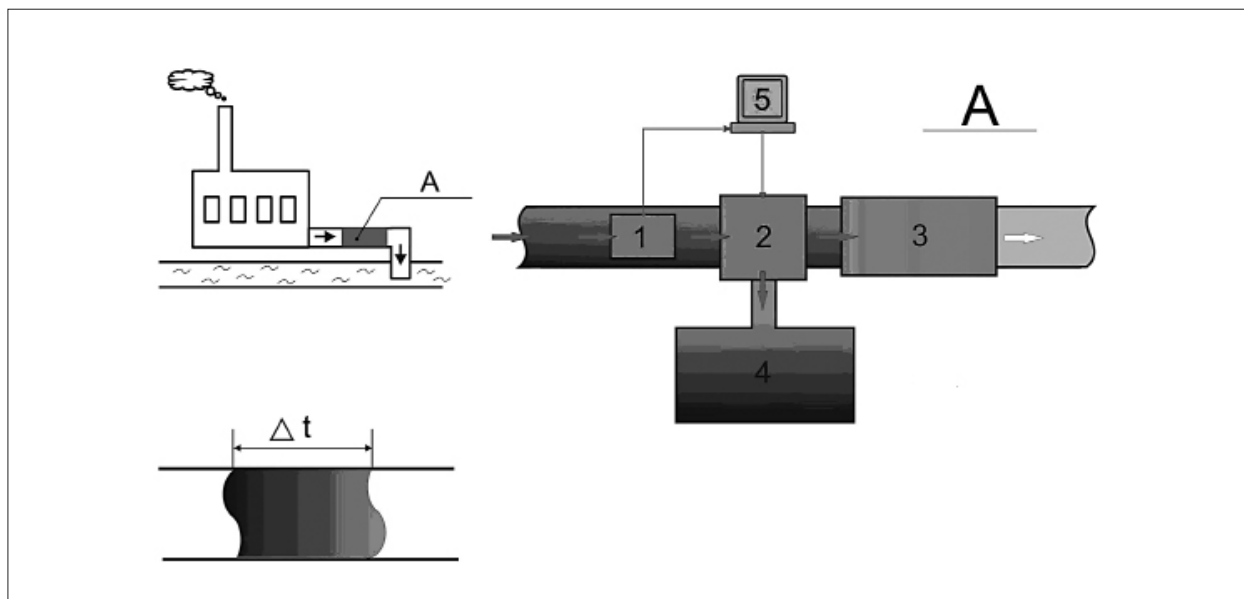


Рис. 3. Система автоматизации устранения аварийного сброса в сточных водах

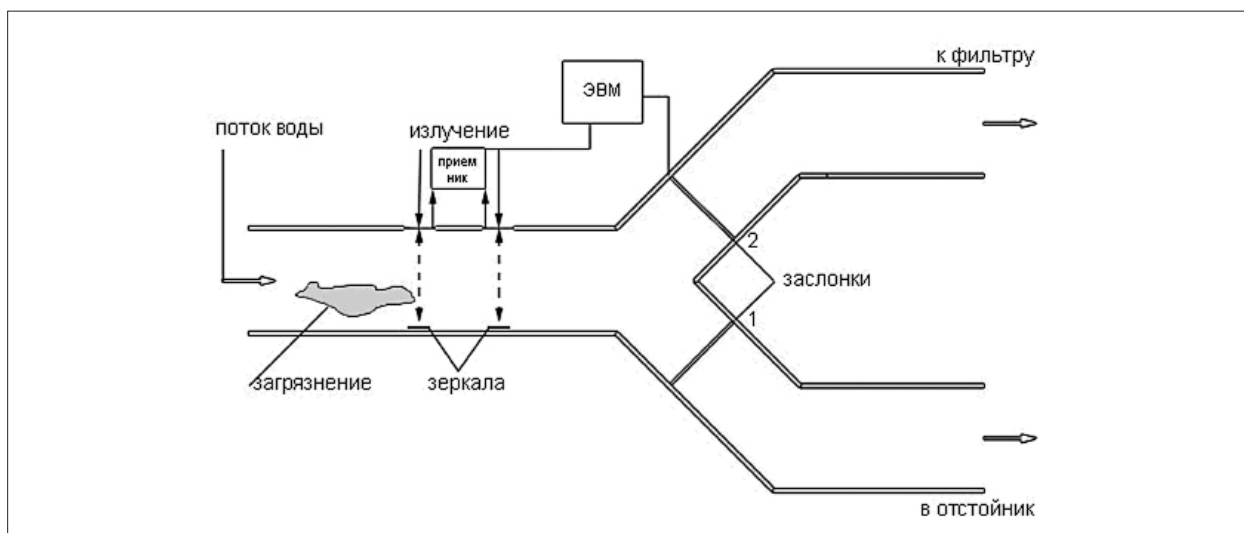


Рис. 4. Труба слива

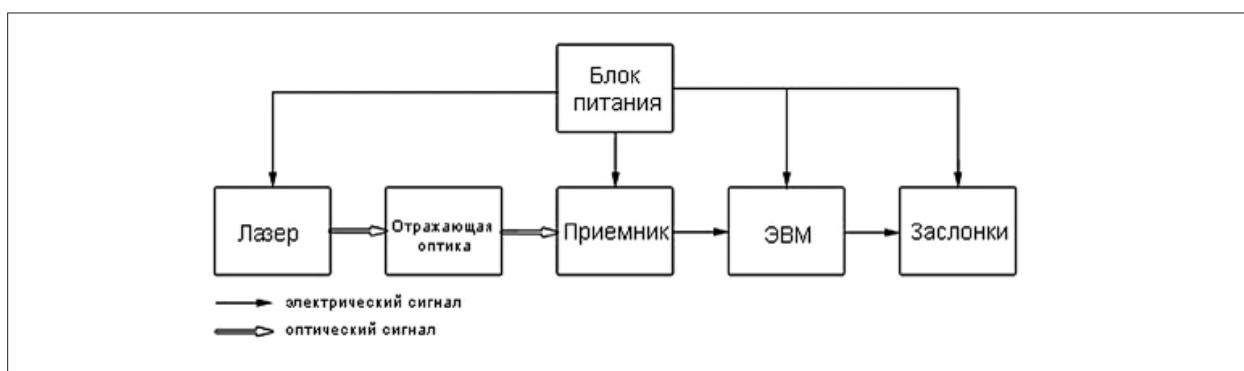


Рис. 5. Структурная схема автоматизации устранения аварийного сброса

В случае сброса на предприятии анализатор жидкости 1 подаёт сигнал на управляющий компьютер 5, который посредством клапана отвода 2 направляет загрязнённую воду

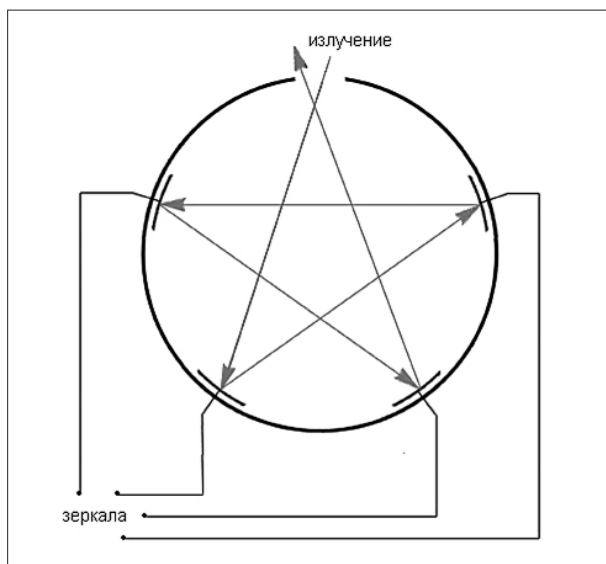


Рис. 6. Поперечное сечение трубы

в отстойник 4. При появлении загрязнения в системе слива срабатывает детектор, который состоит из лазерного излучателя, приёмника и системы зеркал. Далее как только срабатывает детектор, открывается заслонка 1 и закрывается заслонка 2, и загрязнение, вместо того чтобы проходить через фильтр и забивать его, уходит в отстойник и в дальнейшем утилизируется. Заслонка будет переключаться по условию срабатывания двух датчиков, по скорости вещества задаётся время срабатывания заслонки.

На рисунке 4 показан принцип работы клапана отвода. При протекании чистой воды открыта заслонка 2 и закрыта заслонка 1. Появление загрязнения приводит к изменению сигнала от датчика анализатора жидкости, который поступает на ЭВМ. Когда сигнал от датчика выходит за границы допуска (загрязнение превысило допустимый уровень), программа «выдаёт» сигнал на переключение заслонок, и происходит перераспределение потока воды: открывается

заслонка 1 и закрывается заслонка 2. Таким образом, загрязнённая вода поступает в отстойник для утилизации, и увеличивается срок службы фильтров очистки. Применение двух датчиков позволяет выбирать оптимальное время (скорость) переключения заслонок как при появлении загрязнения, так и при окончании прохождения «загрязнённого сгустка».

На рисунке 5 представлена структурная схема системы автоматизации устранения аварийного сброса. Объём отстойника должен быть таким, чтобы вместить в себя всю жидкость, поступающую за время устранения аварии.

На рисунке 6 представлена схема отражения отражающей оптики в трубе слива.

Излучение проходит через окно в верхней части трубы, далее отражается на зеркалах и возвращается обратно. Использование нескольких зеркал позволяет контролировать большую площадь сечения.

В качестве источника оптического излучения можно использовать He-Ne лазер мощностью 5 мВт.

Если в облучаемой области будет проходить загрязнение, мощность принимаемого сигнала будет падать от 20 до 50% [9].

Задавая расстояние между излучателями, а также зная расстояние до задвижек, можно рассчитать скорость, с которой движется загрязнённая область, и время, на которое нужно закрыть и открыть задвижки.

Рассмотренная проблема характерна для предприятий по переработке семян подсол-

нечника, оливковых культур, молокозаводов, химических предприятий, предприятий нефтеперерабатывающей отрасли и др.

Литература

1. Криксунов Е.А., Пасечник В.В. Экология. М.: Дрофа, 1998. 198 с.
2. Хван Т.А. Промышленная экология. Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. 320 с.
3. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.
4. Комаров В.И., Мануйлова Т.А. Проблемы экологии в пищевой промышленности // Экология и промышленность России. 2002. № 6. С. 4-16.
5. Шахрамьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Уральский регион России: опасности природного, техногенного и экологического характера // Экология и промышленность России. 2002. № 3. С. 4-21.
6. Щербаков Б.Я., Чиликин А.Я., Ижевский В.С. // Экология и промышленность России. 2002. № 7. С. 39-44.
7. Кармазинов Ф.В., Атанов А.Н., Глущенко Г.Ф., Ушаков Н.П. Система аналитического контроля качества воды в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // Водоснабжение и санитарная техника. Ч. 2. 2004. № 8. С. 16-21.
8. Подосенова Е.В. Технические средства защиты окружающей среды. М.: Мир, 1980. 320 с.
9. Ляхов Г.А., Суязов Н.В. Вынужденное рассеяние с распределённой обратной связью в рассеивающей среде // Квантовая электроника. 1995. № 5. С. 22-26.

**Оценка эффективности основных способов
обеззараживания шахтных вод**

© 2009. М.В. Россинская, д.э.н., профессор; Н.Г. Трегулова, к.э.н., доцент;
Н.П. Россинский, к.т.н., доцент,
Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
ntregulova@mail.ru

Представлена оценка экономической, технологической, экологической и санитарно-эпидемиологической эффективности основных наиболее распространённых методов обеззараживания шахтных вод. Более подробно представлен наиболее прогрессивный безреагентный электрохимический способ.

Economic, technological, ecological and sanitary-and-epidemiologic efficiency of the most widespread mine waters disinfecting methods are estimated. The most progressive reagentless electrochemical way is presented in more detail.

Ключевые слова: шахтные воды, обеззараживание, электрохимический способ, оценка эффективности, микроорганизмы

Существует много способов обеззараживания воды с различной их эффективностью. Цель данного исследования заключается в том, чтобы дать некоторую объективную оценку эффективности применения наиболее распространённых способов обеззараживания, позволяющую выбрать наиболее эффективный и безопасный способ обеззараживания воды для конкретных условий. Объектом исследования является шахта «Ростовская» ОАО «Угольная компания «Алмазная».

До 2007 года шахтная вода шахты «Ростовская», выдаваемая на поверхность в количестве до 900 м³/ч, подвергалась очистке в 3-секционном горизонтальном отстойнике с последующим обеззараживанием жидким хлором и самотеком поступала в пруды-осветлители. Из прудов вода сбрасывалась в реку Малая Гнилуша. Осадок из отстойника периодически удалялся на иловые карты для многолетнего хранения. Состояние хлораторной и всей системы обеззараживания вызывало тревогу из-за общей изношенности узла обеззараживания, что в конечном счете могло послужить источником возникновения чрезвычайных ситуаций с тяжёлыми последствиями. Поэтому возникла настоятельная необходимость в коренной реконструкции этого узла. Дезинфекция шахтных вод производится для уничтожения патогенных микробов и устранения опасности заражения водоёма при сбросе шахтных вод [1, 2].

Обеззараживание шахтной воды можно осуществлять различными способами. Основные наиболее подходящие для условий шахты «Ростовская» сведены в таблицу 1, где представлена их краткая характеристика. Метод обеззараживания шахтных вод выбирают с обязательным учётом технико-экономических и эколого-эпидемиологических показателей.

В 2007 – 2008 гг. совместно с Национальным университетом водного хозяйства и природопользования (г. Ровно) были проведены исследования по изысканию более экономичного и эффективного, более надёжного и безопасного способа и технологии обеззараживания шахтной воды для условий шахты «Ростовская». В результате этих исследований был разработан и внедрён способ безреагентного электрохимического обеззараживания шахтной воды.

Суть способа заключается в том, что шахтная вода до отстаивания подвергается электролизу с использованием нерастворимых комплексных биполярных точечных электродов специальной конструкции.

Процесс обеззараживания шахтной воды шахты «Ростовская» по этому способу заключается в следующем: шахтная вода с максимальным объёмом 900 м³/ч по подающему трубопроводу поступает в приёмную камеру электролизёра. Приёмная камера представляет собой четырехугольную железобетонную ёмкость длиной (L) – 2240 мм, шириной (B) – 1000 мм и высотой (H) – 1200 мм. В при-

Таблица 1

Технико-экономическая и санитарно-экологическая оценка методов обеззараживания шахтных вод шахты «Ростовская»
ОАО «Угольная компания «Алмазная»

П/П №	Наименование способа обеззараживания шахтных вод	Примерные затраты		Количество обслуживающего персонала	Техногенное, экологическое, санитарное и пожарное воздействие
		капитальные	эксплуатационные		
1	Хлорирование жидким хлором	более 2,5 млн. руб.	более 3,0 млн. руб. в год	не менее 8 чел.	В атмосферу может выделяться ядовитый газ. При эксплуатации требуется обязательное строгое соблюдение специальных норм и правил промышленной безопасности, промышленной и охраны труда. Обязательное наличие приточно-вытяжной вентиляции, специальных средств индивидуальной и групповой защиты и специальных систем сигнализации. Происходит загрязнение окружающей среды выделяющимся хлор-газом, который ухудшает органолептические показатели качества воды, отрицательно влияет на здоровье обслуживающего персонала, на живые и растительные организмы водоёма.
2	Хлорирование хлорной известью	более 1,5 млн.руб.	более 4,0 млн.руб. в год	не менее 12 чел.	Выделение в атмосферу ядовитого газа хлора. Обязательное соблюдение специальных норм и правил промышленной безопасности, промышленной и охраны труда. Обязательное наличие вентиляции и средств индивидуальной защиты. Загрязнение окружающей среды пылью хлорной извести, выделение в атмосферу хлор-газа, загрязнение воды и почвы отходами хлорной извести. Ухудшает физико-химические и органолептические показатели качества воды. Отрицательно влияет на живые и растительные организмы водоёма.
3	Обеззараживание гипохлоритом натрия, полученным электролизом поваренной соли непосредственно на очистных сооружениях	более 3,5 млн. руб.	более 3,5 млн. руб. в год	не менее 12 чел.	выделение в атмосферу ядовитого хлор-газа. Требуется строгое соблюдение специальных норм и правил техники безопасности, промышленной и охраны труда. Обязательное наличие приточно-вытяжной вентиляции, средств индивидуальной и групповой защиты. Загрязнение окружающей среды солью и выделившимся в атмосферу хлор-газа (ПДК – 1 мг/м³), ухудшение органолептических показателей качества воды, отрицательное влияние на живые и растительные организмы водоёма.

Продолжение табл. 1.

Технико-экономическая и санитарно-экологическая оценка методов обеззараживания шахтных вод шахты «Ростовская»
ОАО «Угольная компания «Алмазная»

П/п №	Наименование способа обеззараживания	Примерные затраты		Количество обслуживающего персонала	Техногенное, экологическое, санитарное и пожарное воздействие
		капитальные	эксплуатационные		
4	Обеззараживание озоном.	более 3,5 млн. руб.	более 4,0 млн. руб. в год	не менее 10 чел.	Выделение в атмосферу ядовитого газа-озона (ПДК – 0,0001 кг/м³). Газ – взрыво- и пожароопасен. Требуется обязательного и строгого соблюдения специальных норм и правил промышленной безопасности, промышленной санитарии и охраны труда. Обязательное наличие приточно-вытяжной вентиляции, системы рекуперации, средств индивидуальной и групповой защиты. Существует некоторое загрязнение окружающей природной среды. Не ухудшает органолептические показатели качества воды.
5	Обеззараживание ультрафиолетовым и ультразвуковым облучением (УФО, УЗО)	более 1,5 млн. руб.	более 2,5 млн. руб. в год	не менее 8 чел.	Вреден для обслуживающего персонала. Требуется строгого соблюдения специальных норм и правил промышленной безопасности и охраны труда. Экологически маловреден. Не ухудшает общие показатели качества воды.
6	Безреагентный электрохимический (разработаны кафедрой «Организация производства и управления» ЮРГУЭС)	не более 900 тыс. руб.	не более 2,2 млн. руб. в год	не более 4 чел.	Экологически безвредный. Не образует вторичных токсинов. Не требует соблюдения и выполнения специальных норм и правил охраны труда, промышленной безопасности, промышленной санитарии. Взрыво- и пожароопасен. Требуется только соблюдение общих правил промышленной безопасности и охраны труда. Не ухудшает органолептические и общие физико-химические показатели качества воды. Происходит некоторое снижение (до 15%) концентрации кальция и магния и других примесей. Обеззараженная вода положительно влияет на живые и растительные водные организмы водоёма.

Таблица 2
Эффективность электрохимического обеззараживания и очистки шахтной воды шахты «Ростовская» ОАО «Угольная компания «Алмазная»
по данным экспериментальных исследований

№ п/п	Наименование величины	Ед. изм.	До электролизера			После электролизера			После отстаивания			После доочистки		
			min	max	сред.	min	max	сред.	min	max	сред.	min	max	сред.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	pH	-	7,15	8,2	7,46	7,24	8,34	7,52	7,22	8,1	7,38	7,46	8,14	7,66
2	Взвешенные вещества	мг/дм ³	68,3	261,2	153,3	119,2	284,2	166,3	67,4	153,1	98,8	10,6	16,2	12,8
3	Хлориды	мг/дм ³	182,4	395,6	295,7	178,6	385,4	286,6	162,7	365,2	270,6	149,4	341,7	247,8
4	Сульфаты	мг/дм ³	998,8	2114,6	1686,3	962,4	2046,7	1618,6	912,9	1894,7	1537,9	900,7	1798,3	1435,6
5	Кальций	мг/дм ³	83,7	215,8	162,4	78,8	203,4	158,3	75,9	193,6	148,4	74,8	164,4	119,7
6	Магний	мг/дм ³	124,2	236,4	175,5	119,3	221,6	168,4	110,7	199,8	157,3	101,4	178,8	129,3
7	Натрий+калий	мг/дм ³	499,6	934,7	808,2	499,4	933,9	807,6	498,9	933,6	807,4	476,6	931,4	802,6
8	Солесодержание	мг/дм ³	1907,6	3936,1	3159,4	1856,8	3815,6	3062,5	1791,8	3623,7	2947,8	1685,3	3524,6	2897,8
9	Сумма тяжёлых металлов, в т. ч. Fe _{общ}	мг/дм ³	2,95	31,78	17,35	0,65	10,26	2,98	0,18	0,27	0,19	следы	0,14	0,015
10	ОКБ	КОЕ/100мл	658	10720	2620	отсут.	<100	<10	отсут.	<10	<10	<10	<10	<10
11	ТКБ	КОЕ/100мл	467	6314	1280	отсут.	<100	<10	отсут.	<10	<10	отсут.	<10	<10
12	Колифаги	БОЕ/100мл	не обнар.	112	66	отсут.	<10	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.
13	Патогенные	шт/100мл	не обнар.	не обнар.	не обнар.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.

ёмной камере поток воды гасится и равномерно распределяется на два, каждый из которых через переливную стенку поступает в камеру электролизера. Камера электролизера представляет собой четырехугольную железобетонную ёмкость размерами: $l = 1740$ мм, $B = 1100$ мм, $H = 900$ мм. В камере электролизера расположена корзина-кассетница из полиэтиленовых труб, размеры которой: $l = 1200$ мм, $B = 800$ мм и $H = 600$ мм. В каждой корзине-кассетнице расположена электродная система, состоящая из 14 биполярных комбинированных электродов и по одному специальному электроду-катоде и электроду-аноду. Электроды представляют собой подложку, выполненную из токонепроводящего материала. Размеры подложки: $l = 1000$ мм, $B = 300$ мм, толщина = 25-30 мм. На этой подложке в шахматном порядке размещены точечные электроды диаметром от 13 до 35 мм. Все электроды в кассетницах расположены в один ряд в вертикально-горизонтальном положении. Расположение электродов в ряду – параллельное. Расстояние между соседними электродами составляет от 25 до 35 мм и фиксируется при помощи токонепроводящих ограничителей.

Подсоединение электролизеров к выпрямителю может осуществляться параллельно и последовательно и зависит от режима работы. При включении электролизера в работу, т. е. при подаче шахтной воды в электролизер и подаче напряжения на крайние электроды (160-380 В), через электролизеры потечёт постоянный ток силой 40-180 А. Величина тока зависит от режима работы узла обеззараживания. При прохождении электрического тока через шахтную воду, протекающую между электродами, на положительно заряженных сторонах точечных электродов образуются атомарный кислород (O^0), атомарный хлор (Cl^0), хлор-ион (Cl^+) и некоторое количество хлорноватистой кислоты ($HOCl$). Эти вещества являются сильными окислителями, обладают бактерицидными свойствами и совместно с высоким напряжением и высокой плотностью тока воздействуют на все без исключения микробы, и в первую очередь на болезнетворные, убивают их и таким образом обеззараживают воду, проходящую через электролизер. Контроль за процессом обеззараживания осуществляют не реже одного раза в сутки по остаточному активному хлору в воде на выходе из электролизера. На поверхности катодной стороны точечных электродов от-

лагается рыхлый труднорастворимый осадок в виде комплексного соединения гидроксидов, оксидов, гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов кальция, магния, марганца, железа, цинка и других тяжёлых металлов. Этот осадок постепенно осыпается и уносится потоком воды в отстойник, где и оседает совместно с другими грубодисперсными примесями. После отстаивания вода по существующему трубопроводу самотёчно поступает в существующие пруды – осветлители. Эффективность электрохимического обеззараживания шахтной воды шахты «Ростовская» представлена в таблице 2, а технико-экономическая оценка в таблице 3.

В результате обработки данных, полученных при выполнении лабораторных и производственных исследований на реальных шахтных водах шахты «Ростовская» методом математического планирования получена информация о влиянии различных факторов на процесс обеззараживания, выведено линейное уравнение процесса электролиза, позволяющее рассчитать и оценить эффект обеззараживания шахтных вод шахты «Ростовская» внутри предварительно выбранных или фактических интервалов варьированных факторов:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{об} = & 86,52 + \lambda * A + \delta * V + \eta * j + k * W + \\ & + C * C_{общ} - n * \frac{\sum C_{ca+me}}{\sum C_{Na+K}} - \delta \frac{C_{so}^{2-}}{C_{ce}^-} - \\ & - M * \frac{M}{N} - q * Q, \% \end{aligned}$$

где $\mathcal{E}_{об}$ – бактерицидный эффект обеззараживания, который должен быть равен или больше 100%;

λ – коэффициент, учитывающий влияние силы тока, проходящего через электрохимическую ячейку (анод-катод);

A – сила постоянного электрического тока, проходящего через ячейку (катод-анод), или сила тока по прибору, А;

δ – коэффициент, учитывающий влияние напряжения постоянного тока;

V – напряжение постоянного тока на электролизера, В (во время эпидемиологической обстановки или других чрезвычайных ситуаций – 380 В);

η – коэффициент, учитывающий влияние плотности постоянного тока;

j – истинная (расчётная или фактическая) плотность тока на точечном электроде, А/м²;

Таблица 3

Технико-экономическая оценка использования безреагентного электрохимического узла обеззараживания шахтных вод шахты «Ростовская» ОАО «Угольная компания «Алмазная»

№ п/п	Наименование основных статей	Способ обеззараживания	
		хлорирование	безреагентный- электрохимический
1.	Объём обрабатываемой шахтной воды	$Q_1 = q \cdot t \cdot 365 = 600 \cdot 20 \cdot 365 = 4380000 \text{ м}^3/\text{год}$	$Q_2 = 4380000 \text{ м}^3/\text{год}$
2.	Капитальные затраты	Более 3,0 млн. руб.	Не более 650 тыс. руб.
3.	Основные эксплуатационные затраты	3057980 руб./год	1759860 руб./год
3.1	Реагенты (хлор и др.)	$P_{3.1}^1 = Q \times d_{Cl_2} \times \Pi_{Cl_2} = 4380000 \times 9.5 \times 2.44 = 1015200 \text{ руб./год}$	0 руб./год
3.2	Электроэнергия	$P_{3.2}^1 = Q_1 \times j_{Cl_2} \times C_0 = 4380000 \times 0.0214 \times 12 = 1124780 \text{ руб./год}$	$P_{3.2}^1 = Q_1 \times j_{эл} \times C_2 = 4380000 \times 0.028 \times 12 = 1471680 \text{ руб./год}$
3.3	Основная зарплата основного обслуживающего персонала	$P_{3.3}^1 = N_{Cl_2} \times P_{н} \times z = 8.1 \times 12 \times 5000 = 480000 \text{ руб./год}$	$P_{3.3}^1 = N \times P \times z = 4 \times 12 \times 5000 = 240000 \text{ руб./год}$
3.4	Прочие затраты, в том числе на обеспечение промышленной, санитарной, экологической безопасности труда	способ опасный и вредный $P_{3.4}^1 = Q_1 \times K_{Cl_2} = 4380000 \times 10 = 438000 \text{ руб./год}$	способ безопасный и безвредный $P_{3.4}^1 = 4380000 \times 1.1 = 48180 \text{ руб./год}$
4.	Экономическая эффективность (прибыль)	0 руб./год	1298120 руб./год
5.	Общий срок эксплуатации	до 10 лет	не менее 15 лет
6.	Гарантийный срок эксплуатации	не более 1 года	2,0 года
7.	Срок окупаемости	не окупается	до 1,5 лет

Примечание: где Q_1 – среднегодовой объём шахтной воды, поступающей на обеззараживание, $\text{м}^3/\text{год}$;
 g_1 – среднечасовой объём шахтной воды поступающей на обеззараживание, $\text{м}^3/\text{час}$;
 t – средневзвешенное количество часов поступления воды, ч;
 d_{ce} – среднестатистическое значение хлорпоглощаемости шахтной воды шахты «Ростовская», мг/л (г/м^3);
 Π_{ce} – полная стоимость хлора, коп/г (руб/кг);
 j_{ce} – удельный расход электроэнергии при хлорировании, равный 0.0214 , $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$;
 $j_{эл}$ – удельный расход электроэнергии при электрохимическом обеззараживании, равный 0.028 , $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$;
 C_s – стоимость $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, равная 12 руб.
 K_{ce} и K_a – удельные расходы на обеспечение безопасности, равный $K_{ce} = 10 \text{ коп/м}^3$, $K_{эл} = 1,1 \text{ коп/м}^3$;
 N – количество основного обслуживающего персонала, чел.

K – коэффициент, учитывающий влияние объёмной плотности постоянного тока;
 W – (расчетная или фактическая) объемная плотность тока, А/м^2 ;
 g – коэффициент, учитывающий влияние концентраций сульфатов и хлоридов в обрабатываемой воде;
 $C_{so+, ce}$ – фактическая концентрация сульфатов и хлоридов в шахтной воде, г/м^3 ;

n – коэффициент, учитывающий влияние концентраций щелочных и щелочеземных металлов;
 $C_{ca+mq+Na+k}$ – фактическая концентрация ионов щелочных и щелочеземных металлов, а также тяжёлых металлов;
 n – коэффициент, учитывающий влияние общей бактериальной загрязнённости исходной шахтной воды;

M – общая бактериальная (фактическая) загрязнённость исходной шахтной воды, по показателю ОКБ (КОЕ/100 мл);

N – максимальная общая и допустимая бактериальная загрязнённость обеззараженной воды по показателю ОКБ (КОЕ/100 мл);

∂ – коэффициент, учитывающий необработанный электролизом объём шахтной воды, поступающей на обеззараживание;

Q – количество шахтной воды, поступающей на обеззараживание, м³/ч.

Из приведённых в таблицах 2 и 3 результатов видно, что разработанный и внедрённый безреагентный электрохимический способ обеззараживания шахтной воды обеспечивает не только требуемый высокий эффект обеззараживания воды, но и позволяет снизить концентрацию ряда примесей: например, сульфатов не менее чем на 15%, кальция, магния и других примесей на 18–20 %, железа и тяжёлых металлов практически до нуля. Кроме того, этот способ не связан с применением каких-либо химических

реагентов, сложной аппаратуры, отличается компактностью и простотой конструктивного оформления, простотой эксплуатации и абсолютно безвреден и безопасен как для человека (обслуживающего персонала), так и для окружающей среды. И что очень важно, все затраты, понесённые на разработку и внедрение этого способа окупаются менее чем за 1,5 года за счёт отказа от использования хлора, а также за счёт мероприятий, направленных на обеспечение промышленной, экологической, санитарной безопасности и охраны труда, которые выполнялись при использовании хлора для обеззараживания.

Литература

1. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Сан.П и Н 2.1.5.98-00. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 24 с.
2. Организация Госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод: МУ 2.1.5.800-99. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2000. 27 с.

Совершенствование и унификация процесса паспортизации отходов производства

© 2009. В.Н. Чупис, д.ф.-м.н., директор; И.В. Панов, н.с.;
В.И. Быстренина, к.х.н., зам. директора; Л.Л. Журавлёва, д.т.н., зам. директора,
Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии,
e-mail: ecovector@ecoinst-sar.org

В данной работе предлагается специализированный интернет-ресурс по совершенствованию паспортизации отходов, унификации расчётов классов опасности отходов и обеспечению информационной поддержки природопользователей, обязанных в соответствии с существующим законодательством разрабатывать и согласовывать с контролирующим органом паспорта для всех опасных отходов, образующихся в процессе их производственной деятельности.

The article presents a special internet-resource that deals with perfection of wastage classification, unification of wastes danger classes estimation and informing nature managers that are obliged, in agreement with the current legislation, to work out registration certificates for all the production dangerous residues and to submit them to the control organs.

Ключевые слова: отходы производства и потребления, паспортизация отходов, классы опасности отходов, интернет-ресурс

В законе «Об отходах производства и потребления» [1] определена обязательность для каждого природопользователя соблюдать правила обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую природную среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья. Порядок обращения с отходами зависит от его класса опасности для окружающей среды, который обязательно определяется при проведении паспортизации отходов. В статье предлагаются способы совершенствования документирования паспортизации отходов, унификации расчётов классов опасности отходов и обеспечения информационной поддержки природопользователей, обязанных в соответствии с существующим законодательством разрабатывать и согласовывать с контролирующим органом паспорта для всех опасных отходов, образующихся в процессе их производственной деятельности.

Задачи совершенствования документирования паспортизации отходов [2 – 5], а также улучшения информационной поддержки природопользователей предлагается решать на основе создания специализированного интернет-ресурса, содержащего сертифицированную информационную систему, которая

должна обеспечивать расчёт классов опасности отходов для окружающей среды и здоровья человека по известным методикам [3, 5], а также осуществлять консультирование по вопросам обращения с отходами.

Принципы создания и развития такой системы ранее рассматривались в ряде публикаций [6, 7], они, в частности, включают:

- объединение и координацию усилий группы специалистов, занятых паспортизацией и сертификацией промышленных отходов, по формированию и практическому использованию единого нормативно-описательного банка данных;
- ведение пополняемых справочников паспортизируемых предприятий, названий отходов, компонентов отходов, нормативов опасности, литературных источников и прочих;
- поддержание и развитие арсенала расчётных, аналитических и оформительских инструментов с учётом накопленного опыта паспортизации и требований законодательной базы;
- систематизацию информации, представленной в различных формах, соответствующих различным этапам паспортизации промышленных отходов;
- определение классов опасности отходов для окружающей среды и здоровья

человека и границ устойчивости класса опасности в зависимости от концентрации компонентов отхода;

– прогнозирование экономических последствий для природопользователей от внедрения новых технологий, влияющих на образование отходов и их классы опасности.

Создание предлагаемого нами интернет-ресурса позволит природопользователям при составлении паспорта опасного отхода опускать раздел с расчётом класса опасности отхода для окружающей среды и, при необходимости, получать этот раздел, единообразно оформленный, компактный и снабжённый аналитическим блоком.

ФГУ ГосНИИЭНП на протяжении ряда лет использует в своей работе прототип такой системы, имеющей ряд полезных характеристик, аналоги которых отсутствуют среди известных нам систем.

Аккумулируя передовые наработки в данной области и постоянно развиваясь на принципах системы управления качеством [8], предложенная система упростит и сделает единообразной для всех природопользователей процедуру обоснования класса опасности отхода. Природопользователю при паспортизации отхода достаточно будет просто декларировать его состав и указать соответствующий класс опасности со ссылкой на представленный интернет-ресурс, с помощью которого можно будет в любой момент подтвердить или опровергнуть указанный класс.

Известно, что содержание отдельных компонентов в отходах может варьироваться в определённых пределах. Поэтому один и тот же отход может фактически, в зависимости от реальных концентраций его компонентов, относиться к разным классам опасности. В связи с этим при определении класса опасности важно знать не просто рассчитанный класс

Таблица 1

Первичные показатели опасности компонентов отхода

Показатель	Литер источник	Гидроксид натрия	Гидроксид лития	Соединения никеля	Соединения кадмия	Соединения железа	Вода
Концентрация (Ci), %		17	1,5	1,5	2	0,5	77,5
ПДКп, мг/кг				20	0,5		
ПДКв хоз. пит, мг/л			0,03				
		200		0,1	0,001	0,5	
Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования			2	3		3	
		4			2		
S, мг/л			1E+08				
		1080000					
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования		5					
			4			4	
ПДКр.х., мг/кг		120					
			0,08			4	
ПДКс.с. нас. мест, мг/м ³				0,0002	0,001	4	
		0,01					
Класс опасности в атмосферном воздухе				1	1		
						2	
ПДК р.з, мг/м ³		0,5					
ОБУВ, мг/м ³		0,01					
LD ₅₀ , мг/кг		10					
			53000			26	
LC ₅₀ водн, мг/л/96 ч				0,09	0,005		
Персистентность			4				
Биоаккумуляция			4	2	1		

Таблица 2

Расчёт класса опасности отхода для окружающей среды

Показатель из Методики [3]	Гидроксид натрия	Гидроксид лития	Соединения никеля	Соединения кадмия	Соединения железа	Вода	Отход в целом
1. ПДК _п (ОДК)			3	1			
3. ПДК _в (ОДУ, ОБУВ)	4	2	2	1	3		
4. Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	4	2	3	2	3		
5. ПДК _{р.х.} (ОБУВ)	4	3			4		
6. Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования		4			4		
7. ПДК _{с.с.} (ПДК _{м.р.} , ОБУВ)	2		1	1	4		
8. Класс опасности в атмосферном воздухе			1	1	2		
10. Lg (S, /ПДК _в)	2	3					
14. LD ₅₀	1	4			2		
16. LC ₅₀ водн. /96 ч			1	1			
18. Персистентность		4					
19. Биоаккумуляция		4	2	1			
20. Показатель инф. обеспечения	2	2	2	2	2	1	
Сумма баллов	19	28	15	10	24	1	
Xi – относительный параметр опасности	2,375	3,1111	1,875	1,25	3		
Zi – вспомогательный коэффициент	2,8333	3,8148	2,167	1,3333	3,667		
IgWi – вспомогательный коэффициент	2,8333	3,8148	2,167	1	3,667		
Wi – коэффициент степени опасности	681,29	6528,5	146,8	10	4642		
Ki = Ci/Wi – показатель степени опасности	249,53	2,2976	102,2	2000	1,077	0	
Ст.опасности отхода							2355
Класс опасности отхода							2

опасности (для наиболее опасного варианта содержания компонентов), но и вклад в получаемый результат отдельных его компонентов, а для каждого компонента – внутренние границы (в пределах допустимых диапазонов изменения его концентрации в отходе), которые обуславливают переход отхода из одного класса опасности в другой.

Анализ устойчивости класса опасности отхода в зависимости от концентраций компонентов, предлагаемый в нашей системе [7], поможет природопользователям грамотно подойти к вопросам совершенствования производственных технологий с целью уменьшения отходаообразования и (или) перевода отходов в менее опасные для окружающей среды классы.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности данной системы, приведём расчёт по отходу «Электролит щелочной отработанный». Расчёт представлен в таблицах 1 – 3, которые содержат соответственно: первичные показатели опасности, основной расчёт и блок

анализа устойчивости класса опасности, в котором показаны границы сохранения класса опасности, а также переходы из одного класса в другой при изменении концентрации каждого компонента отхода по отдельности с автоматическим пропорциональным изменением концентраций всех оставшихся компонентов для восстановления баланса. К расчёту прилагается генерируемый программой список литературы по первичным показателям опасности, фактически использованным в данном расчёте.

В системе имеется также аналитический блок для проведения более тонких экспериментов, определяющих влияние на класс опасности отхода задаваемого пользователем управления содержанием сразу для нескольких компонентов отхода. Данный блок позволяет зафиксировать содержание одних компонентов, указать базовые корректирующие поправки к исходному содержанию других компонентов и оставить остальные компоненты для автоматического регулирования (до общего содержания всех компонентов=100%).

Таблица 3

Анализ устойчивости класса опасности отхода при изменении содержания отдельных компонентов

Отход	Класс = 2	Границы устойчивости класса опасности				
Электролит щелочной отработанный	Принятое к расчету содержание, %	1	2	3	4	5
Гидроксид натрия	17,000	–	0 – 100	–	–	–
Гидроксид лития	1,500	–	0 – 62,12	62,12 – 100	–	–
Соединения никеля	1,500	–	0 – 100	–	–	–
Соединения кадмия	2,000	9,67 – 100	0,64 – 9,67	0 – 0,64	–	–
Соединения железа	0,500	–	0 – 63,52	63,52 – 100	–	–
Вода	77,500	0 – 4,46	4,46 – 90,45	90,45 – 99,04	99,04 – 99,9	99,9 – 100

Примечание: при изменении содержания отдельных компонентов отхода в указанных диапазонах содержание остальных компонентов автоматически пропорционально изменяется для восстановления суммарного содержания всех компонентов до 100%)

В результате программа внесёт возмущающие поправки к исходному содержанию компонентов пять раз и выдаст пять экспериментальных вариантов содержания компонентов отхода вместе с динамикой изменения степени опасности отхода и соответствующего ей класса опасности. Пример приведён в таблице 4.

Обратимся теперь к вопросам консультирования природопользователей по вопросам

обращения с опасными отходами. Такое консультирование, по нашему мнению, должно происходить в форме диалога с интеллектуальной экспертной системой, опирающейся на обширную и постоянно пополняемую на принципах системы управления качеством [8] сертифицированную базу знаний. Это позволит многие вопросы информирования, касающиеся экологической безопасности

Таблица 4

Влияние задаваемых вариаций компонентов отхода на изменение его класса опасности

Класс опасности отхода		2	Приращение, % к исходному варианту	2	2	2	3	3
Степень опасности		2355,09		1919,05	1483,01	1046,96	610,92	174,87
Компоненты	Электролит щелочной	Содержание, % (исходный вариант)	Приращение, % к исходному варианту	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
1	Гидроксид натрия	17,000000		13,8488	10,6976	7,54634	4,39512	1,2439
2	Гидроксид лития	1,500000		1,425	1,35	1,275	1,2	1,125
3	Соединения никеля	1,500000		1,22195	0,9439	0,66585	0,3878	0,10976
4	Соединения кадмия	2,000000		1,62927	1,25854	0,8878	0,51707	0,14634
5	Соединения железа	0,500000		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6	Вода	77,500000		81,375	85,25	89,125	93	96,875

Примечание: * – шаг последовательного приращения содержания компонента в % к исходному

общества, решать не эксклюзивно (при наличии у природопользователя возможности оплатить консультативную помощь), а качественно и оперативно с использованием интернет-ресурса в масштабах региона. При этом стоимость предоставляемой услуги будет доступна всем природопользователям.

Создание сертифицированного интернет-ресурса предполагает предоставление зарегистрированным природопользователям ряда возможностей, а именно:

1) получать рассчитанный класс опасности отхода в соответствии с существующими методиками [3, 5] по заданному составу этого отхода и с учётом диапазонов допустимых концентраций для каждого компонента отхода, используя одну и ту же базу первичных показателей опасности компонентов отхода;

2) при расчёте использовать нормативную базу опасных свойств по состоянию на текущую или на любую заданную дату её актуализации;

3) выборочно просматривать интересные разделы расчёта класса опасности: нормативную базу, баллы, промежуточные коэффициенты, блок анализа устойчивости класса опасности к вариации содержания его компонентов;

4) получать сравнительный анализ нескольких расчётов классов опасности на основе единой нормативной базы, но с учётом отличий нормативной базы на различные моменты времени, что будет полезно специалистам в данных вопросах, а также позволит оперативно отвечать на вопросы природопользователей, связанные с возможным изменением класса опасности одного и того же отхода, рассчитанным в разное время;

5) получать консультацию по обращению с отходом, имеющим указанный состав;

6) пополнять информационную базу нормативными и иными данными со ссылками на официальные источники.

При этом группа поддержки указанного интернет-ресурса будет контролировать предоставляемую информацию (названия компонентов отхода и их синонимы, нормативы, сведения по обращению с отходом, имеющим данный состав) и актуализировать её.

Группа поддержки указанного ресурса будет использовать сертифицированные

алгоритмы расчёта классов опасности по известным методикам и регулярно пополнять и выверять информационную базу (по плану, а также с учётом поступающих поправок и дополнений от зарегистрированных пользователей).

Принятие разработанной нами технологии позволит упростить паспортизацию отходов, унифицировать её проведение и улучшить уровень информированности природопользователей.

Литература

1. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изменениями на 8 ноября 2008 года, редакция, действующая с 1 января 2009 года).
2. Приказ МПР от 2 декабря 2002 г. № 786 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов» (в ред. Приказа МПР РФ от 30.07.2003 N 663).
3. Приказ МПР РФ от 15 июня 2001 г. № 511 «Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».
4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 18 августа 2007 г. №570 «Об организации работы по паспортизации опасных отходов».
5. Санитарные правила СП 2.1.7.1386-03. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления. – Введены с 30.06.2003 Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.06.2003. № 144.
6. Панов И.В. Информационная система для паспортизации промышленных отходов // Экологические проблемы промышленных городов / Под ред. Губиной Т.И. Саратов. 2003. С.123-128.
7. Панов И.В. О проекте общедоступной системы для расчёта классов опасности отходов // Научно-технические аспекты обеспечения безопасности при уничтожении, хранении и транспортировке химического оружия: Матер. III науч.-практ. конф. ФУ по безопасному хранению и уничтожению химического оружия. Москва. 2006. С. 243-246.
8. Государственный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 9000-2001 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» (принят постановлением Госстандарта РФ от 15 августа 2001 г. № 332-ст) (с изменениями от 7 июля 2003 г.).

Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек агроландшафтов (формирование, состав, экологическая оценка)

© 2009. Е.П. Янин, д.г.-м.н., старший научный сотрудник,
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
e-mail: yanin-dom@mail.ru

Обоснованы методические приёмы выявления и анализа техногенных геохимических ассоциаций в донных отложениях малых рек агроландшафтов. Систематизированы показатели, используемые для их характеристики и экологической оценки. Рассмотрены особенности геохимических ассоциаций в донных отложениях водотоков сельскохозяйственных районов бассейна р. Пахры (Московская область).

Methods of revealing and analysis of technogenic geochemical associations in small rivers bed sediments are proved. The parameters used for their characteristics and ecological assessment are systematized. Features of geochemical associations in bed sediments of water-currents of the Pakhra River basin (Moscow region) agricultural landscapes are considered.

Ключевые слова: агроландшафты, геохимические ассоциации, донные отложения, загрязнение, малые реки, экологическая оценка

Сельскохозяйственное производство является одним из основных потребителей воды, что определяет вероятность его негативного воздействия на водотоки и водоёмы. В то же время основные усилия по охране водных объектов от загрязнения химическими элементами (особенно тяжёлыми металлами) длительное время были сконцентрированы на проблемах, связанных с крупными городами. Считалось, что загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами в агроландшафтах или не контролируется или второстепенно. Исследования, выполненные в разных странах, показали, что загрязнение, вызываемое агропроизводством, уже нельзя рассматривать как малозначительное [1 – 5].

Хорошо известно, что исследования вод не всегда дают возможность полноценно охарактеризовать геохимические особенности водных систем из-за высокой динамичности состава и дискретности поставки загрязняющих веществ техногенными источниками. С этой точки зрения более эффективно изучение речных отложений, являющихся конечным звеном местных ландшафтных сопряжений, в силу чего их состав отражает геохимические особенности водосборных территорий. Особенно ярко подобная зависимость проявляется в бассейнах малых рек, которые служат основными приёмниками сточных вод и загрязнённого поверхностного стока с освоенных территорий.

В таких водотоках формируются техногенные геохимические аномалии, которые обычно отличаются полиэлементным составом, т. е. повышенным (аномальным) накоплением в донных отложениях определённой группы химических элементов. Данную группу элементов, характеризующую состав геохимической аномалии (состав техногенного загрязнения) и, соответственно, геохимический (миграционный) поток, связанный с источниками воздействия на исследуемый водоток, называют техногенной геохимической ассоциацией, различные характеристики которой (прежде всего, состав и степень концентрирования элементов) определяют экологическое состояние рек [4]. Это, в сущности, обуславливает необходимость изучения условий формирования и состава геохимических ассоциаций и разработки принципов их экологической оценки.

Исследования были выполнены в Московской области в пределах бассейна р. Пахры (правый приток р. Москвы). По характеру сельскохозяйственного освоения исследованные водосборы (или их части) малых рек, охарактеризованные соответствующими геохимическими выборками, были разделены на 5 групп: а) с крупными животноводческими комплексами; б) комплексного сельскохозяйственного освоения (земледелие и животноводческие фермы); в) в основном земледельческого освоения; г) с рас-

положенными в их пределах агропосёлками; д) с дачно-садоводческими поселениями. В случае неточечных источников загрязнения в пределах каждого водосбора (или их частей) отбиралось по всей длине водотока (с шагом 250 – 500 м) не менее 50 проб (верхний 0 – 20 см слой) супесчаных или супесчано-илистых русловых отложений. В зоне влияния животноводческих комплексов и сельских поселений отбор проб (не менее 30) донных отложений осуществлялся непосредственно ниже объекта (ниже места сброса сточных вод) на участках русла протяженностью в 250 – 300 м (с шагом 10 – 15 м). В качестве фоновых исследовались отложения водотоков в верховьях р. Пахры, удалённых от прямого воздействия источников загрязнения (выборка 50 проб). Отбор проб отложений осуществлялся пластиковым совком в белые полотняные мешочки; пробы высушивались на воздухе (в тени), просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм, квартовались и помещались в бумажные пакеты. Химико-аналитические исследования проб осуществлялись приближённо-количественным спектральным эмиссионным анализом на 40 элементов; F, As, Sb исследовались количественным спектральным методом; Hg – атомной абсорбцией (метод холодного пара); Se – флуориметрическим методом.

Для характеристики техногенных геохимических ассоциаций использовался комплекс следующих показателей [6].

1. Коэффициент концентрации химического элемента – K_c ; характеризует уровень концентрирования элемента в донных отложениях (в зоне загрязнения) относительно его фонового содержания. Коэффициент рассчитывается по формуле: $K_c = C_i / C_\phi$, где C_i – средняя концентрация i -го элемента, установленная для данной геохимической выборки, C_ϕ – фоновое содержание этого элемента.

2. Формула геохимической ассоциации; характеризует качественный (элементный) состав и структуру геохимической аномалии; представляет собой упорядоченную по значениям K_c совокупность (ранжированный ряд) элементов. Как правило, ассоциация, характерная для определённого вида воздействия, отличается своеобразным соотношением значений K_c элементов. Формула ассоциации изображается, например, так: Hg₁₅₀-Cd₁₁₀-Ag₇₈-As₅₁-Zn₂₃-Pb₁₁-(Cu-Co-Sb)₅-Mo₃-(Mn-Ti)_{1,7}-V_{1,5}, где цифровые индексы около символов элементов представляют их K_c .

В геохимическую ассоциацию включаются элементы со значениями K_c не менее 1,5 (данный уровень учитывает природную вариацию элемента и возможную ошибку опробования и аналитического исследования).

3. Показатель N_g ; характеризует количественный состав техногенной геохимической ассоциации (отражает число входящих в неё элементов).

4. Коэффициент среднего накопления химических элементов R_x ; представляет собой среднее арифметическое суммы значений K_c элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, и характеризует среднюю интенсивность полиэлементной аномалии; рассчитывается по формуле:

$$R_x = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) : n,$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в ассоциацию.

5. Суммарный показатель загрязнения Z_c ; представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_c элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, отражает аддитивное превышение фонового уровня группой ассоциирующихся элементов и характеризует уровень техногенного загрязнения водотока; рассчитывается по известной формуле Ю.Е. Саета:

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов (N_g), входящих в ассоциацию.

6. Показатель санитарно-токсикологической опасности Z_{CT} ; представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_c элементов 1-го и 2-го классов опасности, входящих в ассоциацию, для которых установлены ПДК в воде водных объектов. Этот показатель характеризует степень потенциальной санитарно-токсикологической опасности данного уровня техногенного загрязнения. Показатель рассчитывается по той же формуле, что и Z_c (с соответствующей корректировкой учитываемых элементов).

7. Показатель долевого участия химического элемента в геохимической ассоциации

$M_c\%$; отражает процентную долю участия элемента в ассоциации и используется для характеристики структуры последней; рассчитывается по формуле: $M_c\% = [(K_c - 1) : Z_c] \times 100\%$, где K_c – коэффициент концентрации элемента в данной ассоциации; Z_c – суммарный показатель загрязнения, характерный для этой же ассоциации.

8. Характеристики уровня техногенного загрязнения и его степени потенциальной санитарно-токсикологической опасности приведены в таблице 1. Указанная шкала, разработанная на основе эмпирического материала, полученного при сопряженном изучении геохимических аномалий в донных отложениях и в растворе речных вод, в существенной мере имеет экспертный характер. Тем не менее опыт свидетельствует об эффективности её применения, особенно при сравнении разных рек, участков их русла, объектов и районов. Степень санитарно-токсикологической опасности техногенного загрязнения в данном случае определяет также значимость донных отложений как источника загрязнения водной фазы и вероятность токсического воздействия их (как вещества) на живые организмы.

В агроландшафтах источниками поступления химических элементов в водотоки служат минеральные и органические удобрения, пестициды, нестандартные агрометрианты, отходы и сточные воды животноводческих комплексов и ферм, выбросы и сточные воды предприятий по производству комбикормов и первичной переработке агропродукции, выхлопы автотранспорта, выбросы, отходы

и сточные воды сельских населённых пунктов, рекреационных объектов и мастерских по ремонту сельскохозяйственной техники [7]. Основные способы поступления загрязняющих веществ (в растворе вод и в составе твёрдого взвешенного материала) в водные объекты – сброс сточных вод и поверхностный (в том числе внутрипочвенный) сток с водосборных территорий.

С эколого-геохимических позиций в агроландшафтах особую роль играет применение фосфорных удобрений, которые, кроме «желательного» фосфора, в повышенных количествах содержат обширную группу химических элементов. Так, в удобрениях в повышенных количествах концентрируются F, As, Sn, Cd, Y, La, Ce; некоторые виды удобрений, кроме того, отличаются значимыми содержаниями Sr, Pb, Ba. С калийными удобрениями связана поставка Mo, с азотными – As, Cd, Hg, Co, Mo, Pb, Sn, с комплексными удобрениями и микроудобрениями (B, Mo, Cu, Zn, Mn, Co), пестицидами (Hg, Cu, F, Sn, Zn, V, Mn, As, Pb), с органическими удобрениями (некоторых тяжелых металлов). При обработке почв агротехникой происходит их загрязнение Fe, Cr, V, Ni, V, Cr, Zn (выхлопы дизельных установок, истирание механизмов и шин).

Все виды отходов, образующихся в животноводстве и птицеводстве, характеризуются повышенными содержаниями P, Hg, W, Sr, Zn, в меньшей степени – F, Bi, Ag, Cu, Mo, B. Присутствие Hg, W и Mo в существенной мере обусловлено попаданием в отходы вышедших из строя ртутных ламп, приборов и ламп на-

Таблица 1

Ориентировочная шкала оценки загрязнения рек по интенсивности накопления химических элементов в донных отложениях [6]

Z_c	Z_{CT}	Уровень техногенного загрязнения	Степень санитарно-токсикологической опасности	Содержание токсичных элементов в растворе речных вод
< 10	< 10	Слабый	Допустимая	Большинство в пределах фона
10 – 30	10 – 30	Средний	Умеренная	Многие повышены относительно фона; некоторые эпизодически достигают ПДК
30 – 100	30 – 100	Высокий	Опасная	Многие заметно выше фона; некоторые превышают ПДК
100 – 300	100 – 300	Очень высокий	Очень опасная	Многие во много раз выше фона; некоторые стабильно превышают ПДК
> 300	> 300	Чрезвычайно высокий	Чрезвычайно опасная	Большинство во много раз выше фона; многие стабильно превышают ПДК

каливания. Есть сведения о значимых уровнях ртути в комбикормах, источником которой служит рыбная мука, готовящаяся из морской рыбы, отличающейся повышенным содержанием этого металла. Накопление в отходах и стоках Sr, F и Sn обусловлено употреблением в качестве кормовых добавок фосфатов, которые составляют до 0,8 – 1,5% общего веса комбикормов и относительно обогащены, кроме указанных элементов, P, As, Cd, Y, La, Ce и Pb. В состав типовых рационов кормления сельскохозяйственных животных добавляют соединения Zn, Mn, Cu, Co, J, иногда F, B, Se, Mo. Повышенными уровнями Zn, Cu, As отличается мясокостная, рыбная и крилевая мука. В животноводстве применяются антисептики, содержащие различные металлы. Сточные воды животноводческих комплексов представляют собой сток, состоящий из жидкого навоза, производственных, бытовых и дренажных вод, силосного сока. Как правило, они содержат в повышенных концентрациях Cu, Mn, Zn, Fe, B, Mo, W, Hg, Sr, F и другие элементы. После осветления в отстойниках и предварительной обработки стоки сбрасываются в водотоки или используются для орошения угодий. Обычно они отличаются высокими содержаниями взвешенных веществ, что определяет своеобразие формирующихся в руслах рек отложений.

Таким образом, потенциально качественный состав основных потоков загрязняющих веществ в агроландшафтах разнообразен. Химические элементы, присутствующие в жидкой и твердой части таких потоков, в конечном счете поступают в водотоки и накапливаются в донных отложениях (табл. 2).

Максимальные значения количественных характеристик геохимических ассоциаций типичны для зон воздействия крупных животноводческих комплексов, где формирование полиэлементных аномалий ($N_g = 16 - 20$) связано с влиянием сточных вод. Здесь для ряда элементов наблюдаются высокие K_c , что находит отражение в относительно повышенных значениях R_x (2,5 – 3,3). Обращает на себя внимание близкий качественный состав ассоциаций (при ведущей роли Hg, Ag, Zn, Se, As, P). Характерно также накопление в донных отложениях Cd, Cu, Mo, Sr, W. Многие из указанных элементов присутствуют в «аномальных» количествах в отходах и стоках животноводческих объектов. Значения показателя Z_c определяют высокий уровень, а показателя Z_{ct} – опасную степень санитарно-

токсикологической вредности техногенного загрязнения рек.

В донных отложениях рек районов комплексного сельскохозяйственного освоения также накапливается широкий комплекс элементов ($N_g = 13-22$). Но здесь, во-первых, уже преобладают те из них, K_c которых в основном находятся в пределах 1,5-3, что обуславливает невысокие значения R_x (1,4 – 1,8). Во-вторых, в составе ассоциаций доминируют литофильные элементы (F, Sc, Nb, La, Y, Yb, Mn, Sr, V), хотя достаточно интенсивно накапливаются фосфор и халькофильные Hg, Ag, Sn, Ga, Cd. Типично присутствие Cu, As, Se. Эти элементы либо целенаправленно (P), либо в виде нежелательных примесей (прежде всего, литофильные элементы) вносятся с удобрениями и агромерелиорантами, а также поступают с отходами и стоками точечных источников (фермы, ремонтные мастерские и т. п.). Значения показателя Z_{ct} определяют умеренную степень санитарно-токсикологической вредности, а показателя Z_c – преимущественно средний уровень техногенного загрязнения рек этих районов.

Ассоциации в донных отложениях рек земледельческих районов закономерно отличаются менее интенсивным накоплением Ag и более высоким содержанием Mn и P. Здесь наблюдается допустимая степень санитарно-токсикологической вредности и средний уровень техногенного загрязнения рек.

В зоне влияния агропоселка в речных отложениях установлено накопление Ag (типичного химического элемента практически любой техногенной аномалии), в меньшей степени Co и P. Это определяет более высокие, нежели для рек земледельческих районов, значения R_x (1,7 – 1,8), более высокие значения Z_c (отвечающие среднему уровню загрязнения) и умеренную степень санитарно-токсикологической вредности техногенного загрязнения.

Своеобразны геохимические ассоциации в донных отложениях водотоков, дренирующих дачно-садоводческие поселения. Здесь ведущая роль принадлежит P и Mn, характерно присутствие Sn, Mo, Zn, Hg, Pb, что является следствием применения пестицидов и нестандартных агромерелиорантов, влияния бытовых отходов. Более интенсивное накопление в отложениях элементов 3 класса опасности обуславливает допустимую степень санитарно-токсикологической вредности загрязнения при его стабильном среднем уровне.

Таблица 2

Геохимические ассоциации в донных отложениях водотоков сельскохозяйственных районов бассейна р. Пахры

Хозяйственное освоение речных бассейнов		Порядок значений K_C химических элементов				N_2	R_X	Z_C	Z_{CT}
		> 30	30 – 10	10 – 3	3 – 1,5				
Крупные животноводческие комплексы	Крупнорогатый скот, «Сосенки», ручей	Hg ₃₇	Ag ₁₁	Zn ₇ – (Se – As – Sn – P) ₆ – (Cu – Mo) ₅ – Cd ₄	Sc – Sr – Ga – W – Pb – Co – Mn – Y – F	20	3,3	94	64
	Свиноводство, «Кузнецово», р. Ладырка	–	Ag ₁₄ – Hg ₁₃	Zn ₇ – (As – Se – P) ₅	Sr – Cd – Ba – Sn – W – Sc – Cu – Mo – Y – Pb	16	2,5	54	43
	р. Сосенка, верховья	–	–	P ₅ – Mn ₄ – (Ga – Cu – Sc – Cd – Ni – Nb) ₃	As – Y – Zn – Sn – Hg – Ba – Pb – Yb – Ag – Mo – Cr – La – V – F	22	1,8	34	10
Комплексное сельскохозяйственное освоение	р. Страдань	–	–	Hg ₅ – Sn ₄ – Bi ₃	As – Se – Cr – Ni – Co – Ga – Mn – Nb – La – V – P – Ag – F – Cd	17	1,6	24	13
	р. Сохна	–	–	Ag ₃	P – Sn – F – Mo – Nb – Cr – Cu – Zn – Mn – Yb – Ba – As – Se – La	15	1,4	16	8
	р. Рожая, верховья	–	–	Ag ₅ – Cd ₄	Sn – P – F – Cu – Co – Zn – Mo – Y – Pb – As – Se	13	1,5	19	13
Преимущественно земледельческое освоение	р. Жданка	–	–	P ₅ – Sc ₄ – Cu ₃	Mn – Nb – Ag – Mo – Cr – Zr – F – Y – Cd – Co – Pb – Yb – As	16	1,6	24	5
	р. Ярцевка	–	–	Mn ₄	V – Ga – P – Co – Nb – Yb – B – Cd – Cr – Ag – Mo – Sc – Pb – F	15	1,4	19	6
Агропосёлок	Михайловское, р. Ярцевка	–	Ag ₁₀	Co ₄ – P ₃	V – Bi – Ni – Zn – Pb – Ba – Ga – Mn – Zr – Nb – Mo – Yb – Be	15	1,7	28	17
Дачный посёлок	пос. Апрелевка, ручей	–	–	P ₄ – (Sc – Ga – Sn – Mn) ₃	Mo – Zn – Cu – Co – V – Pb – Y – Cr – Ni – Hg	15	1,5	22	5

Расчёты показателя $M_c\%$ свидетельствуют о том, что только аномалии, обусловленные влиянием животноводческих комплексов и агропосёлков, отличаются наличием элементов – явных «лидеров» по долевному участию в ассоциации: в первом случае – это Hg, Ag и Zn (в сумме составляющие 56 – 59%); во втором – Ag (32%), отчасти Co (11%) и P (7%). Обычно же геохимические ассоциации включают элементы, характеризующиеся более или менее равными значениями K_c (чаще всего в пределах 1,5–3). В большинстве случаев степень потенциальной санитарно-токсикологической вредности техногенного загрязнения определяется интенсивным накоплением в донных отложениях Hg и Ag.

Таким образом, характеристики геохимических ассоциаций в донных отложениях водотоков агроландшафтов отражают специфику хозяйственного использования водосборных территорий. В состав ассоциаций входят элементы 1-го класса опасности (стабильно Hg, очень редко Be), 2-го класса опасности (стабильно Ag, As, Cd, F, Mo, Pb, часто Ba, Co, Se, Nb, иногда Bi, Sb, Sr, W), 3-го класса опасности (Cr, Cu, Mn, Ni, V, Zn). Однако для многих элементов типичны значения K_c в пределах 1,5–7; только в зонах влияния животноводческих комплексов для Hg и Ag они заметно выше. Для зон воздействия животноводческих комплексов типично интенсивное накопление в отложениях Hg, Ag, Zn, As, Se, P, в меньшей степени – Sn, Mo, Cd; для районов земледелия и комплексного сельскохозяйственного использования – P и Ag, иногда As, Mn, Sn, Cd; зоны влияния

агропосёлка – Ag, Co и P, в меньшей степени V, Bi, Ni, Zn, Pb; дачного посёлка – P, Se, Ga, Sn, Mn. Наибольшая степень санитарно-токсикологической вредности (опасная) и наиболее интенсивный уровень загрязнения (высокий) характерны для участков рек, испытывающих воздействие животноводческих комплексов. Водотоки других сельскохозяйственных территорий отличаются умеренной степенью санитарно-токсикологической вредности и преимущественно средним уровнем загрязнения.

Литература

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
2. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 261 с.
3. Лёр Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: Пер. с англ. М.: Колос, 1979. 415 с.
4. Саёт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
5. Саёт Ю.Е., Ачкасов А.И., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Саркисян С.Ш., Трефилова Н.Я., Янин Е.П. Геохимические особенности сельскохозяйственных территорий // Проблемы геохимической экологии. М.: Наука, 1991. С. 147–171.
6. Янин Е.П. Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города. М.: ИМГРЭ, 2002. 100 с.
7. Янин Е.П. Источники и пути поступления тяжёлых металлов в реки сельскохозяйственных районов // Экологическая экспертиза. 2004. № 4. С. 67–90.

Реакция растений овса и ячменя на действие кадмия в чистом виде и в смеси с алюминием

© 2009. О.А. Паладич³, к.б.н., ведущий специалист; Л.Н. Шихова², д.б.н., профессор;
Е.А. Русских¹, аспирант; Е.М. Лисицын¹, д.б.н., заведующий лабораторией,
¹ГУ НИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого,
²Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
³Департамент сельского хозяйства Кировской области
e-mail: shikhova@e-kirov.ru

Исследованы адаптивные реакции растений овса и ячменя на высокое содержание кадмия и алюминия в среде. Установлено, что кадмий действует на растения угнетающе только при очень высоких концентрациях. Устойчивость сортов овса и ячменя к токсическому действию кадмия совпадает с уровнем их алюмоустойчивости.

Adaptation reactions of oats and barley on high content of cadmium and aluminum in growth media were investigated. It was found out that cadmium depresses plant growth only when in high concentrations. Toxic resistance of oats and barley to cadmium is equal to that of aluminum.

Ключевые слова: овёс, ячмень, устойчивость, кадмий, алюминий

Высокое содержание в среде тяжёлых металлов (ТМ) негативно отражается на нормальном протекании многих процессов метаболизма в растениях, в результате чего угнетаются их рост и развитие, снижается продуктивность [1, 2]. Известно, что устойчивость растений к действию ТМ отличается не только на уровне семейств, но даже сортов культурных растений [3]. Исследователи всё чаще высказываются о возможности селекции сортов растений, толерантных к токсическому действию ТМ и способных противостоять накоплению поллютантов в продовольственной части растений [4]. В целом селекция, направленная на адаптацию культурных растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, интенсивно ведётся как у нас в стране, так и за рубежом. На северо-востоке европейской части России приоритетным направлением в данной области является отбор на устойчивость к повышенной кислотности почв и содержанию обменного алюминия. Токсичность алюминия (Al) является главной проблемой растениеводства на кислых почвах. Растения, растущие на кислых почвах, из-за наличия в них алюминия при низкой величине pH имеют плохо развитую корневую систему и проявляют симптомы недостатка минерального питания с последующим снижением урожая. Алюминий нарушает поглощение, транспортировку и утилизацию необходимых

растению минеральных элементов, таких как Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn и Zn [5]. Однако пока ещё мало известно о совместном воздействии на растения ионов алюминия и кадмия (Cd), хотя их токсичность в чистом виде хорошо доказана [6]. Известно, что далеко не всегда при совместном действии двух токсичных металлов их суммарный эффект превосходит индивидуальный: например, влияние хрома значительно сильнее проявляется в чистом виде, чем в комплексе с алюминием [7, 8]. Взаимодействия Cd и жизненно необходимых элементов приводит к изменениям в содержании питательных веществ в растении и физиологическим нарушениям, угнетению роста и снижению урожая [9, 10]. Показано, что стресс, вызванный низкими концентрациями Cd, отличается от стресса, индуцированного кратковременным воздействием высоких его концентраций [11]. Можно предположить, что в основе устойчивости растений к токсическому действию алюминия и тяжёлых металлов лежат сходные механизмы, поэтому алюмоустойчивые сорта должны быть более толерантными к негативному действию ТМ.

Поэтому целью нашего исследования являлась оценка взаимоотношений между Cd и Al в их влиянии на рост растений и развитие фотосинтетического аппарата (содержание пигментов), а также возможные различия в ответе сортов ячменя и овса с различной

алюмоустойчивостью на токсическое действие кадмия и смеси кадмия с алюминием.

Методика

Для исследований выбраны сорта овса и ячменя, ранее оценённые нами по степени алюмоустойчивости в условиях рулонной культуры: алюмоустойчивость овсов уменьшается в ряду Кречет>Факир>Улов, ячменей – в ряду Дина>Абава>Эльф. В условиях песчаной культуры на основе питательной смеси Кнопа в качестве фона изучали следующие варианты воздействия на растения: 1) контроль – без ТМ; 2) 4,5 мг/кг Cd; 3) 4,5 мг/кг Cd + 11 мг/кг Al; 4) 10 мг/кг Cd; 5) 10 мг/кг Cd + 11 мг/кг Al. В сосуды объёмом 400 мл высаживали 3-дневные проростки по 5 штук в четырёхкратной повторности. Растения выращивали при освещении 15 клк люкс и фотопериоде 16 ч. Продолжительность опыта – 5 недель (до фазы кущения). Анализируемые показатели: высота растений, сухая масса листьев, стеблей и корней, содержание пигментов в листьях. Содержание пигментов определяли в ацетоновой вытяжке согласно [12].

В конце опыта оценивались параметры развития каждого индивидуального растения, рассчитывались средние показатели для каждого сосуда, которые далее использовались в качестве повторностей при статистической обработке данных с использованием дисперсионного анализа (пакет статистических программ AGROS 2.07).

Результаты и обсуждение

Совместное действие Al и 4,5 мг/кг Cd проявлялось в снижении *высоты растений* овса на 28,3 – 32,3%. Среди ячменей достоверное снижение высоты растений в этом варианте наблюдалось у сортов Дина и Эльф (на 6,8% и 7,6% соответственно). При использовании одного Cd высота растений практически не изменялась (рис. 1).

Снижение *сухой массы растений* овса при совместном внесении Al и Cd, по сравнению с контролем, наблюдалось у сортов Факир и Кречет (на 25,2 и 34,8% соответственно). При этом недобор массы в основном характерен для таких частей растения, как стебель и корень, а массовая доля листьев увеличена по сравнению с контрольным вариантом.

У ячменей снижение сухой массы растений отмечено также при совместном действии Al и Cd у сортов Эльф и Дина (на 11,8% и 19,3% соответственно).

В отличие от овсов, депрессия характерна для корней и листьев – стеблей изменения не коснулись, а на фоне снижения общей массы растения массовая доля стеблей даже выросла. У сортов овса Улов и ячменя Абава изменения массы растений недостоверны (рис. 2).

Изменения в *пигментном комплексе* отмечены только у сорта овса Факир в варианте кадмий+алюминий: на 28,3% увеличилось содержание хлорофилла б. Однако при этом несколько снизилось содержание хлорофилла а, поэтому изменение содержания общего хлорофилла (а + б) оказалось незначительным.

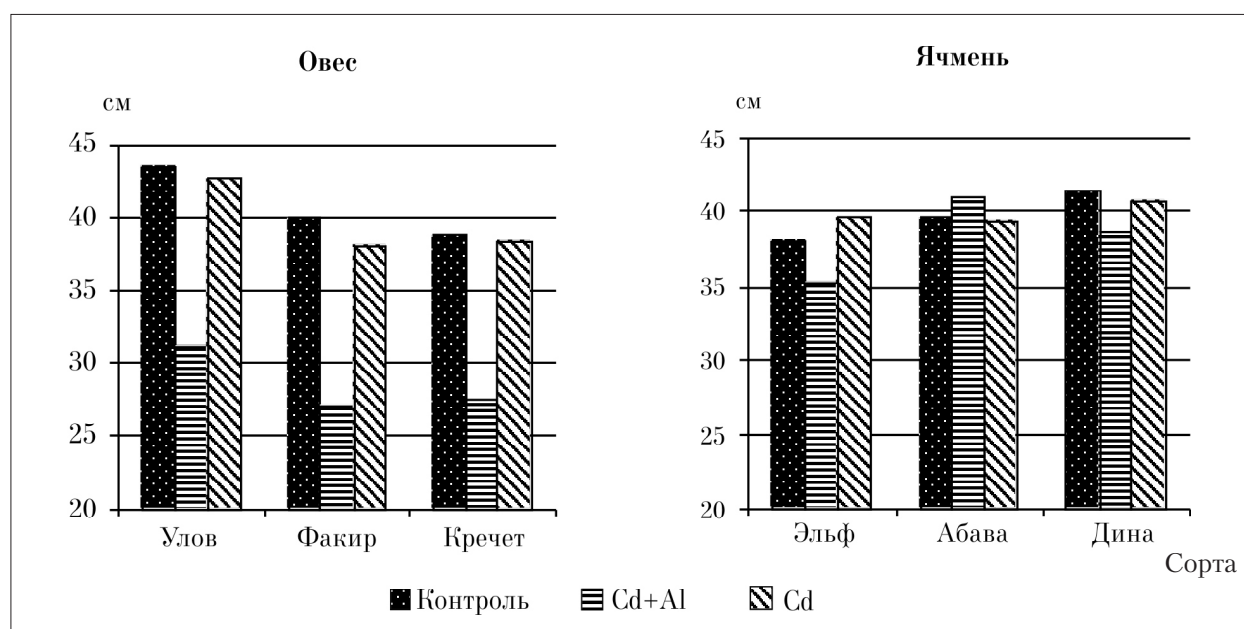


Рис. 1. Влияние Al и Cd на высоту растений

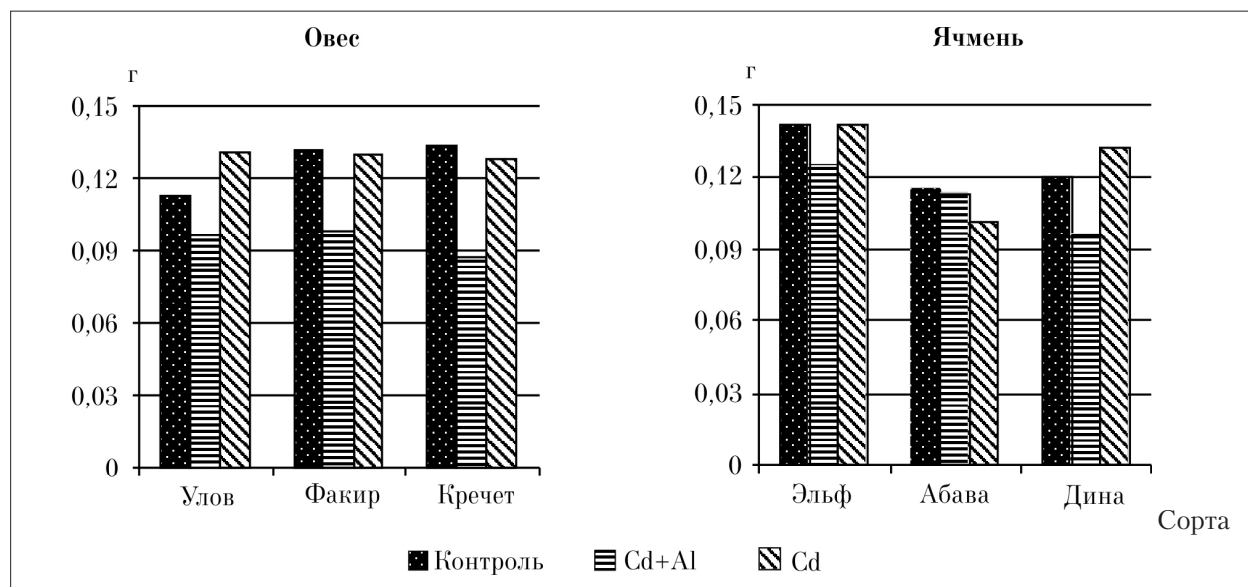


Рис. 2. Влияние Al и Cd на сухую массу растений

У ячменей изменения в пигментном комплексе не выявлены. Как у овсов, так и у ячменей каротиноиды оказались более стабильными образованиями – изменения их содержания незначительны.

Таким образом, наблюдается как депрессия отдельных морфофизиологических показателей, так и, наоборот, стимулирование.

Ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) валового кадмия в песчаных и супесчаных почвах составляет 0,5 мг/кг почвы [13]. Используемое в опыте девятикратное превышение ОДК по валовому содержанию кадмия не привело к значительному угнетению роста и развития овса и ячменя даже в песчаной культуре, когда практически отсутствует поглощательная способность почвы в отношении загрязнителя и весь металл находится в подвижной, доступной для растений форме. Вероятно, такая концентрация кадмия недостаточна для четкого проявления морфофизиологических признаков угнетения растений.

При повышении концентрации Cd до 10 мг/кг в варианте Cd+Al депрессия практиче-

ски всех параметров приобрела достоверный характер. В вариантах с добавлением кадмия отмечалась задержка всходов на 2-3 дня, листовая пластинка была более узкой, чем в контрольных вариантах. На 5-й неделе роста нижние листья стали засыхать и отмирать.

Снижение *высоты растений* по сравнению с контролем отмечено у всех сортов овса и ячменя (табл. 1). Только у сортов ячменя совместное действие алюминия и кадмия отличалось от действия одного кадмия. В вариантах с овсом разница между вариантами Cd и Cd+Al статистически недостоверна. По степени проявления депрессии роста под действием Cd сорта овса и ячменя расположились аналогично их устойчивости к высокой кислотности и содержанию алюминия: Кречет>Факир>Улов и Дина>Абава>Эльф.

Снижение *массы растений* овса в варианте Cd+Al составляло от 64,2% у сорта Улов до 25% у сорта Кречет. То есть устойчивость сортов по данному признаку совпадала с их алюмоустойчивостью. Разница между вариантами Cd и Cd+Al недостоверна, за

Таблица 1

Изменение высоты растений (см) под действием Cd и Al

Культура	Сорт	Варианты		
		Контроль	Cd	Cd+Al
Овес	Улов	23,3±1,2	10,1±0,5	9,6±0,4
	Факир	19,0±0,8	10,3±0,4	10,8±0,3
	Кречет	16,9±0,7	12,3±0,8	11,4±0,6
Ячмень	Эльф	28,7±0,5	21,9±1,3	9,8±0,9
	Абава	25,9±1,0	22,6±0,6	13,5±0,9
	Дина	24,4±1,3	22,9±1,2	8,7±1,0

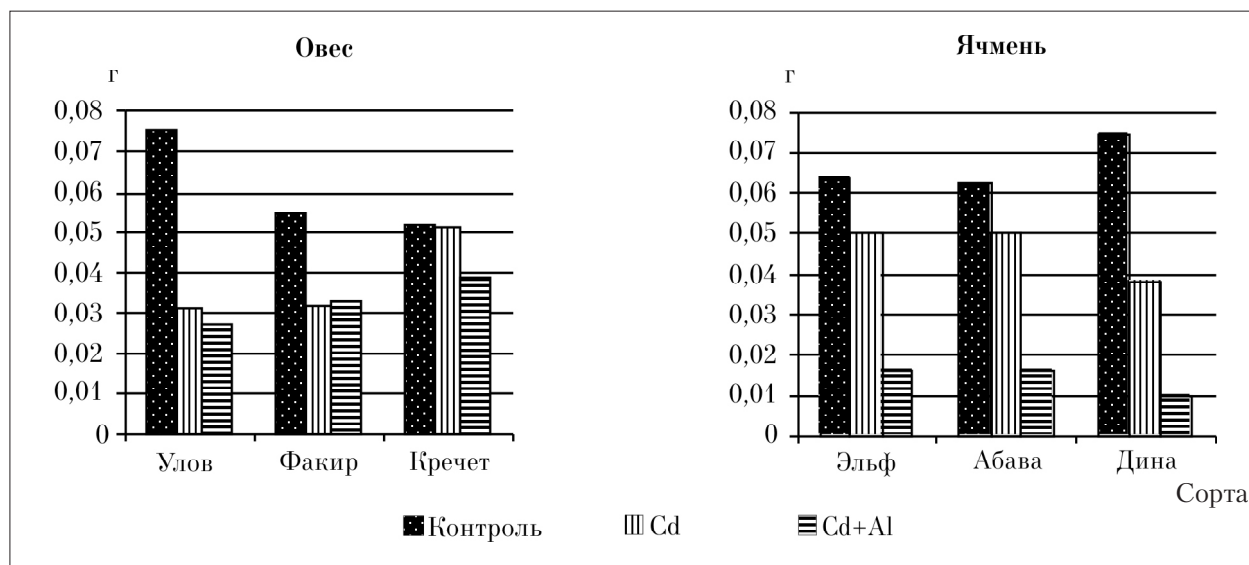


Рис. 3. Изменение сухой массы растений

исключением сорта Кречет, который под воздействием кадмия вообще не снизил массу (рис. 3).

Устойчивость сортов ячменя к действию кадмия по данному признаку не совпала с их алюмоустойчивостью: слабее всех реагировали сорта Эльф и Абав (рис. 3). Наибольшее снижение сухой массы растений (на 87,1%) отмечено у сорта Дина в варианте Cd+Al. Совместное токсическое действие кадмия и алюминия оказалось значительнее, чем действие одного кадмия.

Высокие концентрации Cd повлияли на пигментный комплекс листьев зерновых культур. В основном имело место снижение содержания хлорофилла, однако отмечены и случаи его повышения. При внесении Cd содержание хлорофилла у овсов уменьшалось на 12,2% – 50,4%. Совместное действие Cd и Al приводило как к снижению, так и к повышению содержания хлорофиллов *a* и *b* (табл. 2).

У ячменей отклонения от контрольных значений в содержании хлорофилла лежат

в пределах от 18,2% до 66%. Причём внесение одного Cd приводит к повышению содержания пигментов, а внесение Cd и Al – к его снижению (табл. 3). Постоянство соотношения хлорофиллов *a/b* свидетельствует об одинаковой направленности изменения их количества.

Аналогичное действие Cd оказывает и на содержание каротиноидов. Совместное действие Cd и Al носит аддитивный характер. Более устойчивым к токсическому действию Cd оказался пигментный комплекс сортов Абав и Дина, что в целом совпадает с их характеристикой как более устойчивых к высокой кислотности и содержанию обменного Al.

Таким образом, результаты нашей работы согласуются с данными других исследователей, показавших, что низкие концентрации Cd (1 мкМ/л = 0,3 мг/кг) могут иметь положительное влияние на рост растений [5, 6] либо их влияние недостоверно [14]. Повышение концентрации кадмия в 100-150 раз в этих работах приводило к значительному угнетению роста растений. Мы также наблюдали

Таблица 2
Изменения в содержании фотосинтетических пигментов в листьях овса под влиянием Cd и Al

Сорт	Вариант	Содержание пигментов в сухом веществе, мг/г			Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>
		Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>	
Улов	Контроль	9,64±1,50	3,84±0,59	13,47±2,09	2,5±0,1
	Cd	6,99±1,49	3,25±0,30	10,23±1,76	2,1±0,3
	Cd+Al	4,68±0,68	2,01±0,28	6,68±0,33	2,3±0,6
Факир	Контроль	7,10±0,83	2,78±0,29	9,88±1,12	2,6±0,0
	Cd+Al	5,38±0,38	2,26±0,51	7,64±0,28	2,4±0,1
Кречет	Контроль	7,56±0,45	2,91±0,25	10,47±0,69	2,6±0,1
	Cd	5,38±1,76	2,31±0,68	7,70±73,30	2,3±0,2
	Cd+Al	8,88±0,14	2,90±0,18	11,78±0,32	3,1±0,1

Таблица 3

Изменения в содержании фотосинтетических пигментов в листьях ячменя под влиянием Cd и Al

Сорт	Вариант	Содержание пигментов в сухом веществе, мг/г				Хл а / Хл б
		Хл а	Хл б	Хл а+Хл б	Каротин	
Эльф	Контроль	8,54±2,09	2,45±0,58	10,99±1,61	3,05±1,07	2,4±0,2
	Cd	8,64±1,31	3,81±0,56	12,45±1,87	2,91±0,40	2,3±0,0
	Cd+Al	2,55±0,90	1,45±0,65	4,00±1,60	1,21±0,13	1,8±0,2
Абава	Контроль	7,36±0,52	3,49±0,63	10,85±1,16	2,32±0,05	2,2±0,2
	Cd	9,59±1,29	4,22±0,63	13,81±1,88	3,08±0,43	2,3±0,1
	Cd+Al	4,08±0,53	1,97±0,35	6,05±0,88	1,63±0,63	2,1±0,1
Дина	Контроль	5,72±1,04	2,71±0,50	8,43±1,54	1,74±0,25	2,1±0,1
	Cd	8,75±0,87	4,26±0,72	13,02±1,59	3,07±0,23	2,1±0,1
	Cd+Al	2,37±0,17	1,35±0,25	3,72±0,95	1,27±0,20	1,7±0,2

усиление действия кадмия при повышении его концентрации, хотя это и проявилось не на всех изученных сортах.

В работе [14] угнетение роста растений сои было более серьезным в варианте Cd+Al, чем только при действии Al или Cd, указывая на аддитивный эффект этих двух металлов. Аналогичные результаты получены на ячмене [5]. В нашем исследовании в зависимости от использованной концентрации кадмия отличие совместного действия этих двух металлов от действия только кадмия проявлялось, во-первых, не на всех исследованных сортах и, во-вторых, не по всем исследованным параметрам. В работах [5, 14] авторы показали меньшую реакцию на кадмий у алюмоустойчивых сортов, в отличие от чувствительных к действию алюминия. Однако в нашей работе алюмоустойчивость и устойчивость к кадмию не всегда совпадали: например, устойчивость сортов ячменя к действию высокой концентрации кадмия не совпала с их алюмоустойчивостью по параметру массы растений, а у сортов овса наблюдалось полное совпадение. В то же время степень влияния кадмия на высоту растений у обеих культур была сопряжена с уровнем алюмоустойчивости.

Что касается содержания пигментов в листьях, то в нашей работе отмечено как повышение содержания хлорофиллов под действием стрессоров, так и его снижение, в зависимости от вида и сорта растений. Чаще имело место снижение этого параметра, однако у ячменной Cd приводил к повышению содержания пигментов, а в варианте Cd+Al отмечалось снижение его содержания. Для сортов сои показано снижение содержания хлорофилла как под действием только Cd, так и в совместном варианте Cd+Al [14]. Возможно, имеет место значительная видовая и сортовая вариабельность ответных реакций растений на Cd.

Таким образом, в результате нашей работы установлено, что токсическое действие Cd проявляется на зерновых культурах только при очень высоких концентрациях, превышающих ОДК в десятки раз. Негативное действие Cd усиливается на фоне высокого содержания в среде ионов Al, особенно для ячменя. Сорта овса и ячменя отличаются по степени устойчивости к токсическому действию Cd, которая в целом совпадает с их алюмоустойчивостью.

Литература

1. Sanita di Toppi L., Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants // Environ. Exp. Bot. 1999. V.41. № 2. P.105-130.
2. Marienfeld S., Schmohl N., Klein M., Schroder W.H., Kuhn A.J., Horst W.J. Localisation of aluminium in root tips of Zea mays and Vicia faba // J. Plant Physiol. 2000. V.156. № 5-6. P. 666-671.
3. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. Пути: ОНТИ ПНЦ РАН, 2001. 148 с.
4. Feibo W., Guoping Z. Genotypic variation in kernel heavy metal concentrations in barley and as affected by soil factors // J. Plant Nutr. 2002. V.25. № 6. P.168-173.
5. Guo T.R., Zhang G.P., Lu W.Y., Wu H.P., Wu F.B., Chen J.X., Zhou M.X. Effect of Al on dry matter accumulation and Al and nutrients in barleys differing in Al tolerance // Plant Nutr. Fert. Sci. 2003. V.9 № 3. P. 324-330.
6. Wu F.B., Zhang G.P. Genotypic variation in kernel heavy metal concentrations in barley and as affected by soil factors // J. Plant Nutr. 2002. V. 25. P. 1163-1173.
7. Nosko P., Brassard P., Kramer J.R., Kershaw K.A. The effect of aluminum on seed germination and early seedling establishment, growth and respiration of white spruce (Picea glauca) // Can. J. Bot. 1988. V.66. P. 2305-2310.

8. Rellen-Alvarez R. Ortega-Villasante C., Alvarez-Fernandez A., del Campo F. F., Hernandez L. E. Stress response of Zea mays to cadmium and mercury // Plant Soil. 2006. V. 279. P. 41-50.

9. Sandalio L.M., Dalurzo H.C., Gomez M., Romero-Puertas M.C., del Rio L.A. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants // J. Exp. Bot. 2001. V.52. № 364. P. 2115-2126.

10. Mazen A.M.A. Accumulation of four metals in tissues of Corchorus olitorius and possible mechanisms of their tolerance // Biologia Plantarum. 2004. V. 48. № 2. P. 267-272.

11. Larbi A., Morales F., Abadia A., Gogorcena Y., Lucena J., Abadia J. Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrition solution: induced Fe deficiency

and growth inhibition // Funct. Plant Biol. 2002. V. 29. № 12. P. 1453-1464.

12. Кожушко Н.Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Л.: ВИР, 1988. С. 10-25.

13. Ориентировочно-допустимые концентрации химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.

14. Shamsi I.H., Wei K., Jilani G., Zhang G. Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean // J Zhejiang Univ. Sci B. 2007. V. 8. № 3. P.181-188.

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

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!
ПРИГЛАШАЕМ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ
в работе Всероссийской конференции с международным участием
«ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОХРАНЫ ЖИВОТНОГО МИРА НА СЕВЕРЕ»

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

На конференции будут рассмотрены проблемы изучения позвоночных, а также почвенных, наземных и водных беспозвоночных на Севере.

Основные направления работы конференции:

- фауна, систематика и зоогеография;
- внутривидовое разнообразие;
- структура и динамика сообществ и популяций;
- влияние естественных и антропогенных факторов на фауну и население животных;
- адаптации животных к условиям Севера
- охрана и рациональное использование животного мира.

Контактные адреса и телефоны оргкомитета:

167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28,
телефон: (8212) 43-19-69, факс: (8212) 24-01-63

**Безопасность объектов использования атомной энергии
в постчернобыльский период**

© 2009. В.М. Кузнецов, д.т.н., академик,
Академия промышленной экологии
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru

В статье рассмотрено состояние и безопасность ядерных радиационных установок в России с 1992-го по 2004 г. Отмечено, что часть АЭС не удовлетворяет современным требованиям безопасности. Рассмотрена динамика нарушений в работе АЭС с различными типами реакторных установок в 2004 г.

The article presents the state and safety of nuclear radiation facilities in Russia from 1992 to 2004. It is noticed that APPs do not satisfy contemporary safety specifications. The dynamics of defects in the work of APP with different types of reactor facilities is considered.

Ключевые слова: АЭС, радиационная безопасность, отработанное ядерное топливо, исследовательские ядерные установки, атомная энергетика, радиационно-опасный объект

Введение

По состоянию на 01.07.2008 г. в состав ядерного энергетического комплекса Российской Федерации входили следующие ядерные и радиационные установки: 213 ядерных установок (промышленные реакторы, энергоблоки атомных станций, исследовательские ядерные установки, гражданский и военный флот и т. д.); 1226 транспортных упаковочных контейнеров; 454 пункта хранения ядерных материалов и радиоактивных отходов; 16675 радиационных источников в народном хозяйстве; 1508 пунктов хранения радиоактивных веществ, радиоактивных отходов в народном хозяйстве.

**Безопасность атомных
электрических станций**

Доля российских АЭС в установленной мощности всех электростанций в стране составляет 11,5%, в производстве электроэнергии в 2003 г. достигла своего максимума – 16,7%. Доля АЭС в выработке электроэнергии в европейской части России – 21%, в том числе Северо-Запад – 42%, Центр и Поволжье – 30%, Северный Кавказ – 16%. Рост спроса на электроэнергию в 1999 – 2003 годах в России (в среднем 14 млрд. кВт·ч в год) на 50% покрывался за счёт роста энерговыработки АЭС с темпом около 7 млрд. кВт·ч в год, или 4 – 5% в год. Выработка электроэнергии в 2007 г. составила 156 млрд. кВт·ч.

В настоящее время на территории Российской Федерации работает 10 АЭС с 31 энергоблоком, 4 энергоблока строятся и 4 энергоблока находятся в стадии подготовки к выводу из эксплуатации. Из общего числа – 15 энергоблоков с реакторами водо-водяного энергетического типа (ВВЭР) (6 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-440 и 9 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-1000), 11 энергоблоков с реакторами типа большой мощности канальными (РБМК), 4 энергоблока с энергетическими графитовыми реакторами типа ЭГП (Билибинская томная теплоэлектроцентраль (АТЭЦ) и 1 энергоблок с реактором на быстрых нейтронах БН-600 (Белоярская АЭС) общей установленной электрической мощностью 23,242 ГВт. Энергоблоки АЭС с реакторами всех типов работают в базовой части графика нагрузок, а Билибинская АТЭЦ работает в скользящем графике покрытия требуемых энергетических и тепловых нагрузок изолированного района – Чукотского автономного округа. Классификация действующих АЭС в зависимости от типа реакторной установки и поколения проекта представлена в табл. 1.

В России эксплуатируемые энергоблоки АЭС построены по проектам трёх поколений – 60-х, 70-х и 80-х годов и введены в эксплуатацию в период с 1971-го по 2004 г. Средний темп старения АЭС России составляет 0,76 ГВт/год. Длительность эксплуатации энергоблоков АЭС, расположенных на территории бывшего СССР (Россия – 31, Украина – 13, Армения – 2, Литва – 2, Казахстан – 1), представлена на рисунке 1.

Таблица 1

Классификация действующих АЭС в зависимости от типа реакторной установки и поколения проекта

АЭС	Количество блоков	Тип реакторной установки
Первое поколение		
Нововоронежская (блоки 1,2)	2	ВВЭР-1; В-3М
Нововоронежская (блоки 3,4)		ВВЭР-440 (В-179)
Кольская (блоки 1,2)	2	ВВЭР-440 (В-230)
Ленинградская (блоки 1,2)	2	РБМК-1000
Курская (блоки 1,2)	2	РБМК-1000
Билибинская (блоки 1-4)	4	ЭГП-6
Белоярская (1,2)	2	АМБ-100,200
Второе поколение		
Нововоронежская (блок 5)	1	ВВЭР-1000 (В-187)
Кольская (блоки 3,4)	2	ВВЭР-440 (В-213)
Калининская (блоки 1,2,3)	3	ВВЭР-1000 (В-338,320)
Смоленская (блоки 1,2)	2	РБМК-1000
Ленинградская (блоки 3,4)	2	РБМК-1000
Белоярская (блок 3)	1	БН-600
Балаковская АЭС (блоки 1-3)	3	ВВЭР-1000 (В-320)
Третье поколение		
Балаковская АЭС (блок 4)	1	ВВЭР-1000 (В-320)
Волгодонская АЭС (1)	1	ВВЭР-1000 (В-320)

Обеспечение безопасности действующих АЭС – основное условие функционирования атомной энергетики. Блоки одной мощности, построенные в разное время по разным проектам, в различной степени удовлетворяют современным правилам и нормам безопасности, т. к. на каждом из указанных периодов создания проектов имелся свой набор нормативной документации по безопасности (в настоящее время основные требования определены в нормах и правилах по безопасности в области использования атомной энергии и других нормативных документах (НД), включенных в перечень НД (П-1-1-2006) Ростехнадзора России (Госатомнадзора России). При этом требования НД со временем все более ужесточались.

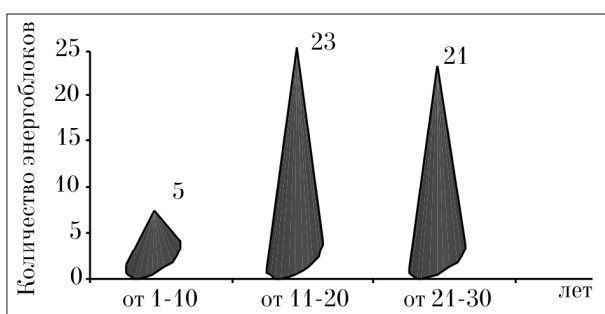


Рис. 1. Длительность эксплуатации энергоблоков АЭС, расположенных на территории бывшего СССР

С точки зрения соответствия действующих энергоблоков современным НД по безопасности их можно условно разделить на три поколения:

Энергоблоки первого поколения – 16 энергоблоков с реакторами различного типа (энергоблоки №№ 1-4 Нововоронежской АЭС, №№ 1,2 Кольской АЭС, №№ 1,2 Ленинградской АЭС, №№ 1,2 Курской АЭС, 4 энергоблока Билибинской АТЭЦ, №№ 1,2 Белоярской АЭС), суммарной мощностью 6537 МВт. Все они разработаны и построены до выхода основных нормативных документов по безопасности в атомной энергетике.

Энергоблоки второго поколения – 17 энергоблоков с реакторами различного типа (энергоблоки №№ 1-3 Балаковской АЭС, №№ 1-3 Калининской АЭС, №№ 3 и 4 Кольской АЭС, №№ 3 и 4 Курской АЭС, №№ 3 и 4 Ленинградской АЭС, № 5 Нововоронежской АЭС, №№ 1-3 Смоленской АЭС, № 3 Белоярской АЭС), суммарной мощностью 16480 МВт. Блоки спроектированы и построены в соответствии с нормативными документами, отражающими подходы НД (ОПБ-73-82/88, ПБЯ-04-74).

Энергоблоки третьего поколения – 2 энергоблока (№ 4 Балаковской АЭС и энергоблок № 1 Волгодонской АЭС), мощностью 1000 МВт каждый, проекты которых модифицированы с учетом требований НД (ОПБ-88/97, ПБЯ РУ АС-89).

Энергоблоки первого поколения по целому ряду показателей не соответствуют современным отечественным требованиям НД.

Энергоблоки второго поколения в основном соответствуют требованиям безопасности, существовавшим в 1980-е гг. Однако для приближения этих энергоблоков к уровню безопасности, регламентируемому ОПБ-88, для многих из них требуется проведение реконструкции, а также необходимо решить ряд вопросов по обеспечению безопасности (повышение герметичности оболочки, эффективности систем управления, контроля в электроснабжении, ресурса работы парогенераторов, улучшения укомплектования средствами диагностики и т. п.).

Современные требования безопасности базируются на принципе глубокоэшелонированной защиты (последовательной системы барьеров на пути распространения радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров).

Этому принципу не удовлетворяют АЭС с энергоблоками ВВЭР-440 первого поколения (3,4 энергоблоки Нововоронежской и 1,2 энергоблоки Кольской АЭС), энергоблоки РБМК-1000 первого поколения (1,2 энергоблоки Ленинградской и Курской АЭС), энергоблоки Билибинской АТЭЦ, а также энергоблок БН-600 Белоярской АЭС, относящийся к АЭС второго поколения.

Программа развития атомной энергетики на ближайшее десятилетие ориентирована на сооружение, в первую очередь, современных энергоблоков третьего поколения, замещающих устаревшие энергоблоки.

Концепция создания энергоблоков третьего поколения базируется на эволюционном пути развития технологии реакторов ВВЭР и предусматривает достижение более высокого уровня безопасности со снижением расчетных частот повреждения активной зоны и аварийных выбросов до величин меньших, чем ориентиры ОПБ-88/97, прежде всего за счёт выполнения основных функций безопасности разнопринципными системами (активными и пассивными); наличия в составе систем безопасности элементов и устройств прямого действия; оптимального совмещения системами АЭС функций безопасности и нормальной эксплуатации; оснащения АЭС локализирующими системами безопасности.

Улучшение технико-экономических показателей в энергоблоках третьего поколе-

ния предусматривается за счёт повышения эффективности использования топлива; снижения удельных капитальных затрат на строительство; увеличения проектного срока службы АЭС до 40–50 лет; уменьшения объёмов основных зданий; упрощения схемных решений и выбора более рациональных компоновочных решений.

К числу первоочередных задач, от решения которых зависит будущее атомной энергетики, относятся: безопасная эксплуатация действующих энергоблоков; безопасное и экономически целесообразное продление срока эксплуатации энергоблоков, выработавших регламентный ресурс; постепенное замещение действующих энергоблоков на установки третьего поколения.

Анализ причин нарушений, произошедших в работе российских АЭС в 2004 г., выявил следующие особенности: осталось достаточно высоким количество нарушений, обусловленных неправильными действиями персонала. В 2004 г. в 15 нарушениях зафиксированы события, обусловленные этим фактором, что составило 34% от общего количества нарушений; в 11 нарушениях одной из коренных причин явились недостатки проектирования, что составляет 25% от общего количества нарушений; в 16 нарушениях зафиксированы неисправности в электрической части; в 17 случаях (39%) непосредственными причинами нарушений стали механические повреждения. Коренными причинами этих нарушений явились недостатки конструкции, технического обслуживания и ремонта, недостатки станционных программ контроля металла оборудования и трубопроводов. В 2004 г. произошло 15 повторяющихся нарушений (аналогичные аномальные события). Проведённый анализ коренных причин внеплановых остановок энергоблоков в 2004 г. выявил недостатки в управлении и организации эксплуатации АЭС. В первую очередь это касается качества подготовки оперативного, ремонтного и руководящего персонала, организации работ по техническому обслуживанию и ремонту, пересмотра эксплуатационной документации, анализа станционных программ по выявлению и устранению неработоспособного оборудования и процедур. Динамика нарушений в работе АЭС в период с 1991 г. по 2004 г. представлена на рисунке 2.

Динамика нарушений в работе АЭС с различными типами реакторных установок (про-

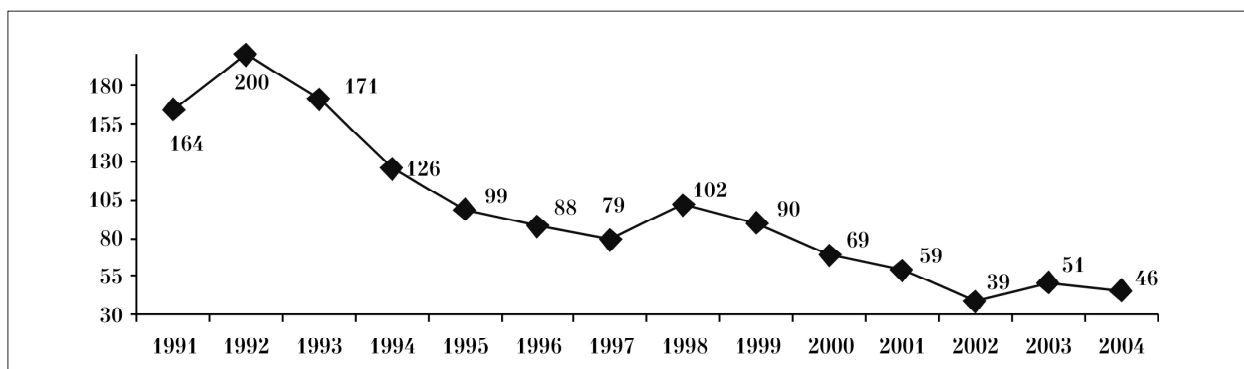


Рис. 2. Динамика нарушений в работе АЭС

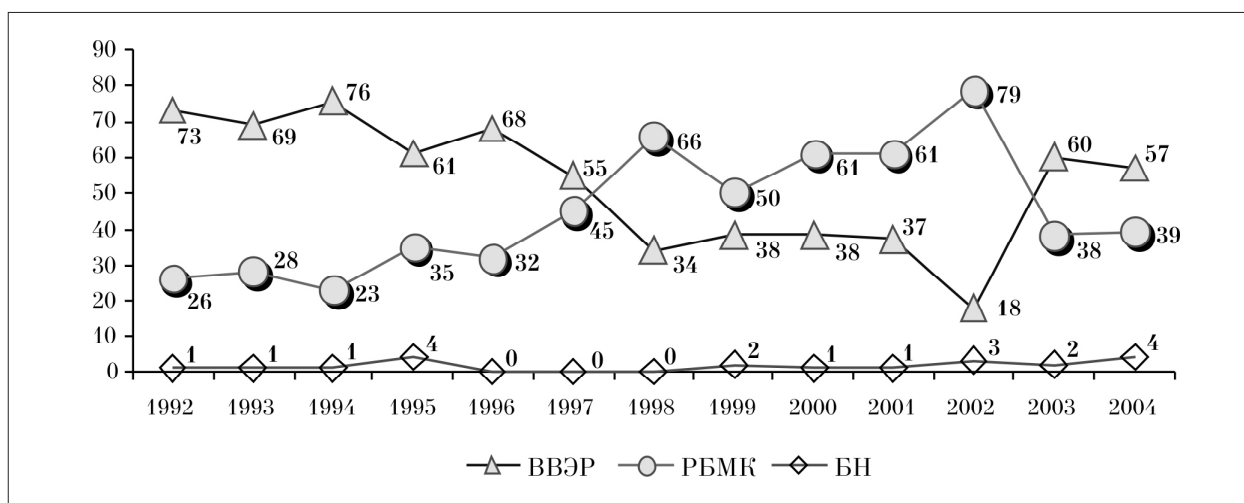


Рис. 3. Динамика нарушений в работе АЭС с различными типами реакторных установок (% от общего числа отказов)

цент от общего числа отказов) представлена на рисунке 3.

В 2003 г. на АЭС России был достигнут максимальный коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), который составил 76,3% (на лучших зарубежных АЭС КИУМ достигает более 90%), но и количество нарушений увеличилось на 12 по сравнению с 2002 г. Следовательно, цена достижения наивысшего показателя КИУМ для российских АЭС

оказалась слишком высокой. Коэффициент использования установленной мощности на АЭС России (по типам реакторной установки и средний по всем АЭС) представлен на рисунке 4.

В таблице 2 представлены статистические данные о распределении отказов по типу оборудования за период с 01.01.91 г. по 31.12.03 г. Основные причины нарушений в работе АЭС за период с 01.01.91 г. по 31.12.03 г. приведены в таблице 3.

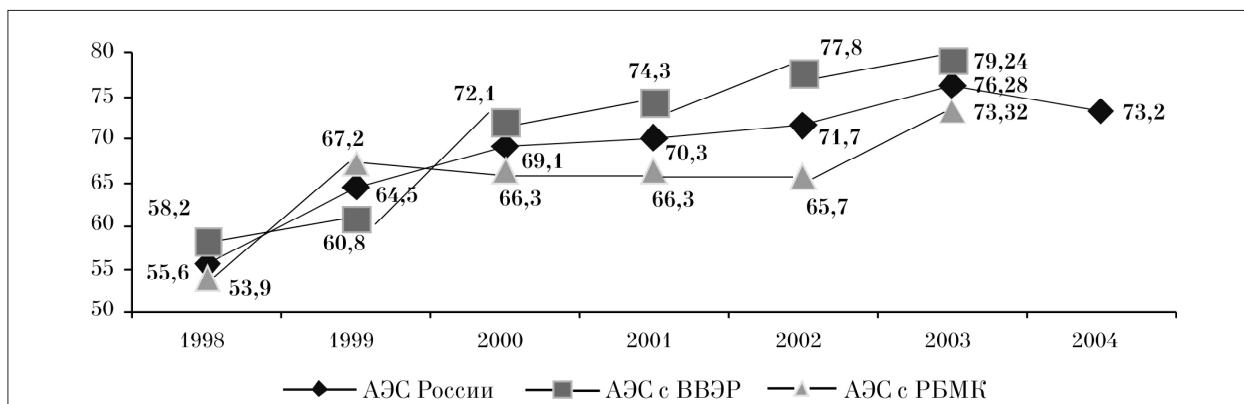


Рис. 4. Коэффициент использования установленной мощности АЭС России с различными типами реакторных установок

Таблица 2

Распределение отказов по типу оборудования за период с 01.01.91 г. по 31.12.03 г.

Оборудование	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Электротехническое	48	50	33	24	23	22	25	31	8	11	14	19
Тепломеханическое	75	92	46	45	84	34	53	46	33	17	10	15
Электронное	55	15	23	8	11	8	2	11	10	5	5	-
Контрольно-измерительное	17	8	19	12	8	1	4	5	2	10	5	9
Прочие	11	4	19	10	8	4	7	9	16	16	3	8

Таблица 3

Основные причины нарушений в работе АЭС за период с 01.01.91 г. по 31.12.03 г.

Причины нарушений	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Административное управление	64	64	32	32	43	8	7	45	29	28	16	22
Изготовление оборудования	23	20	21	8	9	5	7	6	10	4	3	9
Проектирование и конструирование	43	44	22	17	19	9	11	19	24	11	14	12
Ремонт	14	9	8	3	3	2	3	4	5	3	0	0
Прочие	56	34	43	40	23	4	7	16	1	3	2	3

Обращение с отработанным ядерным топливом

К концу 2008 г. в России на АЭС и в хранилищах радиохимических заводов будет накоплено 18,5 тыс. т отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Объём ОЯТ неуклонно растёт: в России прирост составляет около 850 т ежегодно, в мире – 11 – 12 тыс. т. В том количестве ОЯТ, которое накоплено в России, содержание плутония составляет около 185 т.

На АЭС России происходит накопление ОЯТ в густонаселённых районах европейской части России, где расположено большинство АЭС. Неудовлетворительно обстоят дела с вывозом ОЯТ с АЭС (полное отсутствие вывоза его со станций с реакторами РБМК, ЭГП и АМБ (судьба ОЯТ реакторов РБМК-1000 в настоящее время не определена, т. к. переработка этого типа ОЯТ экономически нецелесообразна, по крайней мере, до 2010 г.)). Также наблюдается недостаточный темп вывоза со станций с реакторами ВВЭР и БН в связи с отсутствием стратегического решения по его дальнейшей судьбе. Рост количества

ОЯТ, хранимого на площадках АЭС, снижает ядерную безопасность и требует специального обоснования безопасности принятых схем хранения при аварийных ситуациях. Особенно остро эта проблема стоит на АЭС с реакторами РБМК. Уплотнённое хранение отработавшей тепловыделяющей сборки (ОТВС) лишь временно снимает вопрос размещения их и, как следствие, проблему продолжения эксплуатации АЭС.

На Курской АЭС среднее заполнение приреакторных бассейнов выдержки (БВ) составляет 42%. Максимальное заполнение БВ на блоке 4 – 59,4%. Заполнение хранилищ отработанного ядерного топлива (ХОЯТ) составляет 95,6% от разрешённой ёмкости уплотненного хранения. На Ленинградской АЭС среднее заполнение приреакторных БВ составляет 71%. Максимальное заполнение БВ на блоке 4 – 79,3%. Заполнение ХОЯТ – 95,9% от разрешённой ёмкости уплотнённого хранения. По оценкам автора статьи, суммарная активность ОТВС с ОЯТ, вывезенных с 4-х энергоблоков Ленинградской АЭС в хранилище ОЯТ,

составляет примерно $2,1 \cdot 10^{19}$ Бк. Суммарная активность ОЯТ, хранящихся в приреакторных БВ 4-х энергоблоков Ленинградской АЭС оценивается величиной $2,3 \cdot 10^{19}$ Бк, в том числе: на 1-м энергоблоке – $0,4 \cdot 10^{19}$ Бк; на 2-м энергоблоке – $0,4 \cdot 10^{19}$ Бк; на 3-м энергоблоке – $0,8 \cdot 10^{19}$ Бк; на 4-м энергоблоке – $0,7 \cdot 10^{19}$ Бк.

На Смоленской АЭС среднее заполнение приреакторных БВ составляет 30%. Максимальное заполнение БВ на блоке 3 – 67,9%. Заполнение ХОЯТ – 72% от проектной емкости. Хранение ОЯТ на блоках 1 и 2 Белоярской АЭС осуществляется в БВ-1 и БВ-2, ядерная безопасность при хранении обеспечивается. Ввод в эксплуатацию системы очистки воды в БВ блоков 1 и 2 позволило существенно снизить удельную активность воды и понизить дозовую нагрузку на персонал, обслуживающий БВ. На Белоярской АЭС ОТВС в количестве 4990 шт. хранятся в БВ в кассетах, изготовленных из углеродистой стали и предполагающих «сухое» хранение. Из-за потери герметичности части кассет имеет место прямой контакт урана с водой, и вода в бассейне выдержки ОЯТ (БВ-1,2) за длительное время хранения ОТВС практически превратилась в жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) с удельной активностью $1,2 \cdot 10^{-3}$ Ки/л, что серьезно снижало безопасность 1-й очереди (блоки №№ 1,2) АЭС. Для повышения безопасности хранения ОЯТ в БВ в апреле 2000 года был произведен ввод в опытную эксплуатацию системы очистки от наведённой активности воды БВ-1 и БВ-2. По результатам работы системы удельная активность воды снизилась на два порядка и составила $1,7 \cdot 10^{-5}$ Ки/л в БВ-1 и $1,8 \cdot 10^{-5}$ Ки/л в БВ-2. В результате работы системы очистки из БВ-1 было выведено 2440 Ки и из БВ-2 – 4480 Ки. Ресурс облицовок БВ, изготовленных из углеродистой стали, в проекте не установлен. В случае течи облицовок БВ радиоактивные вещества попадают во внешнюю среду, так как проектом не предусмотрены дополнительные барьеры и локализирующие системы на пути распространения протечек. Вследствие естественного ухудшения состояния облицовки бассейнов выдержки 02.12.2001 г. появилась течь БВ-2 величиной $1,1 - 1,4 \text{ м}^3$ в час, что увеличило радиационную опасность 1-й очереди.

Обращение с радиоактивными отходами

Правительство Российской Федерации обеспечило финансирование федеральной целевой программы «Ядерная и радиационная

безопасность на 2001 – 2006 годах» на 12,5% предусмотренного, что не позволяет надеяться на её успешное выполнение в полном объёме. И это при том, что степень заполнения хранилищ жидких отходов (ХЖО) на АЭС в среднем составляла 67%. Однако ХЖО Кольской и Ленинградской АЭС заполнены на 80 и 95% соответственно.

Степень заполнения хранилищ твёрдых отходов (ХТО) (низкой и средней активности) на АЭС в среднем составляла 90,3% (без учёта заполнения ХТО Ростовской АЭС), ХТО (высокой активности) – 37,1%. ХТО Курской АЭС заполнено на 95,4%. ХТО Смоленской АЭС заполнено на 84,4%.

Свободный объём хранилищ позволяет обеспечить эксплуатацию всех российских АЭС по жидким радиоактивным отходам в течение восьми лет, по твёрдым радиоактивным отходам – в течение пяти лет.

Безопасность исследовательских ядерных установок

Исследовательские ядерные установки (ИЯУ) играют важную роль в развитии ядерной энергетики и вопросах обеспечения безопасности ядерных установок. Без проведения широкой программы фундаментальных и прикладных исследований на ИЯУ невозможно обоснование безопасности объектов ядерной энергетики.

Как все объекты использования атомной энергии, ИЯУ представляют собой источник ядерной и радиационной опасности. Несмотря на более низкую мощность и, соответственно, меньшее количество радиоактивных веществ, образующихся при эксплуатации ИЯУ, их потенциальная опасность для населения и окружающей среды также велика в силу ряда специфических особенностей, важных для безопасности. К ним относятся: высокая частота переходных режимов при работе (пуски, остановки, изменения мощности в широком диапазоне, динамические эксперименты), при которых чаще всего и происходят нарушения в работе ИЯУ; частые перегрузки активных зон и постоянное перемещение облучённых изделий (на исследования, в бассейны выдержки, на длительное хранение, на утилизацию и т. д.); высокая цикличность нагрузок на основное оборудование активных зон и первого контура, вследствие большого количества малых по продолжительности кампаний; высокая плотность нейтронного потока в активных зонах исследовательских

реакторов, приводящая к быстрому набору предельного флюенса на элементы активных зон и повышению вероятности их отказов; наличие высокообогащенного топлива, обостряющего проблему нераспространения ядерных материалов и требующего эффективных систем их учета и физической защиты; оснащенность экспериментальными устройствами и связанными с ними особенностями эксплуатации; меньшее, чем у энергетических реакторов, количество физических барьеров, препятствующих распространению продуктов деления, особенно у бассейновых исследовательских реакторов и критических сборок; расположение ИЯУ в крупных городах с многомиллионным населением среди городской застройки.

В настоящее время на территории бывшего Советского Союза эксплуатируются 93 исследовательские ядерные установки, расположенные, как правило, на территории таких крупных городов, как Москва и Санкт-Петербург. В 1992 г. количество ИЯУ в России составляло 116 шт. В таблице 4 представлены исследовательские ядерные установки, расположенные на территории России.

Большинство ИЯУ Росатома России, РНЦ «Курчатовский институт», ГНЦ РФ ФЭИ, ГНЦ РФ НИИАР и других организаций были спроектированы и построены в 50-60 годах, когда ещё не существовала в достаточном, с сегодняшней точки зрения, объёме нормативная база по ядерной и радиационной безопасности. В связи с этим практически все реакторы в той или иной степени не соответствуют современным требованиям норм и правил по безопасности в атомной энергетике.

Анализ текущего состояния парка исследовательских реакторов России показывает, что необходимость использования ИЯУ для решения перспективных задач технологии топливного цикла, безопасности и эффективности атомной энергетики остаётся актуальной. Если учесть продолжающееся старение и сокращение количества действующих ИЯУ, то выполнение требуемых экспериментальных исследований приведёт к увеличению интенсивности исполь-

зования действующих установок, при условии выполнения современных требований по безопасности их эксплуатации.

Основная проблема обеспечения безопасности эксплуатации ныне действующих ИЯУ связана с физическим и моральным износом их технических средств. Это в первую очередь относится к установкам, введённым в эксплуатацию в 1950 – 1970 гг., обновление материальной части которых в последнее десятилетие проводилось в недостаточной мере.

Среди причин такого положения есть и объективные и субъективные факторы: прекращение производства на российских предприятиях оборудования, элементной базы систем и устройств, предусмотренных проектами установок 30 – 50 летней давности; значительное сокращение связей с предприятиями-поставщиками оборудования в проектной комплектации, оказавшимися за пределами России; длительные сроки пересмотра решений, заложенные в изначальный проект ИЯУ, для обоснования замены устаревшего оборудования новыми разработками или корректировки технических схем изменяемых систем в случае использования имеющихся образцов-аналогов, близких по своим характеристикам к заменяемым.

В 2003 г. 38% нарушений обусловлены колебаниями напряжения во внешних электросетях (1999 – 31%, 2000 – 31%, 2001 – 22%, 2002 – 39%), 8% нарушений в работе ИЯУ обусловлены ошибочными действиями персонала (в 1999 – 8,5%, 2000 – 17%, 2001 – 20%, 2002 – 18%). В 2004 г. зафиксировано 33 нарушения в работе организаций, эксплуатирующих исследовательские ядерные установки. Из них 16 произошло на предприятиях Росатома (ГНЦ РФ НИИАР – 14; ГНЦ РФ ФЭИ – 1; ФГУП ИРМ – 1), остальные нарушения на предприятиях других ведомств (ОИЯИ, Дубна – 6; ГНЦ РФ НИФХИ, Обнинск – 2; ГНУ НИИЯФ при ТПУ, Томск – 5; ПИЯФ, Гатчина – 4). На рисунке 5 приведена динамика нарушений в работе ИЯУ в период с 1994 по 2004 гг.

Проблема человеческого фактора на ИЯУ имеет существенное значение для обеспечения

Таблица 4
Исследовательские ядерные установки, расположенные на территории России

Наименование	Всего	Действующие	На реконструкции	На консервации	Выводимые из эксплуатации	Строящиеся
ИР	38	23	1	2	10	2
КС	39	29	1	2	7	0
ПКС	16	6	0	5	4	1
Итого:	93	58	2	9	21	3

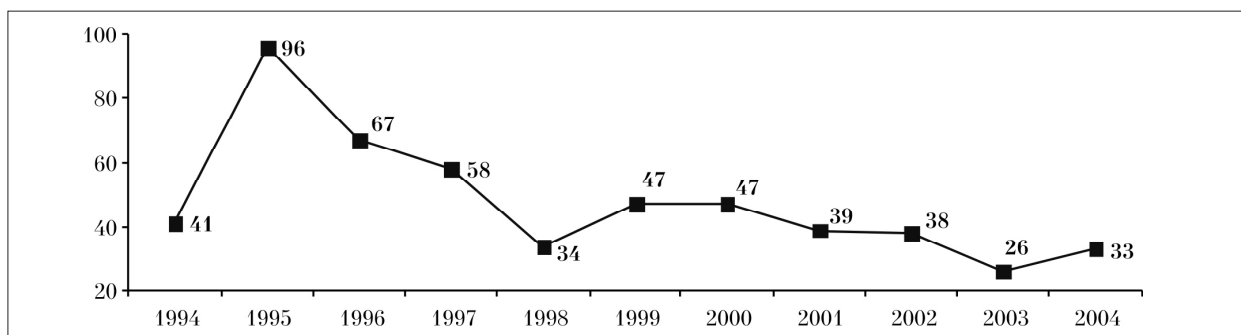


Рис. 5. Динамика нарушений в работе ИЯУ в период с 1994-го по 2004 г.

безопасности. На ИЯУ идет смена поколений, по разным причинам увольняется опытный персонал, имеют место случаи неукомплектованности служб и персонала ИЯУ (ГНЦ РФ НИИАР, РНЦ «Курчатовский институт», МИФИ и ряда других эксплуатирующих организаций). Ситуация характеризуется снижением престижности профессии, недостаточным притоком молодых специалистов, сокращением общей численности персонала. Наиболее частые ошибки персонал допускает в связи с ремонтом и заменой контрольно-измерительных приборов.

Безопасность предприятий ядерного топливного цикла

Основные элементы современного топливного цикла были разработаны и внедрены в самом начальном периоде его формирования, когда основополагающие положения и цели развития были отличны от сегодняшних. Многие решения, принятые в те времена, и в настоящее время продолжают действовать и/или оказывают влияние на работу этой отрасли.

Начиная с 1949 г. на предприятиях ЯТЦ в целом произошло более 250 аварий. Общее количество нарушений в работе предприятий ЯТЦ за последние 10 лет составило более 100. На рисунке 6 показано распределение инцидентов по годам.

Безопасность атомной энергетики транспортного направления

В настоящее время в России в эксплуатации находятся 8 судов с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) на борту (5 ледоколов — «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз» и «Ямал», два мелкосидящих ледокола — «Таймыр» и «Вайгач» и лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть»), на которых эксплуатируется 13 водо-водяных ядерных реакторов под давлением; 5 судов атомно-технологического обслуживания, состоящих из двух плавтехбаз перезарядки и хранения свежих и отработавших тепловыделяющих сборок (ПТБ «Имандра» и «Лотта»), плавхранилища РАО (ПТБ «Володарский»), спецтанкера «Серебрянка» и плавучего контрольно-дозиметрического пункта (ПКДП) «Роста-1». Эксплуатационные происшествия за период с 01.01.94 г. по 31.12.04 г. представлены на рисунке 7. На нём отчетливо видно резкое увеличение числа эксплуатационных происшествий (ЭП) за период последних 10 лет. Так, например, из 29 ЭП в 2002 г. произошло 16 течей парогенераторов. Одним из проблемных вопросов является продление срока службы атомных судов и ресурса основного оборудования. Оборудование ЯЭУ типа ОК-900А атомных ледоколов «Арктика», «Россия»,

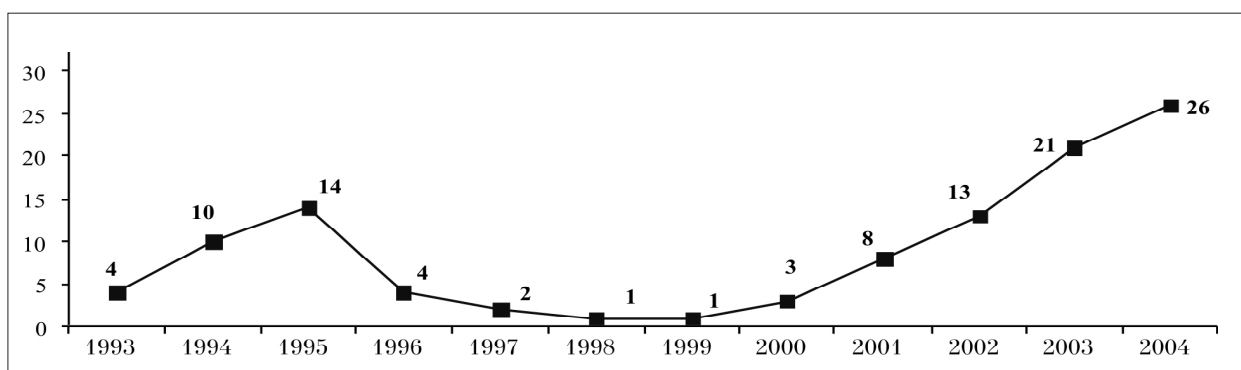


Рис. 6. Количество нарушений в работе ЯТЦ России с 1993 по 2004 г.

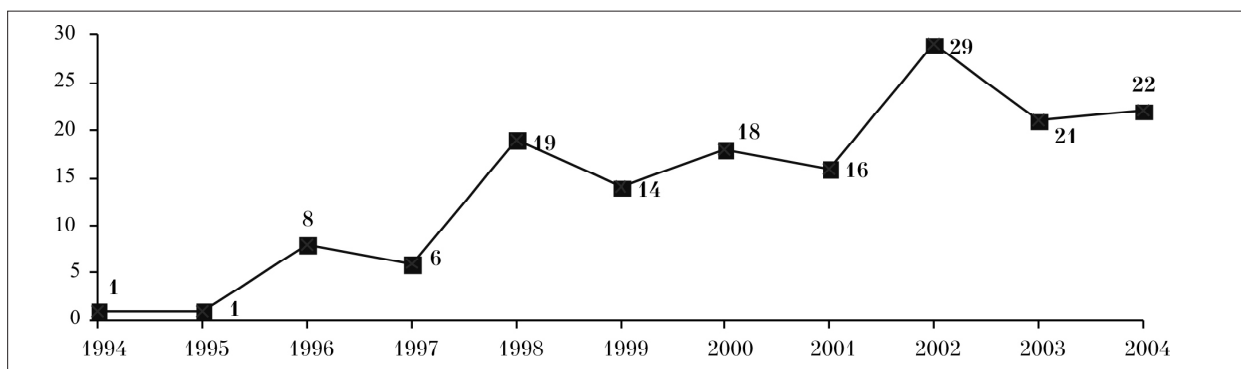


Рис. 7. Эксплуатационные происшествия, зарегистрированные на ЯЭУ атомных ледоколов

«Советский Союз» и «Ямал» с назначенным ресурсом оборудования по техническим условиям 50 – 60 тыс. ч и сроком службы 10 – 12 лет фактически проработало в два-три раза больше. Работы по продлению ресурса позволили продолжить эксплуатацию ЯЭУ атомных ледоколов проекта 10521 «Россия», «Советский Союз», «Ямал». Проведены работы по продлению ресурса отдельных систем, важных для безопасности, а/л «Таймыр», «Вайгач» и а/лв «Севморпуть».

Безопасность источников ионизирующего излучения

В настоящий момент в сфере народного хозяйства работает около 2500 предприятий, организаций и учреждений, осуществляющих деятельность с использованием атомной энергии и имеющих в своём составе 7731 радиационно-опасный объект – цехи, лаборатории, технологические единицы и прочие.

Данные о количестве радиационных аварий и происшествий в организациях и их классификация согласно «Правилам расследования и учёта нарушений при обращении с радиационными источниками и радиоактивными веществами, применяемыми в народном хозяйстве» приведена в таблице 5.

Система спецкомбинатов «Радон», созданная в 1960-х годах для обеспечения сбора и хранения РАО низкой и средней активности, образующихся за пределами ядерно-оружейного комплекса, доказала свою необходимость

и эффективность. На 16 спецкомбинатах, имеющих в России, в настоящее время накоплено $\sim 2,0 \cdot 10^5$ м³ РАО с остаточной активностью $2,0 \cdot 10^6$ Ки. Резерв хранилищ для размещения РАО на различных спецкомбинатах составляет 10 – 60 лет при сохранении существующих темпов поступления отходов. Исключение составляют Московский, Казанский, Екатеринбургский, Мурманский, Челябинский, Уфимский и Ленинградский спецкомбинаты, на которых имеющиеся хранилища практически полностью заполнены.

Выводы

Обеспечение безопасности на объектах использования атомной энергии является приоритетной государственной задачей, требующей целенаправленных систематических усилий со стороны персонала опасных производств, специалистов служб ядерной и радиационной безопасности, руководителей промышленных предприятий, научно-исследовательских, конструкторских и проектных организаций отрасли, специалистов и руководства Федерального агентства Российской Федерации по атомной энергии.

Характеризуя состояние безопасности действующих атомных станций, необходимо отметить, что эксплуатация этих АЭС осуществляется в соответствии с требованиями правил и норм по безопасности, которые действовали на период их создания и соответствующим образом реализованы в проектах. Но современ-

Таблица 5

Данные о количестве радиационных аварий и происшествий

Показатель / год		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Количество аварий и происшествий		34	29	40	55	38	30	40
по классам нарушений (НП-014-2000)	А	0	0	1	1	1	0	0
	П-1	14	9	4	4	1	2	5
	П-2	20	20	35	50	36	28	35

ным требованиям безопасности на настоящий момент ни одна из станций не отвечает в полной мере.

На сегодня ни одна из действующих АЭС не имеет процедурно законченного обоснования безопасности, которое содержало бы выводы о состоянии безопасности и анализ возможных последствий нарушений эксплуатации энергоблоков.

В целом за последние три года наблюдается некоторая общая тенденция к снижению количества автоматических срабатываний системы аварийной остановки реактора при работе энергоблоков на мощности. Удельное значение внеплановых отключений энергоблоков от сети снизилось практически в два раза по сравнению с прошлым годом, а удельное значение автоматических срабатываний системы аварийной остановки в течение 2002 – 2004 гг. находится в пределах 0,2-0,3 срабатываний на энергоблок. Начиная с 1998 г. наблюдается тенденция к снижению общего количества нарушений в работе АЭС. Тем не менее на постоянной основе должна вестись работа по улучшению показателей безопасной эксплуатации российских АЭС. Например, практически каждое второе нарушение имеет в основе повторяющееся аномальное событие. Это указывает на то, что в процессе анализа причин нарушений в работе АЭС, при разработке и реализации корректирующих мер, уроки извлекаются недостаточно эффективно.

Сегодня на вопрос: «Может ли произойти тяжёлая запроектная авария на АЭС?», мы должны честно ответить: «Да, может при ослаблении требований к надёжности оборудования, к регулированию безопасности, к отбору и квалификации персонала, к эксплуатационной дисциплине и т. п.». А тяжёлая запроектная авария на современных реакторах может быть сопряжена с разрывом реактора и последующими радиоактивными выбросами, во много раз превышающими допустимые нормы для населения и окружающей среды. В условиях продления сроков эксплуатации энергоблоков первого поколения при остающемся несовершенстве их проектов эта вероятность будет возрастать. Проведённая ранее и проводимая в настоящий момент Росатомом России реконструкция первых очередей АЭС с РБМК потребовала значительных средств, времени, специалистов, оборудования, но при всем этом требуемый уровень безопасности не был достигнут, в первую очередь, по причине отсутствия системы локализации аварии, накопления значительных количеств радиоактивных отходов

и отработавшего ядерного топлива. Учитывая, что длительная эксплуатация энергоблоков первого поколения может привести к тяжелой аварии, необходимо уже сейчас развернуть работы по досрочному выводу их из эксплуатации. Однако вместо этого в разные периоды и на разных уровнях возникает «концепция» выведения энергоблоков первой очереди на номинальную (100 %) мощность, что может поставить аппараты РБМК первого поколения на грань новой катастрофы. Для того чтобы избежать катастрофы, подобной чернобыльской, реакторы первого поколения на РБМК должны быть выведены досрочно ввиду серьезной опасности ядерной аварии в процессе их эксплуатации. До вывода блоков из эксплуатации работа этих энергоблоков должна проводиться в особом (щадящем) режиме с выполнением дополнительных организационно-технических мероприятий.

Начиная с 1999 г. на предприятиях ЯТЦ наблюдается стойкая тенденция увеличения количества инцидентов. В результате анализа причин и обстоятельств нарушений в работе предприятий ЯТЦ России необходимо остановиться на ряде из них: нарушение технологии и технологических регламентов, недостаточная профессиональная подготовка и технологическая дисциплина отдельных специалистов и операторов; недостаточность технологических и неэффективность организационных мер по обеспечению безопасного ведения технологических процессов; неудовлетворительное техническое состояние оборудования и систем объектов на предприятиях ЯТЦ России; невыполнение графиков замены оборудования; ухудшение обеспечения персонала средствами индивидуальной защиты; слабый контроль за соблюдением технологических норм и требований со стороны специалистов и руководства технологических служб комбинатов, заводов и контролирующих служб Росатома; наличие ошибок в проектно-конструкторской документации; изменения, вносимые в технологии и аппаратные схемы в одностороннем порядке, технологии и аппаратные схемы; на большинстве предприятий Росатома России не согласовывались с разработчиками; отсутствие систематической работы (программы работ) по повышению технического уровня безопасности ядерно-, пожаро- и взрывоопасных производств (например, утвержденная программа по замене ядерно-опасного оборудования безопасным на ПО «Маяк» не выполняется); отсутствие пооперационного анализа опасных производств. Такой анализ отсутствует в проектах, а за время

функционирования ЯТЦ практически ни на одном из них такой анализ не был запланирован и выполнен. Системный анализ безопасности заменялся работой комиссий, работавших, как правило, по факту аварий, в результате чего аварийные ситуации анализировались недостаточно, соответственно были неполными мероприятия по их устранению. Примером тому служат аварийные режимы 1982 – 1985 гг. на радиохимическом заводе СХК. Мероприятия по имевшим место аварийным режимам выполнялись в течение семи лет (с 1986-го по 1992 г.), однако в апреле 1993 г. на том же аппарате 6102/2 произошел взрыв, инициировавший радиационную аварию. Продолжающиеся инциденты на предприятиях ЯТЦ происходят из-за грубых нарушений технологии и технологических регламентов, недостаточной профессиональной подготовки и низкой технологической дисциплины отдельных специалистов и операторов, недостаточности технологических и неэффективности организационных мер по обеспечению безопасного ведения технологических процессов, неудовлетворительного технического состояния оборудования и систем объектов предприятий ЯТЦ России; на предприятиях ЯТЦ отсутствуют достаточные мощности по утилизации радиоактивных отходов всех уровней активности. К существенным недостаткам в обеспечении безопасности объектов ЯТЦ надо отнести следующие: оз. Карачай остаётся потенциальным источником крупномасштабной радиационной аварии, так как из-за задержки сооружения установки отверждения продолжается сброс в озеро жидких среднеактивных отходов и при этом практически приостановлены работы по закрытию оз. Карачая; продолжается эксплуатация без лицензии гидротехнических сооружений Теченского каскада водоёмов ПО «Маяк», уровень жидких низкоактивных отходов достиг предельных значений и угрожает разрушением этих гидротехнических сооружений (плотин); на объектах ядерного топливного цикла эксплуатируется морально и физически устаревшее оборудование, являющееся потенциально опасной угрозой безопасности, в том числе транспортные упаковочные комплекты, предназначенные для транспортирования ОЯТ (например, ТУК-6), ресурс службы которых практически исчерпан, что может стать исходным событием для аварийной ситуации; многие объекты, в первую очередь радиохимических производств, являются потенциальными целями террористических действий и по этой причине для них необходимы дополнительные барьеры физической защиты.

Анализируя статистические данные о состоянии безопасности промышленных ядерных реакторов, следует принять во внимание, что негативная динамика, связанная с увеличением числа инцидентов, в определённой мере вызвана ужесточением требований надзорных органов в части регистрации остановок реакторов. Основными причинами нарушений являлись ошибочные действия персонала, отказы оборудования, разгерметизация твэлов, ошибочные показания контрольно-измерительных приборов.

Инциденты с исследовательскими ядерными установками, как правило, связаны со срабатыванием средств защиты под воздействием внешних факторов, что требует детального рассмотрения и анализа общей системы обеспечения безопасности этих установок.

Литература

1. Кузнецов В.М. Анализ безопасности объектов атомной энергетики России за 1993 г. // Информ. бюлл. «Радиация и общество». М.: МЧФБ, 1995. № 1. С. 10-34.
2. Кузнецов В.М. Анализ безопасности атомных электростанций в 1994 г. // Информ. бюлл. «Радиация и общество». М.: МЧФБ, 1997. № 2(1). С. 1-26.
3. Кузнецов В.М. Анализ работы исследовательских установок в 1995 г. // Информ. бюлл. «Радиация и общество». М.: МЧФБ, 1997. № 2(1). С. 27-35.
4. Кузнецов В.М. Российская атомная энергетика: вчера, сегодня, завтра. М.: Голос-пресс, 2000. 287 с.
5. Кузнецов В.М. Основные проблемы и современное состояние безопасности предприятий ядерного топливного цикла России. М.: Агентство «Ракурс Продакшн», 2003. 460 с.
6. Кузнецов В.М. Исторические этапы развития и поколения отечественных реакторов // X юбилейная годовичная научная конференция института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН: Матер. докл. М.: Диполь-Т, 2004. С. 544-547.
7. Кузнецов В.М., Кузнецова Е. Э. Законодательство и стандартизация в атомной энергетике: исторический аспект // Стандарты и качество. 2005. № 8. С. 36-38.
8. Кузнецов В.М., Яблоков А.В., Никитин А.М. Плавающие АЭС России. М.: Российский Зелёный крест. Центр экологической политики России. Агентство «Ракурс Продакшн», 2001. 111 с.
9. Кузнецов В., Никитин А., Ларин В. и др. Российская атомная промышленность – необходимость реформ (Доклад объединения «Беллона» № 4). Осло. 2004. 209 с.
10. Кузнецов В.М., Чеченов Х.Д. Российская и мировая атомная энергетика. М.: Изд-во Московского гуманитарного университета, 2008. 764 с.
11. Кузнецова Е.Э. Атомное законодательство сегодня // Экология и право. 2004. № 3(14). С. 53-55.

Влияние антропогенной трансформации ландшафтов на распространение, видовое разнообразие и численность рукокрылых (*Chiroptera: Vespertilionidae*) в бассейне реки Вятки

© 2009. А.Н. Ляпунов, научный сотрудник,
Кировский городской зоологический музей, e-mail: owls_bats@mail.ru

Рассмотрено влияние изменения ландшафтов бассейна р. Вятки (Кировская область) на видовое разнообразие и численность летучих мышей. В статье представлена количественная и качественная оценка рукокрылых в различных частях исследуемого региона, показано значение искусственных убежищ, определены основные лимитирующие факторы.

The article deals with the influence of landscape change of the Vyatka river basin on the *Vespertilionidae* species diversity. Quantity and quality estimation of *Vespertilionidae* in different parts of the region in question is presented. The importance of artificial sanctuaries is shown and the main limiting factors are given.

Ключевые слова: рукокрылые, антропогенная трансформация, агроландшафты

Введение

С каждым годом усиливается влияние человека на природу. Одним из основных видов воздействия является трансформация естественных ландшафтов, которая, несомненно, влияет на фауну, в том числе и на представителей отряда *Chiroptera*. При этом не всегда данное воздействие может рассматриваться как отрицательное. Имеется ряд положительных моментов, выраженных в образовании новых охотничьих биотопов, зимних убежищ и мест днёвок рукокрылых, связанных с деятельностью человека [1 – 3].

Наиболее полно вопрос по влиянию антропогенного фактора на рукокрылых Поволжья освещён в публикации В.Ю. Ильина [4], которая послужила отправной точкой наших исследований. Взяв меньшую территорию для изучения, мы постарались более подробно показать зависимость между степенью антропогенного воздействия и фауной рукокрылых, уделив особое внимание как убежищам, так и формированию новых охотничьих биотопов летучих мышей, особенностям их видового состава и численности в связи с хозяйственной деятельностью человека.

Целью данной работы было выявление положительных и отрицательных сторон антропогенного фактора на распространение, численность и видовое разнообразие летучих мышей.

Материалы и методы

Сбор материала производился в бассейне р. Вятки (Кировская область) в пределах

56° – 61° с. ш., 46° – 53° в. д., от хвойно-широколиственных лесов на юге до средней тайги на севере, путём многократных выездов и экспедиций в 35 административных районов, а также на стационарных площадках, расположенных в различных частях области с 2000-го по 2006 г. Важно отметить, что северные районы Кировской области расположены намного севернее южных границ Республики Коми, что позволяет нам сравнивать, а также переносить некоторые данные и выводы на часть её территории.

В различных биотопах (поймы, леса различного возраста и состава, агроландшафты, водоёмы, населённые пункты и др.) зверьки учитывались визуально и с помощью ультразвукового детектора D-100 «Pettersson». Определяли дальность разлёта зверьков, совершая радиальные маршруты от дневных укрытий (населённых пунктов, мостов и т. д.), а также вдоль берегов рек в сторону удаления от известного нам дневного убежища. По характеру полёта и биотопу, а также по типу эхолокационных сигналов, которые были записаны на магнитную ленту и в дальнейшем сопоставлены с имеющимися ранее, определяли видовую принадлежность. Отлов летучих мышей производили паутинными сетями, также вели поиск дневных убежищ.

Количество населённых пунктов и искусственных водоёмов приводится из литературных источников [5, 6]. При делении Кировской области на части для расчёта плотности расположения исследуемых

объектов мы исходили лишь из географических соображений.

Под понятием антропогенно трансформированная территория в настоящей работе понимаем все типы сельскохозяйственных угодий (агроландшафты), все населённые пункты (бывшие и ныне существующие), включая одиноко стоящие сооружения, водоёмы искусственного происхождения, включая зону их влияния, и все типы гидросооружений.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время на исследуемой территории отмечено обитание 10 видов рукокрылых [7]: ночницы Наттерера (*Myotis nattereri* Kuhl 1817), усатая (*M. mystacinus* Kuhl 1817), Брандта (*M. brandti* Eversmann 1845), водяная (*M. daubentoni* Kuhl 1817), прудовая (*M. dasycneme* Boie 1825), ушан бурый (*Plecotus auritus* Linnaeus 1758), вечерница рыжая (*Nyctalus noctula* Schreber 1774), нетопырь Натужиуса (*Pipistrellus nathusii* Schreber 1774), кожанок северный (*Eptesicus nilsoni* Keyserling, Blasius 1839), двухцветный кожан (*Vespertilio murinus* Linnaeus 1758 non Schreber).

Особенностью исследуемой территории является прохождение по ней северных границ ареалов 3 видов летучих мышей: ночницы

Наттерера, вечерницы рыжей, нетопыря Натужиуса. Эти виды населяют лишь центральную и южную части исследуемого региона. За всю историю наблюдений ночница Наттерера была отмечена в пределах исследуемой территории лишь 2 раза. Интересно, что один из зверьков был обнаружен зимой в искусственном укрытии, что свидетельствует о положительной роли построек человека для данного вида. Возможно единственным видом рукокрылых бассейна р. Вятки, на который человеческая деятельность влияет только негативно, является рыжая вечерница. Об этом говорит крайне редкая встречаемость данного вида в искусственных убежищах в летний период и предпочтение им дупел деревьев [8].

Агроландшафты (по данным на 1 января 2006 г.) занимают 33137 квадратных километров [9], что составляет 27,4% территории Кировской области. Наиболее свойственны они южным и центральным районам (рис.). На севере области они располагаются, как правило, в окрестностях населённых пунктов и не образуют сплошных безлесных пространств. В Республике Коми этот показатель составляет 4,4% с явно выраженным преобладанием таковых в южных районах. Имеет место общая тенденция уменьшения площадей агроландшафтов, количества населённых пунктов и искусственных водоёмов в направлении с юга на север.

По размеру и характеру расположения можно разделить агроландшафты на сплошные, которые занимают довольно большие по площади территории и островные. Сплошной тип характеризуется практически полным отсутствием древесной растительности, либо только наличием искусственных лесозащитных полос, состоящих, как правило, из небольшого числа пород, которые в силу видового состава и возраста не могут рассматриваться в качестве дневных убежищ рукокрылых.

В данном типе местообитаний в центральных и южных частях области видовой состав летучих мышей представлен 6 видами: ночницами водяной, прудовой, Брандта, бурый ушан, двухцветный кожан, северный кожанок (редко) независимо от географического расположения. Особенностью является то, что 4 последних вида встречаются в данных условиях исключительно в населённых пунктах, а водяная и прудовая ночницы в непосредственной близости от них или от какого-либо сооружения, служащего им дневным убежищем, например, мосты, которые в условиях агроландшафтов имеют практичес-

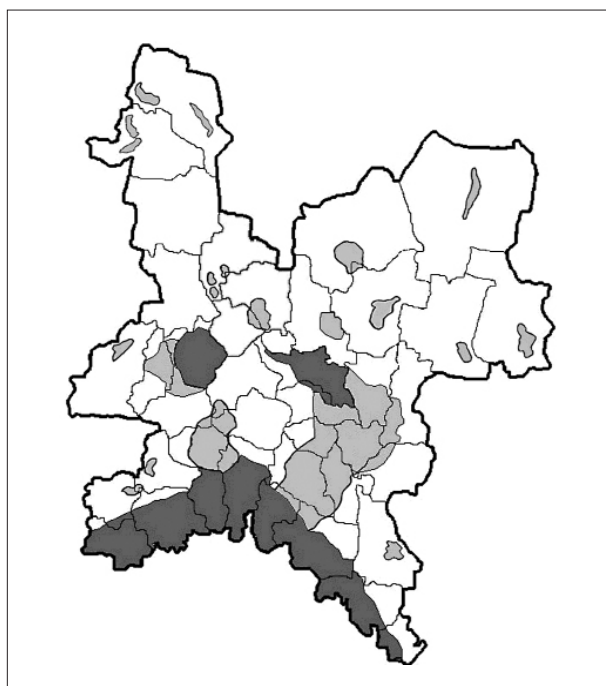


Рис. Распределение агроландшафтов в Кировской области.

Примечание: более тёмным цветом обозначены агроландшафты сплошного типа, светлым – островного типа.

ки 100% заселяемости, что, на наш взгляд, связано с явной нехваткой естественных укрытий [10]. Данную особенность в распространении можно объяснить тем, что выживание вида в таких условиях может быть связано либо с его широкой экологической валентностью, либо с исторически сложившейся синантропностью. Так, ночница Брандта, являясь лесным видом, довольно часто встречается в населённых пунктах. По нашим наблюдениям, зверьки этого вида охотятся в воздушном пространстве над просеками, вырубками, лесными дорогами, опушками лесов. Этот вид обычен в лесистых районах области как непосредственно в лесах, так и в населённых пунктах, улицы которых, очевидно, являются своеобразными воздушными коридорами. С другой стороны, если в условиях высокой лесистости территорий данный вид тяготеет к населённым пунктам как к более открытым пространствам, что же его привлекает к ним в условиях агроландшафтов? По нашему мнению, это может быть всё та же лесистость территории, правда не в общепринятом понимании этого термина, а выраженная в количестве деревьев на единицу площади. Исходя из этого в условиях сплошных агроландшафтов территории населённых пунктов являются более «лесистыми» за счёт искусственной посадки деревьев (например, различные парковые аллеи), нежели их окружающие, что и создаёт подходящий охотничий биотоп для данного вида. Нами также не раз отмечалась охота этих ночниц около одиноко стоящих деревьев и даже высоких кустов.

Островной тип агроландшафтов свойственен большей части центральных районов Кировской области. Как правило, это небольшие поля, чередующиеся с лесами различного типа. В данном случае антропогенная трансформация не достигает критического уровня и даже способствует повышению биоразнообразия, за счёт создания «пограничного эффекта», являющегося благоприятным для рукокрылых [11].

Такие виды как бурый ушан, двухцветный кожан и северный кожанок стали практически полностью синантропными. Бурый ушан относится к лесным видам рукокрылых [12, 13], и его встречи в населённых пунктах явно свидетельствует об их положительной роли в увеличении биоразнообразия летучих мышей в агроландшафтах. Находки северного кожанка в населённых пунктах наиболее свойственны северным лесным районам области. Сходное поведение этого вида отмечено нами и на территории Республики Коми.

На распространение прудовой и водяной ночниц влияют другие факторы, и основной из них – наличие подходящих дневных убежищ в непосредственной близости от водоёмов. Кроме ограниченности в выборе дневных убежищ на бедность хироптерофауны, по нашим данным, может влиять численность насекомых, которые являются кормом для рукокрылых. Учитывая, что основным кормом большинства рукокрылых являются двукрылые [14 – 16], был проведён учёт численности этих насекомых методом подсчёта количества нападений за определённое время. Полученные результаты показали более низкую численность кровососущих в агроландшафтах, которая в некоторых случаях была ниже в 3 раза по сравнению с другими биотопами (лесные и пойменные).

Был изучен видовой состав и встречаемость летучих мышей в административном центре исследуемой территории – г. Кирове. Установлено, что на территории г. Кирова обитает 4 вида рукокрылых, что составляет 40% от общего количества встречающихся в регионе. В осенний период не раз случались залёты рукокрылых в городские квартиры, что ранее уже отмечалось в таких городах, как Москва, Санкт-Петербург, Омск, Иркутск [17]. Подобное поведение рукокрылых, на наш взгляд, связано с поиском ими подходящего зимнего убежища.

Особый интерес вызывают данные, опубликованные в отечественной и зарубежной литературе, о масштабе сезонных миграций некоторых видов летучих мышей [18, 19]. Вероятно, дистанции перемещений, приведённые в этих источниках (от 41 до 350 км), всё же более подходят для климата Средней Европы, как более мягкого, нежели Кировской области. Это подтверждается тем, что в настоящее время на исследуемой территории отмечены зимовки 4 видов летучих мышей (Ночницы: Наттерера, Брандта, прудовая, а также бурый ушан), причём ночницы Брандта и прудовая были обнаружены в естественном укрытии – карстовой пещере, а ночница Наттерера и бурый ушан – в искусственном [7]. До сих пор не обнаружены зимовки самого массового вида рукокрылых Кировской области – водяной ночницы.

По нашим оценкам, численность зимующих видов области составляет сотни тысяч особей. Возникает закономерный вопрос о местах зимовок такого количества животных. Мы ставим под сомнение использование в качестве зимних убежищ летучими мышами дупел деревьев из-за их плохой теплоизоляции в условиях умеренно-континентального климата Киров-

ской области. Также в качестве основного зимнего убежища нами не рассматриваются карстовые пещеры, большинство из которых в силу их небольших размеров также непригодно для нормальной зимовки. В связи с этим мы предполагаем, что подавляющее большинство оседлых видов рукокрылых региона использует в качестве зимних убежищ неизвестные до настоящего времени места, скорее всего, искусственного происхождения.

Как упоминалось выше, на распространение и численность летучих мышей большое влияние оказывают населённые пункты различного типа. Они одновременно являются для них местами днёвок (а иногда и зимовок) и охотничьими биотопами [3, 7, 18]. Часто в населённых пунктах имеются искусственные водоёмы, являющиеся местом добывания пищи водяной и прудовой ночниц. Некоторые виды рукокрылых, такие как бурый ушан, двухцветный кожан, на исследуемой территории в летний период встречаются непосредственно в них, а ночница Брандта – преимущественно в них. В таблице представлена плотность расположения населённых пунктов на территории области, чётко прослеживается общая тенденция уменьшения числа поселений в направлении с юга на север. Так, например, для юго-запада и центра области характерна наибольшая плотность, а для северо-востока – наименьшая, разница в плотности колеблется в пределах от 4 до 6 раз. К тому же в южных и центральных районах имеет место более или менее выраженная равномерность в распределении по территории, что связано с хорошо развитой сетью автодорог, а соответственно, и большим количеством мостов, что определяет большую «рукокрылоёмкость» территорий, тогда как в северных (лесных) районах населённые пункты имеют ленточный тип распределения и расположены около не-

многочисленных дорог, проходящих обычно вдоль рек.

В условиях агроландшафтов южных районов области населённые пункты являются местами концентрации рукокрылых. Кроме наличия большого количества дневных укрытий, некоторые авторы рассматривают населённые пункты как своеобразные пути расширения ареалов летучих мышей [19]. В Кировской области, особенно в её центральной части, мы считаем данный способ расселения вполне возможным применительно к лесному нетопырю, который в начале XX века был известен лишь в южных уездах Вятской губернии [20]. Необходимо отметить, что хозяйственная деятельность человека может благоприятно сказываться на расселении как оседлых, так и перелётных видов рукокрылых. Разница между ними состоит в том, что оседлые виды занимают новые биотопы, которые стали для них пригодны в результате деятельности человека, а перелётные, используя антропогенно трансформированные ландшафты, заселяют новые для них территории, находящиеся вне их ареала. Антропогенная трансформация является далеко не единственным фактором, участвующим в расширении ареала, но имеет очень большое значение. В южных районах Республики Коми подобным способом происходит заселение новых биотопов бурым ушаном [18].

Из перелётных видов рукокрылых цепочки населённых пунктов для расширения ареала использует лесной нетопырь, северная граница ареала которого в настоящее время достигла центральных районов области. Продвижение данного вида в северном направлении происходит исключительно по поймам рек, что объясняется особенностями мезоклимата, дендрофлоры, а также привязкой населённых пунктов к поймам рек, о чём упоминалось выше [21].

Таблица

Плотность расположения населённых пунктов и искусственных водоёмов в различных частях Кировской области (км² / 1 объект)

Часть области	Площадь		Средняя плотность	
	тыс. км ²	%	населённый пункт	искусственный водоём
Юго-запад	12,1	10,0	8,2	161,5
Юго-восток	17,0	14,1	18,9	89,1
Центр	40,1	33,2	12,3	182
Северо-запад	18,9	15,7	нет данных	нет данных
Северо-восток	32,7	27,7	56,3	777

Немаловажное значение имеют искусственные водоёмы. Наименьший размер пруда, используемый летучими мышами в качестве охотничьего участка, составлял 300 квадратных метров. Предпочтение явно отдавалось водоёмам с чистым зеркалом. Большинство прудов расположено в населённых пунктах. Чётко прослеживается уменьшение количества в направлении с юга на север (табл.). Кроме этого практически все они снабжены различными гидросооружениями (за исключением самых мелких) для регулирования стока, которые являются местами днёвок летучих мышей, в частности водяной, изредка прудовой ночниц. Причём данный тип убежищ используется рукокрылыми не только в агроландшафтах, но и в лесных районах области, что говорит об очень высоком значении не только гидросооружений, но и вообще искусственных убежищ для летучих мышей в целом.

В некоторых случаях человек не прямо, а косвенно влияет на образование убежищ естественного происхождения. Большинство прудов построено по типу простого перегораживания русла реки, что приводит к неконтролируемому разливу воды по территории. В связи с этим подтопляются окружающие леса или посадки. Далее начинается процесс разрушения древесины, отслаивания коры, образования дупел, являющихся дневными убежищами рукокрылых. Дупла могут образовываться как естественным путём, так и при участии некоторых видов дятлообразных (*Piciformes*), которые охотно заселяются рукокрылыми [22].

Заключение

Антропогенная трансформация естественных ландшафтов, несомненно, влияет на фауну рукокрылых. В первую очередь это выражается в обеднении видового состава, связанного с уничтожением естественных убежищ и охотничьих биотопов, сокращением кормовой базы и беспокойством. С другой стороны она предоставляет возможность видам с широкой экологической валентностью, таким как водяная ночница, процветать, создавая для них все условия. Под понятием «подходящие условия» мы в первую очередь понимаем наличие достаточного количества дневных убежищ, образующихся в результате человеческой деятельности и отсутствие главного пищевого конкурента – прудовой ночницы, которая в данных биотопах является довольно редкой.

Возможно, этим, а вовсе не климатическими особенностями, объясняется высокая численность водяной ночницы в агроландшафтах юга Кировской области по сравнению с её северными районами. Исходя из изложенного выше, мы, как и наши предшественники, делаем выводы о двояком влиянии трансформации естественных ландшафтов на летучих мышей бассейна р. Вятки.

Литература

1. Ильин В.Ю., Вехник В.П., Смирнов Д.Г., Курмаева Н.М., Золина Н.Ф., Матросова О.М. Динамика численности рукокрылых (*Chiroptera, Vespertilionidae*) на зимовках в подземельях Самарской Луки за 20-летний период // Экология. 1999. № 5. С. 464-467.
2. Смирнов Д.Г., Курмаева Н.М., Вехник В.П. Динамика численности и пространственное распределение зимующих рукокрылых (*Chiroptera: Vespertilionidae*) в одной из штолен Самарской Луки // *Plecotus at al.* 1999. Вып. 2. С. 67-78.
3. Стрелков П.П. Материалы по зимовкам перелётных видов рукокрылых (*Chiroptera*) на территории бывшего СССР и смежных регионов. Сообщение 1 // *Plecotus at al.* 2001. Вып. 4. С. 25-40.
4. Ильин Ю.В. Влияние антропогенного фактора на рукокрылых (*Chiroptera: Vespertilionidae*) Поволжья // Экология. 2003. № 2. С. 134-139.
5. Кировская область. Административно-территориальное деление. Киров: Волго-Вятское книжное издательство, 1978. 424 с.
6. Назаров Н.Н. Рыбоводство в Кировской области. Киров. 2001. 56 с.
7. Сотников В.Н., Ляпунов А.Н., Микулин А.В., Рябов В.М., Акуликин С.Ф. Рукокрылые Кировской области // *Plecotus at al.* 2005. Вып. 8. С. 17-31.
8. Ruczynski J., Bogdanowicz W. Rust cavity selection by *Nyctalus noctula* and *N. leisleri* (*Vespertilionidae, Chiroptera*) in Bialowieza primeval forest, eastern Poland // *Journal of Mammalogy*. 2005. 86 (5). P. 921-930.
9. О состоянии окружающей природной среды Кировской области в 2005 году. / Под ред. В.П. Пересторонина. Киров. 2006. 125 с.
10. Ляпунов А.Н. Рукокрылые в условиях Пижанского района Кировской области // Матер. науч. сессии Кировского филиала РАН. Киров, 2004. С. 189-191.
11. Первушина Е.М., Первушин А.А. К распространению и биологии двухцветного кожана *Vespertilio murinus* и нетопыря *Pipistrellus nathusii* (*Chiroptera, Vespertilionidae*) в Свердловской области // *Plecotus at al.* 2005. Вып.8. С. 32-38.
12. Стрелков П.П. Бурый ушан (*Plecotus auritus*) и серый ушан (*P. austriacus*) (*Vespertilionidae, Chiroptera*) в СССР. Сообщение 2 // Зоологический журнал. 1988. Т. 67. Вып. 2. С. 287-292.

13. Sevcik M. Does wing morphology reflect different foraging strategies in sibling bat species *Plecotus auritus* and *P. austriacus* // *Folia Zool.* 2003. 52 (2). P. 121-126.

14. Борисенко А.В., Сесина Н.И., Закеева И.Р., Букия А.Н. К изучению трофической биологии трёх видов рукокрылых (*Chiroptera: Vespertilionidae*) в Подмоскowie // *Plecotus at al.* 1999. Вып. 2. С.36-43.

15. Gajdosik M., Gaisler G. Diet of two *Eptesicus* bat species in Moravia (Czech Republic) // *Folia Zool.* 2004. 53(1). P. 7-16.

16. Gaisler G., Hanak V. Summary of the results of bat banding in Czechoslovakia, 1948-1967 // *Lynx.* 1969. № 10. P.25-34.

17. Стрелков П.П. Опыт кольцевания рукокрылых на местах зимовок // 1-е Всесоюзное совещание по рукокрылым (*Chiroptera*): Матер. докл. Л. 1974. С. 21-30.

18. Соловьёв В.А. Ушан – новый вид млекопитающего в Коми АССР // Охрана живой природы в Коми АССР. Сыктывкар. 1973. С. 93-95.

19. Ильин Ю.В. Динамика ареалов трёх видов рукокрылых на крайнем юго-востоке Европы // *Plecotus at al.* 2000. Вып. 3. С.43-49.

20. Круликовский Л.К. Заметки о млекопитающих южных уездов Вятской губернии // Зап. Уральского общества любителей естествознания. 1902. Вып. 23. С. 109-118.

21. Ляпунов А.Н. Ареал и климат. Их взаимосвязь применительно к рукокрылым в условиях Кировской области // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. 13-й молодежн. научн. конф. Инст-та биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар. 2007. С. 157-159.

22. Ильин Ю.В. Дятлы (*Picidae*) способствуют сохранению биоразнообразия рукокрылых (*Chiroptera*) // Экология. № 5. С. 412-413.

Правительство Кировской области
Управление охраны окружающей среды и природопользования Кировской области
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук
Вятский государственный гуманитарный университет

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!
ПРИГЛАШАЕМ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ
в работе Всероссийской научной школы-конференции
«ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ
В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ»

24 – 26 ноября 2009 г.,

Вятский государственный гуманитарный университет, г. Киров

На конференции будут рассмотрены проблемы по следующим направлениям:

- Экологический мониторинг природных сред и объектов.
- Экологическая безопасность регионов.
- Проблемы сохранения биоразнообразия.
- Промышленная экология.
- Экология урбанизированных территорий.
- Здоровье и окружающая среда.
- Экологическое образование для устойчивого развития.

Контактные адреса и телефоны оргкомитета:
610002, г. Киров, ул. Свободы, 122, лаборатория биомониторинга,
телефон/факс (8332) 37-02-77,
e-mail: ecolab@vshu.kirov.ru

Аграрная наука – экологические аспекты

В.А. Сысуев,

директор ГУ НИИСХ Северо-Востока, академик Россельхозакадемии

И.А. Устюжанин,

к.с.-х.н., зам. директора по научной работе ГУ НИИСХ Северо-Востока

На современном этапе развития общества, в век информационных технологий, наука является основой динамичного и устойчивого развития. Основная задача, стоящая перед аграрной наукой, – это обеспечение продовольственной независимости страны, повышение устойчивости, экономической эффективности и экологичности сельскохозяйственного производства.

Государственное учреждение Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого Российской академии сельскохозяйственных наук (ГУ НИИСХ Северо-Востока) является старейшим научно-исследовательским учреждением России.

История института началась с организации Вятской земской сельскохозяйственной опытной станции 30 марта 1895 года. Благодаря значительным результатам, достигнутым учёными опытной станции (Н.В. Рудницкий, К.А. Глухих, Е.А. Рогавская и др.), особенно в селекции сельскохозяйственных культур, наличию квалифицированных кадров учёных и специалистов, в 1948 году на базе станции организуется Зональный научно-исследовательский институт земледелия Северо-Востока европейской части СССР. В 1956 г. Зональный НИИ земледелия преобразуется в Научно-исследовательский институт Северо-Востока Нечернозёмной зоны СССР.

Учитывая опыт работы по организации и координации научных исследований в зоне своей деятельности, а также во исполнение Постановления Правительства Российской Федерации «О государственной поддержке развития науки и научно-технических разработок» от 17 апреля 1995 г. № 360, Президиум Россельхозакадемии организовал в 1996 г. на базе ГУ НИИСХ Северо-Востока Северо-Восточный научно-методический центр Россельхозакадемии (СВ НМЦ РАСХН). В зону деятельности центра вошли 9 субъектов Российской Федерации: Кировская, Костромская, Нижегородская, Пермская области и республики – Коми, Марий Эл, Мордовская, Удмуртская и Чувашская. СВ НМЦ РАСХН обладает высоким научным потенциалом, который занят решением современных проблем АПК Северо-Восточного региона.

Зональный НИИСХ Северо-Востока является научно-методическим и координационным

центром сельскохозяйственной науки, в задачу которого входит решение комплексных проблем развития агропромышленного производства Северо-Востока европейской части России, и это определяет его структуру. Институт объединяет комплексный центр по растениеводству, научно-инженерный и технологический центры, отдел животноводства, аспирантуру, отделы научно-технической информации и маркетинга. В состав института входят такие крупные и самостоятельные научные учреждения, как Фалёнская селекционная станция и Проектно-конструкторское бюро (ПКБ). Научные исследования выполняют 234 человека, из них исследователей – 161, в том числе 18 докторов и 51 кандидат наук.

Основными направлениями научных исследований института являются:

- создание и внедрение в сельскохозяйственное производство новых сортов озимой ржи, ячменя, овса, яровой пшеницы, гороха, картофеля, льна-долгунца, многолетних трав, ягодных культур, первичное семеноводство перспективных и районированных сортов;
- разработка ресурсоэнергосберегающих экологически безопасных технологий производства зерна, картофеля и кормов;
- разработка принципов адаптивной устойчивости видов и сортов растений, эффективных методов воспроизводства почвенного плодородия, путей обеспечения низкостратности и устойчивости производства продовольственных ресурсов и кормов.
- совершенствование методов мониторинга генетической структуры стад и популяций, пород крупного рогатого скота и свиней, технологий их кормления;
- создание ветеринарных препаратов, повышающих иммунный статус организма животных, диагностика, лечение и профилактика заболеваний;
- совершенствование сельскохозяйственной техники, создание новых машин и рабочих органов, обеспечивающих энергосбережение, повышение производительности и надёжности технологических процессов в растениеводстве и животноводстве;
- совершенствование научно обоснованной системы ведения сельского хозяйства для Северо-Восточного региона, научных основ

современной аграрной политики в условиях многоукладной экономики рынка.

По селекции и семеноводству более чем за столетний период существования института создано около 160 сортов сельскохозяйственных культур (озимая рожь, ячмень, овёс, яровая пшеница, кормовые травы, горох, картофель, лён-долгунец, плодовые и ягодные культуры), из которых было районировано 97. На конец 2008 года в Государственный реестр селекционных достижений включены 55 сортов. Научные разработки защищены 41 патентом, имеется лицензия на производство и реализацию семян.

Современное развитие селекции базируется на принципах адаптивности и экологичности, то есть создании сортов и форм сельскохозяйственных растений, адаптированных к комплексу факторов внешней среды, максимально реализующих свой биологический потенциал. Основными приоритетами являются селекция на качество и устойчивость к наиболее вредным заболеваниям, эдафическая селекция, разработка экологически безопасных технологий получения продукции, сортовых технологий и систем семеноводства.

В селекции зерновых культур объектом особого внимания была и остаётся озимая рожь, которую в Вятском крае можно считать основной продовольственной культурой. Уже к 1907 г. местная улучшенная рожь под названием Вятка получила широкое распространение. Дальнейшая селекционная работа позволила создать сорт Вятка 2, районированный в 1950 г. в 14 областях и республиках страны.

В последние годы работы с озимой рожью расширены. Одно из значимых достижений – сорт Фаленская 4, который в 1999 г. внесён в Госреестр селекционных достижений по 4 регионам РФ.

ГУ НИИСХ Северо-Востока является координатором Межотраслевой научно-технической программы «Рожь», включающей комплексные исследования по расширению сферы переработки зерна озимой ржи в пищевой, крахмалопаточной промышленности, кормопроизводстве и техническом использовании, в выполнении которой задействованы почти все подразделения НИУ. Учёные института явились инициаторами Обращения участников Международного симпозиума «Формирование рынка зерна ржи, его производство и глубокая переработка» (Нижний Новгород, 2008 г.) к Председателю Правительства РФ В.В. Путину с просьбой о поддержке озимой ржи – святыни России, важнейшей национальной зерновой культуры страны.

Значительные результаты достигнуты учёными по направлению механизация. В институте разработано свыше 26 наименований энергосберегающих технологий, машин и оборудования для механизации растениеводства и животноводства, переработки сельскохозяйственной продукции, новизна которых защищена более 100 авторскими свидетельствами и патентами РФ.

Разработкой конструкторской документации, изготовлением и испытанием экспериментальных образцов новых и усовершенствованием существующих машин и орудий для механизации животноводства и растениеводства, приспособлений к серийным машинам для повышения эффективности их использования, монтажом и испытанием экспериментальных образцов машин и нестандартного оборудования занимается ПКБ института. В сотрудничестве с учеными НИИСХ Северо-Востока и ВГСХА здесь создано более 60 конструкций новых машин и оборудования, свыше 400 индивидуальных проектов линий послеуборочной обработки семян, получено более 20 авторских свидетельств и патентов РФ на изобретения.

Исследования по технологиям возделывания сельскохозяйственных культур по крайне важным для производства вопросам обработки почвы, применению местных фосфоритов, костной муки, навоза, испытанию многолетних трав начались в Институте с 1895 г. В настоящее время разработаны и используются в производстве Концепция развития адаптивного земледелия Кировской области, Методика разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия, Система ведения агропромышленного производства Кировской области на перспективу и др.

Весомым результатом деятельности учёных-технологов стала разработка адаптивно-ландшафтных систем ведения сельского хозяйства для условий региона в целом, а также областей и республик, основными положениями которых является оптимальное соотношение в структуре сельскохозяйственных площадей пашни и кормовых угодий (сенокосов и пастбищ); обеспечение устойчивого роста величины и качества урожая; сохранение и повышение плодородия почв; ресурсоэнергоэкономичность; экологическая надёжность и рентабельность. Внедрение систем земледелия активно осуществляется в хозяйствах области.

Разработка принципов агро-экологического районирования территорий для обоснования размещения сельскохозяйственных культур, корректировка систем земледелия в зависимости от меняющихся климатических условий, конструирование высокопродуктивных, устойчивых

по годам агрофитоценозов и альтернативных систем ведения пастбищ для создания устойчивой кормовой базы животноводства относятся к основным приоритетам данного направления деятельности института.

В особенно трудных условиях находится сейчас животноводство, остро стоит проблема разработки новых экологически безопасных, ресурсосберегающих технологий производства продукции животноводства, освоение которых в сельскохозяйственном производстве обеспечит получение достаточного по объёму и качеству производства продукции. В результате исследований учёными института, на основе естественных субстанций созданы экологически чистые препараты: грамин, гистоген, биоинфузин, колицин Е2 и бактоцеллолактин (БЦЛ), обладающие лечебно-профилактическим и иммуностимулирующим действием на животных, утверждённые департаментом ветеринарии МСХ РФ.

Разработаны лечебно-профилактические мероприятия, базирующиеся на комплексном использовании гормональных, витаминных, тканевых и антиоксидантных препаратов для экстремальных периодов воспроизводства животных. Освоен метод трансплантации эмбрионов крупного рогатого скота для улучшения племенных качеств молочных стад.

Внедрение разработанных в институте новых технологий, ветеринарных препаратов и схем их использования в практику ветеринарной медицины позволит улучшить состояние воспроизводства стада, повысить сохранность молодняка на 15 – 20% и получать экологически безопасную продукцию животноводства.

При расширяющемся импорте генетического материала возникла необходимость более точного, достоверного и надежного прогноза генотипа используемых в стране сельскохозяйственных животных. Результатом исследований в этом направлении стала стратегия развития российской системы генетической оценки животных в XXI веке, компьютерные программы мониторинга имбридинга, сформированная база данных по породам КРС, апробированная система BLUP в областях и республиках Северо-Восточного региона.

Институт является эффективным и динамично развивающимся научным учреждением, имеющим признание не только в России, но и за рубежом. Только за последние пять лет подано 59 заявок на патенты, получено 40 патентов РФ на изобретения и 14 – на селекционные достижения. Передано на Государственное сортоиспытание 15 сортов сельскохозяйственных культур, включено в Госреестр селекционных

достижений по различным регионам РФ – 16. Из года в год растёт международный авторитет НИИСХ Северо-Востока. Осуществляется сотрудничество с научными учреждениями многих стран мира. Особенно тесно институт сотрудничает с КНР. В 2008 г. достигнута договорённость с Управлением науки и техники провинции Цзилнь (КНР) о создании Китайско-Российского научного технопарка по сельскому хозяйству на базе Байченской сельскохозяйственной академии и Северо-Восточного НМЦ Россельхозакадемии, между которыми подписан новый договор о научно-техническом сотрудничестве по проблемам озимой ржи и ярового овса на следующее пятилетие. Подписано соглашение по научно-техническому сотрудничеству на перспективу между Управлением науки и техники (Китай) и институтами СВ НМЦ по вопросам животноводства, ветеринарной медицины, технологий в растениеводстве, картофелеводства и пчеловодства.

Успехи института во многом определяются уровнем научного потенциала, поэтому значительное внимание уделяется подготовке научных кадров. При институте открыта аспирантура по семи специальностям: агрохимия; селекция и семеноводство; технология и средства механизации хозяйства; разведение, селекция, генетика и воспроизводство сельскохозяйственных животных; почвоведение; технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве; общее земледелие. На начало 2009 года в аспирантуре обучается 38 человек. За период 2004 – 2008 гг. защищено 40 диссертаций, в том числе 7 докторских и 33 кандидатских.

ВГУ НИИСХ Северо-Востока функционирует Совет по защите диссертаций на соискание учёной степени доктора (кандидата) технических наук по специальности технологии и средства механизации сельского хозяйства.

Значительная работа осуществляется коллективом НИИСХ по пропаганде и внедрению научных достижений в сельскохозяйственное производство. В институте проходят научные конференции, семинары, совещания специалистов, организуется их учёба. Издаются монографии, рекомендации, брошюры, плакаты, буклеты, сборники научных трудов, материалы конференций др.

Наглядным примером достижений наших учёных является оценка результатов их труда многочисленными наградами, в том числе Государственной премией РФ в области науки и техники (1999 г.), двумя Премиями Кировской области в области науки и техники (2007 и 2008 гг.) и др.

VI ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ» (г. Киров, 25 – 27 ноября 2008 г.)

На протяжении многих лет Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ проводит в ноябре Всероссийские научно-практические школы-конференции, посвященные вопросам экологии. 25–27 ноября 2008 г. в Кирове на базе Вятского государственного гуманитарного университета состоялась очередная VI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития». Конференция была проведена при поддержке Управления охраны окружающей среды и природопользования Кировской области, Международного и Российского Зелёного Креста, Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного гуманитарного университета.

В работе конференции приняли участие 297 человек, из них 42 – из других городов России (Сыктывкара, Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Саратова, Тулы, Пущино, Пензы, Самары, Кургана, Чебоксаров, Перми, Тюмени, Иркутска, Новосибирска). Традиционно среди участников конференции наиболее многочисленной была делегация сотрудников Института биологии Коми НЦ УрО РАН. В конференции приняли участие 20 докторов наук, 70 кандидатов наук разных специальностей, 35 аспирантов, 30 научных сотрудников, 40 учителей и 102 студента.

В работе конференции приняли участие представители академических институтов, образовательных учреждений, природоохранных служб: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Институт леса КарНЦ РАН, Институт географии РАН, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Зональный НИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого РАСХН, Агрофизический НИИ РАСХН, НИИ Охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова, Вятский государственный гуманитарный университет, Вятский государственный университет, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Курганский государственный университет, Пермский государственный университет, Самарский государственный университет, Государственный

природный заповедник «Нургуш», Новосибирский государственный аграрный университет, Тульский государственный университет, Пущинский государственный университет, Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, ГосНИИ промышленной экологии, Филиал Российского государственного социального университета в г. Чебоксары, Сыктывкарский государственный университет, Кировская Государственная медицинская академия Росздрава, Казанская государственная медицинская академия Росздрава, Кировский городской зоологический музей, Кировский филиал ФГУ «Камуралрыбвод», Ростехнадзор, Росприроднадзор.

Открытие конференции состоялось 25 ноября 2008 г. С приветствием к участникам конференции обратились проректор Вятского государственного гуманитарного университета А.И. Богданов, начальник Управления охраны окружающей среды и природопользования Кировской области А.В. Албегова, руководитель Управления Росприроднадзора по Кировской области И.М. Гизатуллин, руководитель Управления по технологическому и экологическому надзору по Кировской области Ю.А. Семеновых, начальник Управления Конвенциональных проблем администрации Правительства Кировской области М.Г. Манин.

С докладами на **пленарном заседании** выступили д.м.н. А.М. Карпов «Проблемы ментальной экологии в современном обществе» (Казанская государственная медицинская академия Росздрава), д.б.н. М.М. Долгин «Энтомологические исследования на европейском Северо-Востоке России: состояние и перспективы» (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар), д.б.н. Е.И. Тихомирова «Иммунологические аспекты экологии живых организмов» (Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского), Е. В. Рыбников «Экологические аспекты социальной ответственности бизнеса на примере энергетики Кировской области» (ОАО «ТГК–5», г. Киров).

Работа конференции включала **7 секций, 3 семинара**: «Здоровье и окружающая среда», «Роль образовательных учреждений Оричевского и Котельничского районов в формировании экологической культуры населения», «Выпускаем экологическую газету» и **открытую лекцию** «Современные клеточные технологии. Стволовые клетки – путь

к бессмертию», прочитанную д.б.н., профессором Е.И. Тихомировой, которая вызвала большой интерес и оживлённую дискуссию участников конференции и студентов ВятГГУ.

Секция 1. Проблемы сохранения биоразнообразия растительного мира (председатели – д.б.н. Н.П. Савиных, д.б.н. А.И. Видякин). На секции присутствовали 17 человек из Самары, Сыктывкара, Петрозаводска, Кирова, было представлено 14 докладов. Доклады были посвящены изучению биоразнообразия лесных систем, состояния и перспектив развития сети особо охраняемых природных территорий, проблем сохранения фитоценозов в условиях загрязнения окружающей среды.

Секция 2. Проблемы сохранения биоразнообразия животного мира (председатели – д.б.н. М.М. Долгин, в.н.с. Л.Г. Целищева). В работе секции приняли участие 18 человек из разных организаций: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск), Государственный природный заповедник «Нургуш» (Киров), Кировский городской зоологический музей, Вятский государственный гуманитарный университет, Вятская государственная сельскохозяйственная академия. Как и в предыдущие годы, большинство докладов было посвящено изучению энтомофауны Республики Коми и Кировской области, особо охраняемых природных территорий и фауны позвоночных животных.

Секция 3. Экология микроорганизмов и их адаптации к средам обитания (председатели – д.б.н. Л.И. Домрачева, к.б.н. Л.В. Кондакова, д.б.н. И.Г. Широких).

На секции присутствовали 17 человек из Новосибирска, Кургана, Сыктывкара, Кирова.

Было представлено 12 докладов, посвящённых изучению микробного комплекса почв и его изменению в условиях химического загрязнения, разработке методов оценки токсичности природных сред с помощью микроорганизмов, применению биопрепаратов для биоконверсии отходов и рекультивации химически загрязнённых почв.

Секция 4. Экологический мониторинг природных сред и объектов (председатели – к.б.н. Е.А. Домнина, к.т.н. В.М. Тимонюк). В работе секции приняли участие 29 человек из Санкт-Петербурга, Иркутска, Кургана, Челябинска, Сыктывкара, Кургана, Кирова. На секции было заслушано 16 устных докладов и представлено 4 стендовых. Тематика докладов была разнообразной: проблемы загрязнения атмосферы, в том числе парниковыми газами; вопросы динамики экосистем; реакции растений на стрессовые факторы и способы их снижения; вопросы эффективности природоохранных мероприятий и нормирования.

Секция 5. Промышленная экология. Экология урбанизированных территорий (председатели – к.х.н. А.М. Слободчиков, к.б.н. С.Г. Скугорева). Секция была одной из самых многочисленных, в её работе приняли участие 43 человека из Тульского государственного университета, Пушкинского государственного университета, Института фундаментальных проблем биологии РАН (Пушино), Института биологии Коми НЦ УрО РАН, Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, Вятского государственного гуманитарного университета, Вятской государственной сельскохозяйственной академии. Тематика представленных докладов была разнообразной: экологические аспекты разработки торфяных месторождений; проблемы природопользования на промышленных предприятиях; технологии очистки промышленных выбросов и сбросов от токсичных компонентов; приёмы разложения твёрдых отходов; разработка экспресс-методов определения загрязнения воды.

Секция 6. Экологическая безопасность регионов (председатели – д.т.н. Т. Я. Ашихмина, д.б.н. Е.И. Тихомирова).

Работа данной секции началась с форум-диалога «Вятская земля без химического оружия», на котором шло обсуждение вопросов, связанных с функционированием объекта уничтожения химического оружия в Кировской области. На вопросы аудитории отвечали начальник Управления конвенционных проблем администрации Правительства Кировской области М.Г. Манин, представители завода: главный инженер 1205 объекта ХУХО Н.М. Чикишев, начальник отдела охраны окружающей среды 1205 объекта ХУХО С. В. Боровой, руководитель группы по работе и связям с общественностью 1205 ХУХО В.А. Фёдоров. На форум-диалоге присутствовали практически все участники конференции, задавали интересующие вопросы по проблеме уничтожения химического оружия.

В работе секции приняли участие 32 человека из городов: Саратов, Курган, Пенза, Самара, Сыктывкар, Киров. Тематика докладов, представленных на секции, была посвящена вопросам обеспечения экологической безопасности при функционировании объектов уничтожения химического оружия на территории России. Обсуждались вопросы разработки и аттестации новых методик биоиндикации и биотестирования, состояния природных сред вблизи объектов уничтожения химического оружия.

Секция 7. Здоровье и окружающая среда (председатель – к.б.н. Г.А. Воронина). Секция вызвала большой интерес у участников конференции, в ней приняло участие 75 человек из Москвы, Казани, Кургана, Пензы, Сыктывкара, Кирова. Тематика докладов была разнообразной: здоровье

дошкольников, школьников и студентов; влияние антропогенных факторов на здоровье; оценка качества продуктов питания; использование здоровьесберегающих технологий в учебном процессе.

Секция 8. Экологическое образование для устойчивого развития (председатели – к.п.н. Е.В. Береснева, В.М. Рябов). Данная секция является традиционной для конференции и ежегодно собирает учителей естественно-научного цикла. На секции присутствовало 26 человек: преподаватели Вятского государственного гуманитарного университета, Кировского института повышения квалификации переподготовки учителей, учителя школ г. Кирова и области, представители природоохранных служб, сотрудники Государственного природного заповедника «Нургуш», педагоги Областной станции юных туристов (г. Пенза). Всего на секции было заслушано 8 устных докладов, представлено 5 стендовых докладов. Доклады были посвящены вопросам: экологического образования в дошкольных учреждениях, школе; дополнительного экологического образования; участия природоохранных служб в экологическом образовании населения.

На конференцию поступило 340 материалов из многих регионов России, Украины и Белоруссии, что позволило придать статус Всероссийской

конференции с международным участием. По материалам Всероссийской научной школы издан 6-й выпуск сборника «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития» в двух частях объёмом 896 стр. (56 п.л.).

На заключительном заседании участники конференции отметили высокий уровень представленных на секциях докладов, качественные презентации, активность молодых учёных, аспирантов. Было отмечено, что для многих учёных конференция даёт возможность приобрести новые и укрепить прежние контакты, обсудить широкий круг вопросов от экосистемного до субклеточного уровня, наметить направления совместных исследований, обменяться опытом, переосмыслить многие аспекты научной и природоохранной деятельности в области экологии. Участники конференции отметили, что с каждым годом количество материалов увеличивается и тематика докладов становится более разнообразной.

*Т.Я. Ашихмина, д.т.н.,
председатель Оргкомитета конференции
С.Ю. Огородникова, к.б.н.,
отв. секретарь конференции*

БИОИНДИКАТОРЫ И БИОТЕСТСИСТЕМЫ В ОЦЕНКЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

(коллективная монография под редакцией

Т.Я. Ашихминой, Н.М. Алалыкиной)

Киров: О-Краткое, 2008. – 336 с.

Как следует из названия рецензируемой книги, она содержит материалы, посвящённые применению методов биоиндикации и биотестирования для оценки состояния окружающей среды.

В книге 3 главы: «Место и роль биологического мониторинга», «Научно-методическое обеспечение системы биологического мониторинга» и «Компьютерная обработка данных биомониторинга».

К работе над монографией привлечён широкий круг исследователей: экологов, геоэкологов, ботаников, зоологов, микробиологов, альгологов, почвоведов, химиков, физиков, инженеров.

Глава 1 «Место и роль биологического мониторинга» включает 4 раздела, авторами которой являются Т.Я. Ашихмина и Н.М. Алалыкина. В разделе

«Биологический мониторинг - составная часть экологического мониторинга» приводятся определения основных понятий, раскрываются главные этапы биомониторинга и принципы его организации. В разделе «Биоиндикация и биотестирование – методические направления биомониторинга качества природных сред и объектов» показано, что основой использования методов биоиндикации и биотестирования для оценки состояния окружающей среды является высокая чувствительность отдельных групп организмов к антропогенному загрязнению, вследствие чего организмы-биоиндикаторы и организмы-биотестеры могут служить показателями загрязнений. Приводится перечень официально утверждённых методик контроля и мониторинга.

В разделе «Методология биоиндикации и биотестирования и основные подходы к ним (морфологический, генетический, физиологический, биохимический, иммунологический, системный) приводится краткая характеристика основных подходов биотестирования и биоиндикации. В разделе «Понятие о видах биоиндикации» даётся критический разбор таких приёмов, как фитоиндикация, альгоиндикация (использование водорослей), бриоиндикация (использование мхов), лишеноиндикация (индикация по лишайникам). Приведены особенности использования в биомониторинге отдельных групп организмов: грибов, сосудистых растений, пыльцы, микробных комплексов, почвенных беспозвоночных (простейших, червей, моллюсков, членистоногих), а также позвоночных животных.

Основной объём книги занимает глава 2 «Научно-методическое обеспечение системы биологического мониторинга», включающая 5 разделов. В главе преимущественно представлены методики и методы, разработанные и применяемые авторами монографии, а также анализ полученных результатов. В разделе «Биоиндикация атмосферного воздуха» (Е.А. Домнина, Л.В. Кондакова, Г.Я. Кантор, В.М. Тимонюк) описаны изменения физико-биохимических показателей у лишайников, в частности, снижение интенсивности фотосинтеза и дыхания в районе Кирово-Чепецкого химического комбината. Отмечено также повышение количества общего и белкового азота при слабом и среднем уровне загрязнения атмосферы, а также аккумуляция аммиака в слоевищах лишайников по мере усиления загрязнения.

Исследования, проведённые с 1998-го по 2008 г., показали, что достаточно информативным и доступным методом оценки состояния среды является палинологический анализ (с помощью пыльцы). Авторы выявили показатели, характеризующие процент доброкачественной пыльцы в контрольных условиях (незагрязнённые районы) и при загрязнении у разных видов древесных растений. Доказано, что высокий уровень абортивной пыльцы говорит о высокой степени антропогенного воздействия на данной территории.

В разделе «Биомониторинг почв» (авторы Е.В. Даббах, Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, А.И. Фокина, С.Ю. Огородникова, Г.Я. Кантор, И.Г. Широких, Т.И. Кочурова, И.В. Панфилова, Н.О. Шулятьева, А.С. Олькова, Н.В. Бородин, С.Г. Скугорева) подчёркивается важность изучения качественного, количественного и группового состава микробиоты: водорослей, цианобактерий, актиномицетов, грибов-микромикотомов и высших растений, а также фототрофных микробных сообществ в целом. Сравниваются различные методы оценки состояния

почвы. Показаны направления использования альгофлоры (водорослей и цианобактерий) не только в целях биоиндикации, но и для проведения биоремедиационных мероприятий, таких как биоконтроль за развитием паразитарных микроорганизмов, детоксикация поллютантов, структурообразование и накопление «биологического» азота. Описан принцип метода группового анализа поверхностных разрастаний почвы при её «цветении» для оценки состояния агроэкосистем при различных уровнях внесения минеральных удобрений.

Применение микологического анализа позволяет по соотношению популяций с пигментированным и бесцветным мицелием диагностировать уровень загрязнения почвы. Наличие в структуре популяций более 50% меланизированных грибов является сигналом о возможном загрязнении.

О неблагоприятии почвы может свидетельствовать и такое явление, как образование специфических микробных комплексов, например, особенно опасны для высших растений в загрязнённых почвах фузариозно-нематодные комплексы.

Впервые в практике биоиндикационных работ оценено состояние различных групп организмов в реальной обстановке с использованием геоинформационных систем.

При описании методов биотестирования подчёркивается, что с помощью организмов можно найти эффективные приёмы ограничения массового размножения фитопатогенов, в то же время чувствительность этих организмов позволяет быстро и дёшево установить химическое или биологическое неблагоприятие исследуемых экосистем.

Авторской разработкой является применение тетразолю-топографического метода определения жизнеспособности цианобактерий по их дегидрогеназной активности. Метод успешно опробован при определении токсичности различных тяжёлых металлов и фосфорорганических соединений.

Раздел также содержит материалы, которые позволяют оценить биоиндикационное значение комплексов актиномицетов в почвах. Анализ особенностей состава и структуры актиномицетного комплекса показал, что адаптационная способность данного микробного сообщества к различным хемогенным нагрузкам довольно велика. В целом специфическая структура комплекса актиномицетов является показателем изменений в микробной системе почв, происходящих в процессе их хозяйственной эксплуатации (сельскохозяйственное использование с применением минеральных и органических удобрений, средств химической защиты растений и мелиоративных мероприятий).

Одним из методов оценки экологического состояния почвы, который применялся авторами книги, был метод биотестирования почв с использованием

дафний, помещаемых в водную вытяжку почвы. Критерий токсичности – степень гибели рачков.

Совокупность применяемых приёмов использовалась для оценки состояния почвы в различных исследуемых районах. Так, большое внимание было уделено систематически проводимым процессам биоиндикации и биотестирования в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия Марадьковский.

В разделе «Гидробиологический мониторинг» (Т.И. Кочурова, Н.Н. Ходырев, И.В. Панфилова, Н.В. Бородина, Н.А. Шулятьева, Н.В. Сарканич) подробно описываются водные объекты, подвергшиеся оценке на загрязнённых территориях и на территории заповедника «Нургуш», которые рассматриваются как эталонные. В качестве тест-организмов используются нематоды, дафнии, одноклеточная зелёная водоросль хлорелла, инфузории и тест-система «Эколюм».

Раздел «Мониторинг растительного мира» (А.И. Видякин, С.Г. Скугорева, Н.В. Бородина, С.В. Пестов) содержит сведения, указывающие на возможность использования в оценке состояния окружающей среды таких макрообъектов, как сона обыкновенная и некоторые культурные растения (пелюшка, кресс-салат, салат, ячмень). Выявлена разная чувствительность изученных растений к различным токсикантам. Особый акцент в разделе сделан на системе биомониторинга растительного покрова в районах строительства объектов уничтожения химического оружия. Показано, что очень информативным признаком состояния древесных насаждений является их поражение фито- и энтомовредителями.

В разделе «Мониторинг животного мира» (Н.М. Алалыкина, Л.Г. Целищева, С.В. Пестов) в соответствии с квалификацией и подготовкой авторов раздела приведены примеры изучения на предмет биоиндикации почвенных нематод, жуужелиц, хортобионтов (насекомых, обитающих в травянистом ярусе биоценоза). Предлагается для оценки параметров сообществ насекомых использовать разнообразные критерии и индексы (число видов, относительное обилие таксонов, индексы Маргалефа и Менхиника, соотношение трофических групп и т. п.

Монография завершается главой 3 «Компьютерная обработка данных биомониторинга» (Г.Я. Кантор). В главе описаны простейшие приёмы

статистической обработки данных, получаемых при проведении биологического мониторинга, без которых ни одно исследование, связанное с получением количественных оценок, не может считаться полноценным. Приведены примеры использования методов статистических оценок, которые вполне выполнимы с применением стандартных программ на каждом персональном компьютере. Показана возможность компьютерного определения характера распределений биологических объектов в пространстве, вычисление критерия Стьюдента, средних значений, дисперсий, точности оценки среднего, доверительный интервал, корреляции и т. д. Указано, что информационное обеспечение биологического мониторинга находится в самом начале своего становления.

Необходимость написания данной книги во многом обусловлена тем, что, несмотря на важность и необходимость проведения биологического мониторинга в условиях постоянно ухудшающегося состояния окружающей среды, применение методов биоиндикации и биотестирования в практике охраны окружающей среды пока сдерживается слабой проработкой нормативной базы. Если реестр аттестованных методик химического анализа исчисляется сотнями, то перечень методов биотестирования – единицами, а биоиндикация как метод мониторинга вообще не имеет нормативного обеспечения. Настоящая монография вносит определённый вклад в это важное дело – разработку биологических методов экологического мониторинга для комплексной оценки состояния окружающей среды, и прежде всего – на территориях с высокой техногенной нагрузкой. Ценность изданию дополнительно придают тщательно прописанные методики всех выполняемых исследований.

Приложения содержат перечень показателей оценки качества объектов природной среды, рекомендуемый в целях биомониторинга и биотестирования, а также подробную характеристику отдельных видов-индикаторов. Список литературы насчитывает 386 источников.

*Г.П. Дудин, заслуженный деятель науки РФ,
доктор биологических наук, профессор,
проректор по научной работе Вятской ГСХА*