

Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

№ 1, 2011

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

Журнал издаётся при поддержке ФГУ Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии

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

Подписные индексы 82027, 48482 в каталоге Агентства «Роспечать»

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

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

Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Редакция не несёт ответственности за достоверность информации, содержащейся в рекламных объявлениях

Подготовлен к печати в издательстве ООО «О-Краткое» 610000, г. Киров, Динамовский проезд, 4, оф. 3

Тел./факс (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru
Оригинал-макет, дизайн – Татьяна Коршунова, Ирина Макарова

Фото на обложке – Александр Широких, Юрий Букин
Перевод – Ирина Кондакова

Выпускающий редактор – Мария Зелаева
Директор издательства «О-Краткое» Евгений Дрогов

Подписано в печать 20.03.2011. Формат 60x84¹/₈. Печать офс. Бумага офс. Усл.п.л. 12,5. Тираж 1150 экз. Заказ № 1809.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных материалов в ООО «Кировская областная типография» 610000, г. Киров, Динамовский проезд, 4

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННЫХ СОВЕТОВ

Н.П. Лавёров

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

ПРЕЗИДИУМ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

В.А. Грачёв

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

В.И. Холстов

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

В.Н. Чупис

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

В.Г. Ильницкий

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

В.А. Алексеев

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

В.А. Антонов

С.И. Барановский

д.т.н., профессор, академик РЭА, заместитель председателя Общественного Совета «Росатома», председатель Российского экологического конгресса

Л.И. Домрачева

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

Г.П. Дудин

д.б.н., профессор, директор Центра инноваций Вятской государственной сельскохозяйственной академии

И.А. Жуйкова

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

Л.Л. Журавлёва

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

Г.М. Зенова

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

В.И. Измалков

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

Г.Я. Кантор

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

Б.И. Кочуров

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

Н.А. Киреева

д.б.н., профессор Башкирского государственного университета

В.З. Латыпова

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

Ли Юй

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

В.А. Малинников

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

А.Г. Назаров

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

А.Ф. Радченко

директор экологического центра ИИЕТ РАН
руководитель Аппарата ФГУ Общественная палата (вице-президент ООП «Экосфера»)

В.П. Савиных

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

В.А. Сысуев

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

В.И. Теличенко

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

Т.А. Трифонова

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

А.И. Фокин

зам. председателя Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии

В. П. Шаповров

д.т.н., профессор Национального технического университета «Харьковский промышленный институт»

В.Т. Юнглебод

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

О.В. Яковенко

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

По вопросам размещения рекламы и публикации статей обращаться:

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ	<i>Д. Г. Звягинцев, Г. М. Зенова, Т. А. Грачёва, А. И. Курапова, М. С. Дуброва</i> Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов, обусловленное температурными адаптациями мицелиальных актинобактерий4
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ	<i>В. А. Оборин, Е. В. Пименов, А. Г. Ивонин</i> Сравнительный анализ информативности методов определения бактериофиксирующей активности эритроцитов24 <i>В. И. Жаворонков, В. Ю. Захаров, Е. Н. Резник, Д. В. Сабашный</i> Методы электронной оптики для изучения результатов воздействия антропогенных факторов на биологические объекты29
МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	<i>С. Г. Скугорева, Т. А. Адамович, Г. Я. Кантор, В. П. Савиных, Т. Я. Ашихмина, А. В. Измestьева</i> Оценка степени загрязнения снегового покрова в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината31 <i>Н. А. Мингалева, С. В. Пестов</i> Оценка состояния тополевых насаждений города Сыктывкара37
ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД И ОБЪЕКТОВ	<i>С. Е. Сиротский, Н. П. Чижикова, Г. В. Харитонова, А. С. Манучаров, Н. С. Коновалова, Е. В. Уткина</i> Донные отложения реки Амур44 <i>А. С. Матушкин, А. М. Прокашев</i> Структура и картографирование дюнно-карстовых ландшафтов зандровых равнин Вятско-Камского Предуралья53 <i>Е. А. Хайрулина, Е. М. Никифорова, Е. А. Ворончихина</i> Влияние регионального переноса загрязнителей на трансформацию биогеохимических параметров горнотаёжных ландшафтов61
ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ	<i>А. И. Фокина, С. С. Злобин, Г. И. Березин, Ю. Н. Зыкова, С. Ю. Огородникова, Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина, Е. А. Горностаева</i> Состояние цианобактерии <i>Nostoc linckia</i> в условиях загрязнения среды никелем и нефтепродуктами и перспективы её использования в качестве биосорбента69
ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА	<i>С. В. Хитрин, С. Л. Фукс, С. В. Девятерикова, В. Ю. Захаров, С. Н. Родников</i> Экологические проблемы переработки отходов фторопластов76
АГРОЭКОЛОГИЯ	<i>Л. В. Кондакова</i> Альгоиндикационная характеристика минеральных гидроморфных почв80 <i>М. А. Каниськин, А. А. Изосимов, В. А. Терехова, О. С. Якименко, М. А. Пукальчик</i> Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом86
РЕМЕДИАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ	<i>И. А. Лиханова, И. Б. Арчегова</i> Оптимизация приёмов природовосстановления нарушенных земель на севере таёжной зоны94
ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ	<i>С. П. Ашихмин, И. А. Редькин, О. Б. Жданова, П. Г. Распутин, Л. Р. Мутшвили, Е. С. Клюкина</i> Эколого-биологические и лечебно-диагностические аспекты альвеококкоза101
ХРОНИКА	Симпозиум «Биологически активные вещества микроорганизмов: прошлое, настоящее и будущее»105 Слово о болотах108

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS of ECOLOGY	<i>D. G. Zvyagintsev, G. M. Zenova, T. A. Grachova, A. I. Kurapova, M. S. Dubrova</i> Diversity of soil actinomycetes complexes conditioned by mycelial actinobacteria temperature adaptations4
METHODOLOGY And METHODS of RESEARCH. MODELS And FORECASTS	<i>V. A. Oborin, E. V. Pimenov, A. G. Ivonin</i> Comparative informativity analysis of methods of erythrocytes' bacteria-fixing activity definition24 <i>V. I. Zhavoronkov, V. Yu. Zakharov, E. N. Reznik, D.V. Sabashniy</i> Electronic optics methods of studying the results of anthropogenic impact on biological objects29
MONITORING of ANTHROPOGENICALLY DAMAGED TERRITORIES	<i>S. G. Skugoreva, T. A. Adamovich, G. Ya. Kantor, V. P. Savinikh, T. Ya. Ashikhmina, A.V. Izmestyeva</i> Evaluating snow cover pollution within the Kirovo-Chepetsk chemical plant31 <i>N. A. Mingaleva, S. V. Pestov</i> Evaluating the state of poplar trees in Syktyvkar37
CHEMISTRY of NATURAL ENVIRONMENT And OBJECTS	<i>S. E. Sirotsky, N. P. Chizhikova, G. V. Kharitonova, A. S. Manucharov, N. S. Konovalova, E. V. Utkina</i> The Amur River bottom Sediments44 <i>A. S. Matushkin, A. M. Prokashev</i> The dune-karst landscapes structure and mapping of sandy plains of Vyatka-Kama Pre-Ural53 <i>E. A. Khayrulina, E. M. Nikiforova, E. A. Voronchihina</i> Transboundary pollution impact on biogeochemical transformation of taiga-mountain landscapes61
ECOTOXICOLOGY	<i>A. I. Fokina, S. S. Zlobin, G. I. Berezin, Yu. N. Zikova, S. Yu. Ogorodnikova, L. I. Domracheva, A. L. Kovina, E. A. Gornostayeva</i> The state of the cyanobacteria <i>Nostoc linckia</i> in conditions of the environment polluted with nickel and oil products and the prospect of utilizing it as bio-sorbent69
INDUSTRY ECOLOGY	<i>S. V. Khitrin, S. L. Fuchs, S. V. Devyaterikova, V. Yu. Zakharov, S. N. Rodnikov</i> Ecological problems of utilizing fluoroplastic wastes76
AGRICULTURAL ECOLOGY	<i>L. V. Kondakova</i> Algoindication characteristics of mineral hydromorphic soils80 <i>M. A. Kanis'kin, A. A. Izosimov, V. A. Terekhova, O. S. Yakimenko, M. A. Pukalchik</i> The influence of humic products on bioactivity of soils with phosphogypsum86
REMIADIATON AND RECULTIVATION	<i>I. A. Likhanova, I. B. Archegova</i> Optimization of nature-restoration methods in far north taiga zone94
ECOLOGY of POPULATIONS	<i>S. P. Ashikhmin, I. A. Redkin, O. B. Zhdanova, P. G. Rasputin, L. R. Mutoshvili, E. S. Klukina</i> Ecological-biological and medical diagnostic aspects of alveococcosis101
CHRONICLE	Conference «Biologically active substances of microorganzms: post, presents auf future»105 Report on bogs108

УДК 631.46

**Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов,
обусловленное температурными адаптациями
мицелиальных актинобактерий**

© 2011. Д. Г. Звягинцев, д.б.н., профессор, Г. М. Зенова, д.б.н., профессор,
Т. А. Грачёва, к.б.н., м.н.с., А. И. Курапова, аспирант, М. С. Дуброва, аспирант,
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
e-mail: manucharova@mail.ru

В обзоре обсуждаются вопросы специфики разнообразия актиномицетных комплексов разных типов почв в связи с температурными адаптациями мицелиальных прокариот. Анализируются работы, посвящённые механизмам адаптаций мицелиальных актинобактерий к высоким и низким температурам. Температурные адаптации мицелиальных актинобактерий создают возможность сохранения актиномицетного разнообразия почв, различных по температурным режимам.

The review considers questions of specificity of actinomycetes complexes diversity in different soil types in connection with mycelial prokaryotes temperature adaptation. The works dedicated to mechanisms of mycelia actynobacteria adaptation to high and low temperature are analysed. Temperature adaptation of mycelialn actynobacteria helps to keep actinomycetes diversity in soils different in temperature regimes.

Ключевые слов: актиномицеты, температурные адаптации,
пустынные почвы, почвы тундры и тайги

Key words: Actinomycetes, temperature adaptation,
desert soil, tundra and taiga soils

Исследование закономерностей действия температурного фактора на активность жизнедеятельности микробных популяций имеет важное значение с теоретической и практической точек зрения. Теоретически представляют интерес механизмы температурных адаптаций. С практической точки зрения важно знать, например, как адаптации к температуре влияют на интенсивность микробного дыхания, в ходе которого выделяется углекислый газ. CO₂ является одним из «парниковых газов», изменение концентрации которых приводит к общему изменению климата. Предполагается, что дыхание почвы существенно превосходит антропогенные промышленные выбросы. Поэтому актуальна проблема зависимости от температуры функциональной активности микробного населения почвы, в число которого входят грамположительные мицелиальные бактерии – актиномицеты.

Своеобразие почвы как трёхфазной природной системы, характеризующейся исключительным разнообразием экологических условий, обуславливает представление о почве как множестве сред обитания. Применительно к миру микроорганизмов понятие о почве

как множестве сред обитания микроорганизмов введено Д. Г. Звягинцевым [1].

**Температурные границы
роста микроорганизмов**

Для микроорганизмов существуют значения температуры, которые в определённых условиях будут являться минимальными, оптимальными и максимальными. В зависимости от их значений микроорганизмы принято делить на четыре группы – мезофилы, психрофилы, термофилы и экстремотермофилы. Оптимальная температура для роста мезофилов (к ним относится большинство прокариот) – 20–40°C. Термотолерантные виды способны выживать при температуре до 50°C. Строгие термофилы растут при 70°C, экстремальные термофилы – до 120°C. Для психрофилов температурный оптимум не превышает 20°C, и при кратковременном нагревании до комнатной температуры строгие психрофильные организмы погибают [2].

Исследования термоадаптаций мезофильных и термофильных бактерий [3] подтвердили условность границы между термофилами

и мезофилами. Показано, что существуют два типа ферментов: термостабильные, присущие термофильному типу метаболизма, и термолабильные, соответствующие мезофильному типу метаболизма. В зависимости от условий среды соотношение этих ферментов в клетке может изменяться. Очевидно, термоадаптации микроорганизмов коррелируют с физиологическими и природными условиями обитания данного вида. Например, экстремальный термофил *Bacillus caldotenax*, выделенный из термального источника при температуре 93°C, имеет широкий диапазон роста 30–80°C и адаптируется к изменениям температуры в этих пределах без предварительной инкубации в более оптимальных условиях, в то время как умеренный термофил *B. stearothermophilus*, выделенный из почвы, где колебания температур незначительны, при резкой смене температуры без предварительной инкубации при переходной температуре растёт менее интенсивно [3].

От температуры зависит скорость биохимических реакций, составляющих обмен веществ. Коэффициент, показывающий, во сколько раз изменяется скорость химической реакции при изменении температуры на 10°C, обозначают Q10. По закону Вант-Гоффа для большинства химических и биохимических реакций он равен 2-3. Изменения температуры также приводят к изменениям стехиометрической специфичности макромолекул: третичной и четвертичной структуры белков, строения нуклеиновых кислот, организации мембран и других структур клетки. Так как величина Q10 различна для разных биохимических реакций, то изменения температуры могут сильно нарушить сбалансированность обмена веществ, если скорости сопряжённых процессов изменяются различным образом [2]. Сильное понижение температуры может вызвать такое замедление обмена веществ, при котором невозможно осуществление основных жизненно важных функций организма. Критический момент – замерзание воды в клетках с образованием кристалликов льда, нарушающих целостность внутриклеточных структур. Повышение температуры ведёт к денатурации белков, в среднем в области около 60°C, но рассогласование биохимических и физиологических процессов начинается раньше, в области 42–43°C.

Излишнее усиление метаболизма также может вывести организм из строя еще до теплового разрушения ферментов, так как резко возрастает потребность организма в пита-

тельных веществах, которая не всегда может быть удовлетворена. В среднем активная жизнедеятельность организмов ограничена критическими порогами замерзания воды и тепловой денатурации белков, примерно в пределах от 0 до +50°C. Соответственно границы оптимальных температур должны быть ещё уже, но реально эти границы преодолеваются у многих видов за счёт специфических адаптаций.

Существуют экологические группы организмов, оптимум которых сдвинут в сторону низких (криофилы) или высоких (термофилы) температур. Свыше 80% земной биосферы относится к постоянно холодным областям с температурой ниже +5°C [4] – это глубины Мирового океана, арктические и антарктические пустыни, тундры, высокогорья.

Ферменты холодостойких организмов имеют строение, которое позволяет снижать энергию активации молекул и поддерживать клеточный метаболизм при соответствующих температурах [5, 6]. Большую роль играют механизмы, предотвращающие образование льда в клетках. При этом реализуются два основных пути – резистентность (противостояние замерзанию) и толерантность (устойчивость к замерзанию). Биохимически резистентность реализуется через накопление антифризов – макромолекулярных веществ, которые понижают точку замерзания жидкостей в организме. Выносливость же к замерзанию связана с временным прекращением активного состояния. У многих криофилов это реализуется через накопление защитных органических веществ (глицерина, сорбита, маннита и других), которые препятствуют кристаллизации внутриклеточных растворов (образование льда происходит во внеклеточных жидкостях) и позволяют переживать критические морозные периоды в состоянии оцепенения.

Микробный рост возможен в широком интервале температур с пределами от -20°C (в солевых «венах» морских льдов Арктики и Антарктики) и выше 100°C (например, при 113°C способны расти археи *Pyrolobus fumari*) [6]. Психротолерантные микроорганизмы способны выживать при температурах ниже 20°C. Термофилы растут при температуре до 70°C (например, в гниющем навозе), а при значениях выше 70°C (зоны вулканической активности в океане – «чёрные курильщики») растут так называемые экстремальные термофилы или гипертермофилы.

По максимальным температурам роста микелиальные бактерии (актиномицеты) занимают «нижнее» положение среди прокариот,

располагаясь ниже цианобактерий и примыкая к эукариотам – грибам. В большинстве своем актиномицеты мезофилы [7 – 9]. Их отношение к температурам различно в пределах одного рода. Например, почти все виды рода *Microbispora* способны расти при 25°C, за исключением видов *M. thermodiastatica* и *M. thermorosea*, развивающихся при 55°C, но не способных к росту уже при 17°C [10].

В ограниченном интервале температур (21–37°C) кривая роста бактерий описывается уравнением Аррениуса. В этом нормальном диапазоне температур клеткам не требуются особые механизмы терморегуляции. У большинства бактерий в этом диапазоне температурный коэффициент равен 2, что соответствует влиянию температуры на скорость многих химических реакций, причём без изменения физиологического состояния бактерий, но с изменением активности ферментов [2]. Скорость роста снижается медленно при понижении температуры, а при повышении температуры вскоре после достижения наивысшей скорости роста наступает гибель клеток при максимальной температуре [11].

Значительные сдвиги температуры (на 20°C и больше) вызывают временную остановку роста, после которой возобновляется нормальный экспоненциальный рост, соответствующий данной температуре. Резкое изменение температуры среды от нормальной до экстремальной (например, путём быстрого охлаждения до 4°C или нагревания до 54°C) может вызвать повреждение клеток. Вероятно, это происходит из-за изменения проницаемости мембраны (теряются растворённые вещества, нарушаются барьерные функции). Чувствительность к изменениям температуры зависит от влажности среды и от физиологического состояния культуры (в стационарной фазе роста клетки менее чувствительны, чем в фазе активного роста) [2].

Адаптация микроорганизмов к температуре

У организмов, приспособленных к обитанию в высокотемпературных условиях, белки и мембранные системы в этих условиях способны нормально функционировать. У некоторых термофильных микроорганизмов при температуре более 80°C предположительно нарушается протонный перенос на мембране из-за повышения её проницаемости для протонов, и термофилы переключаются на другой механизм энергетического сопряжения – с участием вместо протона Na⁺, проницаемость

мембраны для которого мало зависит от действия высокой температуры. В свою очередь проницаемость мембраны зависит от текучести билипидного слоя мембраны. Относительное постоянство вязкости этого слоя контролируется составом липидов, который и изменяется при изменении температуры. Это не удивительно, так как все метаболические и структурные системы бактериальной клетки зависят от структуры и активности липидов и протеинов [4]. При низкой температуре в состав липидов включаются короткоцепочечные и ненасыщенные жирные кислоты, при высокой – наоборот, насыщенные длинноцепочечные [2]. Насыщенные кислоты имеют более высокую точку плавления по сравнению с ненасыщенными [12], а ненасыщенные жирные кислоты позволяют мембранам находиться в функционально активном жидкостно-кристаллическом состоянии при низких температурах. Это составляет обязательное условие для продолжения роста. Таким образом, при изменении температурных условий изменяется степень насыщенности, разветвлённости, длины цепи и цикличности жирных кислот [13].

Изменения в липидном составе обычно не требуют синтеза новых ферментов, т. к. активность ферментов биосинтеза фосфолипидов регулируется температурой. Устойчивость термостабильных ферментов проявляется в том, что фермент не теряет своей активности по достижении очень высокой температуры, при которой белок нетермофильных организмов денатурирует. Это достигается за счёт особой комбинации небольшого числа дополнительных связей в термостабильном ферменте [2]. В транспортных и рибосомных РНК термофилов повышено содержание гуанина и цитозина, которые более устойчивы, чем аденин и урацил. У термотолерантных актиномицетов также выработаны специальные приспособления, позволяющие им расти при высоких температурах. Так у *Saccharomonospora xinjinagenensis*, растущей при 45–50°C, был обнаружен необычный тип фосфолипидов [14]. Существуют сведения о том, что термофилы имеют и значительно более устойчивые к повышенным температурам клеточные стенки, мембраны и рибосомы, по сравнению с мезофилами. В работе [6] по исследованию ДНК-лигаз психрофилов, термофилов и мезофилов показано, что у психрофилов при низких и умеренных температурах возрастает активность фермента и конформационная подвижность, наблюдается общая дестабилизация молекулярного строения, у мезофилов

же, и особенно термофилов, наблюдается обратное явление. Было выдвинуто предположение, что движущей силой денатурации адаптированных к холоду ферментов является изменение энтропии. Наибольшая стабильность некоторых белков психрофилов наблюдается при температурах 0°C и 15°C, соответствующих оптимумам роста этих организмов, а денатурация этих же белков происходит уже при 20°C [13]. Так, амилаза психрофила, выделенного из Японского моря, инактивировалась после получасовой инкубации при 30°C, оказывалась наиболее активной при 25°C, а при 15° и 0°C активность этого фермента проявлялась только на 35% и 15% от оптимальной активности соответственно [4].

Таким образом, можно выделить несколько механизмов, обеспечивающих активное существование бактерий в условиях экстремальной температуры: 1) изменение состава мембранных липидов; 2) изменение состава и конформации белков, в первую очередь ферментов; 3) изменение соотношения термолабильных и термостабильных структурных компонентов клетки.

Таксономическая и функциональная структура термотолерантных комплексов почвенных актиномицетов

Среди актиномицетов не известны экстремальные термофилы. Термофильные актиномицеты описаны в составе рода *Thermoactinomyces* (мицелиальные бактерии, имеющие эндоспоры и, согласно современным положениям [15], выведенные из порядка *Actinomycetales*); а также представители рода *Thermomonospora* и отдельные виды родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Saccharomonospora*, *Microbispora*, *Saccharopolyspora*, *Actinotadura*, *Promicromonospora*, *Nocardia*, *Nocardioides*, *Streptoalloteichus* [8]. Таким образом, термофильные актиномицеты не составляют отдельного таксона и входят в различные роды порядка *Actinomycetales* наряду с мезофильными актиномицетами [8]. Способность расти при высоких температурах, однако, связана у представителей группы с рядом особенностей, которые выделяют их из всего многообразия актиномицетов. Среди термофильных актиномицетов преобладают моноспоровый и олигоспоровый морфологические типы. Большинству термофильных актиномицетов свойственна повышенная требовательность к питательным средам, росту благоприятствуют среды с экстрактами из естественных суб-

стратов, с пептоном, гидролизатом казеина, дрожжевым экстрактом. В качестве источника углерода в средах для поддержания культур обычно рекомендуется крахмал [8].

Автолиз части мицелия в культурах актиномицетов – нормальное явление, характеризующее определённую стадию развития. Культуры термофильных актиномицетов отличаются повышенной склонностью к автолизу, который нередко приводит к потере их жизнеспособности. Сигналом, запускающим приводящие к автолизу процессы, служит колебание температуры при инкубации культур [16].

В существующих схемах для разделения термофильных микроорганизмов по их температурным предпочтениям [11,17,18] актиномицеты занимают место факультативных термофилов, или термотолерантных форм. Термофильные актиномицеты, в свою очередь, разделены на следующие группы: истинные термофилы с оптимумом при 55–60°C, ростом при 37–65°C, умеренные термофилы с оптимумом при 50–55°C, ростом при 28–60°C, термотолеранты с ростом при 15–55°C [19].

В настоящее время создана классификация термофильных стрептомицетов, основанная на филогенетических признаках (ДНК-ДНК гомологии, 16S рДНК сиквенсе) [16]. Дополнительно были описаны термофильные виды стрептомицетов (*Streptomyces thermocophilis* и *S. thermospinisporus*) [16]. К термофильным отнесены представители рода *Amycolatopsis* (*A. fastidiosa*, *A. methanolica* и *A. thermofava*) [20].

Общепринято относить актиномицеты к термофилам, если они растут при 50–60°C, независимо от минимальной температуры роста. Температурой, служащей границей между термофильными и мезофильными актиномицетами, принято считать 55°C, так как последние не растут при таких условиях [10]. При этом имеются сведения об актиномицетах, которые по кардинальным точкам роста занимают промежуточное положение между группами термофилов и мезофилов, что говорит об условности границы между термофилами и мезофилами [8]. По современным представлениям к термофильным актиномицетам относят организмы, способные расти в диапазоне температур от 25 до 55°C, с оптимумом роста около 50°C. Группа термофилов является гетерогенной, сюда относят как стрептомицеты, так и актиномицеты других родов, отвечающие вышеуказанным условиям [21].

Местообитаниями термофильных и термотолерантных микроорганизмов являются ком-

посты, стога сена, хранящееся зерно, кучи древесных стружек, разогреваемые поверхности почв, особенно подверженных воздействию солнечной радиации (чистый пар, свежеспаванные почвы). Термофильные актиномицеты не обнаруживаются выше определённых высот (в северных областях Китая их не могли выделить выше 3500 м от уровня моря). Считается, что сами термофильные и термотолерантные организмы способны вносить существенный вклад в процессы саморазогревания субстратов и биологической порчи различных материалов [19].

Большинство исследований термофильных актиномицетов посвящено роду *Thermoactinomyces*. О закономерностях распространения в почвах и таксономическом составе термофильных и термотолерантных актиномицетов других родов в литературе мало известно. Существуют лишь отдельные упоминания об обнаружении термотолерантных актиномицетов в горных почвах Гималаев [22], в осадках озёр [19] и рек [23]. В грибных компостах выявлены термофильные актиномицеты пяти родов *Pseudonocardia*, *Saccharomonospora*, *Saccharopolyspora*, *Streptomyces* и *Thermobifida* [24], причём доминировали представители рода *Thermoactinomyces* семейства *Bacillaceae*. Из аридных почв Австралии выделен *Amycolatopsis australiens* sp. nov., а из растительных субстратов – *Amycolatopsis sacchari* [25]. Среди термофильных актиномицетов известны хемоорганотрофы, способные использовать для роста широкий набор органических веществ в качестве источников углерода и азота. Почвенные термофильные карбоксидотрофные стрептомицеты окисляют оксид углерода, водород и могут расти на комплексных средах. Особое место занимает *Streptomyces thermoautotrophicus*, использующий монооксид углерода или смесь диоксида углерода и водорода, не растущий на комплексных средах [16] и использующий диоксид азота [26].

Представители родов *Thermoactinomyces* и *Streptomyces* составляют 97% от общей численности почвенных термофильных актиномицетов, выявляемых в почвах Китая [19].

Распространение термотолерантных актиномицетов исследовали в почвах пустынных степей Монголии, горно-луговой почве Центрального Кавказа, вулканических почвах на территории п-ва Камчатка (табл. 1) [27]. На поверхности пустынных почв образуется песчано-щебнистый «панцирь», который может нагреваться в дневное время до 40–60°C. Высокие температуры характерны для почв

горных и вулканических районов. Почвы, формирующиеся на камнях в ущельях Центрального Кавказа, разогреваются в дневное время до 40–50°C, вулканические почвы Камчатки вблизи горячих источников характеризуются температурой до 49°C. Таким образом, в исследуемых аридных, горных и почвах районов вулканической деятельности создаются условия, благоприятные для развития термотолерантных актиномицетов.

Численность актиномицетов в исследуемых пустынных, горных и вулканических почвах составляет от тысяч до сотен тысяч и миллионов КОЕ/г почвы. В вулканической дерновой почве кальдеры вулкана Узон количество актиномицетов достигает миллиона КОЕ/г почвы. Значительно меньшее количество актиномицетов обнаружено в слабозазвитой слоисто-пепловой почве, покрытой цианобактериальными шлейфами. Численность термотолерантных актиномицетов в исследуемых разогреваемых почвах сопоставима с численностью мезофильных форм, а в некоторых почвах (например, серо-бурой пустынной почве Монголии) на 1-2 порядка превышает количество мезофильных мицелиальных бактерий [27, 28].

Термотолерантные актиномицетные комплексы исследуемых почв отличаются значительно большим таксономическим разнообразием по сравнению с мезофильными. В комплексах мезофильных актиномицетов в большинстве случаев доминируют стрептомицеты. Комплекс термотолерантных актиномицетов почв пустынных степей Монголии представлен родами *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium* и актиномицетами олигоспоровой группы, включающей роды *Actinomadura*, *Saccharopolyspora*, *Microtetraspora*, *Microbispora*, среди которых в бурых пустынных почвах доминируют представители рода *Actinomadura*. Термотолерантные микромоноспоры обнаружены во всех исследованных образцах пустынных почв Монголии в сопоставимых или равных со стрептомицетами долях в актиномицетном комплексе, а иногда и «вытесняя» стрептомицеты из комплекса. В горно-луговой почве Центрального Кавказа среди термотолерантных актиномицетов наблюдается доминирование родов *Micromonospora* (особенно в условиях повышенной влажности в ущелье Укю) и *Saccharopolyspora*.

Актиномицетные комплексы вулканических почв очень специфичны. В вулканической дерновой почве кальдеры вулкана

Таблица 1

Характеристика исследуемых периодически прогреваемых почв

Номер почвенного разреза	Название почвы	Горизонт, глубина отбора образцов, см	C %	pH	Район взятия образцов
1, 2, 3	Бурая пустынно-степная песчаная	Ад, 0-10	0,3	8-9	Монголия, Южный Гоби, Булган сомон
4	Серо-бурая пустынная	В1, 6-18	0,29	8-9	Южный Гоби, Ханбогд-Галдын Гоби
5	Остепнённо-пустынная лугово-светлобурая засоленная	Ад, 0-5	0,67	8,4	Южный Гоби, Номгон сомон
6	Остепнённо-пустынная светлобурая суглинистая	Ад, 0-2	0,2	7,9	Южный Гоби, Номгон сомон
7	Остепнённо-пустынная светлобурая засоленная	Ад, 0-3	0,2	7,9	Южный Гоби, Номгон сомон
8	Тапыровидная	К, 0-5	2,64	7,3	Южный Гоби, Номгон сомон
9	Остепнённо-пустынная лугово-бурая солончаковатая	Ад, 0-1,5	0,1	7,8	Восточно-Гобийский аймак, Улаанбадрах сомон
10	Горно-луговая	0-10	8,1	4,7	Центральный Кавказ
11	Вулканические	0-2	9,8	5-6	Камчатка, р-н Карымского вулкана; кальдера вулкана Узон

Узон, где численность актиномицетов достигает миллиона КОЕ/г почвы, стрептомицетов совсем не обнаружено, здесь среди термотолерантных актиномицетов абсолютно доминируют в комплексе представители рода *Saccharopolyspora*, среди мезофильных – представители рода *Micromonospora*. Выявлены специфические актиномицетные комплексы, например, в образце цианобактериального шлейфа термального поля, отобранном на слабо развитой слоисто-пепловой почве, мезофильные актиномицеты представлены исключительно родом *Microbispora*, а термотолерантные – родом *Micromonospora*. В образце гейзерита, отобранном из слабо развитой слоисто-пепловой почвы близ горячего источника в разрастаниях мха, термотолерантные актиномицеты по численности превосходят мезофильные формы, среди термотолерантных актиномицетов преобладают представители рода *Microtetraspora* [29].

Численность термотолерантных и термофильных актиномицетов в пустынных почвах Монголии (табл. 1) колеблется от тысяч до десятков миллионов КОЕ/г почвы в зависимости от типа почвы и оказывается сопоставимой с численностью мезофильных форм, чаще превышая последнюю (рис. 1, I).

Сравнение актиномицетных комплексов торфяных типичных почв на территории Дмитровского филиала Всероссийского НИИ сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель (Московская обл.) с комплексами прогреваемых пустынных почв показало, что в холодных почвах численность термофильных и термотолерантных актиномицетов, в отличие от прогреваемых, не превышает десятков, редко сотен тысяч КОЕ/г почвы [30].

Из всех исследованных пустынных почв Монголии остепнённо-пустынные светло-бурые и тапыровидная почвы характеризуются наиболее значительной численностью актиномицетов (до миллионов и десятков миллионов КОЕ/г). В актиномицетных комплексах этих почв значительную долю, превышающую долю мезофильных актиномицетов, составляют термотолерантные и умеренно термофильные актиномицеты (рис. 1, II).

Комплексы умеренно термофильных актиномицетов пустынных почв Монголии представлены родами *Streptomyces*, *Micromonospora* и актиномицетами олигоспоровой и спорангиальной групп, среди которых в комплексах доминируют термофильные представители рода *Actinomadura* и *Streptosporangium*. Микромоноспоры в актиномицетных комплексах

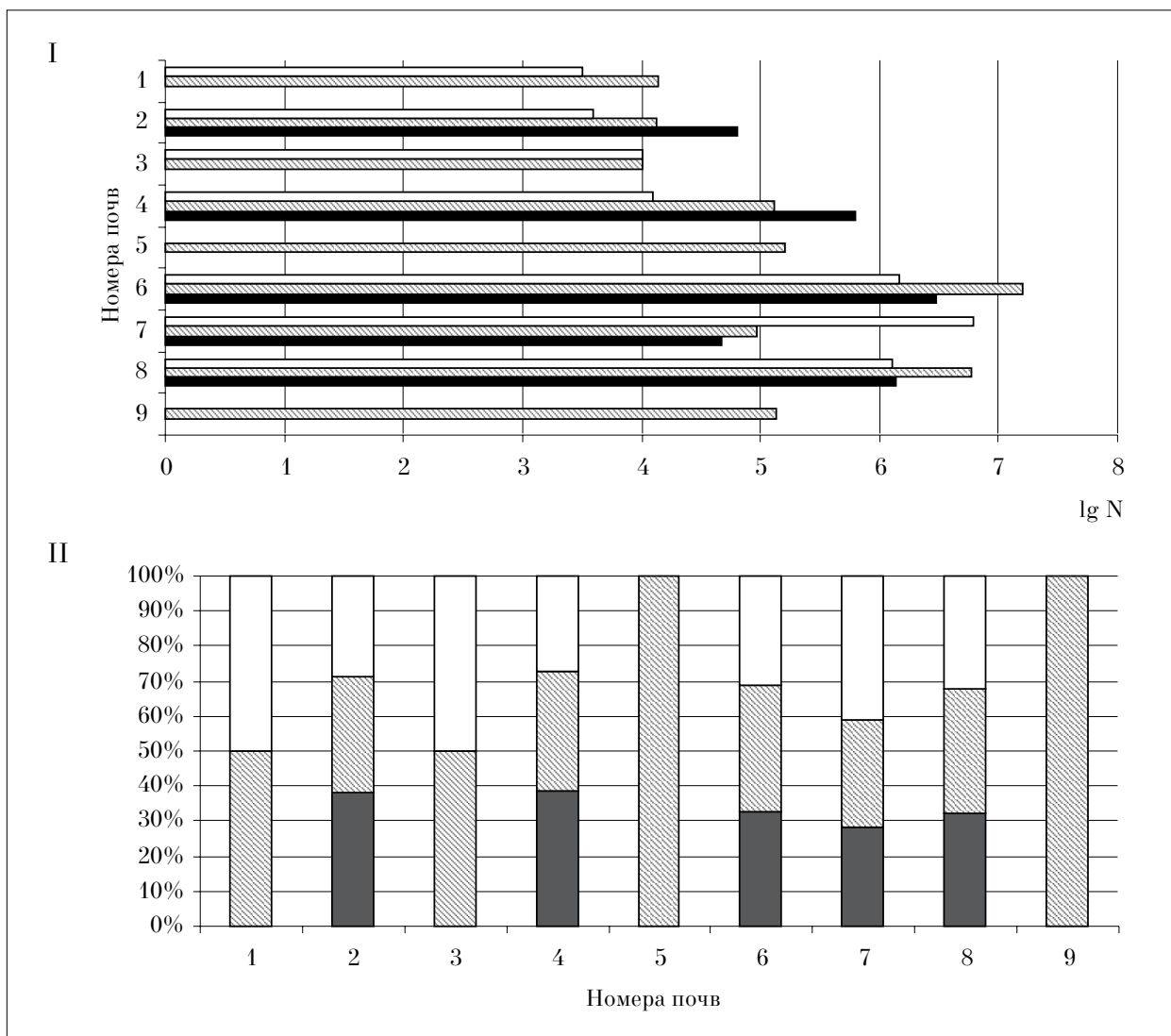


Рис. 1. Численность (I) и доля в актиномицетном комплексе (II) мезофильных, термотолерантных и термофильных актиномицетов в пустынных почвах Монголии

Примечание: здесь и на рис. 2: мезофильные актиномицеты – белые столбики; термотолерантные актиномицеты – заштрихованные столбики; термофильные актиномицеты – чёрные столбики.

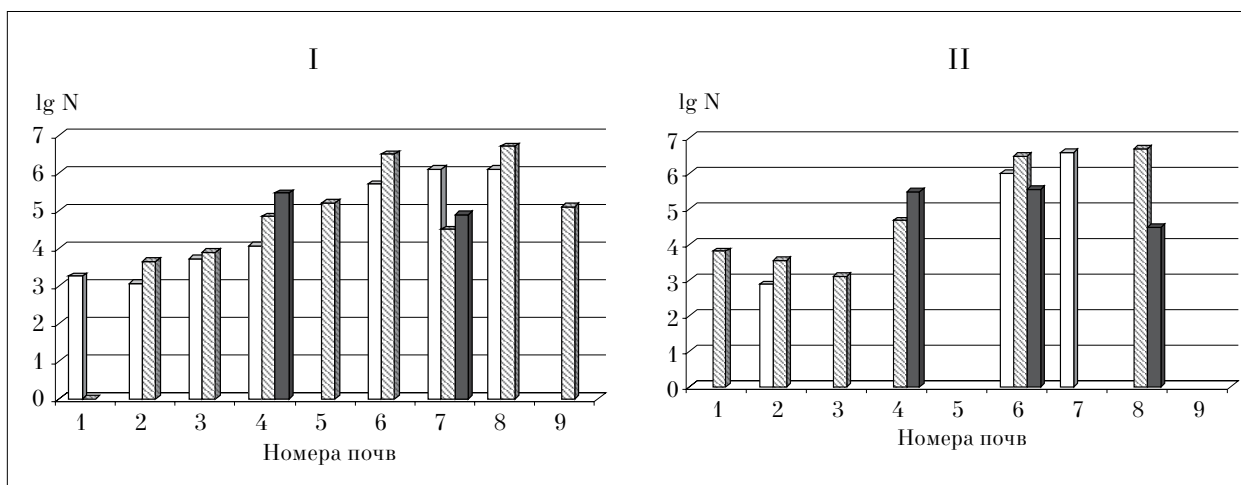


Рис. 2. Численность мезофильных, термотолерантных и термофильных представителей родов *Micromonospora* (I) и *Streptomyces* (II) в пустынных почвах Монголии

почти всех исследованных пустынных почв представлены в большинстве термотолерантными и термофильными формами (рис. 2, I).

Для стрептомицетов характерно присутствие как мезофильных, так и термофильных и термотолерантных форм (рис. 2, II).

Таксономическое разнообразие термотолерантных актиномицетов холодных торфяных почв ограничивается родами *Streptomyces* и *Micromonospora* [30].

Таким образом, в пустынных почвах Монголии в условиях иссушения и высоких температур формируются специфические актиномицетные комплексы, отличные от комплексов почвенных актиномицетов холодных влажных почв.

Наблюдения за динамикой развития мицелия в условиях микрокосма свидетельствуют о том, что термофильные актиномицеты (именно эти формы актиномицетов активно растут в почве при её инкубировании при 45°C) в исследованных почвах пустынно-степной зоны активно развиваются, размножаются, проходя полный цикл развития. Характер динамики длины мицелия и биомассы термотолерантных и мезофильных (активно растущих в почве при её инкубировании при 28°C) форм в ходе сукцессии, инициированной увлажнением исследованных почв, подобен. Величины длины мицелия и биомассы термофильных и мезофильных актиномицетов выражены значениями одного порядка, в конце опыта длина мицелия и биомасса термофильных актиномицетов снижаются более резко по сравнению с длиной мицелия и биомассой мезофильных форм. Длина мицелия термофильных актиномицетов колеблется в разных исследованных почвах от 100 до 240 м/г; мезофильных – примерно в тех же пределах. Биомасса термофильных актиномицетов в разных пустынных почвах достигает 14 мкг/г почвы, мезофильных – 11 мкг/г (рис. 3).

Исследование таксономического состава прокариотного микробного сообщества почв зоны пустынных степей методом *in situ*-гибридизации с рРНК-специфичными флуоресцентно-мечеными олигонуклеотидными зондами (FISH-fluorescent *in situ* hybridization) показало, что метаболически активные эубактерии, окрашенные по методу FISH, от общей биомассы бактерий составили значительную долю (от 18 до 59%) в прокариотном микробном комплексе большинства исследованных почв, инкубированных при 28°C; доля метаболически активных бактерий от общей массы бактерий в прокариотном микробном ком-

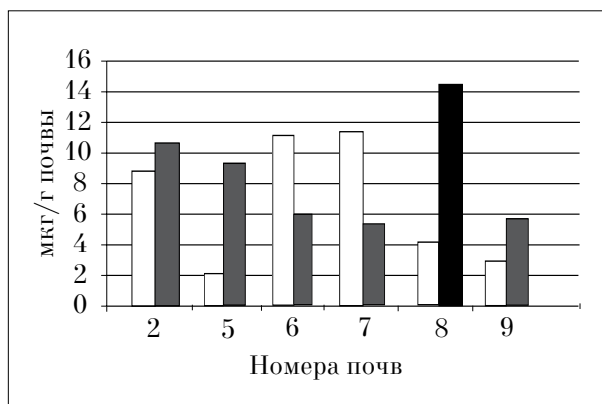


Рис. 3. Биомасса актиномицетов (мкг/г почвы) в пустынных почвах Монголии, инкубированных при 28°C (белые столбики) и при 45°C (чёрные столбики)

плексе исследованных почв, инкубированных при 45°C, составила от 25 до 82%. Только в единичных случаях (в остепнённо-пустынных бурых засоленных почвах) доля метаболически активных эубактерий составляет не более 10% от всех бактерий. Доля метаболически активных представителей группы *Actinobacteria* среди других представителей домена *Bacteria* в прокариотном микробном комплексе исследованных почв возрастает с увеличением температуры инкубирования почвы от 28 до 45°C, достигая в некоторых почвах более 70%.

Установлено, что среди метаболически активных представителей филогенетической группы *Actinobacteria* всех исследованных почв преобладают мицелиальные формы (рис. 4).

Анализ полимеразной цепной реакции (ПЦР) продуктов амплифицированного 16S гена суммарной ДНК, выделенной из остепнённо-пустынной светлобурой почвы, и ДНК чистых культур – представителей рода *Streptomyces* на основе денатурирующего градиентного геля электрофореза (DGGE – метод) позволил получить спектр сиквенсных типов, сходных с группой *Actinobacteria* как одноклеточных, так и мицелиальных, что подтверждает наши данные, полученные методом посева и молекулярным методом FISH.

Выделенные из пустынных почв культуры стрептомицетов с помощью расчёта радиальной скорости роста колоний классифицировали по их температурным предпочтениям. Выявлены мезофильные актиномицеты с оптимальной величиной скорости роста колоний при 28°C и растянутым температурным диапазоном роста (5–37°C), не растущие при 45°C; термотолерантные актиномицеты, характеризующиеся оптимальной радиальной скоростью роста колоний при 37°C, растущие при

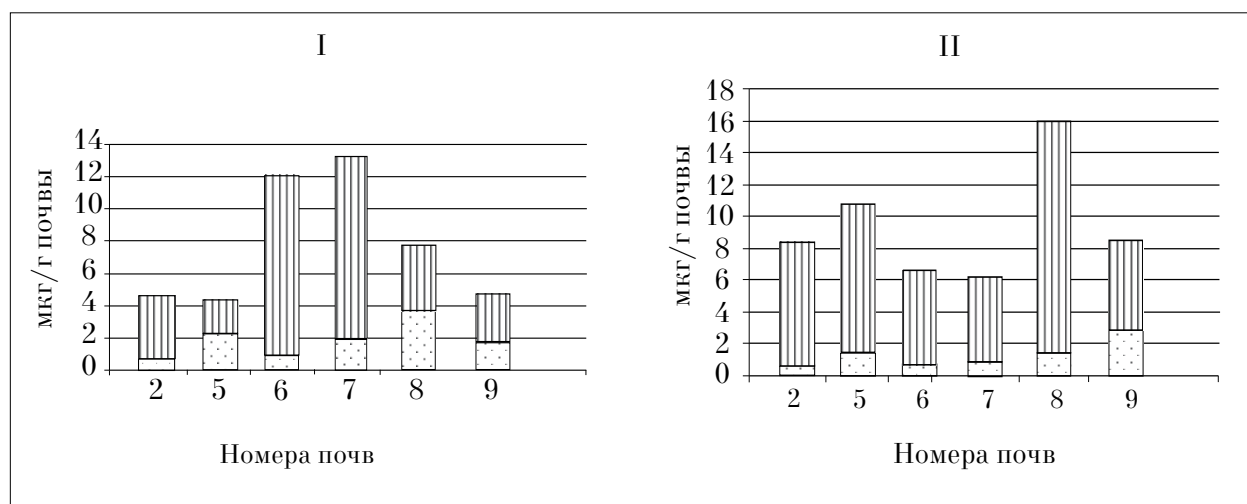


Рис. 4. Соотношение биомасс метаболически активных мицелиальных (заштрихованные столбики) и одноклеточных (пунктирная штриховка столбиков) представителей группы *Actinobacteria* в прокариотных микробных сообществах пустынных почв Монголии, инкубированных при 28°C (I) и 45°C (II)

45°C, диапазон роста которых лежит в области 20°–50°C. К термофильным актиномицетам отнесен штамм 315-1, выделенный из серобурой пустынной почвы Монголии, по фенотипическим признакам и сиквенсу 16S рРНК близкий к *Streptomyces albogriseolus*. Штамм 315-1 характеризуется максимальным значением радиальной скорости роста колоний при 45°C, хорошо растёт при 50°C и 37°C, слабо растёт при 28°C.

Таким образом, исследование актиномицетных комплексов в почвах зоны пустынных степей Монголии, периодически разогревающихся до высоких температур, характеризующихся прерывистым режимом увлажнения и поступления доступных питательных веществ, позволило заключить, что актиномицетные комплексы этих почв специфичны, отличаются от комплексов почв холодных и влажных районов преобладанием термотолерантных и термофильных актиномицетов над мезофильными, таксономическим разнообразием термотолерантных и термофильных форм. В пустынных почвах актиномицеты имеют преимущества перед одноклеточными бактериями и составляют в этих почвах основу гидролитического блока прокариотных организмов. Способность актиномицетных спор прорасти при очень низком давлении влаги в среде обитания (-96,4 МПа, a_w 0,50) [31] создаёт преимущество мицелиальным бактериям перед одноклеточными в условиях засухи, мало пригодных для активности немцелиальных бактерий. В почвах аридной зоны термотолерантные ксерофильные актиномицеты активно растут, образуют мицелий,

доля метаболически активных мицелиальных форм актинобактерий превышает долю одноклеточных актинобактерий. Очевидно, термотолерантные и термофильные актиномицеты составляют неотъемлемую часть сапротрофного микробного блока, принимающего участие в разложении и синтезе гумусовых веществ и создании почвенного плодородия в пустынных почвах Монголии.

Адаптации микроорганизмов к низким температурам

Первые упоминания о психрофильных организмах относятся к 1884 г. [13]. Для обозначения психрофильных бактерий использовались разные термины: термофобы, ригофилы, психрофобы, гляциобактерии и др. [13]. Впервые Форстер выделил психрофильную бактерию из рыбных консервов, а до него в сороковых годах XIX века во время экспедиции в Антарктику были замечены психрофильные водоросли в куске льда [4].

Термин «психрофилы» был предложен Шмидтом-Нильсеном в 1902 г. для бактерий, способных жить при 0°C [32]. Для более сложно организованных биологических видов (например, для полярных рыб), обитающих в холодных условиях, используется термин «криофилы» [13], хотя иногда [33] применяют термин «психрофилы» как к прокариотам, так и к эукариотам. Среди микроорганизмов, способных к росту при низких температурах, выделяют две группы – облигатные психрофилы и факультативные психрофилы, различающиеся по своим экологическим нишам и меха-

низмам адаптации к холоду. Основное различие заключается в том, что облигатные психрофилы не способны к росту при температуре выше 20°C, в то время как верхняя температурная граница роста факультативных форм намного выше. Но чёткого разделения между этими группами нет. Существование двух типов психрофилов объясняется особенностями их мест обитания. Облигатные психрофилы приспособились к устойчивым холодным условиям (глубины морей и океанов, ледяные пещеры), факультативные же – к обитанию в неустойчивых холодных условиях, что делает их более распространёнными по сравнению с первыми [11, 18]. Например, на поверхности льда, который в дневное время может значительно нагреваться (до 28°C), обнаруживаются именно психротолерантные формы, а истинные психрофилы существовать не могут [13].

Психрофилы – организмы, оптимальная температура для роста которых составляет 15°C и ниже, а максимальная – не превышает 20°C, хотя при этом они могут размножаться при значениях близких к нулю. Психротолеранты, хотя и могут расти при низких температурах, оптимум роста имеют при 20°C и выше. При этом оговаривается условность границы в 20°C в связи с тем, что температура в лабораторных условиях равна приблизительно 21–22°C [13].

Психротолерантные актиномицеты иногда называют психротрофами [34]. Поскольку термин «трофия» обычно используется, когда речь идёт о питательных субстратах, то во избежание путаницы в литературе чаще используют термин психротолерантные организмы для обозначения мезофильных видов, способных адаптироваться к низким температурам [35].

В соответствии с концепцией экологической толерантности, согласно которой каждый экологический фактор, воздействующий на организм, имеет максимальные и минимальные границы действия, в пределах которых организм может к нему адаптироваться, были предложены два новых термина: «стенопсихрофилы» и «эврипсихрофилы» для обозначения микроорганизмов с ограниченным интервалом температур (истинные психрофилы) и микроорганизмов, толерантных к более широкому интервалу значений температур (психротрофы и психротолерантные) соответственно [33].

Принципиальной чертой психрофильных организмов считается способность к росту при 0°C и минусовых температурах, а подгруппы

выделяются по ширине так называемой экологической валентности и оптимумам роста.

Бактерии, получившие название экстремальных психрофилов, хорошо растут при температуре –10°C в микроскопических водных «карманах» на границах раздела между льдом и морской водой. Температурный диапазон роста психрофильных бактерий, выделяемых из почвы, значительно шире, чем психрофилов, выделенных со дна моря, где постоянная температура 5°C [36].

Для отнесения микроорганизма к одной из этих температурных групп недостаточно пользоваться только скоростью роста как критерием для определения оптимальной температуры. Например, некоторые морские бактерии Антарктики быстрее всего растут в интервале температур 20–25°C, однако при этих значениях у них уменьшается синтез некоторых экзоферментов и снижается общее число жизнеспособных клеток. В связи с этим было предложено использовать новую кардинальную температуру – температуру оптимальной активности T_{OA} (*temperature of optimal activity*) [2].

Традиционно считалось, что мицелиальные бактерии не являются чемпионами устойчивости в отношении многих абиотических факторов и не могут развиваться при низких температурах. В определителях бактерий [37] и актиномицетов [38] отсутствуют сведения о возможных температурных границах роста актиномицетов. В литературе имеются лишь отдельные попытки систематизировать мицелиальные бактерии по их температурным предпочтениям [19]. Среди актиномицетов выделены факультативные психрофилы – организмы, растущие при 0°C с оптимумом роста от 10 до 28°C и плохо растущие при 37°C; умеренные психрофилы – организмы, хорошо растущие при 0°C, имеющие оптимум роста от 10 до 20°C и не растущие при 37°C; истинные психрофилы – организмы, растущие при 0°C (оптимум роста отмечен при 10–14°C) и не растущие при 28°C.

Разделение организмов на психрофильные и психротолерантные условно [39]. В большинстве случаев для разделения психрофильных и психротолерантных форм используют инкубирование культур при 4 и 20°C. Психротолерантные культуры не растут при 4°C, тогда как для психрофилов эта температура является оптимальной. Условность разделения психрофилов и психротолерантов подтверждается исследованиями роста представителей рода *Arthobacter* [40], которые показали, что длительность лаг-фазы при 0°C и скорость

роста у мезофильных и психрофильных представителей чётко не различаются.

Механизмы адаптации микробов к низким температурам

Психрофильные и психротолерантные бактерии используют различные стратегии для адаптации к низким температурам. Главная стратегия, которая является решающей для выживания клетки при низкой температуре, связана со способностью регулировать текучесть мембран с помощью изменения состава жирных кислот. К другим стратегиям относятся: изменение основных липидов, белкового состава мембраны, типа синтезируемых каротиноидов, длины цепи жирных кислот и пропорции цис- и трансизомеров кислот [2]. У психрофильных бактерий есть двухкомпонентный аппарат трансдукционного сигнала: сенсор, связанный с мембраной, и растворимый цитоплазматический рецептор для получения сигнала о низкой температуре [41]. Некоторые психрофилы, обитающие в морях, способны синтезировать ненасыщенные трансжирные кислоты, являющиеся протекторами от тяжёлых металлов и токсических органических веществ [4]. Психрофилы и психротрофы содержат короткоцепочечные, ненасыщенные, разветвлённые или циклические жирные кислоты. В общем случае, понижение температуры культивирования психрофилов увеличивает долю ненасыщенных фосфолипидов и нейтральных липидов для поддержания текучести мембраны при низкой температуре, укорачивается и длина цепей в фосфолипидах [13], вырабатываются в больших количествах каротиноиды [33]. Предположительно в роли клеточных сенсоров выступают цитоплазматическая мембрана, нуклеиновые кислоты и рибосомы, изменения которых являются ключевым моментом в процессе адаптации к охлаждению [32].

Ответом на низкотемпературное воздействие является синтез специфических белков, получивших название белков холодового шока, или CSP-белков (cold shock protein) [2, 6]. Они синтезируются постепенно в течение роста при низкой температуре, и их количество увеличивается при возрастании шока [4]. Особенность высокой активности этих белков заключается в том, что они способны снижать энергию активации многих реакций [5]. Каталитическая способность ферментов психрофилов выше таковой у мезофилов, что позволяет говорить о биотехнологическом потенциале

ферментов психрофилов в качестве энергосберегающих веществ [33]. По мере дальнейшего снижения температуры в клетках начинает образовываться лёд, и это вызывает гибель бактерий. При образовании льда вокруг клеток концентрируются соли, что приводит к локальному повышению осмотического давления, инициирующего адаптацию к осмотическому стрессу. В результате при очень низких температурах у некоторых микроорганизмов происходит накопление совместимых осморегуляторных веществ, защищающих клетки от повреждения льдом. Отдельные бактерии обладают способностью регулировать образование льда благодаря наличию центров его кристаллизации в белках наружной мембраны (например, *Pseudomonas syringae*). Преимущество в этом случае даёт упорядоченность структур льда, образующихся при кристаллизации с участием этих белков, поскольку такие структуры значительно слабее повреждают клетки [2]. Низкие температуры замедляют и ингибируют химические реакции, катализируемые ферментами, снижается текучесть мембран и стабилизация вторичных структур РНК и ДНК, что сказывается на процессах трансляции, транскрипции и репликации [42]. Предполагается, что в роли клеточных сенсоров выступают цитоплазматическая мембрана, нуклеиновые кислоты и рибосомы, изменения которых являются ключевым моментом в процессе адаптации к охлаждению. Отмечено увеличение транспорта некоторых совместимых растворимых веществ (бетаина, пролина, карнитина), что может свидетельствовать о связи между осмопротекцией и адаптацией к низким температурам.

При воздействии низких температур в бактериальной клетке происходят изменения, которые направлены на поддержание текучести мембраны [43]. Однако, поскольку прокариоты не имеют стеринов, они не могут использовать механизм регуляции текучести мембран, который широко применяется у эукариот и заключается в изменении соотношения фосфолипид/стерин в составе мембран. Поэтому прокариотам приходится использовать более сложные механизмы регуляции липидного состава. Чаще всего при снижении температуры возрастает доля ненасыщенных жирных кислот и/или уменьшается длина углеродной цепи жирнокислотного компонента липидов. Так, например, у *Micrococcus cryophilus* при изменении температуры контролируется соотношение C_{18}/C_{16} жирных кислот. Хотя во многих случаях возможно сочетание нескольких

регуляторных факторов. Интересные данные были получены при сравнении жирных кислот из мембран ряда бактерий, найденных в Антарктике. Оказалось, что у психротрофов чаще наблюдались насыщенные короткоцепочечные или ненасыщенные жирные кислоты. У психрофилов в мембранах преобладали разветвлённые жирные кислоты. Установлено, что длина цепи и степень насыщенности сказываются на температуре плавления жирных кислот, что прямо связано с текучестью мембраны [5].

Для адаптации ферментов возможны два пути: синтез большого числа ферментов или синтез ферментов, эффективно действующих при низких температурах. Разница в действии температуры на активность психрофильных и мезофильных форм проявляется в трёх основных характеристиках [44]: 1. Психрофилы синтезируют ферменты с большей специфической активностью; 2. Максимальная активность ферментов, адаптированных к холоду, сдвинута в область низких температур, что отражает их слабую термостабильность; 3. Адаптация, вероятно, не завершена, так как специфическая активность мезофильных ферментов при температурах, близких к 0°C, в целом ниже, чем активность мезофильных ферментов при характерной для них температуре.

Таким образом, общая стратегия организмов заключается в синтезе адаптированных к холоду психрофильных ферментов с повышенной каталитической эффективностью [45].

Психрофильные ферменты, как правило, имеют высокую каталитическую эффективность, связанную с низкой температурной стабильностью. В большинстве случаев адаптация к холоду достигается через редукцию энергии активации, что происходит из-за повышенной гибкости или в определённой области белковой молекулы, или всей белковой структуры [46]. Эта увеличенная пластичность приводит к слабой термостабильности психрофильных ферментов. Следует отметить, что аминокислотные остатки активных сайтов, включённые в реакции, высоко консервативны между гомологичными ферментами, адаптированными к разным температурам, т. е. молекулярные изменения, ответственные за адаптацию к холоду, расположены в других участках молекул. Общая черта психрофильных ферментов – это их низкая конформационная стабильность. Анализ трёхмерных структур способствовал выявлению тех структурных факторов, которые вовлечены в адап-

тацию к холоду и, возможно, ответственны за низкую термостабильность [33]. К таким факторам относятся: увеличенное число и кластеризация остатков глицина; снижение остатков пролина в петлях; редукция остатков аргинина, способного формировать множественные электростатические взаимодействия и водородные связи; снижение числа ионных пар, ароматических взаимодействий, гидрофобных взаимодействий и ионных связей по сравнению с мезофильными гомологами.

Видимо, каждый белок использует несколько из этих структурных изменений для того, чтобы достичь требуемой гибкости при определённых температурных условиях. Предполагается, что психрофильные ферменты должны увеличивать свою пластичность для того, чтобы катализировать реакции при низких температурах, и увеличенная пластичность в целом генерируется низкой стабильностью белковой структуры. Этот баланс между гибкостью и пластичностью представляет один из важнейших моментов в адаптации белка к окружающей температуре. Хотя следует упомянуть, что гибкость белка, особенно связанная с активностью и/или стабильностью молекулы, является пока трудноопределяемым параметром. И прежде всего требуется установить, какой тип гибкости необходим для улучшения активности. Из анализа ряда психрофильных ферментов следует, что высокая специфическая активность связана с низкой стабильностью фермента. Однако анализ термостабильности свидетельствует о том, что стратегия адаптации, которая ведёт к нестабильности белка, может быть разной. Так, анализ фосфоглицеринкиназы из штамма *Pseudomonas*, изолированного в Антарктике, показал, что фермент состоит из температуролабильного и температуростабильного доменов [47]. Авторы предположили, что температуролабильный домен даёт необходимую гибкость в области каталитического центра и обеспечивает скорость реакции путём редукции энергетических затрат, а температуростабильный домен может обеспечивать достаточное связывание субстрата как результат его ригидности. Таким образом, в данном типе стратегии присутствует компромисс между необходимостью увеличить специфическую активность при низких температурах и необходимостью сохранять высокое сродство к субстрату. Можно сказать, что термолабильность является следствием улучшения пластичности, необходимой в области каталитического центра. Адаптированные к низким температурам

ферменты требуют определённой гибкости структурных элементов, включённых в каталитическую активность, в то время как другие регионы, не вовлечённые в катализ, остаются достаточно ригидными. Безусловно, надо учитывать, что в природе эволюция таких ферментов происходила в результате действия на организмы не только температуры, но и других экологических факторов среды, поэтому целый комплекс физических и химических параметров привёл к адаптации белковых молекул.

Трегалоза и экзополисахариды также выполняют важные функции в криопротекции психрофилов [48]. Считают, что трегалоза способствует прерыванию денатурации и агрегации белков. Экзопалисахариды найдены в морских бактериях, изолированных в Антарктиде. Подобные физико-химические модификации окружения бактерий способствуют адгезии клеток к поверхностям и удерживанию воды, обеспечивая благоприятную изоляцию микроорганизмов и концентрирование питательных компонентов, сохраняют и защищают внеклеточные ферменты от денатурации и действуют как криопротекторы [49].

Белки холодового шока с молекулярной массой около 7 кДа выявляются у разных видов грамположительных и грамотрицательных бактерий [50, 51].

Два холодоустойчивых штамма (психротрофы) сравнивали со слабо приспособленным к холоду штаммом и с холодочувствительным (контрольный штамм) по их выживаемости при замораживании, образованию белков и составу жирных кислот при низкой температуре. При холодовом шоке (от 25° до 10°, 5° и 0°С) во всех штаммах продуцировался обычный (6,1-кДа) белок холодового шока, но количество белков холодового шока, синтезированных при 0°С, было выше в холодоустойчивых штаммах. Выживаемость через 24 часа при экспозиции -80°С была выше у холодоустойчивых (79%) и слабо приспособленных к холоду (64%) штаммов, чем у холодочувствительного (33%), но после 2-часового периода акклиматизации при 5°С перед замораживанием выживаемость холодочувствительного штамма увеличилась в 2 раза. Низкие температуры приблизительно одинаково влияли на состав жирных кислот во всех штаммах, независимо от уровня их приспособленности к холоду. Количество ненасыщенных жирных кислот значительно увеличивалось при уменьшении температуры культивирования от 25 до 5°С, но была выявлена тенденция к сокращению количества ненасыщенных жирных кис-

лот после холодового шока от 25 до 5°С. Специфическая ненасыщенная жирная кислота, цис-12 октадекановая, продуцировалась во время роста организмов при 5°С [52].

Температурный диапазон роста психрофильных бактерий, выделяемых из почвы, значительно шире, чем психрофилов, выделенных со дна моря, где постоянная температура 5°С [19]. Верхний температурный предел роста психрофилов определяется обратимой инактивацией некоторых жизненноважных реакций. Нижний предел роста мезофилов – прекращение транспорта субстратов [53].

Большая часть земной биосферы лежит в области холодных температур. Около 14% земной поверхности занимают полярные регионы, 70% занято океаном, температура которого относительно постоянна и колеблется в пределах 4–5°С. Понятно, что организмы, обитающие в океане и являющиеся барофилами, в большинстве своём психрофилы или психротрофы [13]. Даже в самых холодных формах льда между кристаллами остаётся жидкая вода. Из изученных форм льда температура самой холодной, содержащей живые бактерии внутри жидкой фазы, -20°С. Даже в модификации льда-VI (в ней твёрдая фаза тяжелее жидкой), которая не может существовать в земных условиях и может быть получена лишь в лаборатории при действии высоких давления и температуры, возможно поддержание жизни таких бактерий, как *Escherichia coli*. Причём, как показало микроскопирование, местообитание микроорганизмов независимо от модификации льда приурочено именно к «венам» из жидкой фазы, прорезающей твёрдую.

В этих «венах» повышено содержание солей. В итоге получается, что создаются условия повышенного давления, повышенного содержания солей и пониженной температуры, а организмы, обитающие в данных условиях, относятся по каждому из параметров соответственно к группе барофилов, галофилов и психрофилов. Для организмов, обитающих в среде с подобными сочетаниями условий, ввели термин «эвтектофилы» [5].

Психрофилы – хозяева вечнохолодных местообитаний [6]. В основном изучались психрофильные организмы океанических и материковых вод, что делает актуальными выделение и изучение именно почвенных актиномицетов.

Психрофилы широко распространены в природе, поскольку они формируют постоянные микробные сообщества регионов вечнохолода, полярных регионов и океанов [5]. Температура почв в разных природных зонах

резко отличается. Почвы в зонах с холодным и умеренным климатом в течение длительного времени находятся при очень низких температурах, во многих почвах температура вообще не поднимается выше 5–10°C, т. е. все микробиологические процессы должны идти при температурах гораздо более низких, чем те, которые обычно используются при выращивании почвенных организмов в лабораторных условиях (20–28°C) [54].

Психрофильные и психротрофные микроорганизмы встречаются в природных местообитаниях и пищевых продуктах. В природных микробных экосистемах психрофилы и психротрофы играют важную роль в расщеплении органического вещества в холодное время года [34]. Установлено, что интенсивность развития исследуемых почвенных микроорганизмов в почве и воде при снижении температуры замедляется, снижается и количество видов, способных к развитию. Грибы менее чувствительны к низким температурам, чем бактерии, а актиномицеты занимают промежуточное положение между грибами и бактериями [55].

Психротолерантные комплексы актиномицетов в почвах тундры и тайги

Сведений о психрофильных и психротолерантных актиномицетах в научной литературе очень мало. Большинство сообщений относится к исследованию океанических вод. Истинные психрофильные актинобактерии в наземных экосистемах редки, чаще их выделяют из водных экосистем.

Актиномицеты обнаружены во льдах Антарктиды на глубине 3590 м в озере Восток [56]. Из вод фьорда Трондхейм (Trondheim Fjord) в Норвегии выделены актиномицеты рода *Streptomyces*, активно разлагающие целлюлозу и являющиеся продуцентами антибиотиков. Три штамма имели температурную зону роста от 0 до 25–28°C, один штамм рос при температуре 20°C, авторы называют его психрофильным [57]. Из воды и льда южных океанических морей выделены баротолерантные и психрофильные представители рода *Micromonospora* и *Rhodococcus* [35].

Из вод озера Хоаре в Антарктиде были выделены восемь штаммов хемоорганотрофных бактерий, относящихся к группе *Actinobacteria*. Все изоляты росли при 0°C, и все, за исключением одного, растут при температуре ниже 0°C. Среди изолятов оптимальная температура роста варьирует, но в основном составляет

15°C. Один из выделенных изолятов – истинный психрофил: оптимум роста около 10°C и диапазон роста не превышает 20°C. У одного штамма максимальная температура роста равна 40°C, но даже в этом случае рост возможен и при температуре ниже нуля. Доминирование в озёрах психротолерантных, а не психрофильных актиномицетов свидетельствует о молодом возрасте этих озёр по сравнению с другими холодными местообитаниями микроорганизмов, таких, как морские осадки, где психрофилов больше [58]. Из льдов Антарктики было выделено 769 актинобактерий, из которых 65% составили стрептомицеты. Встречались также и редкие роды *Streptosporangium*, *Micropolyspora*, *Actinomadura*, *Microbispora*, *Nocardia*, *Elytrosporangium* и т. д.

Новый род *Modestobacter multiseptatus* gen. nov., sp. nov. психрофильных актиномицетов выделен из почв Трансантарктических гор [59]. Из образцов морены региона Антарктики выделены актиномицеты нового вида *Pseudonocardia antarctica* sp. nov. [60]. Исследования функциональных особенностей психрофильных и психротолерантных актинобактерий показали, что многие из них обладают способностью выделять внеклеточные ферменты. Из бореальных грунтовых вод Финляндии выделены две культуры актинобактерий, идентифицированные как *Subtercola frigormans* sp. nov. и *Subtercola boreus* gen. nov., sp. nov. Их рост наблюдался при температуре ниже 2°C с оптимумом 15–17°C. При 30°C рост отсутствовал [61].

Из шерсти животных выделен новый род психрофильных актинобактерий *Frigobacterium faeni* gen. nov., sp. nov. семейства *Microbacteriaceae*, растущих в температурном диапазоне 2–10°C [62].

Существуют лишь разрозненные сведения об обнаружении психрофильных актиномицетов в почвах [63]. Так, отмечалось, что в почвенных образцах, собранных в альпийских луговых экосистемах, обнаружены психрофильные актиномицеты, принадлежащие к родам *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Nocardia*, *Promicromonospora*. В условиях холодного климата в Китае среди почвенных актиномицетов преобладают представители рода *Streptomyces*. Среди психрофильных актиномицетов, выделенных из лесных и луговых почв юго-восточного Тибета, обнаружены представители рода *Actinosynnema* [64]. Из почв провинции Хиндзианг Китая выделен и описан новый вид психротолерантного стрептомицета, получивший название *Streptomyces*

beijiangensis sp. nov. [65]. Среди почвенных психрофильных актиномицетов в Китае представители рода *Streptomyces* (58%) преобладают над нокардиоформными актиномицетами (30%) и *Micromonospora* (12%) [19].

Главным компонентом целлюлозолитического бактериального сообщества в сфагновом торфе оказались представители филогенетической группы *Actinobacteria*, способные развиваться в кислых условиях и не требующие связанного азота. Их численность в варианте сукцессии образца сфагнового торфяника без обогащения Р и N увеличивалась на 2,5 порядка и составляла около трети от числа всех идентифицированных бактерий [66].

В Антарктических почвах актиномицеты встречаются редко. Тем не менее методом посева были выделены актиномицеты рода *Streptomyces*. Культуры выделялись из почв при 4°C. Многие штаммы образовывали внеклеточные ферменты и поверхность гликолипидной природы. Один из штаммов образует три антибиотика [67].

Из антарктического цианобактериального мата выделена оранжево-пигментная бактерия *Kokuria polaris*. Культура растёт в тем-

пературных границах от 5 до 30°C с оптимумом 20°C [68].

Исследование психрофильных антарктических культур открывает новые горизонты в энзимологии и биотехнологии. Ротшильд и Манчинетти [69] считают, что ферменты психрофильных культур действуют как высушивающие детергенты при биоремедиации вод, следующих за масляными полосами при низких температурах.

Психрофильные актиномицеты, среди которых преобладали стрептомицеты, были выделены из бедных, холодных и сухих почв Юннаня (Китай) [70]. Мезофильные и психрофильные актиномицеты (88 и 12% соответственно) были выделены из 220 образцов почв Шангри-Ла. Многие актиномицеты оказались продуцентами ферментов [71]. Исследования почв Полярного и Бореального географических поясов (табл. 2) [72] показало, что при инкубировании посевов из почвы при 5°C психротолерантные актиномицеты выявляются не во всех горизонтах тундровых почв, чаще из нижних. Численность психротолерантных актиномицетов, выделяемых на плотной питательной среде при ин-

Таблица 2

Характеристика исследуемых тундровых и таёжных почв

Название почвы, профиль или глубина взятия образца (см)	Район взятия образца	Среднегодовая температура почвы на глубине 20 см	Сумма активных температур почвы выше 10°C на глубине 20 см
Торфяно-криозём типичный ТО-Т1-ВСg	Типичная тундра Центральный Ямал	от -12° до -8°	400°
Криозём грубогумусный глееватый ТО-Т1-А-ВG	Мохово-лишайниково-кустарничковая тундра в районе г. Воркуты	от -8° до -4°	400-1200°
Глее-слабоподзолистая Ad-AE-Eg-Bg,t,f,h,al (0-10)	Северная тайга Надымский район Ямало-Ненецкого автономного округа окрестности г. Надыма	от -8° до -4°	400-1200°
Подзол гипсовый петрозём серогумусовый турбированный (0-5)	Северная тайга Чугский заповедник Архангельская обл.	от 4° до 8°	1200-2000°
Пелозём гумусовый глеевый (0-5)	Северная тайга Пинежский заповедник Архангельская обл.	от 0° до 8°	нет данных
Подзол иллювиально-железистый (лесные подстилки)	Северная тайга Большой Соловецкий остров	от 4° до 8°	1200-2000°
Торфяная олиготрофная ТО-ТТ (0-10)	Южная тайга Западновинский р-н Тверской обл.	от 4° до 8°	1200-2000°

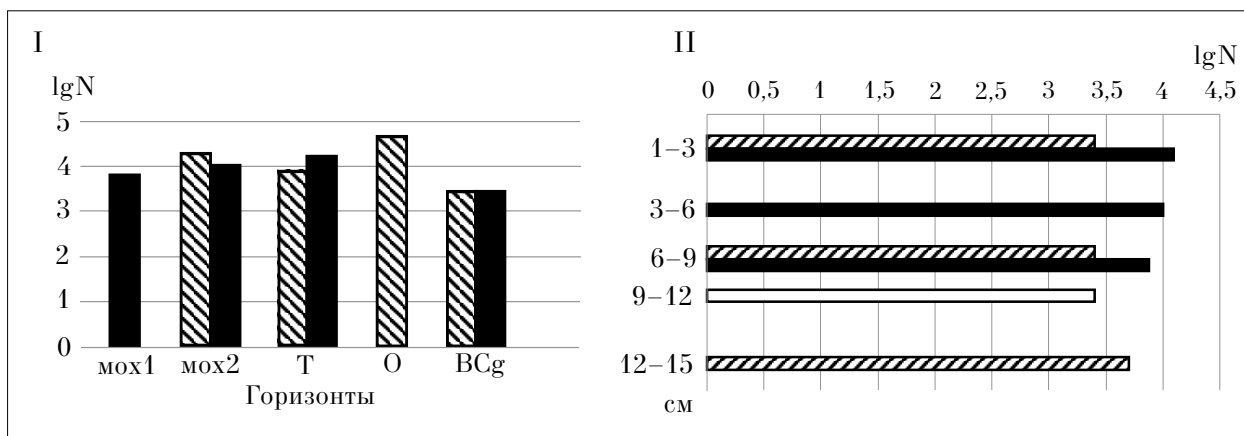


Рис. 5. Численность психротолерантных актиномицетов, выделенных из торфяно-криозёма типичного (I) и криозёма грубогумусного глееватого (II) при 5°C (белые столбики) и 20°C (заштрихованные столбики), и мезофильных актиномицетов, выделенных из этих почв при 28°C (чёрные столбики)

кубировании посевов при 20°C, сопоставима с количеством мезофильных форм (выделяемых при 28°C) (тысячи и десятки тысяч КОЕ/г субстрата) (рис. 5).

Психротолерантные актиномицеты составляют приблизительно половину актиномицетного комплекса тундровых почв. В подзолах и гипсовых петрозёмах на территории Чугского заказника Архангельской области количество психротолерантных мицелиальных бактерий также сопоставимо с количеством мезофильных форм (тысячи и десятки тысяч КОЕ/г субстрата).

Особое место среди актиномицетных комплексов исследуемых территорий занимают комплексы мицелиальных бактерий пелозёмов гумусовых глееватых на территории Пинежского заповедника Архангельской области. Эти почвы расположены в карстовом ландшафте, где за счёт перепадов рельефа образуются крупные замкнутые понижения, в которых после зимы застаивается холодный воздух и не тает снег под затенёнными склонами. Важным фактором формирования здесь низких температур является поток холодного воздуха из трещин, связанных с карстовыми пещерами. В результате температура почвы на дне карстовой воронки на глубине 10 см не превышает 4°C в летний период. Почвенный профиль пелозёма имеет мощность 3-5 см и состоит из верхнего горизонта подстилки, гумусового горизонта и нижнего оглеённого горизонта.

Низкие температуры пелозёмов способствуют развитию в них психротолерантных актиномицетов в количествах тысяч и сотен тысяч КОЕ/г субстрата (рис. 6, I). Доля этих актиномицетов в комплексе превышает долю мезофильных форм.

Значительное количество (сотни тысяч КОЕ/г субстрата) психротолерантных форм, часто превышающее количество мезофильных, выявлено в лесных подстилках подзола железистого Большого Соловецкого острова (рис. 6, II). Психротолерантные актиномицеты составляют значительную часть актиномицетного комплекса (а иногда и целиком комплекс) в лесных подстилках этой почвы.

Для наблюдения за динамикой длины актиномицетного мицелия были выбраны две контрастные по температурным условиям почвы: глее-слабоподзолистая с отрицательными среднегодовыми температурами и олиготрофная торфяная с положительными температурами, не превышающими 10°C [72]. При инкубировании посевов при 5°C психротолерантные актиномицеты в торфяной олиготрофной почве обнаружены не были, тогда как в глее-слабоподзолистой почве их численность достигала сотен тысяч КОЕ/г. Численность психротолерантных форм, выделяемых при 20°C, оказалась на порядок выше в подзолистой почве по сравнению с торфяной олиготрофной почвой.

Люминесцентно-микроскопические исследования показали, что в ходе микробной сукцессии, инициированной увлажнением почвы и инкубированием её при 5 или 20°C, мицелий актиномицетов растёт и развивается. В торфяной почве при 5°C прирост мицелия психротолерантных актиномицетов в ходе сукцессии оказался менее значительным (до 140 м/г) по сравнению с приростом мицелия в подзолистой почве (до 380 м/г).

Исследование прокариотного микробного сообщества органогенных горизонтов олиготрофной торфяной и глее-слабоподзолистой почв, а также кедровой подстилки подзола ме-

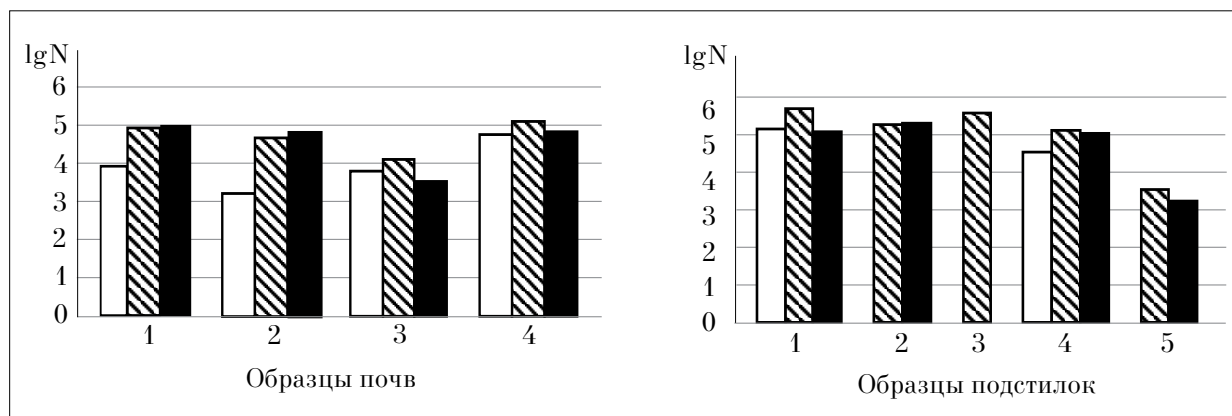


Рис. 6. Численность психротолерантных и мезофильных актиномицетов, выделенных при разных температурах из пелозёмов гумусовых глееватых (I) и лесных подстилок подзолов иллювиально-железистых (II). Обозначения см. рис. 1.

тодом гибридизации *in situ* с помощью 16S рРНК специфичных олигонуклеотидных зондов, определяющих представителей филогенетической группы *Actinobacteria*, показало, что в сообществах исследуемых почв метаболически активные мицелиальные актинобактерии составляют большую долю по сравнению с одноклеточными, что особенно заметно в подстилке кедрового леса на подзоле железистом (рис. 7) [72].

В результате проведённых исследований выделены культуры актиномицетов. Все они отнесены к разным видам рода *Streptomyces*. Для штаммов 5-4-1 и мох 18 проведено определение фенотипических признаков и секвенирование гена 16S рРНК и показано сход-

ство штамма 5-4 со *Streptomyces beijiangensis*, новым видом психротолерантного стрептомицета, выделенного из почв Китая [65], а штамма мох 18 – со *Streptomyces parvus*.

С использованием расчёта радиальной скорости роста колоний стрептомицетов установлены температурные границы их роста. Выявлено, что температурный диапазон роста стрептомицетов, выделенных из почв при 5, 20 и 28°C, различен. Мезофильный стрептомицет *Streptomyces tenebrarius* шт. 3 А, выделенный при 28°C, растёт в диапазоне температур от 12 до 45°C, оптимум роста отмечен при 28°C. Психротолерантные стрептомицеты *S. wedmorensis* шт. Н-5-2, *S. xanthochromogenes* шт. Н-5-1; *S. helveticus* шт. 8-5-3, шт. 8-5-2,

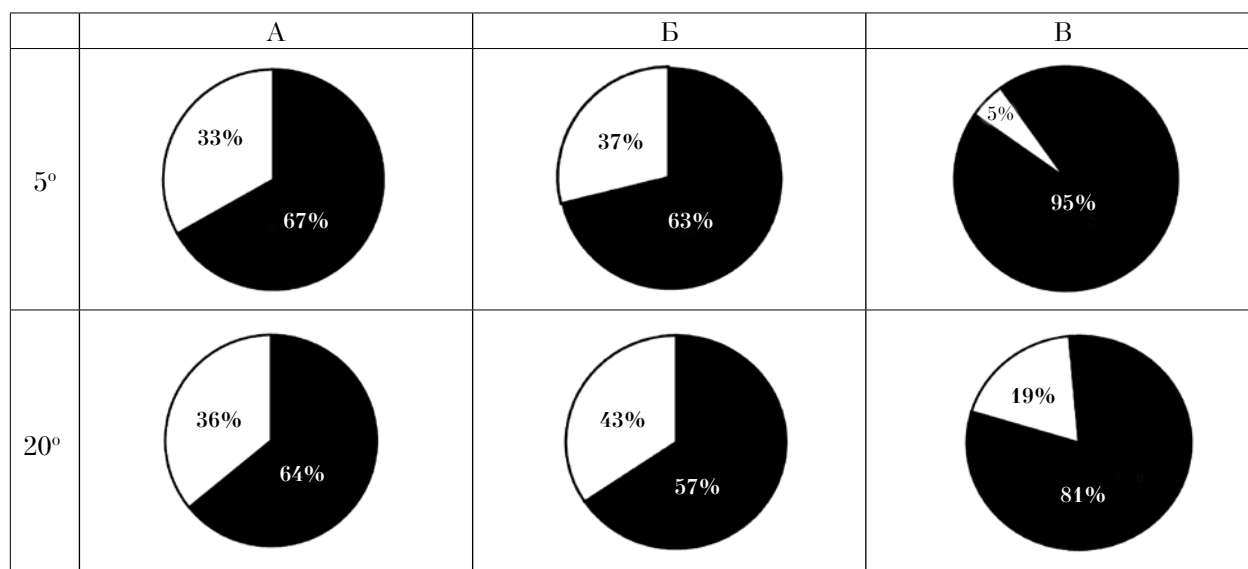


Рис. 7. Соотношение биомасс метаболически активных мицелиальных (чёрные сегменты) и одноклеточных (белые сегменты) представителей филогенетической группы *Actinobacteria* в прокариотном микробном сообществе органогенных горизонтов исследуемых почв: А – глее-слабоподзолистой, Б – торфяной олиготрофной, В – лесных подстилок подзолов иллювиально-железистых

S. aburaviensis шт. Н-5-6, *S. caeruleus* шт. Н-5-4, выделенные при 5° или 20°C, растут в диапазоне температур от 5 до 37°C. Максимальная величина радиальной скорости роста колоний отмечена при 20°C. *Streptomyces beijiangensis* шт. 5-4-1 и *S. aburaviensis* шт. Н-5-6, выделенные при 5°C из почвы, имеют диапазон роста от 2 до 28°C. Оптимум роста отмечен у этих культур при 5°C, по классификации психрофильных актиномицетов [19] их можно отнести к умеренным психрофильным стрептомицетам.

Выявлена зависимость роста психротолерантного стрептомицета *S. aburaviensis* шт. Н-5-6 от двух экологических факторов – температуры и влажности. Показано, что каждому уровню влажности и температуры соответствует определённая специфика развития стрептомицета. Психротолерантный стрептомицет растёт на среде при ОВ 98% (aw 0,98) при температурах 20 и 28°C и проходит полный цикл развития от споры до образования колоний с субстратным, воздушным мицелием и цепочками спор. При 5°C в условиях ОВ 98% отмечено образование субстратного мицелия, воздушный мицелий и споры не образуются. При ОВ 86% (aw 0,86) культура растёт при 28, 20 и 5°C, однако не проходит полного цикла развития. Споры прорастают, образуя лишь субстратный мицелий без воздушного мицелия и спор. При экстремально низком уровне влаги (aw 0,67) видимого роста колоний актиномицета не наблюдается. Можно заключить, что исследуемый стрептомицет *S. aburaviensis* является психротолерантным и ксеротолерантным.

При низких температурах выделенные из холодных почв актиномицеты проявляют антагонизм к грамотрицательным бактериям родов *Aquaspirillum*, *Bacteroides*, грибам родов *Fusarium*, *Penicillium* и грибам *Mucor riemalis*, *Cladosporium herbarum*; у психротолерантных актиномицетов отмечена пектинолитическая и амилитическая активность.

Таким образом, в северных почвах с низкими температурами, не превышающими 10°C даже в поверхностных слоях в летнее время года, активно растут и развиваются физиологически активные почвенные психротолерантные актиномицеты, образуют мицелий и составляют неотъемлемую часть гидролитического микробного блока, принимающего участие в деградации растительных остатков. Очевидно, температурная адаптация мицелиальных бактерий к почвенной среде способствует сохранению биологического разнообразия в почвах северных регионов.

Заключение

Почвенная матрица как арена микромира, где микробные популяции размножаются, обмениваются генетической информацией, перемещаются, погибают, чрезвычайно гетерогенна. Наиболее значимыми особенностями почвы как среды обитания для мицелиальных бактерий, среди прочих, является температура. Несмотря на то, что большинство актиномицетов является мезофилами, температурные адаптации, свойственные этим мицелиальным прокариотам, способствуют сохранению разнообразия актиномицетных комплексов как в периодически прогреваемых почвах южных регионов, так и в холодных промерзающих почвах северных бореальных и полярных поясов.

Литература

1. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1987. 355 с.
2. Современная микробиология. Прокариоты /Под ред. Й. Ленглер, Г. Древис, Г. Шлегель (ред). М.: Изд-во Мир, 2005. Т. 2. 449 с.
3. Haberstick I.U., Zuber H. Thermoadaptation of enzymes in thermophilic and mesophilic cultures of *Bacillus stearothermophilus* and *Bacillus caldotaenax* // Arch. Microbiol. 1974. V. 98. P. 275–287.
4. Russell N. J. Molecular adaptations in psychrophilic bacteria: potential for biotechnological applications // Adv. in Biochem. Eng. Biotechnol. 1998. V. 61. P. 1–2.
5. Deming J. W. Psychrophiles and polar regions // Curr. Opin. Microbiol. 2002. V. 5. P. 301–309.
6. Georlette, Damien, Blaise, Depiereux, Uversky, Gerday and Feller. Structural and functional adaptations to extreme temperatures in psychrophilic, mesophilic, and thermophilic DNA ligases // J. Biol. Chemistry. 2003. V. 278. № 39. P. 37015–37023.
7. Калакуцкий Л.В., Агре Н.С. Развитие актиномицетов. М.: Наука, 1977. 286 с.
8. Агре Н.С. Систематика термофильных актиномицетов. Пущино. 1986. 130 с.
9. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. М.: Изд-во ГЕОС, 2001. 256 с.
10. The Prokaryotes. V. 3: Archaea, Bacteria: Firmicutes, Actinomycetes. Springer New York. 2006. P. 297–321.
11. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М.: Изд-во Книжный дом Университет, 2001. 255 с.
12. Грандберг И.И. Органическая химия. М.: Дрофа, 2001. 672 с.
13. Moyer Craig L., Morita Richard Y. Psychrophiles and psychrotrophs // Encyclopedia of life sciences. 2007. John Wiley & Sons. Ltd. www.els.net.

14. Jin X., Xu L.H., Mao P.H., Hseu T.H., Jiang C.L. Description of *Saccharomonospora xijiangensis* sp. nov. based on chemical and molecular classification // Intern. J. Syst. Bacteriol. 1998. V. 48. P. 1095–1099.
15. Stackebrandt E., Rainey F.A., Ward-Rainey N.L. Proposal for a new hieraric classification system, Actinobacteria classic nov. // Int. J. Syst. Bacteriol. 1997.V. 47. № 2. P. 479–491.
16. Kim S.B., Falconer Ch., Williams E., Goodfellow M. *Streptomyces thermocarboxydovorans* sp. nov. and *Streptomyces thermocarboxydus* sp.nov., two moderately thermophilic carboxydotrophic species from soil // Inter. J. Syst. Bacteriol. 1998. V. 48. P. 59–68.
17. Farrell Y., Campbell L.L. Thermophilyc bacteria and bacteriophages // Adv. Microbiol. Physiol. 1969. V. 3. P. 83–109.
18. М.В. Гусев, Л.А. Минеева. Микробиология. Классич. универ. учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 464 с.
19. Jiang C., Xu L. Actinomycete diversity in unusual habitats // Actinomycetes. 1993. V. 4. № 2. P. 47–54.
20. Goodfellow, Kim S.B., Minnikin D.E., Whitehead D., Zhou Z.-H., Mattinson A.D. *Amycolatopsis sacchari* sp. nov., a moderately thermophilic actinomycete isolated from vegetable matter // Intern. J. Syst. Evolu. Microbiol. 2001. V. 51. P. 187–193.
21. Kim B., Sahin N., Minnikin D.E., Zakzewska –Czerwinska J., Mordarski M., Goodfellow M. Classification of thermophilic streptomycetes, including the description of *Streptomyces thermoalcalitolerans* sp. nov. // Int. J. Syst. Bact. 1999. V. 49. P. 7–17.
22. Kumar B., Trivedi P., Kumar Mishra A., Pandey A., Lok Man S. Microbial diversity of soil from two hit springs in uttaranchal Himalaya // Microbiological Research. 2004. V. 159. № 2. P. 141–146.
23. Niemi R.M., Knuth S., Lundstrom K. Actinomycetes and fungi in surface waters and in potable water // Appl. Environ. Microbiol. 1982. V. 42. № 2. P. 378–388.
24. Song J., Weon H.V., Yoon S.H., Park D.S., Go S.J., Suh J. W. Polygenetic diversity of thermophilic actinomycetes and *Thermoactinomyces* spp. Isolated from mushroom composites in Korea based on 16 S rRNA gene sequence analysis // FEMS Microbiol. Lett. 2001. V. 202. № 1. P. 97–102.
25. Tan G. Y.A., Robinson S., Lacey E., Goodfellow M. *Amycolatopsis australiensis* sp. nov., an actinomycete isolated from arid soils // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2006. V. 56. P. 2297–2301.
26. Gardkari D., Morsdorf G., Meyer O. Chemolithoautotrophic assimilation of dinitrogen by *Streptomyces thermoautotrophicus* UBT 1: identification of an unusual N₂-fixing system // J. Bacteriol. 1992. V. 174. P. 6840–6843.
27. Курапова А.И., Зенова Г.М., Орлеанский В.К., Манучаров А.С., Норовсурэн Ж. Мезофильные и термотолерантные актиномицеты в разогреваемых почвах // Вестник Моск. ун-та. Серия 17 Почвоведение. 2008. № 3. С. 45–57.
28. Зенова Г.М., Лысенко А.М., Манучарова Н.А., Курапова А.И., Дуброва М. С. Таксономическая и функциональная структура психротолерантных и термотолерантных комплексов почвенных актиномицетов // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 3. С. 66–72.
29. Зенова Г.М., Курапова А.И., Лысенко А.М., Звягинцев Д.Г. Структурно-функциональная организация комплексов термотолерантных актиномицетов пустынных и вулканических почв // Почвоведение. 2009. № 5. С. 575–580.
30. Грядунова А.А., Зенова Г.М., Поздняков А.И., Звягинцев Д.Г. Актиномицетный комплекс в низинной торфяной почве // Болота и биосфера: Материалы третьей научной школы. Томск. 2004. С. 184–192.
31. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М., Дорошенко Е.А., Грядунова А.А., Грачева Т.А. Судницын И.И. Развитие актиномицетов при низкой влажности // Известия РАН. Серия биологическая. 2007. № 3. С. 296–302.
32. Ермилова Е.В. Молекулярные аспекты адаптации прокариот. С.-Петербург: Изд-во С.-Петербургского университета, 2007. 207 с.
33. Feller G., Gerday C., Psychrophilic enzymes: hot topics in cold adaptation // Nat. Rev. Microbiol. 2003. V. 1. P. 200–208.
34. Gounot A.-M. Psychrophilic and psychrotrophic microorganisms // Experientia. 1986. V. 42(1-12). P. 1192–1197.
35. Helmke E., Weyland H. Psychrophilic versus psychrotolerant bacteria – occurrence and significance in polar and temperate marine habitats // Cell. Mol. Biol. 2004. V. 50. P. 553–561.
36. Jiang C.L., Xu L.H. Diversity of aquatic Actinomycetes in lakes of in Middle platen, Yunnan, China // Appl. Environ. Microbiol. 1996. V. 62. Yss. 1. P. 249–253.
37. Определитель бактерий Берджи. М. Изд-во Мир, 1997. Т. 2. 799 с.
38. Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешникова М.А., Терехова Л.П., Максимова Т.С. Определитель актиномицетов. М.: Наука, 1983. 245 с.
39. Gow I.A., Mills F.I Pragmatic criteria to distinguish psychrophiles and psychrotrophs in ecological systems // Appl. and Environment. Microbiology. 1984. V. 47. P.213–215.
40. Roth N.H., Wheaton R.B. Continuity of psychrophilic and mesophilic growth characteristics in the genius *Arthrobacter* // J. Bacteriology. 1962.V. 83 P. 551–555.
41. Chintalapati S., Kiran MD., Shivaji S. Role of membrane lipid fatty acids in cold adaptation // Cell Mol Biol (Noisy-le-grand). 2004. V. 50. № 5. P. 631–42.
42. Graumann P., Marahiel M.A. Some like it cold: response of microorganisms to cold shok // Arch. Microbiol. 1996. V. 166. P. 293–300.
43. Wouters J.A., Rombouts F.M., Kuipers O.P. de Vos W.M., Abee T. The role of cold-shok proteins in low-

- temperature adaptation of food-related bacteria // System. Appl. Microbiol. 2000. V. 23. P. 165–173.
44. Smalas A.O., Leiros H.K. Os V., Willassen N.P. Gold – adapted enzymes // Biotechnol. Annu. Rev. 2000. V. 6. P. 1–57.
45. Lonhienne T., Gerday C Feller G. Psychrophilic enzymes revisiting the thermodynamic parameters of activation may explain local flexibility // Biochim. Biophys. Acta. 2000. 1543. P. 1–10.
46. Russel N.J. Toward a molecular understanding of cold activity of enzymes from psychrophiles // Extremophiles. 2000. V. 4. P. 83–90.
47. Wintrode P.L., Arnold F.H. Temperature adaptation of enzymes: lessons from laboratory evolution // Adv. Protein Chem. 2000. V. 55. P. 161–225.
48. D'Amico S., Collins T., Marx J.-C. et al. Psychrophilic microorganism: challenges for life // EMBO reports. 2006. V. 7. P. 385–389.
49. Mancuso Nichols C.A., Guezenne J., Bowman J.P. Bacterial exopolysaccharides from extreme marine environments with special consideration of the southern ocean, sea ice, and deep-sea hydrothermal vents: a review // Mar Biotechnol. 2005. V. 7. P. 253–271
50. Ermolenko D.N., Makhatadze G.I. Bacterial cold-shock proteins // Cell Mol. Life Sc. 2002. V. 59. P. 293–1913.
51. Phadtare S; Alsina J; Inouye M Cold-shock response and cold-shock proteins // Current opinion in microbiology. 1999. V. 2. № 2. P. 175–180.
52. Pascal Drouin, Danielle Prevost, Hani Antoun. Physiological adaptation to low temperatures of strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* associated with *Lathyrus* spp. // FEMS Microbiology Ecology. 2000. V. 32. № 2. P. 111–120.
53. Baxter R.M., Gibbous N.E. Observations on the physiology of psychrophilism in a yeast // Can. J. Microbiology. 1962. V. 8. № 4. P. 511–517.
54. Скворцова И.Н., Бабева И.П., Звягинцев Д.Г. Психрофильные микроорганизмы почв // Научн. докл. выс. школы. Биол. науки. 1973. № 11. С. 113–122.
55. Алтон Л.В. Адаптация организмов к условиям Крайнего Севера // Всесоюзное совещание: Тезисы докладов. Таллин. 1984. С. 13–14.
56. Priscu J. C., Adams E. E., Lions W. B., Voytek M. A., Mogk D. W., Brown R. L., McKay C. D., Welch K. A., Wolf C. F., Kirshtein J. D., Avci R. Geomicrobiology of Subglacial Ice Above Lake Vostok // Antarctic Science. 2000. V. 286. P. 2141–2144.
57. Hakvag S., Fjervik E., Josefsen K.D., Ian E., Ellingsen T.E., Zotchev S.B. Characterization of *Streptomyces* spp. isolated from the Sea Surface Microlayer in the Trondheim Fjord, Norway // Mar Drugs. 2008. V. 6 (4). P. 620–635.
58. Clocksin K.M., Jung D.O., Madigan M.T. Cold-active chemoorganotrophic bacteria from permanently ice-covered lake Hoare, Mc Murdo dry Valleys, Antarctica // Appl. and Environm. Microbiology. 2007. P. 3077–3083.
59. Mevs U., Stackebrandt E., Schuman P., Gallowski C. A., Hirsch P. *Modestobacter multiseptatus* gen. nov., sp. nov., a budding actinomycete from soil of the Asgard Range (Transantarctic Mountains) // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2000. V. 50. Pt. 1. P. 337–373.
60. Prabahar V. *Pseudonocardia antarctica* sp. novo an Actinomycetes from McMurdo Dry Valleys, Antarctica // Syst. Appl. Microbiol. 2004. V. 27. P. 66–71.
61. Mannisto M.K., Hagblom M.M. Characterization of psychrotolerant heterotrophic bacteria from Finnish Lapland // J. Syst. Appl. Microbiol. 2006. V. 29(3). P. 229–272.
62. Kampfer P., Rainey F.A., Andersson M.A., Nurmiaho Lassila E.L., Ulrych U., Busse H.J., Weiss N., Mikkola R., Salkinoja-Salonen M. *Frigoribacterium faeni* gen. nov., sp. nov., a novel psychrophilic genus of the family Micromonosporaceae // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2000. Pt. 1. P. 355–363.
63. Wang Q. L., Cao G. M., Jiang W. B., Zhang Y. S. Study on actinomyces population of alpine meadow soil in Qinghai // Wei Sheng Wu Xue Bao. 2004. 44(6). P. 733–736 .
64. He J.Q., Wu Y. F., Zhang G. J. Activity and ecological distribution of actinomyces from soil in the southeastern of Tibet // Wei Sheng Wu Xue Bao. 2006. V. 46(5). P. 773–780.
65. Li W.-J., Zhang L.-P., Xu P., Cui X.-L., Lu Z.-T., Xu L.-H., Jiang C.-L. *Streptomyces beijiangensis* sp. nov., a psychrotolerant actinomycete isolated from soil in China // J. Syst. Evol. Microbiol. 2002. V. 52. P. 1695–1699.
66. Панкратов Т.А., Дедыш С.Н., Заварзин Г.А. Ведущая роль Actinobacteria в процессах аэробной деструкции целлюлозы в сфагновых болотах // Докл. РАН. 2006. Т. 410. С. 546–567.
67. Gesheva V., Distribution of psychrophilic microorganisms in soils of Terra Nova Bay and Edmonson Point, Victoria Land and their biosynthetic capabilities // Polar Biol. 2009. V. 32. P. 1287–1291.
68. Gundlapally S.N. Reddy, Jogadhenu S.S. Prakash, Vadivel Prabahar, Genki I. Matsumoto, E. Stackebrandt and Sisintly Shivaji. *Kocuria polaris* sp.nov., an orange-pigmented psychrophilic bacterium isolated from fn Antarctic cyanobacterial mat sample // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2003. V. 53. P. 183–187.
69. Rothschild LJ, Manchinetti RZ (2004) Life in extreme environments // Nature. 2001. V. 409. P. 1092–1104.
70. Xu L., Li Q., Jiang C. Diversity of Soil Actinomycetes in Yunnan, China // Appl. Environ. Microbiol. 1996. V. 62(1). P. 244–248.
71. Cao Y., Jiang Y., Xu L. Diversity and bioactivity analysis of actinomycetes isolated from grand Shangri-la soil // Wei Sheng Wu Xue Bao. 2009. V. 49 № 1. P. 105–109.
72. Зенова Г.М., Дуброва М.С., Звягинцев Д.Г. Структурно-функциональные особенности комплексов почвенных психротолерантных актиномицетов // Почвоведение. 2010. Т. 43. № 4. С. 482–487.

Сравнительный анализ информативности методов определения бактериофиксирующей активности эритроцитов

© 2011. В. А. Оборин¹, к.м.н., доцент,
 Е. В. Пименов², чл.-корр. РАН, д.м.н, профессор, А. Г. Ивонин¹, к.б.н., инженер,
¹Вятский государственный университет,
²Лаборатория сравнительной кардиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
 e-mail: vaoborin50@mail.ru

Исследована фиксирующая активность эритроцитов человека в отношении микроорганизмов бактериальной природы. Показано, что фотокolorиметрический метод является более информативным по сравнению с методами световой микроскопии. Предлагается использовать данный метод для изучения адгезии бактерий на эритроцитах.

Fixing activity of human erythrocytes concerning microorganisms of the bacterial nature is investigated by means of a number of methods. It is shown that the photocolourimetric method is more informative in comparison with the methods of light microscopy. It is offered to use the given method for studying adhesion of bacteria on erythrocytes.

Ключевые слова: методы, бактерии, адгезия, эритроциты

Key words: methods, bacteria, adhesion, erythrocytes

В настоящее время доказано, что воздействие неблагоприятных экологических факторов на людей и животных приводит к изменению состава микрофлоры слизистых оболочек и покровных тканей. Это обусловлено изменением фиксирующей способности эпителиальных клеток и клинически проявляется в виде дисбиотических состояний. Поэтому изучение взаимодействия эукариотических клеток с различными микроорганизмами является актуальным направлением исследований.

По современным представлениям адгезия бактерий к слизистым оболочкам и покровным тканям представляет собой сложный и многофакторный процесс взаимодействия между про- и эукариотическими клетками [1 – 3]. При этом способность бактерий прикрепляться к поверхности организма хозяина рассматривается как их адгезивные свойства [4, 5]. Способность эритроцитов фиксировать на своей поверхности микробные клетки обозначается как бактериофиксирующая активность эритроцитов (БФАЭ) [6].

На сегодняшний день в основном изучаются адгезивные свойства микробных клеток, а фиксирующая способность клеток организма-хозяина в отношении микроорганизмов бактериальной природы остаётся малоисследованной. При изучении адгезивных свойств бактерий применяется большое количество методов как *in vitro*, так и *in vivo*. Методы *in vivo* с использованием различных лабораторных животных (кролики, белые мыши),

несмотря на информативность, трудоёмки, дорогостоящи, длительны и малоприспособны для исследования большого числа культур [7].

При определении адгезивных свойств бактерий *in vitro* в качестве клеток организма-хозяина применяют эпителиоциты, эритроциты, реже – тканевые и органы культуры клеток [8]. Их применение решает этические проблемы использования лабораторных животных, ускоряет процесс получения информации.

Методики получения эпителиальных клеток являются трудоёмкими, в то время как эритроциты легко можно получать в необходимых количествах. Кроме того, эритроциты имеют на своей поверхности гликофорин – вещество, идентичное гликокаликсу эпителиоцитов, на котором расположены рецепторы для адгезивных микробов [7, 8]. Поэтому при изучении процессов адгезии бактерий на эукариотических клетках чаще применяются эритроциты людей и различных видов животных [9 – 11].

Для оценки уровня адгезии микроорганизмов к эритроцитам широко применяется световая микроскопия [8, 12, 13]. На этом методическом подходе основан ряд методик [12, 14].

Метод, разработанный В. И. Брилис с соавторами [12], заключается в совместной инкубации бактерий с эритроцитами и последующей оценке результатов взаимодействия между клетками под световым микроскопом. Эффективность данного метода была показана многими авторами в сравнительных исследова-

дованиях с использованием тканевых культур и изолированных эпителиальных клеток [7, 8, 11, 15].

С. С. Гизатулина с соавторами [14] предлагают определять адгезивные свойства бактерий по способности их колоний связывать на своей поверхности эритроциты с образованием своеобразного «ободка».

Авторами статьи разработан фотоколориметрический метод определения БФАЭ, на который получен патент РФ на изобретение [16]. Метод основан на определении оптической плотности надосадочной жидкости пробы, содержащей суспензию эритроцитов и бактерий, после предварительного её инкубирования на вращающейся платформе при температуре 37°C и последующего осаждения эритроцитов путём центрифугирования. Фотоколориметрический метод хорошо зарекомендовал себя при изучении БФАЭ млекопитающих в отношении вакцинных штаммов возбудителей чумы, сибирской язвы, туляремии и бруцеллёза [17].

Целью настоящей работы являлось сравнительное изучение информативности разработанного авторами фотоколориметрического метода определения БФАЭ с методами, которые используются при оценке адгезивных свойств микроорганизмов бактериальной природы [12, 14].

Материалы и методы исследований

В работе использовали вакцинные штаммы *Yersinia pestis* EV НИИЭГ и *Bacillus anthracis* 55 ВНИИВВиМ, полученные из ФГУ «48 ЦНИИ Минобороны РФ» (г. Киров), пробиотические штаммы *Escherichia coli* M-17, *Bifidobacterium bifidum* № 1, *Lactobacillus plantarum* P4, *Lactobacillus buhneri* P0, *Lactobacillus casei* DN-114001, *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 53103, *Lactobacillus acidophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*, предоставленные ОАО «Агровет» (г. Киров), клинические штаммы *Escherichia coli* серогрупп O86, O112, O124, O142, O144 и O152, полученные из бактериологической лаборатории госпиталя в/ч 1407 ФГУ «48 ЦНИИ Минобороны РФ», и музейные штаммы *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Serratia marcescens* и *Klebsiella pneumoniae* из коллекции кафедры морфологии и микробиологии ФГОУ ВПО «Вятская ГСХА».

Культивирование штамма *Y. pestis* EV НИИЭГ осуществляли на ГРМ-агаре (рН 7,2) при

температуре (28±1)°С в течение 24 часов. Клинические и музейные штаммы выращивали на ГРМ-агаре (рН 7,2) при температуре (37±1)°С в течение 24 часов. Для выделения лактобацилл использовали питательную среду Мозера-Рогоза-Шарпа (MRS), выращивание осуществляли в анаэробных условиях. Культуры вакцинного штамма *B. anthracis* 55 ВНИИВВиМ получали путём выращивания на мясо-пептонном агаре (МПА) при температуре (37±1)°С в течение 24 часов. Споры *B. anthracis* 55 ВНИИВВиМ использовали в работе без предварительного культивирования. Выраженные на питательных средах и лиофильно-высушенные культуры суспензировали в стерильном 0,9%-ном растворе хлорида натрия (рН 7,2).

Для получения суспензии эритроцитов использовали венозную кровь донора 0(I) Rh+ группы крови. В качестве антикоагулянта применяли 3,8% раствор цитрата натрия (1:10). Не позднее 24 ч. после взятия крови эритроциты трижды отмывали десятикратным объёмом 0,9% раствора хлорида натрия путём центрифугирования при 1000 об/мин в течение 5 мин. и ресуспензировали в этом же растворе.

Оценку БФАЭ человека осуществляли, определяя индекс адгезии микроорганизмов (ИАМ) по методу [12], процента адгезивно-активных колоний (АКК) по методу [14] и показателю БФАЭ, определяемому фотоколориметрическим методом [16]. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли при помощи компьютерной программы «Biostat» версии 4.03 с вычислением значений средней арифметической (M), ошибки средней арифметической (m) и коэффициента достоверности (p). Достоверность различий между группами оценивали с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Данные сравнительного изучения фиксирующей активности эритроцитов человека 0(I) Rh+ группы крови в отношении клеток *Y. pestis* EV НИИЭГ, спор и вегетативных клеток *B. anthracis* 55 ВНИИВВиМ, а также ряда других микроорганизмов бактериальной природы представлены в таблице.

Из анализа данных таблицы следует, что фиксирующая способность эритроцитов человека в отношении изученных микробных культур значительно варьирует. Высокую степень фиксации эритроциты человека прояви-

Таблица

Результаты определения фиксирующей способности эритроцитов человека в отношении различных микробных штаммов ($M \pm m$; $n=5$)

Бактерии	ИАМ	ААР, %	ПБФАЭ, %
Вакцинные штаммы			
<i>B. anthracis</i> 55 ВНИИВВиМ	4,91±0,67	10,91±1,58	46,69±2,77
<i>Y. pestis</i> EV НИИЭГ	7,02±0,95	0	77,41±5,29
Пробиотические штаммы			
<i>E. coli</i> M-17	2,67±0,28	0	6,11±0,91
<i>L. plantarum</i> P4	2,07±0,41	0	7,34±2,19
<i>L. buchneri</i> P0	2,21±0,17	0	32,13±3,11
<i>L. casei</i> DN-114001	4,23±0,62	14,34±2,37	55,25±4,17
<i>L. rhamnosus</i> ATCC 53103	1,12±0,07	0	14,72±1,25
<i>L. acidophilus</i>	0,12±0,02	0	0,25±0,04
<i>L. bulgaricus</i>	2,64±0,12	0	гемолиз
<i>B. bifidum</i> №1	1,93±0,51	0	0,66±2,54
Клинические штаммы			
<i>E. coli</i> O151	3,53±0,44	9,33±4,49	20,74±2,19
<i>E. coli</i> O124	3,15±0,18	0	17,94±1,68
<i>E. coli</i> O142	2,14±0,41	8,33±2,41	2,49±1,75
<i>E. coli</i> O144	3,09±0,20	21,33±6,39	2,72± 2,15
<i>E. coli</i> O186	2,99±0,36	0	28,26±2,23
<i>E. coli</i> O112	1,85±0,16	10,01±1,53	3,11±5,34
Музейные штаммы			
<i>P. aeruginosa</i>	2,22±0,19	0	12,05±1,64
<i>K. pneumoniae</i>	1,65±0,24	0	2,42±2,02
<i>E. coli</i>	2,11±0,32	7,33±1,86	9,47±1,53
<i>P. vulgaris</i>	1,87±0,18	0	0,81±2,69
<i>P. mirabilis</i>	1,68±0,25	0	2,56±3,68
<i>S. epidermidis</i>	1,73±0,24	0	1,46±3,61
<i>S. saprophyticus</i>	1,84±0,18	0	0,34±2,69
<i>S. marcescens</i>	1,72±0,19	0	3,83±9,29
<i>M. luteus</i>	1,46±0,20	0	0,28±1,81

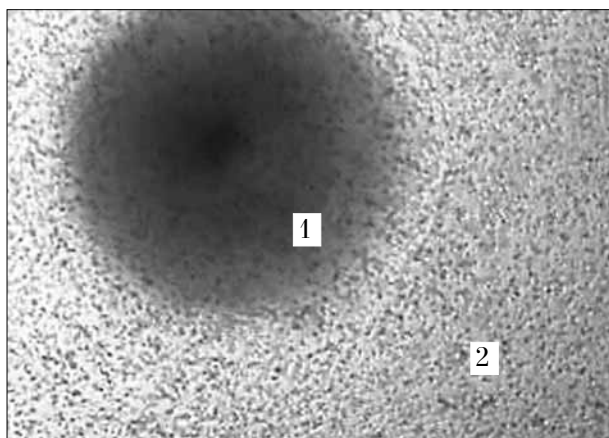


Рис. 1. Адгезивно-неактивная колония штамма *Y. pestis* EV НИИЭГ. Микрофотосъемка в падающем свете. Увел. ×80.
1 – микробная колония;
2 – эритроциты вокруг колонии

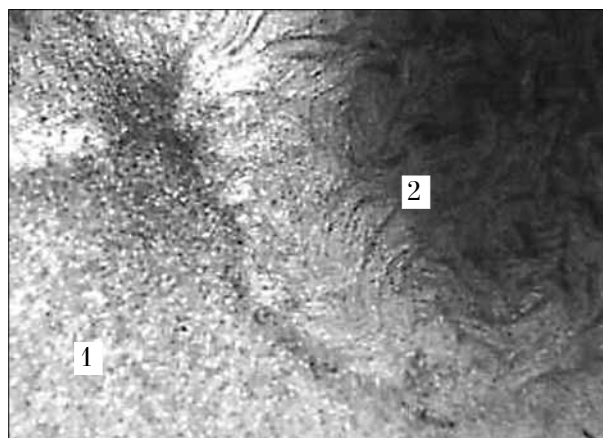


Рис. 2. Адгезивно-активная колония вакцинного штамма *B. anthracis* №55 ВНИИВВиМ. Микрофотосъемка в падающем свете. Увел. ×80.
1 – «ореол» из эритроцитов по краю колонии;
2 – микробная колония

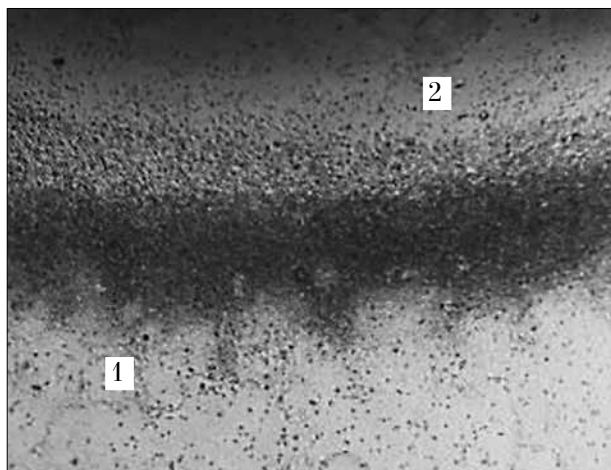


Рис. 3. Адгезивно-активная колония *E. coli* O144. Микрофотосъёмка в падающем свете. Увел. $\times 80$.
1 – скопление эритроцитов по краю колонии;
2 – микробная колония

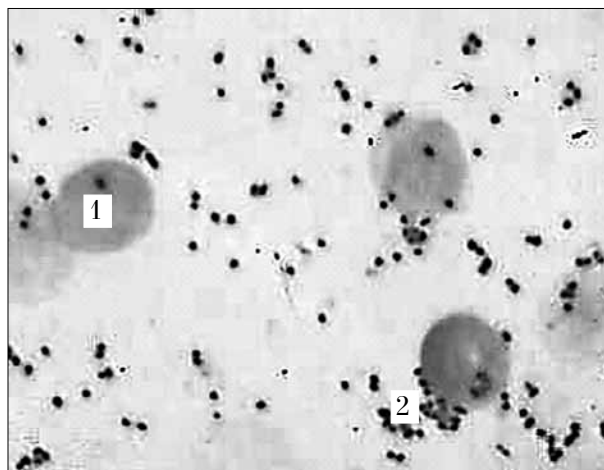


Рис. 4. Микроскопическая картина адгезии бактерий *Y. pestis* EV НИИЭГ к эритроцитам человека. Окраска по Граму. Увел. $\times 1000$.
1 – эритроциты; 2 – микробные клетки

ли в отношении клеток *Y. pestis* EV НИИЭГ и спор *B. anthracis* № 55 ВНИИВВиМ, а также микробных клеток пробиотических штаммов *L. casei* DN-114001 и *L. buchneri* РО. Фиксирующая способность эритроцитов человека в отношении штаммов, выделенных из кишечника человека, и музейных культур была выражена значительно слабее. Между значениями ПБФАЭ и ИАМ микробных культур установили сильную положительную корреляционную связь ($r=0,9$). В то же время между показателем ИАМ и количеством ААК корреляционная связь отсутствовала.

Установлено, что методом С. С. Гизатулиной [14] адгезивно-активные колонии выделялись в небольшом количестве – лишь у 7 из 25 исследуемых микробных культур, чаще у представителей кишечной группы бактерий. Вакцинный штамм *Y. pestis* EV НИИЭГ адгезивно-активных колоний не образовывал, хотя являлся высоко адгезивным (рис. 1). Вакцинный штамм *B. anthracis* 55 ВНИИВВиМ формировал колонии, вокруг которых в 10% случаев образовывался незначительно выраженный ободок из эритроцитов (рис. 2). Вокруг колоний штамма *E. coli* 144, выделенного из кишечника человека, находящегося на лечении в госпитале в/ч 1407 по поводу энтероколита, в 21% случаев формировался выраженный ореол из эритроцитов (рис. 3).

Учитывая полученные результаты и принимая во внимание, что методом С. С. Гизатулиной [14] оценивается взаимодействие эритроцитов не с отдельными микробными клетками, а с колониями бактерий, пришли к выводу, что

данный метод для определения БФАЭ использовать нецелесообразно.

Метод В. И. Брилис [12] давал возможность оценивать микроскопическую картину адгезии микробов к эритроцитам (рис. 4). Однако при его использовании возникли следующие затруднения. Во-первых, с помощью данного метода практически невозможно установить сам факт фиксации бактерий на эритроцитах: бактерии могут находиться рядом с эритроцитом или на его фоне, не прикрепившись к нему. Во-вторых, методом [12] исследуется взаимодействие бактерий с ограниченным количеством эритроцитов (50–100). В-третьих, метод обладает существенной трудоёмкостью.

Применение фотоколориметрического метода [16] за счёт использования приёмов седиментации эритроцитов с прикрепившимися к ним бактериями и фотоколориметрического определения последних в надосадочной жидкости позволяет установить процент микробных клеток, фиксированных на эритроцитах.

При этом одновременно оценивается фиксирующая способность миллионов эритроцитов. Определение БФАЭ с помощью прибора значительно повышает информативность и снижает трудоёмкость проводимых исследований.

Заключение

Таким образом, установлено, что метод С. С. Гизатулиной [14] не способен в полной мере охарактеризовать фиксирующую активность эритроцитов человека в отношении изу-

чаемых микробных культур. Метод В. И. Брилис [12], наряду с трудоёмкостью и ограниченным количеством исследуемых эритроцитов, не позволяет установить сам факт фиксации бактерий на эритроцитах.

Показано, что фотоколориметрический метод определения БФАЭ является более информативным по сравнению с методами световой микроскопии, так как позволяет устанавливать количество фиксированных на эритроцитах бактерий и даёт возможность одновременно изучать взаимодействие миллионов эритроцитов с микробными клетками. Регистрация результатов исследований осуществляется с помощью прибора, что не только повышает информативность, но и снижает трудоёмкость проведения исследований. Поэтому при изучении механизмов адгезии бактерий на эритроцитах целесообразно применять фотоколориметрический метод. Метод прост в исполнении, не требует дорогостоящего оборудования и может использоваться в любой бактериологической лаборатории как при изучении адгезивных свойств микробных клеток, так и при исследовании БФАЭ млекопитающих в отношении микроорганизмов бактериальной природы.

Литература

1. Дмитриева Н.Ф., Тимофеев Ю.М., Брико Н.И. Персистенция *Streptococcus pyogenes* // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2009. № 3. С. 104–109.
2. Симонова Е.В. Пономарева О.А. Роль нормальной микрофлоры в поддержании здоровья человека // Сибирский медицинский журнал. 2008. № 8. С. 20–25.
3. Saldana Z., Erdem A.L., Schiller S., Okeke I.N., Lucas M., Sivananthan A., Phillips A.D., Kaper J.B., Puente J.L., Giron J.A. The *Escherichia coli* common pilus and the bundle-forming pilus act in concert during the formation of localized adherence by Enteropathogenic *E. coli* // J. Bact. 2009. V. 191. № 11. P. 3451–3461.
4. Иванова В.В., Корнева Е.А. Закономерности взаимоотношений макроорганизма и возбудителей инфекционных болезней у детей // Вестник РАМН. 2000. № 11. С. 35–40.
5. Dunne W.M. Bacterial adhesion: seen any good biofilms lately? // Clin. Microbiol. Rev. 2002. V. 15. № 2. P. 155–166.
6. Каплин В.Н., Лейбович Е.З. Материалы к обоснованию ранней иммунологической диагностики дизентерии // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1979. № 6. С. 49–54.
7. Телесманич Н.Р., Ломов Ю.М., Бардых И.Х., Винокур Н.И. Адгезивные и некоторые другие свойства *Vibrio cholerae* ТСР⁺ СТХ⁺, изолированных на объектах внешней среды Ростовской области в 2002 году // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2004. № 6. С. 3–6.
8. Смолина Т.П., Черных С.В., Горшкова Р.П. Снижение адгезии микроорганизмов на клетках уроэпителия с помощью полисахарида, выделенного из морских протеобактерий *Pseudoalteromonas nigrifaciens* // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2006. № 3. С. 58–61.
9. Евтеева Н.И. Биоразнообразие энтеробактерий в природных местообитаниях Нижегородской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Н.Новгород. 2009. 25 с.
10. Колякина А.В. Лектиновые рецепторы холерных вибрионов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ставрополь. 2009. 18 с.
11. Курилова А.А., Проскурина В.А., Майская В.Д. Неоднородность штаммов *Bacillus anthracis* по способности к адгезии // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2004. № 3. С. 81–83.
12. Брилис В.И., Брилене Т.А., Ленцнер Х.П., Ленцнер А.А. Методика изучения адгезивного процесса микроорганизмов // Лабораторное дело. 1986. № 4. С. 210–212.
13. Ананьева Н.В., Ганина В.И., Ленченко Е.М., Ванина Н.Н. Оценка методов исследования взаимодействия бактерий с клетками животных // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 3. С. 53–55.
14. Гизатулина С.С., Биргер М.О., Кулинич Л.И., Фиш Н.Г., Мазитова О.П., Бирюкова Н.В. Способ оценки состояния микрофлоры кишечника человека по количеству адгезивно-активных колоний и типу адгезинов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1991. № 4. С. 21–23.
15. Зайцева Е.А., Сомов Г.П. Влияние температуры на адгезивные свойства листерий // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2006. № 3. С. 20–23.
16. Романов В.Е., Ивонин А.Г., Бондаренко А.Л., Оборин В.А., Нехорошкина Е.Л. Способ определения бактериофиксирующей активности эритроцитов. Патент РФ на изобретение № 2360969; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 11.
17. Оборин В.А. Бактериофиксирующая активность эритроцитов. Киров: Вятская ГСХА, 2010. 194 с.

Методы электронной оптики для изучения результатов воздействия антропогенных факторов на биологические объекты

© 2011. В. И. Жаворонков, д.т.н., профессор, В. Ю. Захаров, д.х.н., профессор, Е. Н. Резник, к.б.н., доцент, Д. В. Сабашный, студент, Вятский государственный гуманитарный университет, e-mail: ecolab2@gmail.ru

Исследована возможность применения электронно-оптических методов для изучения влияния экологических антропогенных факторов на состояние биологических объектов. Применение электронно-оптических преобразователей и цифровых фото- и видеокамер в сочетании с компьютерной обработкой изображений позволяет произвести визуализацию изменений интенсивности излучения, исследовать кинетику процессов. Сделан вывод о перспективности применения электронно-оптических методов для изучения состояния биологических объектов.

The possibility of using electronic-optic methods for studying the results of anthropogenic impact on biological objects is considered. Using electronic-optic converters and digital photo-cameras with the following computer processing of the images makes it possible to visualize the changes of radiation intensity and to investigate the kinetics of the processes. It was concluded that electronic-optic methods are useful for studying the state of biological objects.

Ключевые слова: электронно-оптические методы, антропогенные экологические факторы, хемилюминесценция

Key words: electronic-optic methods, anthropogenic ecological factors, chemiluminescence

В лаборатории функциональной электроники Вятского государственного гуманитарного университета в течение ряда лет разрабатываются методы регистрации сверхслабого излучения. Это излучение сопровождает все биологические процессы в природных объектах, несёт важную информацию о состоянии живых организмов и, по мнению многих исследователей, непосредственно вовлечено в регуляцию функционирования живых организмов. Характеристики излучения зависят от антропогенных экологических факторов [1, 2].

В связи с этим работы, посвящённые разработке методов регистрации излучения живых организмов, приобретают важное научное и прикладное значение.

Цель нашей работы – оценить возможность применения электронно-оптических методов воздействия антропогенных факторов на биологические объекты.

Для изучения ответных реакций биологических объектов на действие антропогенных факторов была создана экспериментальная установка, использующая в качестве фотоприёмника высокочувствительный электронно-оптический преобразователь (ЭОП) изображения. Применение ЭОП позволяет регистрировать пространственное распределение интенсивности излучения биологического объекта

в реальном масштабе времени, что даёт принципиально новые возможности для исследования живых организмов.

Установка была апробирована для исследования флуоресценции хлорофилла. Получив пространственное изображение флуоресценции, можно выделить, например, по площади листа, зоны, где активно протекает фотосинтез, определять содержание люминесцирующих пигментов в разных частях растений. Особенно широкие возможности может дать изучение полученных электронных изображений с использованием компьютерной техники [3, 4].

Современные цифровые фото- и видеокамеры по ряду параметров не уступают ЭОП. Применение в качестве электронно-оптических детекторов цифровых фотоаппаратов в сочетании с компьютерной обработкой изображений позволяет успешно исследовать спектры диффузного отражения. При этом метрологические характеристики результатов анализа не уступают определениям, полученным при помощи специализированных спектроскопических аналитических приборов [5].

Нами была исследована возможность применения цифровой фотографии для качественной оценки влияния антропогенных факторов на спектр диффузного отражения листа растения.

Эксперимент проводили в условиях модельного лабораторного опыта. Объектами исследования являлись проростки ячменя сорта Новичок. Проростки выращивали в водной культуре в течение 7 суток. За сутки до эксперимента в среду выращивания добавляли модельные токсиканты: раствор ацетата свинца (10000 ПДК по свинцу) и нефтяную эмульсию (содержание нефти 0,01 г/100 мл). Контроль – дистиллированная вода.

Из каждого варианта случайным образом отбирали три проростка. Участки листьев фотографировали при помощи компактной цифровой фотокамеры Canon. Камера располагалась параллельно поверхности листа растения на расстоянии 10 см. Для каждого из проростков получено по три увеличенных в 24 раза изображения участков поверхности листа размерами 4,17×6,25 мм.

Для выявления различий между вариантами изображения использовали программу «Фотопшоп 7.0». По гистограммам яркости в красном, зелёном и синем каналах для вариантов опытов рассчитывали средние значения следующих показателей гистограмм яркости:

- Mean (среднее) – показывает усреднённое значение интенсивности;
- Standard deviation (Std Dev) (стандартное отклонение) – показывает, как величина интенсивности изменяется в различных точках, фактически характеризует степень разброса значений яркостей пикселей;
- Median (медиана) – показывает среднюю величину в пределах значений интенсивности.

Сравнение гистограмм показало, что показатель Std Dev по красному и зелёному каналам достоверно увеличивается при воздействии на проростки ячменя антропогенных факторов: внесения в питательную среду соединений свинца и нефтепродуктов.

Вероятной причиной зависимости показателя Std Dev от загрязнения питательной среды может являться увеличение пространственной неоднородности в локализации пигментов листьев, вызванное неблагоприятным воздействием исследованных факторов на развитие растения.

Для выявления влияния антропогенных факторов представляется перспективным исследовать кинетику процесса люминесценции биологического объекта. С этой целью мы проводили видеосъёмку экрана ЭОП.

В качестве модельной хемилюминесцентной системы применяли раствор индолилук-

сусной кислоты. Для приготовления рабочего раствора использовали фосфатный буфер 0,01 моль/л, pH 7,4. Буферный раствор, содержащий индолилуксусную кислоту в концентрации 10^{-3} моль/л, облучали при помощи фотовспышек различной мощности в течение 2 с. После этого регистрировали хемилюминесценцию раствора с помощью ЭОП.

Автосенсибилизированная хемилюминесценция индолилуксусной кислоты регистрировалась в течение примерно 4 с. Интенсивность хемилюминесценции зависела от мощности вспышки и спадала со временем по экспоненциальному закону. Проведённые исследования показали перспективность применения ЭОП в сочетании с видеосъёмкой при изучении хемилюминесцентных систем.

Разработанные методики исследования биологических объектов при помощи электронно-оптических приборов могут быть использованы при проведении экологических исследований. Они не требуют длительной предварительной подготовки и позволяют в короткие сроки получить объективную информацию. При помощи этих методик можно изучать характеристики фотосинтеза высших и низших растений, фитопланктона, исследовать влияние абиотических и антропогенных факторов на состояние высших растений при проведении экологического мониторинга.

Литература

1. Францев В.В. Люминесцентные показатели листьев растений в зависимости от антропогенных экологических факторов: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва: МГУ им М. В. Ломоносова, 2006. 22 с.
2. Жаворонков В.И., Рясик И.О. Метод электронно-оптической регистрации сверхслабых излучений биологических объектов // Конгресс по газоразрядной визуализации биоэлектрографии: Тезисы докл. VI Междунар. науч. конгресса. Санкт-Петербург. 2002. С. 76–77.
3. Жаворонков В.И., Зыкина Н.А., Резник Е.Н. Наблюдение флуоресценции хлорофилла с использованием электронно-оптического преобразователя // Вестник Вятского государственного педагогического университета. 2001. № 5. С. 22–23.
4. Жаворонков В.И., Жаворонков С.И., Резник Е.Н. Регистрация пространственного распределения интенсивности хлорофилла // Водные экосистемы и организмы: Матер. науч. конф. Москва: МАКС Пресс, 2001. С. 60.
5. Апяри В.В., Дмитриенко С.Г. Применение цифрового фотоаппарата и компьютерной обработки данных для определения органических веществ с использованием диазотированного пенополиуретана // Журнал аналитической химии. 2008. Т. 63. № 6. С. 581–588.

**Оценка степени загрязнения снегового покрова
в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината**

© 2011. С. Г. Скугорева¹, к.б.н., н.с., Т. А. Адамович², аспирант, Г. Я. Кантор¹, к.т.н., н.с.,
В. П. Савиных³, д.т.н., чл.-корр. РАН, Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д.т.н., зав. лабораторией,
А. В. Измestьева², студент,

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

²Вятский государственный гуманитарный университет,

³Московский государственный университет геодезии и картографии,
e-mail: ecolab2@gmail.com

В статье представлены данные по состоянию снегового покрова в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината по результатам химического анализа и биотестирования за два зимних периода (2008–2009 и 2009–2010 гг.). Выявлены участки максимального загрязнения снега нитратом аммония и хлоридом натрия. Установлено, что жизнеспособность семян пшеницы оказалась наиболее восприимчивым показателем к содержанию поллютантов в снеге. Для визуализации полученных данных использовали методы картографирования.

The article presents the data on the state of snow cover pollution within the Kirovo-Chepetsk chemical plant according to the results of chemical analysis and biotesting during two winter seasons (2008–2009 and 2009–2010). The areas with maximum snow pollution with ammonium nitrate and sodium chloride were found out. It is stated that the most sensitive indicator of pollutants content in snow is the viability of wheat seeds. In order to visualize the data acquired mapping methods are used.

Ключевые слова: Кирово-Чепецкий химический комбинат, загрязнение снегового покрова, экологический мониторинг

Key words: the Kirovo-Chepetsk chemical plant, snow cover pollution, ecological monitoring

Одним из методов, позволяющих оценить степень техногенной нагрузки на природный комплекс, является мониторинг загрязнения атмосферных осадков. Наиболее удобным в изучении видом осадков является снеговой покров. В среднем на территории Кировской области устойчивый снеговой покров сохраняется достаточно долго – в течение 5–5,5 месяца [1]. За счёт высокой сорбционной способности снеговой покров аккумулирует и сохраняет в своём составе практически все загрязняющие атмосферу компоненты. В связи с этим он является удобным и надёжным индикатором загрязнения воздуха, а также последующего загрязнения почвы и воды [2].

Как показывают наблюдения, концентрация загрязняющих веществ в снеге оказывается на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе [3]. В атмосферных осадках могут фиксироваться загрязнители, которые не улавливаются прямыми измерениями и не учитываются при расчётах рассеивания поллютантов в атмосферном воздухе. Всего лишь одна проба по всей толще снегового покрова даёт представительные данные о загрязнении в период от образования устойчивого снегового покрова до момента отбора пробы.

Химический состав снега формируется в результате поступления с осадками различных химических веществ, поглощения снеговым покровом газов и водорастворимых аэрозолей и взаимодействия с ним пылевых частиц, оседающих из атмосферы. Загрязнение снегового покрова происходит в 2 этапа. Во-первых, это загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадение на местность – влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Во-вторых, это загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, а также их поступления из подстилающих почв и горных пород.

В Кировской области одним из крупнейших промышленных предприятий и источников техногенного воздействия на окружающую среду более полувека являлся Кирово-Чепецкий химический комбинат им. Б. П. Константинова. В настоящее время на базе бывшего химкомбината действует целый ряд промышленных и коммерческих предприятий, крупнейшими из которых являются Завод минеральных удобрений (ЗМУ), входящий в холдинг «Уралхим», и Завод полимеров (холдинг «Галополимер»). Эти заводы

относятся также к химически опасным предприятиям. В данной статье наряду с современными названиями заводов мы будем использовать традиционное название промышленного комплекса г. Кирово-Чепецка – Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК).

Проведённые ранее исследования [5, 6] показывают, что окружающая среда на территории вблизи комбината за десятилетия его производственной деятельности подвергалась воздействию широкого спектра загрязнителей, включающего минеральные соединения азота, фториды, тяжёлые металлы и т. д.

Целью настоящей работы было изучение современного состояния снегового покрова на территории, прилегающей к химическому комбинату [7, 8]. Для оценки степени загрязнения снега проводился анализ ионного состава, оценивалось содержание взвешенных веществ. Кроме того, был выполнен экотоксикологический анализ проб снега с использованием методов биотестирования.

Пробы снега отбирали в феврале–марте 2009–2010 гг. на участках с ненарушенным снежным покровом, которые располагались по восьми румбам от источников загрязнения – Завода минеральных удобрений и Завода полимеров (рис. 1, см. цветную вкладку). С каждого участка на всю глубину снежного покрова отбирали одну смешанную пробу, состоящую из 3-х точечных проб. Фоновый участок находился в лесном массиве у с. Тохтино Орловского района Кировской области. После таяния образцы снеговой воды фильтровали. Содержание взвешенных веществ определяли гравиметрическим методом [9], водородный показатель – на рН-метре-иономере «Эксперт-001», электропроводность – на кондуктометре «Cond 340i». Определение массовой концентрации ионов проводили методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» [10, 11].

Кроме того, для установления острой токсичности проб снега нами были использованы в качестве тест-объектов: культура инфузорий (*Paramecium caudatum*), дафний (*Daphnia magna* Straus), водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer.) и тест-система «Эколюм», тетразольно-топографический метод определения жизнеспособности семян [12] и метод определения всхожести семян пшеницы [13].

Для визуализации данных по распределению нитрата аммония в снеге и по его токсичности для биотест-объектов использовали методы картографирования с применением ГИС MapInfo Professional и ArcGIS.

В ходе химического анализа получены результаты, которые приведены в таблице 1. Электропроводность снега варьировала от 14,7 до 160 мкСм/см. Максимальное значение электропроводности в 13 раз превышающее фоновое значение, определено в точке 53. В образцах проб снега с участков 1, 3 и 55 электропроводность выше фона в 4,3–5,5 раза. Минимальные значения данного показателя отмечены в снеге на участках 13 и 54. По значению электропроводности можно судить об общем содержании различных солей в снеге.

Значение рН снеговых вод является хорошим индикатором влияния промышленных объектов на исследуемой территории. Из естественных агентов наибольшее влияние на величину рН оказывает содержание углекислого газа в воздухе. Среднему содержанию углекислого газа в воздухе и незагрязнённым атмосферным осадкам соответствует значение рН=5,5–5,6. Выбросы предприятий чаще всего дают повышенные значения рН. Значения водородного показателя проб снега на исследуемой территории составили 6,6–7,2, т. е. все образцы снега имели реакцию, близкую к нейтральной, что говорит о некотором преобладании щелочных компонентов в выбросах КЧХК. Содержание взвешенных веществ варьировало в широких пределах от 0,5 до 20,2 мг/л. Наибольшее количество взвешенных веществ, в 37–67 раз превышающих фон, содержали пробы снега с участков 9, 18 и 55.

Содержание катионов натрия в пробах снега варьировало от 0,32 до 98 мг/л. Наибольшие концентрации ионов натрия, в 34–77 раз выше фона, определены на участках 53/1 и 53/2 и 13. Высокое содержание ионов натрия в снеге в точках 53/1 и 53/2, очевидно, обусловлено близостью этих точек к площадке хранения солевого сырья (главным образом, хлорида натрия).

Концентрация катионов калия в пробах изменялась от 0,14 до 28,8 мг/л. Максимальные значения содержания ионов калия установлены нами в точке 9/1, расположенной между секциями шламонакопителя, и в точке 15, находящейся в 500 м на запад от ЗМУ. В большинстве образцов снега концентрация ионов была невысокой. В целом, по сравнению с 2009 г. содержание ионов калия на всех участках в 2010 г. было несколько ниже [7].

Концентрация ионов кальция в снеге составляла 1,2–7,5 мг/л. На участках 18, 26, 53 и 55 содержание ионов Ca^{2+} было в 7,5–9,5 раза выше, чем в пробах снега на фоновом участке. Концентрация катионов магния была крайне

Таблица 1

Химический состав снега вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината в 2009–2010 гг.

№ точки	Э*	рН*	СВВ*	Содержание ионов, мг/л										
				Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ^{2+*}	Mg ^{2+*}	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	
1	53,7	6,64	2,2	0,69/2,20	0,54/1,39	3,44/4,73	3,58	0,87	0,11/0,21	1,29/1,76	17,5/10,7	0,10/нп	2,25/1,73	
3	69,1	7,17	2,6	0,72/1,85	0,44/1,41	4,85/3,94	3,87	0,75	0,15/нп	0,93/0,81	18,5/7,65	0,24/нп	1,95/1,06	
4	24,9	6,70	0,5	0,48/2,71	0,14/2,74	1,60/2,35	1,34	нп	нп/0,38	0,70/2,05	5,66/3,04	0,12/0,08	1,36/2,27	
6	32	6,62	1,2	0,49/3,21	0,31/1,25	2,40/1,06	1,51	нп	нп/0,24	0,66/1,76	6,14/3,73	нп/нп	1,67/1,25	
7	–	–	–	–/1,75	–/0,74	–/1,96	–	–	–/0,23	–/1,85	–/5,16	–/0,05	–/2,07	
8	29	6,98	2,5	0,40/4,52	0,31/2,87	1,91/3,01	1,37	нп	0,09/0,34	1,33/2,28	10,8/7,25	0,34/0,45	2,70/4,36	
9.2/9.1	31,1/–	6,67/–	20,2/–	0,68/0,97	0,21/22,86	1,85/1,50	1,93/–	1,13/–	0,07/0,18	1,33/2,33	5,62/3,08	0,09/0,06	1,59/3,30	
10	42,0	6,94	3,4	2,76/1,63	0,51/1,36	2,28/3,52	1,99	нп	0,06/нп	2,42/1,42	4,15/3,06	нп/нп	2,50/1,76	
11	46,5	7,06	0,3	0,39/1,79	0,29/5,22	2,85/3,52	2,09	нп	0,11/0,10	0,77/2,37	5,25/4,71	нп/нп	1,45/2,87	
13.2/13.1	14,7/–	6,60/–	0,6/–	0,35/9,02	0,10/2,21	0,75/10,2	1,03	1,27	нп/нп	0,52/4,67	2,61/1,27	нп/2,53	0,97/1,76	
14	31,1	6,94	0,6	0,71/1,54	0,78/2,31	2,48/2,33	2,01	1,02	нп/0,19	0,99/2,10	3,69/2,76	нп/0,06	1,53/1,78	
15	–	–	–	–/1,32	–/28,8	–/3,21	–	–	–/0,32	–/1,57	–/3,52	–/нп	–/1,74	
16	–	–	–	–/1,55	–/1,42	–/2,83	–	–	–/нп	–/0,48	–/3,37	–/нп	–/1,60	
18	43,4	7,22	11,1	0,95/2,58	нп/0,75	1,41/1,61	5,98	1,14	0,16/0,86	2,54/2,11	2,16/3,14	нп/0,28	2,85/2,36	
19	19,6	7,02	5,5	0,66/5,15	нп/3,02	0,93/1,06	1,71	нп	0,06/0,76	1,03/3,56	1,99/1,02	нп/0,07	1,70/1,42	
20	23,4	7,07	4,1	0,89/5,55	0,31/1,86	0,94/1,26	1,33	нп	0,05/1,66	1,42/7,43	9,31/2,44	нп/нп	1,62/3,07	
22	26,0	6,88	3,0	1,08/2,31	0,34/2,14	1,31/5,36	1,47	1,28	0,05/0,30	1,31/2,95	2,75/7,50	0,07/0,21	1,69/10,2	
23	26,5	7,08	2,7	0,32/–	0,13/–	1,69/–	2,16	1,15	0,05/–	0,55/–	5,41/–	нп/–	1,35/–	
25	28,6	6,83	3,3	0,50/3,73	0,49/1,72	1,61/2,08	1,68	1,18	0,05/нп	1,20/3,11	2,07/3,31	нп/нп	2,27/2,53	
26	21,8	6,63	3,9	0,53/3,04	0,41/2,58	1,16/2,53	7,06	3,02	0,05/0,29	0,71/1,63	1,93/2,21	нп/нп	1,75/2,10	
27	24,9	6,78	8,1	0,60/2,44	0,32/1,28	1,22/1,17	3,03	1,26	0,05/нп	0,97/3,11	1,94/3,24	нп/нп	2,23/2,92	
53.2/53.1	160/–	6,84/–	0,4/–	19,3/98	0,47/1,72	1,47/1,15	7,53	2,19	0,11/1,15	32,6/162	5,21/4,10	0,48/нп	5,13/15,5	
54	15,2	6,80	1,3	0,43/–	0,28/–	0,84/–	1,15	1,06	нп/–	0,47/–	2,01/–	нп/–	1,12/–	
55	55,1	6,74	13,7	0,47/–	0,21/–	2,61/–	6,43	нп	0,17/–	1,04/–	6,40/–	нп/–	4,33/–	
фон	12,5	6,49	0,3	0,57/1,28	0,35/1,05	0,48/1,07	0,8	–	нп/нп	1,07/2,77	1,14/1,28	нп/нп	0,71/1,81	

Примечание: Э – электропроводность (мкСм/см), СВВ – содержание взвешенных веществ (мг/л), нп – концентрация ионов ниже предела обнаружения. В числителе указаны значения концентраций ионов для 2010 г., в знаменателе – для 2009 г. Звёздочкой обозначены данные за 2010 г. Прочерк означает, что измерение не проводили; жирным шрифтом обозначены значения показателей, максимально превышающие фон.

невысокой, в третьей части проанализированных проб данные ионы не определены. Лишь только в образцах на участках 53 и 26 содержание Mg^{2+} было выше 2 мг/л. Катионы лития и стронция во всех пробах снега методом ионной хроматографии не были обнаружены.

Содержание фторид-ионов в исследуемых пробах оказалось незначительным. Наибольшее значение концентрации было отмечено на участках 20, 53 и составило 1,66 и 1,15 мг/л соответственно, что может быть связано с близким расположением исследуемых участков от Завода полимеров.

Концентрация хлорид-ионов в пробах снега варьировала от 0,48 до 162 мг/л. Наименьшие концентрации ионов отмечены на участках 3, 16. Наибольшие значения установлены в точках 53/1 и 53/2, расположенных вблизи склада хлорида натрия. В снеге на данных участках содержание хлоридов было в 30–58 раз выше фона.

Содержание фосфат-ионов в пробах снега было незначительным и составляло в среднем 0,06–0,48 мг/л. Максимальное значение концентрации иона было отмечено на участке 13 и составило 2,53 мг/л. В 60% проанализированных проб данные ионы методом ионной хроматографии не были обнаружены.

Концентрация сульфат-ионов в пробах снега изменялась в пределах от 0,97 до 15,5 мг/л. В 2010 г. максимальное значение их установлено в точках 53/1, 53/2, 55, 22. Превышение фонового значения концентрации SO_4^{2-} на данных участках составило 6–8,6 раза.

При оценке ионного состава снегового покрова нами сделан акцент на содержание приоритетного загрязнителя окружающей среды в районе КЧХК – нитрата аммония. Он попадает в атмосферный воздух в виде аэрозоля с

газопылевыми выбросами комбината и способен сорбироваться снегом.

Содержание иона аммония в пробах снега варьировало в пределах от 0,75 до 10,2 мг/л. На участках 1 и 3 установлены максимальные значения, которые были в 7–10 раз выше фона. Высокие концентрации NH_4^+ определены на участках 10, 11, 14 и 55, они составили 2,3–2,9 мг/л, что в 4,8–6 раз превышает значение данного показателя в фоновой точке.

По сравнению с другими анионами, наибольшие различия в концентрациях на участках отбора снега установлены для нитратов: минимальное значение составило 1,02 мг/л, максимальное – 18,5 мг/л. Наибольшие значения содержания нитрат-ионов зафиксированы в пробах с участков 1, 3, 8, 55. Так, на участках 1 и 3 значения концентрации нитратов в снеге были выше в 15–16 раз по сравнению с фоном.

Для визуализации полученных данных по содержанию ионов аммония и нитрат-ионов нами были построены карты распределения загрязнителей в снеговом покрове в 2009 г. (рис. 2А) и 2010 г. (рис. 2Б) (см. цветную вкладку). Из карт видно, что наиболее загрязненными нитратом аммония являются участки 1, 3, 6, 8, расположенные в непосредственной близости от Завода минеральных удобрений, на котором действуют производства аммиака, азотной кислоты и нитрата аммония. Высоки значения концентрации NH_4NO_3 на участках 55, 13/1 и 20(22).

По данным метеостанции Киров [14] были построены распределения повторяемости направлений ветра за периоды существования устойчивого снегового покрова в 2008–2009 гг. и 2009–2010 гг. (зимние розы ветров, рис. 3). Согласно этим распределениям, в зимний период наибольшей повторяе-

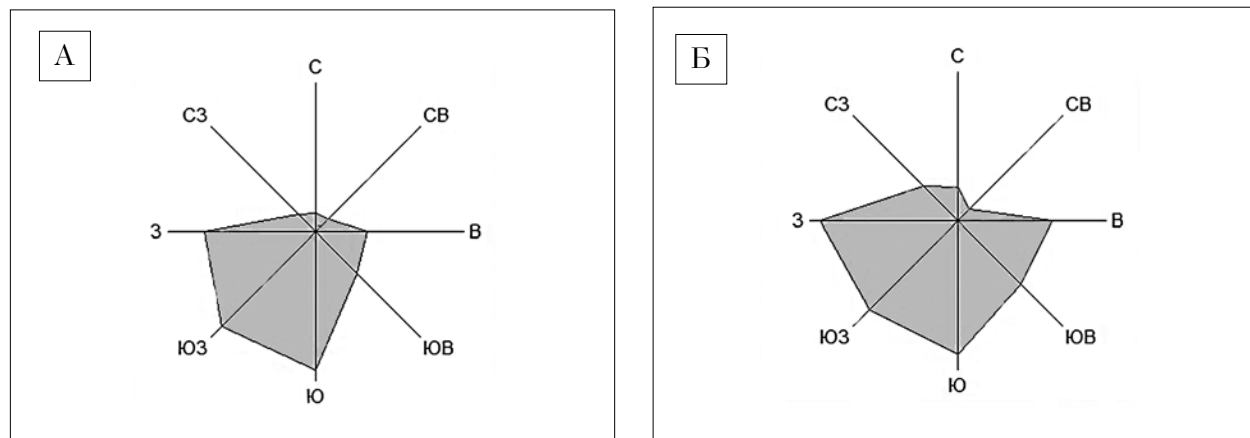


Рис. 3. Средняя повторяемость направлений ветра за зимние сезоны по данным метеостанции Киров А – зима 2008–2009 гг.; Б – зима 2009–2010 гг.

Таблица 2

Всхожесть и жизнеспособность семян пшеницы в пробах снеговой воды

Показатель № участка	К	1	3	4	6	8	9	10	11	13	14
Жизнеспособность, %	100	85±5	89±5	94±3	96±2	89±4	95±2	89±2	88±5	89±6	98±1
Всхожесть, %	100	93±2	94±4	96±1	97±1	91±4	94±4	91±1	90±6	98±2	99±1
Показатель № участка	18	19	20	22	23	25	26	27	53	54	55
Жизнеспособность, %	95±2	86±5	83±5	91±6	88±10	82±1	86±2	85±1	83±8	87±6	86±5
Всхожесть, %	97±2	93±4	91±2	99±1	95±5	98±2	96±3	95±1	91±5	96±2	95±5

Примечание: К – контроль.

мостью характеризуются ветра южных, юго-западных и западных направлений. В связи с этим можно ожидать наличие более высоких концентраций аммонийного и нитратного азота в снеге в северном, северо-восточном и восточном направлениях от источника выбросов нитрата аммония. Полученные экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются с этим предположением.

Данные, полученные в 2009 г. при биотестировании проб снега с использованием трёх биотестов, показали, что большинство исследованных проб не обладает острым токсическим действием. Лишь две пробы, отобранные на участках № 16 и 18, имеют умеренную степень токсичности по биотесту *Paramecium caudatum*. Проба с участка №18 является токсичной и по тест-системе «Эколюм». Экотоксикологический анализ проб снега с использованием тест-объекта *Chlorella vulgaris* выявил, что все проанализированные пробы, за исключением проб с участков 11 и 13/1, оценены как не токсичные. Пробы с участков 13/1 и 11 являются слаботоксичными.

В 2010 г. нами были определены жизнеспособность и всхожесть семян пшеницы в пробах снеговой воды (табл. 2). Жизнеспособность оказалась более чувствительным параметром, чем всхожесть семян. Установлено, что в 65% проб снега отклонение от контроля составляло более 10%, что указывает на токсичность исследуемых образцов. Максимальные отклонения от контроля отмечены для участков 1, 20, 25, 27 и 53/2. На рис. 4 (см. цветную вкладку) наглядно представлены данные по жизнеспособности семян пшеницы под воздействием снеговой воды. Из рисунка видно, что участки с наибольшей токсичностью снега сосредоточены вокруг Завода полимеров и прилегающей к нему жилой зоны г. Кирово-Чепецка и лишь один участок (№ 1) находится в непосредственной близости от ЗМУ.

Всхожесть семян пшеницы незначительно отличалась от контроля и варьировала в пределах от 91 до 99%.

При сопоставлении данных биотестирования проб снега с данными по химическому составу снега обращает на себя внимание тот факт, что в некоторых случаях в разряд токсичных попадают пробы, которые не содержат больших концентраций исследуемых ионов. Вероятно, это обусловлено наличием других загрязнителей в снеге, негативно влияющих на жизнедеятельность биотест-объектов. На наш взгляд, это может быть связано с промышленными выбросами, работой ТЭЦ-3, городского автотранспорта и бытовым загрязнением в г. Кирово-Чепецке.

Таким образом, по полученным в ходе исследования результатам можно сделать следующие выводы:

1. Приоритетным загрязнителем снега на территории в зоне действия КЧХК является нитрат аммония. Максимальные значения содержания нитрат-ионов и ионов аммония отмечены на участках, расположенных в непосредственной близости (500 м) от Завода минеральных удобрений, на котором действуют производства аммиака, азотной кислоты и нитрата аммония. Высока концентрация нитрата аммония в снеге вблизи секции №6 хвостохранилища мела КЧХК. На других участках с повышенным содержанием нитрат-ионов и катионов аммония загрязнение носит локальный характер.

2. Данные по распределению соединений азота в снеге достаточно хорошо согласуются с зимней розой ветров. Наибольшее загрязнение снега происходит в северном, северо-восточном и восточном направлениях, так как зимой преобладают южные и юго-западные и западные ветра.

3. Наиболее загрязненными катионами кальция, магния, натрия, хлорид- и сульфат-ионами являются участки 53/1 и 53/2. Основным загрязнителем снега на данных участках является хлорид натрия, концентрация которого в 30–60 раз выше, чем на фоновом участке. Высокое содержание натрия и хлорид-

ионов в снеге связано с близким расположением участков к складу хлорида натрия.

4. Биотестирование проб снега показало, что большинство исследованных проб не обладает острым токсическим действием. По методу определения жизнеспособности семян пшеницы 65% проанализированных проб снега можно считать токсичными. Прямой взаимосвязи между данными экотоксикологического анализа и ионным составом снега не выявлено. Наблюдаемая токсичность может быть обусловлена присутствием в снеге других загрязнителей (в частности, органических), имеющих иное пространственное распределение.

5. Распределение загрязнения и токсичности проб снега на исследуемой территории может быть наглядно представлено методами тематического картографирования с применением ГИС-технологий (в частности, методом изолиний в среде ГИС ArcMap).

Литература

1. Снеговая съёмка территории г. Кирово-Чепецка и его окрестностей / Отчёт о НИР. Екатеринбург: Институт промышленной экологии УрО РАН, 1998. 35 с.

2. Бояркина А. П. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1993.

3. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман И. О. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 181 с.

4. Ашихмина Т. Я. Экологические аспекты радиационной безопасности в районе Кирово-Чепецкого химического комбината // «Атомная энергия, общество, безопасность»: Матер. Второго общественного Форума диалога. Санкт-Петербург. 2008. С. 398–403.

5. Дружинин Г. В., Лемешко А. П., Нечаев В. А., Хитрин С. В. Отчёт по результатам комплексной оценки влияния хозяйственной деятельности ОАО КЧХК и прилегающей к нему площади водосбора на режим формирования качества и количества стоков. Киров: ООО «Геосервис», 2006. 146 с.

6. Скугорева С. Г., Дабах Е. В., Адамович Т. А., Кантор Г. Я., Шуктомова И. И., Ашихмина Т. Я. Изучение состояния почв на территории вблизи Кирово-Чепецкого

химического комбината // Теоретическая и прикладная экология. № 2. 2009. С. 37–46.

7. Новокшопова Я. В., Адамович Т. А., Скугорева С. Г., Кантор Г. Я. Оценка содержания загрязняющих веществ в снеговом покрове территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. IV обл. науч.-практ. конф. молодёжи. Киров. 2009. С. 46–48.

8. Скугорева С. Г., Шихова Ю. В., Жевлакова М. А., Адамович Т. А., Кантор Г. Я. Состояние снежного покрова в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. молодёжи. Киров: ООО «Лобань», 2010. С. 163–167.

9. Методика выполнения измерений содержания взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом. ПНД Ф 14.1:2.110-97. М.: 1997. 11 с.

10. Методика выполнения измерений массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция, стронция в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. ФР.1.31.2005.01738. М.: «Аквилон», 2008. 30 с.

11. Методика выполнения измерений массовой концентрации фторид-, хлорид-, нитрат-, фосфат- и сульфат-ионов в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. ФР.1.31.2005.01724. М.: «Аквилон», 2008. 26 с.

12. Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий / Под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, Н. М. Алапыкиной. Киров: О-Краткое, 2008. 336 с.

13. Майсурия Н. А., Степанов В. Н., Кузнецов В. С., Лукьянюк В. И., Черномаз П. А. Растениеводство. М.: Изд-во «Колос», 1965. 472 с.

14. Сервер «Погода России» – Киров (Вятка) (электронный ресурс) // http://meteo.infospace.ru/win/wearch/html/r_day_stn.sht?num=839.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – кандидатов наук № МК-7588.2010.5.

Оценка состояния тополевых насаждений города Сыктывкара

© 2011. Н. А. Мингалева¹, зам. зав. отдела, С. В. Пестов², к.б.н., н.с.,

¹Администрация МО ГО «Сыктывкар»,

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: mingaleva_n.a@mail.ru, pestov@ib.komisc.ru

Выявлено отрицательное влияние обрезки на состояние тополевых насаждений города Сыктывкара. Установлены различия в степени повреждения листьев на участках, расположенных внутри кварталов и вдоль улиц. Наиболее массовыми видами вредителей листьев являются равнокрылые *Pemphigus populi*, *Chaitophorus* sp., гусеницы совки *Acrionicta megacephala* и листоед *Phratora vitellinae*. Выявлены очаги повышенного биоповреждения листьев.

The living state analysis of poplar in the green area of Syktyvkar is made. The negative influence of branch cutting on trees living state is ascertained. The damage of leaves is compared in square and along streets. The special difference of biological damage structure is discovered. The usually pest species of leaves are plant louses *Pemphigus populi*, *Chaitophorus* sp., caterpillar of shuttle moths *Acrionicta megacephala* and leaf beetles *Phratora vitellinae*. The increasing biological damage of leaves area is discovered.

Ключевые слова: озеленение городов, тополь, жизненное состояние, членистоногие

Key words: planting trees and shrubs, poplar, living state, phytopathology, arthropods

Одним из важных показателей оценки пригодности древесных пород для озеленения является оценка их жизненного состояния и повреждаемости болезнями и вредителями. Изучению видового состава и состояния городской древесной растительности в северных городах Европейской части России и факторов, определяющих их устойчивость, посвящены многие публикации [1 – 4]. Тополь – ценная древесная порода, характеризуется быстрым ростом, хорошим вегетативным размножением, устойчивостью к загрязнению воздуха пылью, газами и дымом, поэтому используется часто в озеленении городов [5].

Имеются лишь отдельные публикации о видовом составе деревьев и кустарников [6, 7] и членистоногих-филлофагов в г. Сыктывкаре и его окрестностях [8]. Целью наших исследований было изучение жизненного состояния и разных типов биоповреждений листьев тополя в зелёных насаждениях г. Сыктывкара.

Район исследований

Сыктывкар расположен на северо-востоке Европейской части России в подзоне средней тайги. Климат в Сыктывкаре умеренно-континентальный, с продолжительной, довольно суровой зимой и коротким, сравнительно тёплым летом. Средняя температура янва-

ря составляет 15 °С, июля – 17 °С, осадков выпадает около 650 мм в год. Основными источниками загрязнения воздуха в городе являются транспорт, предприятия лесопереработки и стройиндустрии. Уровень загрязнения воздуха высокий, отмечено повышенное содержание таких специфических примесей, как формальдегид и бенз(а)пирен [9]. Площадь зелёных насаждений г. Сыктывкара вместе с защитным кольцом из лесных массивов вокруг города и лесопарковой зоны составляет менее 3924 га, что в расчёте на одного городского жителя составляет 30–35% зелёных насаждений от требуемой нормы [6].

Материал и методы исследований

Территория центральной части города была нами разделена на 15 учётных секторов, отмеченных на карте римскими цифрами (рис. 1), в которых проведена оценка жизненного состояния деревьев. Выделяли три категории состояния деревьев [10]: «хорошее» (балл 1) – растения здоровые с правильной, хорошо развитой кроной, без существенных повреждений; «удовлетворительное» (балл 2) – деревья здоровые, но с неправильно развитой кроной, со значительными, но не угрожающими их жизни ранениями или повреждениями, с дуплами и др., кустарники с наличием поросли; «неудовлетворительное» (балл 3) – деревья



Рис. 1. Картосхема района исследований (римскими цифрами обозначены сектора, в которых проводилась оценка жизненного состояния, арабскими – участки пробобора на биоповреждение листьев)

с неправильно и слабо развитой кроной, со значительными повреждениями и ранениями, заражённые болезнями или вредителями, угрожающими их жизни; кустарники с наличием поросли и отмерших частей. Средний балл состояния насаждений был вычислен по формуле [11]:

$$K_j = \frac{\sum b_i}{N_j},$$

где: K_j – коэффициент состояния; b_i – баллы состояния отдельных деревьев; N_j – общее число учтённых деревьев.

Для сбора материала по повреждениям листьев деревьев было заложено 17 участков, расположенных внутри жилых кварталов, из них тополь встретился только на 14. Они отмечены на карте (рис. 1) арабскими цифрами. Дополнительно собраны образцы листьев на участках, проложенных вдоль девяти оживлённых городских улиц: 18 – ул. Коммунистическая (от ул. Морозова до Октябрьского проспекта); 19 – ул. Коммунистическая (от Октябрьского проспекта до ул. Интернациональная); 20 – Октябрьский проспект; 21 – ул. Куратова; 22 – ул. Бабушкина; 23 – ул. Оплеснина; 24 – ул. Катаева; 25 – ул. Морозова, 26 – ул. Димитрова.

Для описания повреждений на каждом участке производили осмотр древесно-кустарниковой растительности. Каждая выборка включала 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). Отбирали листья среднего для данного вида размера из нижней части кроны с разных сторон дерева. Собранных насекомых помещали в морилку для дальнейшей идентификации. Для видовой диагностики вредителей использовали руководства [12, 13]. Степень поражения листьев выражали в процентах.

Анализ материала проводили с помощью программы Microsoft® Excel 2002 и Statistica 6.0. Цифровые карты создавали с помощью программного пакета ArcView GIS 3.2a.

Результаты и обсуждение

При инвентаризации зелёных насаждений Сыктывкара учтено около 5000 деревьев.

Таблица 1

Биоэкологическая характеристика тополей г. Сыктывкара

№ на карте	Количество деревьев, экз.	Плотность насаждений, экз./га	Диаметр, см	Высота, м	Доля деревьев подвергшихся обрезке, %	Жизненное состояние, %			Средний балл состояния K_j
						хор.	уд.	неуд.	
I	554	19,6	26,7	20	21,5	74	26	0	1,3
II	1232	29,2	22,0	21	1,3	95	5	0	1,1
III	692	25,2	27,1	21	2,6	94	6	0	1,1
IV	108	5,8	22,9	12	0	57	39	4	1,5
V	404	23,5	48,7	13	1,0	71	27	2	1,3
VI	107	5,1	48,1	18	35,5	13	83	4	1,9
VII	708	22,3	16,9	21	2,3	83	16	1	1,2
VIII	103	13,5	38,8	21	61,2	39	48	14	1,7
IX	112	22,2	38,8	22	0,9	66	18	16	1,5
X	172	10,1	31,2	20	25,0	72	16	11	1,4
XI	40	11,0	32,8	18	62,5	35	63	3	1,7
XII	46	12,8	20,1	18	73,9	26	54	20	1,9
XIII	193	18,3	29,3	17	50,3	50	30	20	1,7
XIV	266	22,7	37,6	22	26,3	62	35	2	1,4
XV	220	22,4	36,9	22	77,7	22	53	25	2,0

Наиболее важные биоэкологические показатели тополевых насаждений приведены в таблице 1. Средний диаметр ствола деревьев составил 32 см, средняя высота – 22 м, средняя плотность тополевых насаждений составляет 18 экз./га. Жизненное состояние тополя варьировало в широком диапазоне. По шкале состояния древостоя [41], тополевые насаждения г. Сыктывкара относятся к двум категориям: здоровый древостой при $K_j < 1,5$ и ослабленный древостой при K_j от 1,6 до 2,5. Относительно благополучное состояние имели насаждения в секторах I, II, III. Наибольшая доля деревьев с неудовлетворительным состоянием отмечена в секторах VI, XII, XIII, XV.

Тополь способен давать большое количество мелких семян, снабжённых пучком шелковистых волосков (тополиный пух), которые создают определённые неудобства жителям города. Одним из наиболее распространённых способов борьбы с плодоношением тополей является обрезка крон. В настоящее время применяются два способа обрезки тополей. При первом способе обрезают все ветви дерева и оставляют только ствол, что сильно изменяет дерево. При втором способе (обрезка на развилку) производят формовку кроны, при которой скелетные ветви первого порядка отпиливают на расстоянии 20–40 см от ствола [14]. В Сыктывкаре обрезке подвержены около 30% деревьев тополя и в последние годы наиболее распространён первый способ обрезки. Это приводит к существенному изменению соотношения фотосинтезирующих и нефотосинтезирующих частей растений, образованию опухолевых наростов, способствует развитию стволовой гнили. Это в конечном счёте отражается на их жизнеспособности [5, 15]. На основании статистического анализа полученных нами данных установлена достоверная зависимость между долей деревьев, подверженных обрезке, и показателями жизненного состояния деревьев (рис. 2). Состояние насаждений, в которых произведена обрезка более 40% деревьев, относится к категории ослабленных.

Повреждения, отмеченные на листьях тополя, относятся к 13 типам, среди них наиболее значимыми были скелетирование, пятнистости и ржавчины. На основании сборов насекомых и по повреждениям определены наиболее обильные виды насекомых, которые вызывают повреждения листьев у тополя. Среди листогрызущих насекомых наиболее обычными были гусеницы совки *Acrionicta megacephala* (Den. et Schiff.). Этот вид был отмечен ранее для фауны Республики Коми только в подзо-

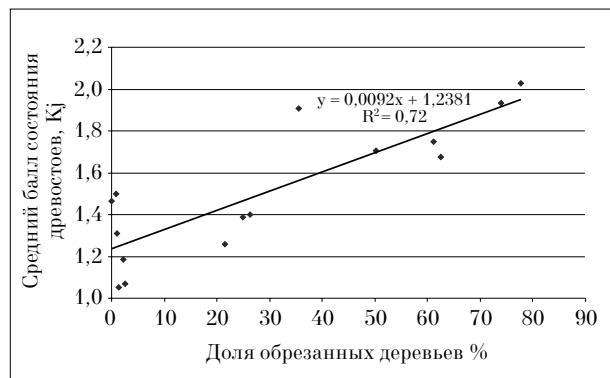


Рис. 2. Зависимость балла состояния тополевых насаждений г. Сыктывкара от степени обрезки деревьев

не южной тайги [16]. Помимо тополя, личинки этого вида могут питаться на ольхе, иве и берёзе [17]. Наиболее многочисленным этот вид был на участках 3, 6 и 9 (табл. 2). Скелетирование листьев производит листоед *Phratora vitellinae* (L.). Кроме тополя и осины этот вид может развиваться на иве [18]. Наибольшая степень поражения этим видом отмечена на участках 3 и 14. Своеобразные мешковидные галлы образует пемфиг *Pemphigus populi* Courchet, относящийся к отряду равнокрылых хоботных (Homoptera). Галлы располагаются преимущественно вдоль средней жилки вблизи основания листовой пластинки. Интенсивность поражения листьев пемфигами была на участке 22. Помимо пемфига, галлы могут образовать галловые клещики *Aceria varia* (Nal.). Тли из рода *Chaitophorus* sp. обнаружены на нижней стороне листьев. Из фитопатогенных грибов часто встречалась ржавчина (*Melampsora pinitorqua* Rostr.).

Структура повреждений тополя в г. Сыктывкаре пространственно неоднородна. Насаждения внутри кварталов сильнее повреждаются листогрызущими насекомыми, чаще на листьях встречаются ржавчины и пятнистости. Степень повреждения сосущими насекомыми (тлями и пемфигами) существенно выше у деревьев, посаженных вдоль улиц (рис. 3). Расположение участков в осях главных компонент показано на рисунке 4. Участки чётко различаются по 1-й компоненте, представляющей собой характеристику повреждения сосущими насекомыми из отряда равнокрылых. Ранее отмечалось, что степень повреждения листьев равнокрылыми находится в прямой зависимости от уровня аэротехногенного загрязнения [19, 20]. Наши данные подтверждают эту зависимость и позволяют рассматривать сосущих насекомых в качестве индикаторов антропогенной нагрузки. Вторая компонента

Таблица 2

Степень повреждения листьев (%) тополя в насаждениях г. Сыктывкара, расположенных внутри жилых кварталов

Тип повреждения	Площадки																Среднее
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16			
	Повреждения членистоногими																
Галловые клещики	-	1	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	0,4±0,2
Равнокрылые галлообразователи	10	11	-	7	4	-	8	-	5	5	8	3	2	8	-	5,1±1,0	
Минирование	-	-	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3±0,2	
Грубое объедание	1	1	5	4	1	1	1	2	-	5	-	1	4	-	-	1,9±0,5	
Краевые погрызы	14	13	38	22	38	26	9	30	22	4	14	10	8	11	18,5±2,9		
Скелетирование	61	55	88	38	68	46	25	61	52	33	57	80	7	50	51,5±5,7		
Дырчатые погрызы	14	4	27	8	17	17	14	18	20	18	10	3	15	-	13,2±2,0		
Свертывание листьев	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1±0,1	
Сосущие насекомые	-	4	13	-	4	1	1	28	4	11	1	3	16	19	7,6±2,3		
	Прочие повреждения																
Пятнистости	69	71	57	42	99	100	30	-	95	78	27	84	40	77	62,1±8,1		
Ржавчины	15	18	28	68	57	31	89	59	-	-	11	21	71	42	36,5±7,5		
Хлорозы	1	2	-	1	-	1	-	-	3	-	-	3	-	-	0,8±0,3		
Некрозы	1	-	61	2	-	-	1	12	-	-	-	-	17	2	6,9±4,4		

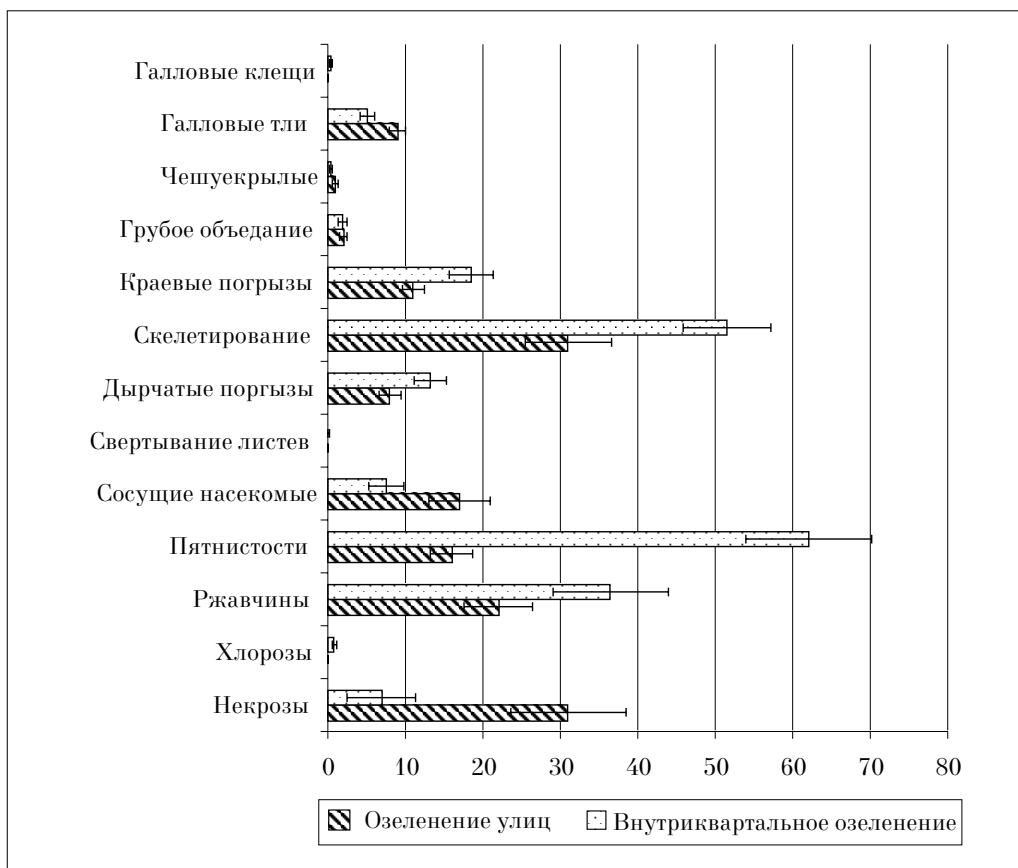


Рис. 3. Сравнение степени повреждения (%) листьев тополя в насаждениях внутри кварталов и около автомагистралей

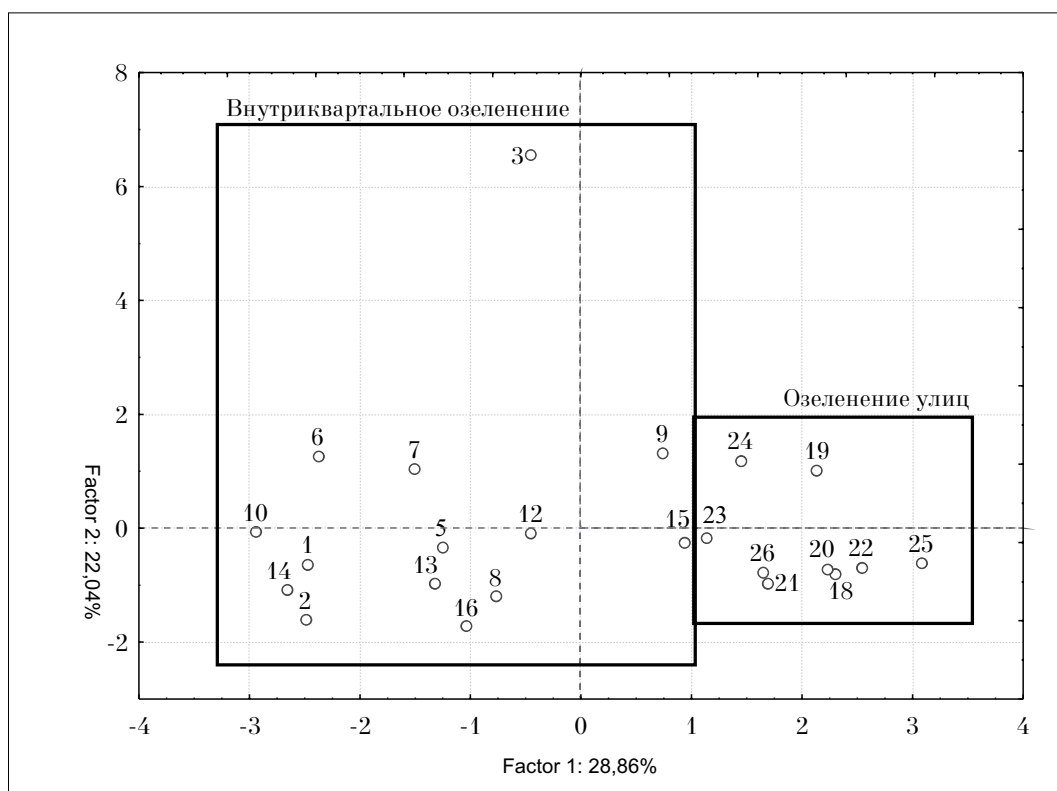


Рис. 4. Расположение участков отбора проб на биоповреждения в плоскости первых двух главных компонент

Таблица 3

Степень повреждения (%) листьев тополя в насаждениях г. Сыктывкара, расположенных вдоль улиц

Тип повреждения	Участок									среднее
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Повреждения членистоногими										
Равнокрылые галлообразователи	7	11	11	7	14	8	7	11	4	8,8±1,0
Минирование	–	2	–	1	–	–	–	3	–	0,7±0,4
Грубое объедание	3	1	1	1	1	1	3	4	2	1,8±0,4
Краевые погрызы	13	14	12	7	11	9	20	9	7	11,3±1,4
Скелетирование	33	53	22	15	15	59	41	15	27	31,1±5,6
Дырчатые погрызы	2	15	10	9	11	7	13	4	5	8,4±1,4
Сосущие насекомые	35	14	27	7	21	1	8	28	9	16,7±3,9
Прочие повреждения										
Пятнистости	12	14	24	12	23	12	30	18	3	16,4±2,7
Ржавчины	26	26	43	27	12	7	–	31	25	21,9±4,4
Некрозы	9	60	19	17	28	46	65	1	34	31,0±7,4

связана с повреждённостью тополя листогрызущими насекомыми. Степень повреждения листьев скелетированием во внутриквартальных насаждениях обнаруживает достоверную отрицательную корреляцию с коэффициентом состояния насаждений (K_1).

Сосущие насекомые на листьях тополя являются монофагами и встречаются только в урбанизированных местообитаниях. Листогрызущие могут в условиях Сыктывкара питаться на близком виде – осине и встречаются в природных биотопах. Массовое развитие некоторых вредителей в уличных насаждениях связано не только с действием абиотических факторов, но и с бедностью беспозвоночных-энтомофагов, птиц и других полезных животных. Однообразие древесной растительности, отсутствие кустарников и полукустарников, а также цветущей растительности и естественной подстилки лишают полезных насекомых и птиц необходимых условий для их жизни, размножения и полезной деятельности. Это приводит к тому, что в уличных посадках практически нет энтомофагов, которые играют важную роль в регулировании численности целого ряда вредных насекомых и клещей в других типах насаждений [21]. В тополевых насаждениях Сыктывкара часто были отмечены личинки хищных сетчатокрылых *Hemerobius* sp. (Neuroptera), гораздо реже – божьи коровки *Adalia bipunctata* (L.). Указанные хищники могут регулировать численность сосущих насекомых на всех стадиях жизненного цикла, а листогрызущих – преимущественно на стадии яйца.

Заключение

Насаждения тополя в условиях Сыктывкара характеризуются удовлетворительным жизненным состоянием. Одним из основных факторов, ухудшающих состояние деревьев, является обрезка, в результате чего деревья частично утрачивают возможность выполнять защитную и санитарно-гигиеническую функции. Листья тополя в городских условиях повреждаются фитопатогенными грибами и сосущими и листогрызущими насекомыми. Наибольшее значение среди них имеют пемфиг *Pemphigus populi*, тля *Chaitophorus* sp., совки *Acronicta megacephala* и листоед *Phratora vitellinae*. Сосущие и листогрызущие насекомые различаются реакцией на аэротехногенное загрязнение и биоценоотическими механизмами регуляции их численности. Активность этих групп характеризует две главные компоненты, которые дифференцируют структуру комплексов филлофагов урбанизированных территорий.

Литература

1. Феклистов П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды г. Архангельска. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 112 с.
2. Егличева А.В. Древесные растения в городских экосистемах Карелии: Автореф. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 18 с.
3. Ежов О.Н. Вредители и болезни городских зелёных насаждений архангельского промышленного узла // Лесной журнал. № 3. 2008. С. 46–50.

4. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбоэкосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 335 с.
5. Бакулин В.Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблемы // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 563–571.
6. Шушпанникова Г.С., Орловская Н.В., Першина Н.Г. Роль ботанического сада Сыктывкарского государственного университета в решении проблемы озеленения // Роль ботанического сада Сыктывкарского государственного университета в решении проблемы озеленения. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского ун-та, 2007. С. 14–32.
7. Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми (итоги интродукционных работ ботанического сада за 50 лет). СПб.: Наука, 2003. Т. 3. 214 с.
8. Юркина Е.В. Фауна членистоногих-дендрофагов лиственных пород подзоны средней тайги Республики Коми // Фауна и экология беспозвоночных европейского Северо-Востока России. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2001. С. 52–62.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2007 году. Сыктывкар. 2008. 152 с.
10. Методика инвентаризации городских зелёных насаждений. М.: Минстрой России. Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. 1997. 24 с.
11. Экология родного края / Под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров: Вятка, 1996. 720 с.
12. Гусев В.И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников. М.: Лесная промышленность, 1984. 472 с.
13. Соколова Э.С., Галасьева Т.В. Инфекционные болезни листьев древесных растений: учеб. пособие. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 42 с.
14. Кругляк В.В. Особенности реконструкции тополевых насаждений города Воронежа // Вестник Воронежского ГУ. Серия Химия. Биология. Фармация. 2006. № 1. С. 129–132.
15. Экология урбанизированных территорий / Под ред. В.А. Попова и В.И. Гаранина. Казань: Изд-во Казанского ун-та. 1987. 103 с.
16. Свиридов А. В., Седых К.Ф. Совки (Lepidoptera, Noctuidae) Республики Коми // Русский энтомол. журн. 2005. Т. 14. Вып. 4. С. 329–345.
17. Ключко З. Совки Украины. Київ: Вид. Раевского 2006. 248 с.
18. Зайцев Ю.М., Медведев Л.Н. Личинки жуков-листоедов России. М.: Изд-во КМК, 2009. 246 с.
19. Катаев О.А., Голутвин Г.И. и Селиховкин А.В. Изменение в сообществах членистоногих лесных биоценозов при загрязнении атмосферы // Энтомол. обозрение. 1983. Т. 62. Вып. 1. С. 33–41.
20. Голутвин Г.И., Селиховкин А.В. Влияние загрязнения воздушной среды промышленными выбросами на состояние молодняков и комплекса филлофагов // Экология и защита леса. 1984. С. 31–36
21. Белова Н.К. Видовой состав и структура вредителей листвы и побегов декоративных насаждений города Москвы // Вопросы защиты леса, охраны природы и озеленения городов. 1982. С. 11–16. (Труды Московского лесотехнического института. Вып. 147.).

Авторы благодарят д.б.н. зав. отделом лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН С. В. Загирова за обсуждение результатов исследований и ценные замечания при подготовке статьи, а также к.б.н., в.н.с. отдела экологии животных того же института А. Г. Татарина за помощь в определении гусениц совок.

Донные отложения реки Амур

© 2011. С. Е. Сиротский¹, к.б.н., с.н.с., Н. П. Чижикова², д.с.-х.н., зав. лабораторией, Г. В. Харитонов¹, д.б.н., с.н.с., А. С. Манучаров³, к.б.н., доцент, Н. С. Коновалова⁴, м.н.с.,

Е. В. Уткина¹, вед. инженер,

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,

²Почвенный институт им. В. В. Докучаева,

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

⁴Институт тектоники и геофизики ДВО РАН,

e-mail: gkharitonova@mail.ru

Исследован фракционный состав донных отложений р. Амур. Проанализирован валовой состав донных отложений и их илистых подфракций – воднопептизируемый (ВПИ) и агрегированный (АИ) илы. По сравнению с донными отложениями в целом ВПИ и АИ характеризуются высокой аккумулятивной способностью по отношению к Fe, Mn, Cu и Zn. Показана функциональная роль диатомовых водорослей в аккумуляции Fe, Mn, Cu и Zn тонкодисперсными компонентами донных отложений.

The fraction composition of the Amur River bottom sediments was studied. The total content of river bottom sediments and their clay sub-fractions – water-peptizate (WPC) and aggregated clays (AC) were analyzed. Compared to bottom sediments, WPC and AC in general are characterized with a high capacity to accumulate Fe, Mn, Cu and Zn. The functional role of diatoms in accumulation of Fe, Mn, Cu and Zn by fine-grained components of bottom sediments is shown.

Ключевые слова: донные отложения, илистые подфракции, диатомовые водоросли

Key words: bottom sediments, clay sub-fractions, diatoms

Введение

Донные отложения поверхностных водотоков являются важным источником информации о геохимических и экологических условиях всего бассейна и традиционно используются в качестве индикатора для выявления состава, интенсивности и масштаба техногенного загрязнения. Проблема загрязнения для бассейна Амура в настоящее время в связи с бурным экономическим развитием Китая становится всё более актуальной [1]. Одним из самых крупных притоков р. Амур является р. Сунгари, бассейн которой полностью находится на территории Китая и составляет почти треть бассейна р. Амур. Донные отложения и главным образом их пелитовая фракция играют большую роль в накоплении ряда макро- и микроэлементов, формировании самоочищающей способности реки и регуляции состава речных вод. Важно выявить особенности состава их наиболее активной и реакционноспособной части – тонкодисперсного комплекса.

Задачей настоящей работы явилось исследование состава донных отложений р. Амур от устья р. Сунгари до Амурского лимана. Основное внимание было уделено микроэле-

ментному составу тонкодисперсных компонентов донных отложений и их электронно-микроскопическому исследованию.

Объекты и методы исследований

Работы проводились на равнинной части бассейна среднего и нижнего Амура. Основное питание река получает в пределах среднего Амура (участок от г. Благовещенск до г. Хабаровск), где впадают все главные притоки – реки Зея, Бурея, Сунгари и Уссури (рис. 1). Средний Амур приобретает черты равнинной реки с выходом на Амуро-Сунгарийскую равнину, российскую часть которой называют Среднеамурской низменностью. Это низкая (от 45 до 100 м абс. высоты) заболоченная равнина с несколькими уровнями речных террас и обширной поймой до 10–30 км. Для климата характерно сочетание умеренной континентальности с муссонными чертами. Среднегодовая температура 0,6–1,1°C, среднегодовое количество осадков в районах исследования от 400–500 мм (на западе) до 600–700 мм (на юго-востоке).

В геологическом отношении равнина характеризуется широким развитием четвертичных отложений, перекрывающих более

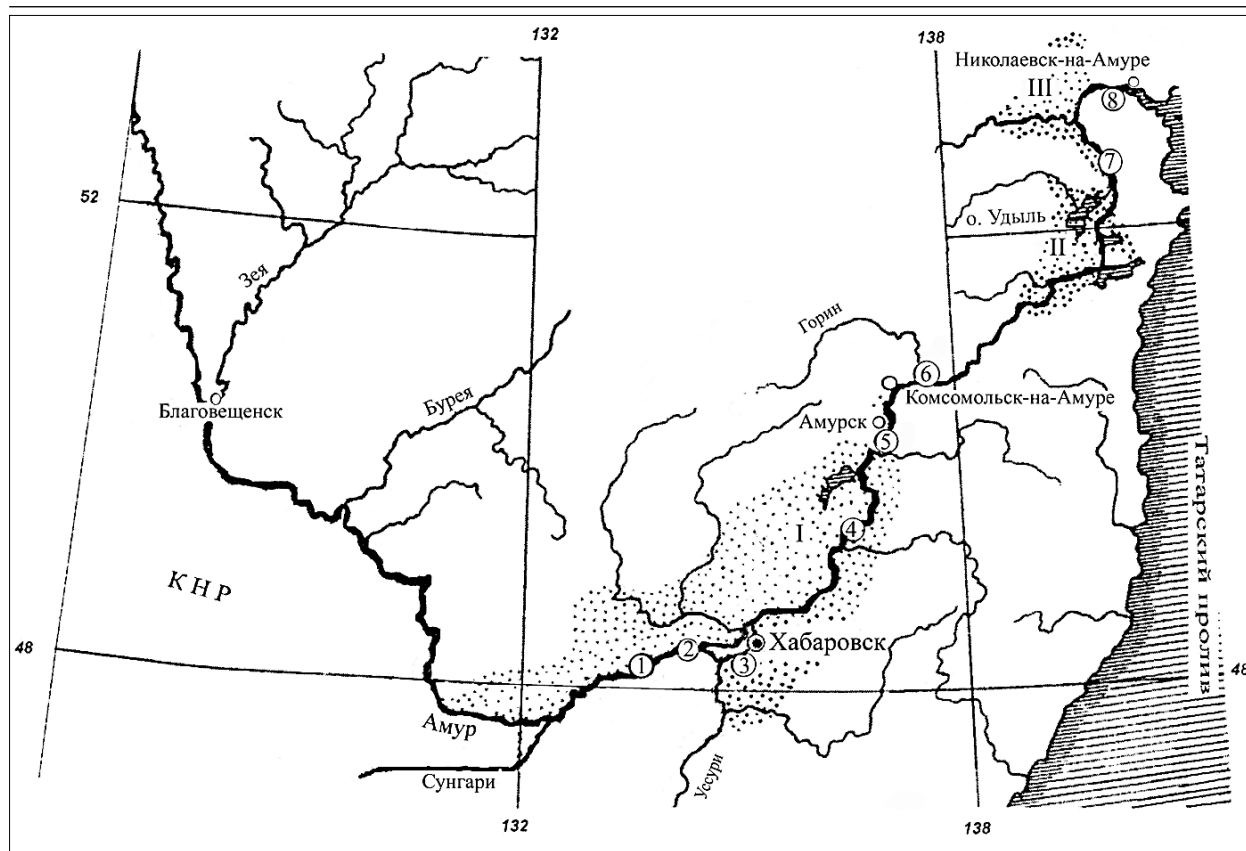


Рис. 1. Карта-схема района исследования. I – Среднеамурская, II – Удиль-Кизинская и III – Амуро-Амгунская низменности. Места отбора донных отложений: 1 – протока Луговая, 2 – о. Ромашкин, 3 – протока Амурская, 4 – протока Кафа, 5 – г. Амурск, 6 – р. Горин, 7 – п. Тахта, 8 – протока Пальвинская

древние слои аргиллитов, алевролитов, песчаников и вулканогенных осадочных пород. Четвертичные отложения представлены комплексом осадков аллювиальных и озёрно-аллювиальных фаций разновозрастных террас – глины и суглинки, а также пески, гравийники, галечники. Почвенный покров Среднеамурской низменности имеет в основном среднечетвертичный возраст. В позднечетвертичный период эволюция аллювиально-озёрных равнин происходила главным образом в направлении от супераквальных к неоаллювиальным ландшафтам вследствие изменения климата в сторону большей влажности и сопровождалась усилением заболачивания.

Объектом изучения явились донные отложения, их тонкодисперсные компоненты и речные взвеси. Отбор проб донных отложений проводили в зонах аккумуляции от устья р. Сунгари до Амурского лимана. Пробы воды в Амуре отбирали ежегодно на участке от г. Благовещенск до устья реки с 1997-го по 2007 г. Выделение транспортируемых речных взвесей р. Сунгари проводили из проб воды, отобранных в зоне впадения её в Амур. Для контроля были отобраны пробы воды в

р. Амур (п. Нагибово, 80 км выше впадения р. Сунгари). Объектами биогеохимического опробования послужили сестон, перифитон, макрофиты и ихтиофауна р. Амур. Сестон – взвешенные в воде планктонные микроорганизмы с примесью неорганических веществ – отбирали с помощью мелкоячеистой планктонной сетки (диаметр ячейки 0,01 мм). Планктонные микроорганизмы в р. Амур представлены преимущественно диатомовыми водорослями [2]. Перифитон – водоросли обрастания гравийно-галечного субстрата, также преимущественно диатомовые – отбирали методом смыва. Макрофиты Амуре представлены болотоцветником стрелолистом и рдестами, ихтиофауна – частичковыми. Дополнительно были отобраны образцы осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений г. Хабаровск. ОСВ – технический аналог сестона: в систему водоснабжения вода поступает непосредственно из р. Амур. Для сравнения были использованы данные валового состава 1 м керна донных отложений (ДО) оз. Удиль (рис. 1, озеро соединено с Амуром протокой, накопление ДО ~ 10 тыс. лет). Анализ керна проводился по слоям через каждые 5 см.

В основу исследования положено изучение состава донных отложений реперных участков (рис. 1). Илстые подфракции дробной пептизации донных отложений – воднопептизируемый (ВПИ) и агрегированный (АИ) илы – выделяли по методу Горбунова [3]. При выделении ВПИ и АИ из донных отложений во избежание потерь микроэлементов коагуляторы не использовали. Взвешенное вещество из проб воды коагулировали добавлением HCl до полного осаждения, промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на Cl⁻-ионы и обрабатывали 10%-ным раствором H₂O₂ для удаления органического вещества. Гигроскопическую влажность и общее содержание углерода определяли по стандартным методикам.

Валовой состав образцов донных отложений и их фракций определяли рентгенофлюоресцентным энергодисперсионным методом (РФА) на приборе WRA-30. Анализ микроэлементного состава компонентов системы «вода – донные отложения – водоросли – макрофиты – ихтиофауна» для получения сравнимых данных был проведён эмиссионно-спектральным методом (ЭСА). Анализ проводили на приборах СТЭ-1 и ДФС-8. Все образцы предварительно высушены при 105°C и озолены при 450°C. Анализ воды методом ЭСА проводили в сухом остатке. Некоторые различия в результатах РФА и ЭСА методов анализа связаны с тем, что метод ЭСА является полуколичественным, соответственно метод РФА предпочтительнее. Однако метод ЭСА до сих пор широко используется при решении отдельных геохимических задач.

Анализ валового состава донных отложений и их тонкодисперсных фракций был дополнен электронно-микроскопическими исследованиями на растровом электронном микроскопе «EVO 40 HV» (Карл Цейс, Герма-

ния). Образцы для съёмки были подготовлены методом суспензии в этиловом спирте, с последующим высушиванием и напылением Au, увеличение до 50000.

Результаты и обсуждение

Основные подходы к оценке миграции и перераспределения тонкодисперсного вещества (воднопептизируемый ВПИ и агрегированный АИ илы) в среде были разработаны для почв и почвообразующих пород, поэтому сравнения базируются на результатах анализа почв рассматриваемого бассейна [3]. Ранее для почв было показано, что именно ВПИ является наиболее подвижной фракцией ила и в первую очередь способен к перераспределению и миграции. Меньшей подвижности и большей агрегированности АИ по сравнению с ВПИ способствуют его обогащённость органическим веществом, оксидами-гидроксидами железа и глинистыми минералами с набухающей кристаллической решёткой.

Анализ донных отложений показал, что содержание в них ила (сумма ВПИ и АИ) закономерно увеличивается вниз по продольному профилю реки с 14 до 26% (табл. 1). Накопление в донных отложениях тонкодисперсных компонентов вниз по продольному профилю реки вызывает соответствующее возрастание в них содержания общего углерода и гигроскопической влажности. Резкий скачок в содержании тонкодисперсной части донных отложений в Амурской протоке (31%) связан с приустьевым эффектом р. Уссури, крупного притока Амура, для которого в последнее время отмечается увеличение отложения наносов в устье [4]. Фракционный анализ содержания илов ВПИ и АИ свидетельствует о симбатном характере их накопления в донных отложениях вниз по продольному профилю. Коли-

Таблица 1

Состав и свойства донных отложений р. Амур

Образец	Содержание ила, %			АИ, % от суммы	C _{общ.} , %	W _{гигр.} , %
	ВПИ	АИ	Сумма			
т. 1 пр. Луговая	2,4	11,6	14,0	83	0,56	1,01
т. 2 о. Ромашкин	7,2	12,1	19,3	63	0,89	1,74
т. 3 пр. Амурская	8,7	22,5	31,2	72	1,59	3,60
т. 4 пр. Кафа	4,5	11,2	15,7	71	0,49	1,34
т. 5 г. Амурск	6,6	13,2	19,8	67	0,74	1,90
т. 6 р. Горюн	9,0	14,2	23,2	61	1,98	2,29
т. 7 п. Тахта	9,8	15,7	25,5	61	1,28	2,12
т. 8 пр. Пальвинская	8,2	16,8	25,0	67	1,39	2,55

Примечание: C_{общ.} – содержание углерода, расчёт на воздушно-сухое вещество; W_{гигр.} – гигроскопическая влажность.

Таблица 2

Валовой состав донных отложений р. Амур

Фракция	ДО	ОО	ВПИ	АИ
Макроэлементы, %				
SiO ₂	<u>64,63</u> 64,47–68,00	<u>73,53</u> 70,8–75,99	<u>56,11</u> 50,88–56,42	<u>55,22</u> 53,35–58,28
Al ₂ O ₃	<u>15,13</u> 13,90–16,37	<u>12,62</u> 10,3–13,37	<u>17,14</u> 16,97–18,38	<u>19,79</u> 19,07–20,76
Fe ₂ O ₃	<u>4,87</u> 3,81–6,44	<u>2,88</u> 2,37–3,91	<u>10,90</u> 10,02–12,99	<u>14,91</u> 13,85–16,16
TiO ₂	<u>0,81</u> 0,67–1,05	<u>0,73</u> 0,58–0,89	<u>0,91</u> 0,82–0,98	<u>1,11</u> 0,99–1,18
MnO	<u>0,12</u> 0,07–0,20	<u>0,07</u> 0,05–0,16	<u>0,22</u> 0,14–0,36	<u>0,23</u> 0,12–0,34
CaO	<u>1,48</u> 0,71–1,70	<u>1,45</u> 0,74–1,69	<u>3,06</u> 1,26–4,82	<u>1,56</u> 1,00–1,78
MgO	<u>0,39</u> 0,20–0,70	<u>0,30</u> 0,05–0,54	<u>2,18</u> 2,06–2,62	<u>2,55</u> 1,62–3,76
K ₂ O	<u>3,01</u> 2,69–3,27	<u>2,95</u> 2,46–3,40	<u>3,31</u> 2,94–3,67	<u>3,02</u> 2,82–3,33
Na ₂ O	–	–	<u>1,68</u> 1,18–2,14	<u>0,48</u> 0,15–1,29
Микроэлементы, мг/кг				
Ni	<u>21</u> 0–47	<u>24</u> 12–34	<u>52</u> 43–60	<u>59</u> 47–74
Cu	<u>27</u> 13–49	<u>20</u> 6–40	<u>41</u> 33–51	<u>40</u> 33–50
Zn	<u>90</u> 68–116	<u>59</u> 44–81	<u>146</u> 135–158	<u>180</u> 159–193
Ga	<u>18</u> 9–29	<u>17</u> 9–29	<u>26</u> 16–31	<u>31</u> 25–36
Pb	<u>30</u> 20–35	<u>21</u> 14–30	<u>17</u> 0–42	<u>17</u> 0–41
Rb	<u>124</u> 113–141	<u>107</u> 95–120	<u>124</u> 108–138	<u>143</u> 130–152
Sr	<u>274</u> 150–368	<u>309</u> 175–387	<u>164</u> 76–230	<u>100</u> 61–117
Zr	<u>367</u> 291–510	<u>371</u> 297–430	<u>141</u> 124–160	<u>176</u> 155–218

Примечание: числитель – средние значения, знаменатель – min-max интервал; ОО – остаток от отмучивания илов; прочерк – содержание элемента ниже предела обнаружения.

чество ВПИ возрастает с 2 в протоке Луговая до 8–10% в низовьях реки (п. Тахта, протока Пальвинская), содержание АИ увеличивается с 12 до 16–17%.

Следует отметить, что содержание ила в донных отложениях соответствует его содержанию в суглинисто-глинистых почвах Среднеамурской низменности и составляет 16–31 и 19–40% соответственно. Факт достаточно неожиданный, так как илистая фракция донных отложений подвергается мощному фазовому воздействию водной среды. Однако, если обратиться к показателю степени агрегированности ила (отношение АИ/ВПИ), получаем

совершенно иную картину. Средняя величина степени агрегированности ила донных отложений существенно ниже, чем соответствующие величины для гумусово-аккумулятивных горизонтов почв Среднеамурской низменности (2,1 и 8,4 соответственно). По степени агрегированности ила донные отложения приближаются к почвообразующим породам Среднеамурской низменности.

Валовой РФА анализ донных отложений реперных участков (табл. 2) позволяет выявить некоторые интересные особенности распределения макро- и микроэлементов по фракциям донных отложений. Из наиболее важных

Таблица 3

Микроэлементный состав воды, золы донных отложений и биологических объектов р. Амур*

Элемент	Речные воды [5]	Речная вода n = 85	ОП [6]	ДО n = 51	о. Уделья ДО n = 25	ОСВ n = 6	Сетон n = 24	Перифитон n = 30	Макрофиты n = 14	Ихтиофауна n = 39
Mn	7-10	50 0-142	670	660 300-1000	540 100-800	2300 600-10000	2100 400-6000	1500 400-6000	1600 300-6000	90 10-300
Fe**	410-670	970 15-2750	4,65	2-4 1-6	2-5 2-6	2-5 1-6	4-7 1-10	3-6 1-10	1-2 1-3	0,4 0,001-1
Ni	0,3-2,5	1,5 0-4,5	95	28 10-40	20 10-30	35 20-60	19 6-30	25 6-60	6 4-10	4 4
Cu	3-7	2,2 0,1-5,9	57	20 10-40	20 20	200 100-300	50 20-100	40 20-80	30 20-100	20 20-30
Zn	15-20	2,1 0,1-8,3	80	80 0-300	60 30-100	410 300-600	220 30-800	170 10-800	14 6-60	120 6-300
Sr	50-70	13 8-32	450	160 100-300	100 100	100 100	100 100-200	100 100	300 100-400	100 100-200
Zr	0,8-2,6	0,7 0-5,3	200	370 200-600	200 100-300	200 200	140 60-200	100 60-200	30 4-80	4 3-4
Pb	1-3	1,0 0-7,8	20	20 10-40	13 6-20	25 20-40	33 10-100	20 6-80	14 6-80	7 6-10

Примечание: ОП – осадочные породы, ДО – донные отложения, числитель – средние значения, знаменатель – min-max интервал. * – эмиссионно-спектральный метод анализа; ** – данные по Fe, кроме воды, приведены в процентах.

следует отметить, во-первых, высокие валовые содержания железа и марганца в тонкодисперсной части донных отложений по сравнению с остатком от отмучивания и донными отложениями в целом. Так, средние содержания Fe_2O_3 в ВПИ и АИ составили 11,8 и 14,9% соответственно, в донных отложениях в целом и в остатке от отмучивания илов эти показатели значительно ниже (4,9 и 2,9% соответственно). Это связано прежде всего с высоким содержанием железа в продуктах выветривания и почвах водосборных частей бассейна р. Амур, его подвижностью при затоплении и паводках. Высокие содержания валового железа соответствуют преобладанию в тонкодисперсной части донных отложений хлоритов и смешаннослойных слюда-сметитовых образований, способных образовывать ассоциации с оксидами-гидроксидами железа. Максимальными содержаниями железа характеризуются ВПИ и АИ в протоке Кафа (т. 4, 12,99 и 16,16% Fe_2O_3 соответственно), что связано с седиментацией взвешенного вещества в условиях медленного течения на данном участке реки. Минимальные содержания железа отмечаются в ВПИ и АИ устья р. Горин (т. 6, 10,02 и 13,85% Fe_2O_3 соответственно), что соответствует значительному увеличению в них кварца и существенному уменьшению содержания слоистых силикатов.

Во-вторых, в тонкодисперсных фракциях по сравнению с остатком от отмучивания и донными отложениями в целом содержится существенно больше Cu и Zn. Средние содержания Zn в ВПИ и АИ составили 146 и 180 мг/кг, в остатке от отмучивания илов и донных отложениях – 59 и 90 мг/кг, средние содержания Cu – 41, 40, 20 и 27 мг/кг соответственно. В то же время содержание Zr и Sr в тонкодисперсных фракциях донных отложений в 2–3 раза ниже, чем в остатке от отмучивания и в донных отложениях в целом, что определяется их вхождением в состав первичных минералов. Так, средние содержания Zr в ВПИ, АИ, остатке от отмучивания и донных отложениях составили 141, 176, 371 и 367 мг/кг соответственно.

Обобщённые данные валового состава отдельных компонентов системы «вода – донные отложения – водоросли – макрофиты – ихтиофауна» р. Амур на участке от г. Благовещенск до устья реки представлены в табл. 3. Как показал анализ, в воде средние содержания большинства элементов находятся в пределах 1,5-кратных изменений средних (кларковых) содержаний элементов в речных водах

по Livingston [5]. Однако содержание марганца и железа может превышать в зависимости от фазы гидрологического режима р. Амур и водности года исследований средние (кларковые) содержания этих элементов в речных водах более чем в полтора раза. При этом средние и максимальные содержания Cu, Zn, Sr и Zr в воде существенно ниже кларковых значений.

В донных отложениях р. Амур содержания основных элементов не превышают средних значений в осадочных породах по Виноградову [6]. Речные и озёрные отложения характеризуются близким валовым составом. Следует отметить, что содержание Cu и Sr в донных отложениях, так же как и в воде, более чем в полтора раза ниже кларковых – 20 и 160 мг/кг соответственно.

Содержание микроэлементов в биологических объектах закономерно уменьшается в ряду «водоросли (сестон, перифитон) > макрофиты > ихтиофауна». Наибольшей аккумулятивной способностью по отношению к тяжёлым металлам из биологических объектов в экосистеме Амура характеризуются водоросли, а именно сестон. Так, осадок сточных вод (технический аналог сестона) по сравнению с донными отложениями в целом характеризуется большим превышением (3–5-кратным) содержания Mn, Cu и Zn относительно средних содержаний в осадочных породах – 2300, 200, 410 мг/кг соответственно. Близкими концентрациями указанных элементов характеризуется и сестон. Содержание микроэлементов в перифитоне лишь несколько ниже, чем в сестоне. В макрофитах по сравнению с сестоном наблюдается только некоторое накопление Sr – 100 и 300 мг/кг золы соответственно.

Анализ образцов донных отложений методами сканирующей электронной микроскопии свидетельствует о большом количестве в их составе диатомовых водорослей семейства *Stephanodiscus*, присутствуют также представители семейств *Synedra*, *Fragilaria*, *Eunotia* и *Diatoma* (рис. 2 а–г). В тонкодисперсных фракциях ВПИ и АИ также преобладает *Stephanodiscus* (рис. 2 д–з, 3 а). Представители основных семейств диатомовых водорослей бассейна Амура *Stephanodiscus* и *Synedra* были обнаружены и в транспортируемых речных взвесах Амура (рис. 3 б, в) и Сунгари (рис. 3 г). После выделения из донных отложений илов в составе остатка от отмучивания диагностируются только корродированные зёрна кластогенных минералов, главным образом, полевые шпаты разной степени

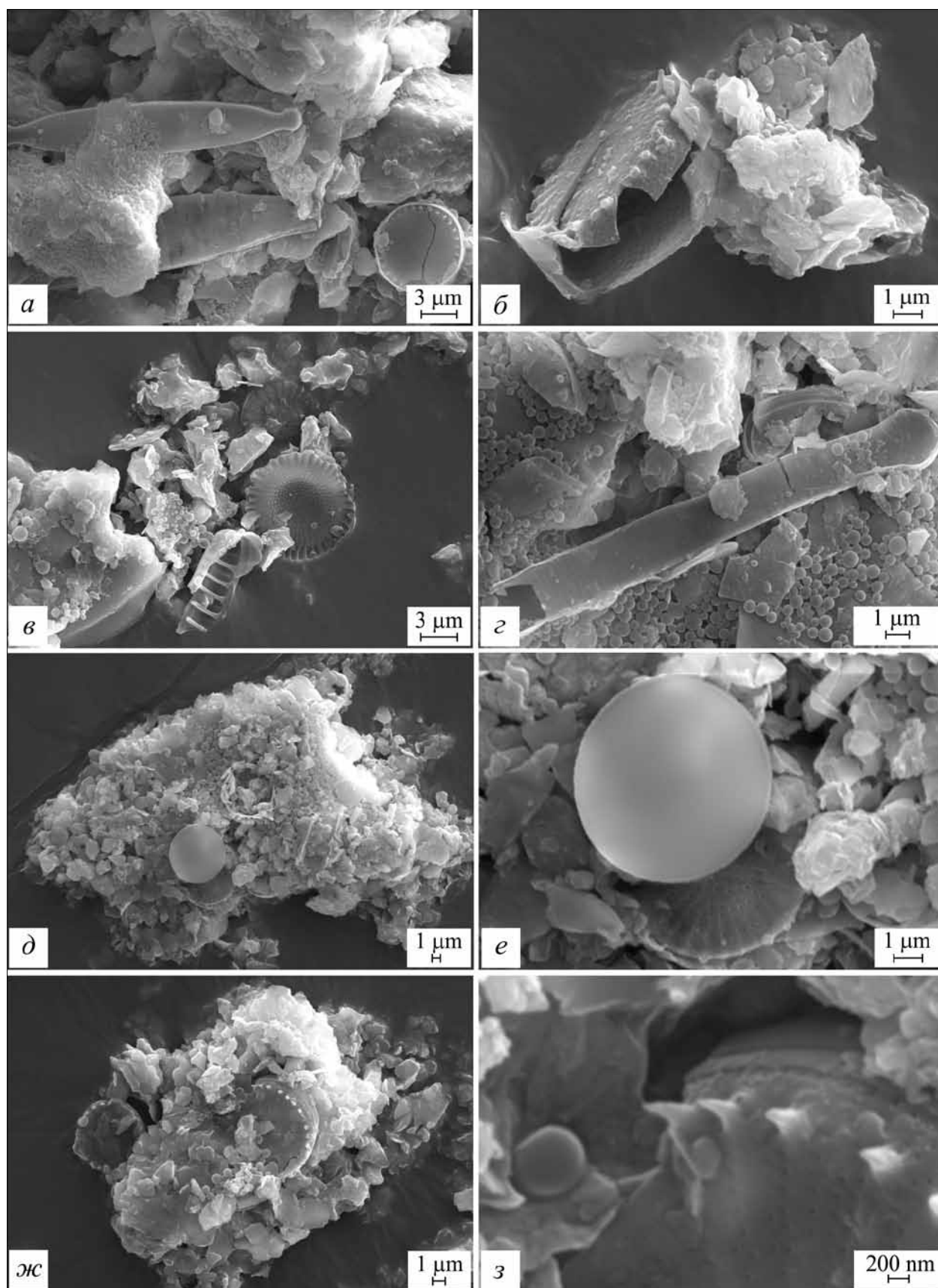


Рис. 2. Микрофотографии фракций донных отложений, т. 2: *a – г* – донные отложения в целом; *д – з* – ВПИ (растровая электронная микроскопия)

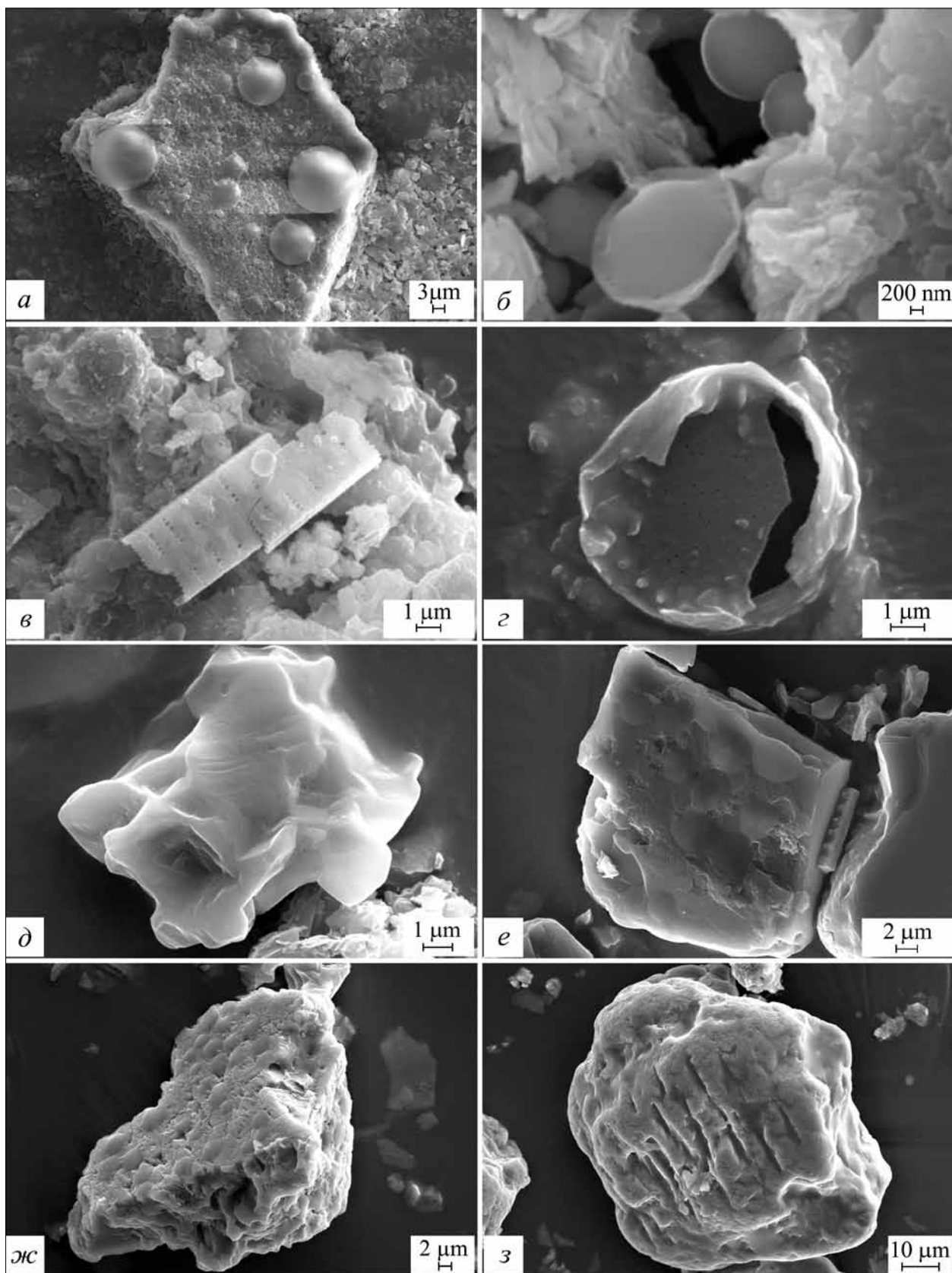


Рис. 3. Микрофотографии фракций донных отложений и транспортируемых речных взвесей: *а* – АИ; *б, в* – взвеси р. Амур; *г* – взвеси р. Сунгари; *д – з* – остаток от оттаивания илов (растровая электронная микроскопия)

выветрелости и дисперсности, диатомовых водорослей практически нет (рис. 3 д–з).

Известно, что диатомовым водорослям принадлежит большая роль в создании первичной продукции и в геохимических циклах элементов (кремний, углерод) [7], для их роста необходимы Mn, Fe, Cu и Zn [8]. Аккумуляция в сестоне Mn, Fe, Cu и Zn (именно эти элементы накапливаются в ВПИ и АИ донных отложений) позволяет предполагать, что накопление Mn, Fe, Cu и Zn в тонкодисперсных фракциях донных отложений может происходить за счёт их биологического накопления диатомовыми водорослями (один из возможных механизмов). Прямое определение содержания тех или иных элементов в составе диатомовых водорослей крайне затруднительно вследствие недостаточности разработанных методов анализа и способов нативного их выделения без изменения состава. Однако авторам одной из последних работ в этой области удалось решить эту задачу для клетки диатомовой водоросли *Cyclotella meneghiniana* [9]. Использование рентгенфлюоресцентной микротомографии с высоким разрешением (400 нм) позволило показать (трёхмерная карта распределения элементов в клетке) и доказать участие именно Mn, Fe, Cu и Zn в составе «живой» клетки (высушена для анализа после выделения из культуры).

Таким образом, исследования состава донных отложений р. Амур показали, что содержание макро- и микроэлементов в донных отложениях не превышает среднего содержания элементов в осадочных породах. В тонкодисперсных фракциях донных отложений (ВПИ и АИ) содержание Fe, Mn, Cu и Zn более чем в два раза выше по сравнению с донными отложениями в целом и остатком от отмучивания илов. Методами сканирующей электронной микроскопии установлено участие в составе донных отложений и их тонкодисперсных компонентов диатомовых во-

дорослей. Показаны высокая аккумулятивная способность диатомовых водорослей по отношению к Fe, Mn, Cu и Zn и участие их в составе ВПИ и АИ, что позволяет предполагать функциональную значимость диатомовых водорослей в геохимических циклах указанных элементов.

Литература

1. Бакланов П.Я., Воронов Б.А. Глобальные и региональные риски устойчивого природопользования в бассейне Амура // Известия РАН. Сер. Геогр. 2010. № 2. С. 17–24.
2. Медведева Л.А., Сиротский С.Е. Аннотированный список водорослей реки Амур и водоёмов его приточной системы // Биогеохимические и геоэкологические исследования наземных и пресноводных экосистем. Вып. 12. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 130–215.
3. Чижилова Н.П., Харитонов Г.В., Матюшкина Л.А., Сиротский С.Е. Минералогический состав тонкодисперсной части почв среднего и нижнего Приамурья, донных отложений и взвесей реки Амур // Почвоведение. 2004. № 8. С. 1000–1012.
4. Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Размыты берегов на Среднем Амуре // Геоморфология. 2001. № 2. С. 72–81.
5. Livingston D.A. Chemical composition of rivers and lakes: Data of geochemistry // U.S. Geol. Survey Profess. 1963. Paper 440G. P. G1–G64.
6. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
7. Brzezinski M.A. Mining the diatom genome for the mechanism of biosilification // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008. V. 105 (5). P. 1391–1392.
8. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The diatoms: Biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 747 p.
9. De Jonge M.D., Holzner C., Baines S.B. *et al.* Quantitative 3d elemental microtomography of *Cyclotella meneghiniana* at 400-nm resolution // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2010. V. 107 (36). P. 15676–15680.

Структура и картографирование дюнно-карстовых ландшафтов зандровых равнин Вятско-Камского Предуралья

© 2011. А. С. Матушкин, аспирант, А. М. Прокашев, д.г.н., зав. кафедрой,
Вятский государственный гуманитарный университет,
e-mail: matushkin-as@yandex.ru

Статья посвящена проблемам структуры и картографирования дюнно-карстовых ландшафтов задровых равнин Вятско-Камского региона. Памятник природы «Медведский бор» в долине средней Вятки рассматривается как локальная модель задров. Составлена схема типологической классификации дюнно-карстового ландшафта. При помощи GPS-картографирования создана ландшафтная карта ключевого участка №4 в закарстованном районе Медведского бора и легенда к ней. Приведены результаты математического анализа сложности и разнообразия рисунка дюнно-карстового ландшафта задровых равнин, а также формы ландшафтных контуров.

The article is about research problem of structure and mapping of dune-karst landscapes of sandy plains in Vyatka-Kama region. The natural sanctuary «Medvedsky bor» in a valley in the mid Vyatka river is considered as local model of sandy plains. The scheme of typological classification of dune-karst landscape is made. The detailed landscape map and a legend to it of a key site №4 in karst area of the Medvedsky bor are created with the help of gps-mapping. Results of the mathematical analysis of complexity and a variety of drawing dune-karst landscape of sandy plains and also the landscape contours form are presented.

Ключевые слова: задровая равнина, дюнно-карстовый мезорельеф, структура ландшафтов, ландшафтный рисунок, сложность и разнообразие ландшафта, форма ландшафтных контуров

Key words: sandy plain, the dune-karst mezorelief, landscape structure, landscape drawing, complexity and variety of landscape, the form of landscape contours

Зандровые равнины на территории Европейской России протягиваются в субширотном направлении вдоль границ максимального и московского оледенений от р. Припять (Белорусское Полесье) до Урала, пересекая и Кировскую область. На территории Вятско-Камского Предуралья песчаные отложения мощностью 2–7 м формируют Верхневятскую, Средневятскую (Котельничскую), Кильмезскую и другие низины, имеющие водно-ледниковую и аллювиально-озёрную природу [1]. К категории задровых равнин нам представляется возможным относить также надпойменные речные террасы Вятки и других крупных рек с мощным чехлом четвертичных песчаных отложений (до 33,8 м [2] в долине р. Вятки у п. Медведок). Изучение задров Вятско-Камского Предуралья до сих пор носило фрагментарный, избирательный характер. Как правило, это исключительно ботанические исследования, начавшиеся ещё с конца XIX века [3] и продолжающиеся по настоящее время [4], редко – почвенные работы пионерного характера [5] и работы, посвящённые карстовым проявлениям [6], в том числе гидрохимии карстовых озёр [7]. Изуче-

нием эоловых форм рельефа задровых равнин региона ещё в начале XX века занимался А. В. Хабаков [8].

В качестве эталонного участка для изучения ландшафтной структуры и почвенного покрова долинных задров Вятско-Камского Предуралья нами выбран памятник природы (с 1981 г.) «Медведский бор» площадью 6821,05 га, входящий в состав Медведского лесничества Нолинского лесхоза и расположенный в пределах надпойменных террас (н.т.) нижнего течения р. Вятки. Зандры Медведского бора обладают всеми основными чертами подобных равнин, в том числе реликтовыми эоловыми дюнно-бугристыми образованиями, которые сформировались в перигляциальных условиях, а в голоцене были закреплены лесной растительностью. Структуру и рисунок ландшафтов района исследований делают ещё более сложной карстовые процессы на его территории.

В период 2008–2009 гг. была определена структура [9] и произведено GPS-картографирование ландшафтов 3 ключевых участков (к.у.) Медведского бора в пределах трансекты исследований, пересекающей II,

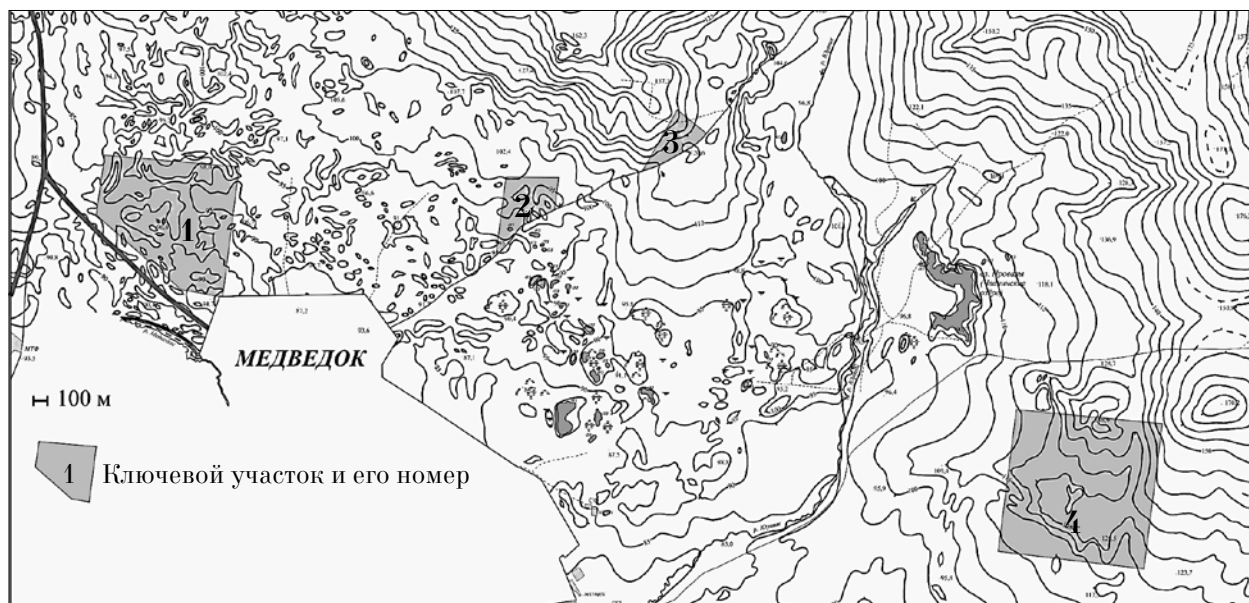


Рис. 1. Ключевые участки Медведского бора

III н.т. р. Вятки и примыкающий к ним комплекс аллювиально-флювиогляциальных отложений. В 2010 г. аналогичные работы проведены для к.у. № 4 со сложной ландшафтной структурой в закарстованном левобережье р. Юртик (рис. 1).

Ключевой участок №4 занимает площадь 107 га в 88 квартале Медведского бора и имеет абсолютные высоты 110–145 м. Общий уклон поверхности участка – с северо-востока на юго-запад. Горизонталы на топокарте масштаба 1:10000 сильно изогнутой формы, очерчивают самые обширные котловины (см. рис. 1). В геологическом отношении участок представляет собой древнеаллювиально-водноледниковую равнину с достаточной мощностью песков для образования дюн высотой до 4 м. Северо-восточный угол участка, занятый склоном водораздела, формируют элювиально-делювиальные отложения [2]. На ключевом участке закартированы 154 дюны, средней протяжённостью 79 м. Соответственно плотность дюн на участке составила 1,4 дюны/га, или, с учётом средней длины одной дюны, 113,7 м дюн/га, что ниже, чем на 1 и 2 ключевых участках. Большинство дюн участка параболические, высотой, как правило, не более 2–4 м, с направлением острия дюнной дуги на северо-восток и север, что свидетельствует об их образовании под действием ветров южных румбов. Дюны разделяют междюнные котловины округлой или реже 8-образной формы. Средняя площадь таких котловин 250 м², а глубина до 4 м. Как и в случае других участков, характерна склоновая асим-

метрия: прикотловинный склон крутой – 15–20°, а противоположный – более пологий – около 10°. Кроме параболических, на участке имеются и спрямлённые дюны, вытянутые обычно в юго-восточном направлении, а также полуциркульные и циркульные эоловые формы. Последних на участке насчитывается 9, со средним диаметром по большой оси 64,7 м (от 42 до 98 м), что несколько уступает аналогичному показателю для первых двух к.у. В центре таких образований расположены небольшие котловины глубиной 2–3 м. Большинство дюн 4 участка, аналогично участку №1, соединены в мощные гряды, протягивающиеся в юго-восточном направлении часто через всю территорию участка на длину от 169 до 1474 м. На участке насчитывается 5 таких гряд, разделяющих обширные дюнно-карстовые котловины неправильной формы, около 10 м глубиной и площадью от 9 до 16 га.

Карст ключевого участка № 4 проявляется не только как сопутствующий бывшему эоловому развеванию песков процесс при формировании протяжённых дюнно-карстовых котловин, но и непосредственно – в виде суффозионных воронок конусообразной формы, нередко соединённых друг с другом. Карстующимися породами района исследований являются известняки и гипсы казанского яруса, образовавшиеся в водах тёплого мелководного моря верхней перми и получившие повышенную трещиноватость благодаря неоген-четвертичным поднятиям зоны Вятского вала [6]. Суффозии подвергаются и отложения пермских песчаников, вскрытые

в средних частях склонов ряда воронок участка. Цепочки карстовых воронок закартированы в западной части ключевого участка и преимущественно ориентированы, как и дюнные цепи с разделяющими их дюнно-карстовыми котловинами, с северо-запада на юго-восток, иногда поворачивая к югу, в целом повторяя направление современного русла р. Вятки. Такая ориентировка воронок согласуется с общим характером их простираения для Медведского бора и, по мнению А. В. Русских [6], обязана находением в зоне карстовых воронок древнего (плиоценового) русла р. Вятки, повышенной трещиноватости пород вдоль него и достаточно частым землетрясениям, происходившим в этом районе на протяжении XIX века. В пределах участка нанесено на карту 17 воронок. Диаметр их (по большой оси) измеряется от 7 до 177 м (у самой крупной, образованной при слиянии более мелких). Глубина изменяется также в широких пределах – от 2 до 10 м, а площадь – от 41 до 7379 м², что на таком небольшом участке и сходных условиях может свидетельствовать об их различном возрасте. Путём слияния нескольких в одну образовались, по-видимому, 5 из 17 воронок, на что указывает их низкий коэффициент кругообразности – от 0,25 до 0,65 (у круга он равен 1). У остальных воронок этот показатель находится в пределах 0,80–0,97. Гранулометрический анализ песчаных отложений района карстовых воронок показал, как и ожидалось, облегчение состава и суффозионный вынос мелких фракций в нижележащие горизонты. Так, если во внекарстовых участках среднее содержание физической глины (частиц <0,01 мм) в горизонте С составляет 1,94%, то на закарстованном 4 участке аналогичный показатель равен 0,76%.

В структуре ландшафтов к.у. № 4 (рис. 2) выделяется 2 типа местности: надпойменно-террасовый и приречный. Надпойменно-террасовый тип местности по степени увлажнения и величине влияния суффозионно-карстовых процессов разделён на 3 подтипа: 1) древнеэоловый; 2) карстовый; 3) болотный.

Древнеэоловый подтип, занимающий наибольшую площадь, расположен в пределах участка в тыловой части комплекса н.т. р. Вятки на аллювиально-флювиогляциальных и флювиогляциальных отложениях. Его особенностью в данной части бора является наличие обширных дюнно-карстовых котловин, вытянутых в юго-восточном направлении, а также низкая доля чистых сосняков, присутствующих лишь на вершинах и отча-

сти верхних частях склонов дюн и карстовых воронок, где велика мощность песчаных наносов. Благодаря эоловым процессам накопления и выдувания материала подтип представлен 2 типами урочищ: 1) песчаные дюны под сосновыми и берёзовыми лесами на подзолах, дерново-подзолах и торфяно-подзолах (доминантное урочище); 2) междюнные и дюнно-карстовые котловины под берёзово-сосновыми и берёзово-осиновыми лесами на подзолах и торфяно-подзолах (субдоминантное урочище). Доминантный тип урочища представлен 6 типами фаций: привершинными поверхностями дюн и фациями (5 типов) различных частей подурочища склонов дюн. Наиболее разнообразны по составу растительных ассоциаций и почвенных разностей фации нижних частей склонов, что позволило выделить среди них 3 типа (см. легенду к рис. 2). Субдоминантный тип урочищ представлен урочищами относительно неглубоких междюнных котловин под сосновыми вариантами лесов на подзолах иллювиально-гумусовых и урочищами глубоких междюнных и дюнно-карстовых котловин под берёзово-осиновыми мертвopoкpовными лесами с липой в подлеске на торфяно-подзолах.

Карстовый подтип надпойменно-террасового типа местности занимает относительно небольшую площадь в западной части ключевого участка и представлен урочищем карстовых воронок. В составе данного урочища выделены 10 типов фаций: привершинные поверхности (1), фации различных частей склонового подурочища (6) и фации днищ карстовых воронок (3). Нижние части склонов здесь также являются наиболее разнообразными и формируют сразу 4 типа фаций: от берёзово-сосновых зелёномошных ассоциаций на подзолах иллювиально-железистых до елово-берёзовых вариантов леса на дерново-подзолах иллювиально-гумусовых и даже окраин болот на торфяно-подзолах. Повышенное разнообразие состава имеют и фации днищ, среди которых выделены 3 типа: от берёзово-сосновых на подзолах иллювиально-гумусовых до сфагнумовых ассоциаций на болотных низинных почвах. Увеличение фациального многообразия в низких и переходных местоположениях связано с неодинаковым гидрологическим режимом, обычно более близким подстиланием коренными породами и собственным микроклиматом нижних частей склонов и днищ котловин и воронок.

Болотный подтип надпойменно-террасового типа местности представлен урочи-

щем субгоризонтальных поверхностей под торфяниками и одним типом фаций низинных торфяников с мощностью торфа 1–1,5 м. Подтип занимает небольшую площадь в средних, наиболее пониженных частях обширных дюнно-карстовых котловин центральной части участка.

Приречный тип местности представлен урочищем коренного склона долины р. Вятки с близким (до 1,5 м) подстиланием элювием пермских известняков. В пределах участка выделена только фация нижней пологой части склона с выровненной, слабоволнистой поверхностью без эоловых и карстовых образований. Основную площадь урочища занимают осиновые неморальные леса с липой в подлеске на дерново-подзолах.

Учитывая ведущую роль эолового и карстового мезорельефа как главного фактора дифференциации ландшафтов долинных задров [9], на этапе подготовки крупномасштабной ландшафтной карты были поставлены 2 важнейшие задачи: 1) фиксация планового положения песчаных дюн и карстовых воронок и 2) вычисление их морфометрических характеристик. Методы дешифрирования космоснимков плохо применимы для крупномасштабного ландшафтного картографирования залесённых участков: даже очень подробные снимки не показывают эоловую морфоскульптуру задровых равнин. С другой стороны, несельскохозяйственный характер данных земель обуславливает отсутствие подробной почвенной съёмки, что также осложняет ландшафтное картографирование. По этим причинам возникла необходимость проведения съёмки направлений дюн и контуров карстовых воронок на местности. Данная работа осуществлялась с помощью GPS-навигатора Garmin 60Сх, на котором фиксировались путевые точки вершин. В камеральных условиях координаты точек переносились в ГИС-редактор и соединялись с учётом полевой документации глазомерной съёмки. Для сравнения с направлением горизонталей и привязки к абсолютным высотам полученные в результате кривые ориентации дюн и положения воронок накладывались на топографическую карту района исследований. При определении ландшафтных контуров учитывались фондовые геологические [2] и лесотаксационные [10] картографические материалы, которые подключались в ГИС-редактор в качестве новых тем-слоёв.

Ландшафтный рисунок к.у. №4 был охарактеризован количественно с помощью ко-

эффициентов, используемых как в ландшафтоведении [11], так и в географии почв, экологии и других областях, где необходим точный анализ сложных систем и комплексов. На основе созданной ландшафтной карты ключевого участка (см. рис. 2) были вычислены как простейшие показатели, дающие самое общее представление о составе рисунка и основных чертах его строения, так и более сложные меры оценки ландшафтного разнообразия и формы ландшафтных контуров.

К простейшим показателям можно отнести количество выделенных типов урочищ и подурочищ (ПТК), или составляющих рисунка (m), общее количество контуров (N), общую площадь (S) и периметр (P) контуров в пределах ключевого участка, количество контуров (N_i), площадь (S_i) и периметр (P_i) контуров по составляющим, долю площадей $\frac{S_i}{S}$ и количества контуров $\frac{N_i}{N}$ каждого конкретного урочища (подурочища) к площади (числу контуров) всего ключевого участка ($i=1, 2, \dots, m$), общую среднюю площадь $s_o = \frac{S}{N}$ и по составляющим $s_{oi} = \frac{S_i}{N_i}$. Большинство этих показателей было получено автоматически, что является одним из преимуществ построения ландшафтной карты в ГИС. Количество типов ПТК 4 к.у. ($m=20$) оказалось максимальным для всех четырёх участков, так для к.у. № 1 $m=6$. Это можно объяснить участием в формировании ландшафтного рисунка 4 участка не только эолового, но и карстового процессов, а также небольшой мощностью песчаных флювиогляциальных отложений, что увеличивает количество растительных ассоциаций и соответственно типов ПТК.

Максимальная доля контуров $\frac{N_i}{N}$ участка приходится на неглубокие междюнные котловины на подзолах песчаных, а также на привершинные поверхности дюн под различными типами сосняков на подзолах поверхностных песчаных, что может быть объяснено узкой локализацией этих ПТК и несомнностью их контуров. Большая доля контуров принадлежит нижним частям склонов песчаных дюн. В площадном отношении, как и на других участках, доминируют средние части склонов дюн, но если на участках 1–3 они занимают от 66,67% до 73,85% площади, то на 4 участке с обширными дюнно-карстовыми котловинами их доля резко сокращается (до 36,66%). К.у. №4 выделяется относительно большой долей площадей котловинных ПТК – 8,58%, в то время как на к.у. 1–3 этот показатель принимает значения 4,24–1,48%. Если для 1 участка эта величина составляет 4,24%, для 2 – 3,86%, то

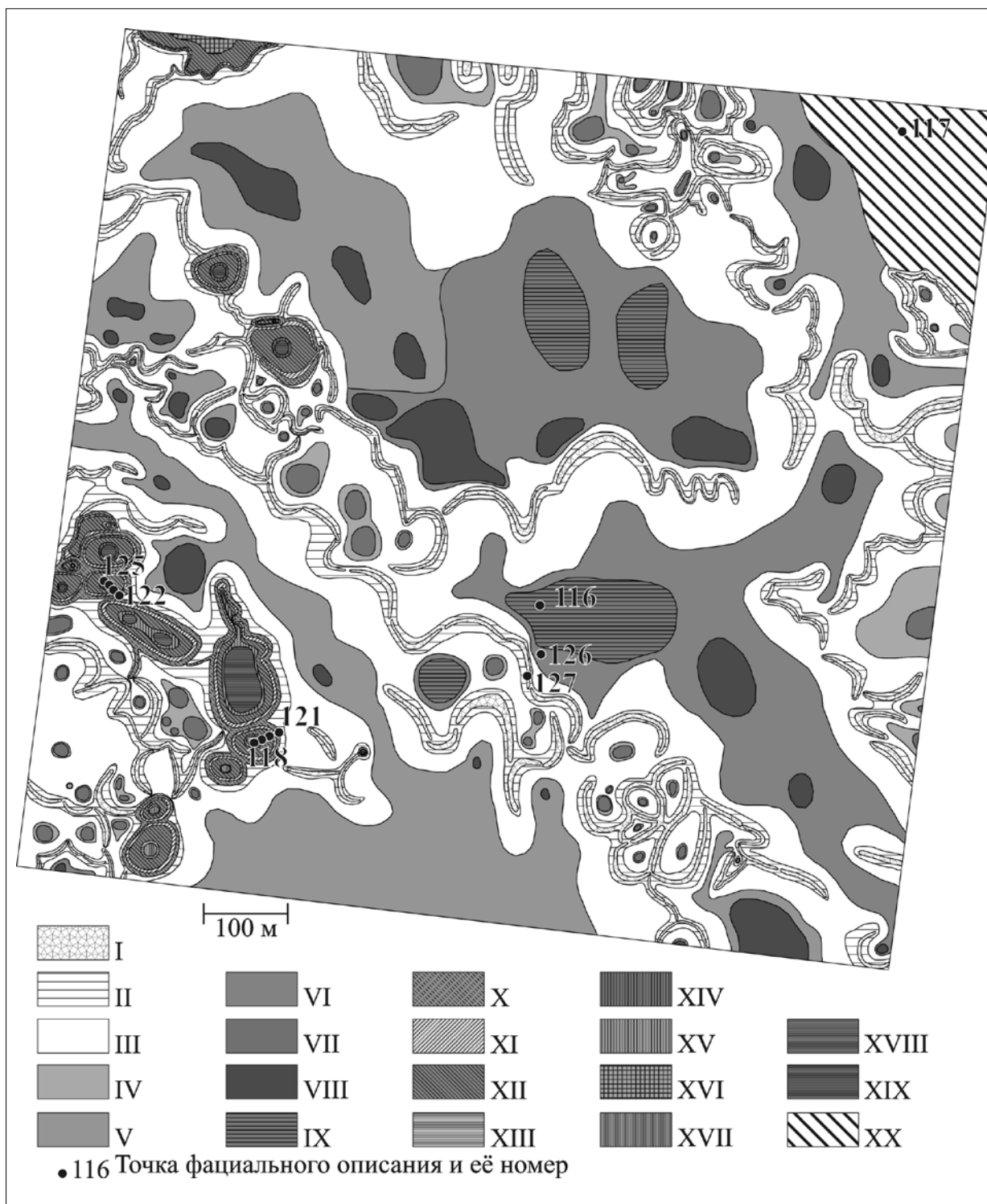


Рис. 2. Ландшафтная карта ключевого участка №4

Условные обозначения: Древнеэоловая аллювиально-водноледниковая равнина с относительными превышениями до 10 м, осложнённая обширными дюнно-карстовыми котловинами, естественно-дренируемая, с минеральными почвами: I. Привершинные поверхности дюн под сосняками зелёномошными и брусничными на подзоле поверхностном песчаном на водноледниковых отложениях (П_рОВ), II. Верхние относительно пологие (менее 10°) части склонов дюн под сосняками зелёномошными и брусничными, елово-берёзовыми сосняками брусничными на подзолах поверхностных песчаных иллювиально-железистых (П_зижпОВ), III. Средние относительно крутые (10–20°) части склонов дюн под берёзово-сосновыми и елово-берёзово-сосновыми брусничными и черничными лесами на П_зижпОВ, IV. Нижние относительно пологие (менее 10°) части склонов дюн под берёзово-сосновыми и елово-берёзово-сосновыми черничными лесами на П_зижпОВ и торфяно-подзолах мелких песчаных иллювиально-железистых (ТП_зижпОВ), V. Нижние относительно пологие (10–20°) части склонов дюнно-карстовых котловин под сосново-берёзовыми зелёномошными лесами на дерново-подзолах поверхностных песчаных иллювиально-гумусовых (П_гигпОВ),

VI. Нижние относительно пологие (10–20°) части склонов обширных междюнных и дюнно-карстовых котловин под осиново-берёзовыми мертвопокровными лесами на торфяно-подзолах поверхностных песчаных (ТП_рОВ), VII. Относительно неглубокие (относительные понижения до 5 м) междюнные котловины под берёзово-сосновыми и елово-берёзово-сосновыми зелёномошными и черничными лесами на П₁игп(у)ОВ, VIII. Глубокие (относительные понижения до 10 м) междюнные и дюнно-карстовые котловины под берёзово-осиновыми мертвопокровными лесами с липой на ТП₁₍₂₎рОВ). **Субгоризонтальные поверхности под торфяниками (мощность торфа, как правило, более 1 м):** IX. Субгоризонтальные поверхности под низинными торфяниками с мощностью торфа 1–1,5 м под сфагнумо-осоковыми и сабельниково-осоковыми болотами с разреженным и угнетённым древостоем сосны и берёзы на болотных низинных торфяных среднемошных почвах (Бнт''ОВ). **Карстовые воронки с относительными превышениями до 10 м, с торфяниками и естественно-дренируемые:** X. Привершинные поверхности карстовых воронок под сосновыми и берёзово-сосновыми зелёномошными, брусничными и вейниковыми лесами на П_рОВ, XI. Верхние относительно пологие (10–20°) части склонов карстовых воронок под берёзово-сосновыми и елово-берёзово-сосновыми зелёномошными и брусничными лесами на П₁(иже)рОВ, XII. Средние крутые (20–40°) части склонов карстовых воронок с близким, до 1,5 м, подстиланием коренными породами (элювием пермских песчаников и известняков) под берёзово-сосновыми и елово-берёзово-сосновыми папоротниково-черничными, костянично-черничными и чернично-майниковыми лесами на П₁₍₂₎иг(иже)рОВ[Э₁₍₃₎], XIII. Нижние относительно пологие (10–20°) части склонов неглубоких (до 3 м) карстовых воронок под сосновыми и берёзово-сосновыми зелёномошными и брусничными лесами на П₂ижрОВ, XIV. Нижние относительно пологие (10–20°) части склонов карстовых воронок под еловыми кислыми лесами с липой на П₂игижрОВ, XV. Нижние относительно пологие (10–20°) части склонов глубоких (5–10 м) карстовых воронок под елово-берёзовыми хвощёво-мертвопокровными лесами на дерново-подзолах поверхностных песчаных и супесчаных иллювиально-гумусовых, иллювиально-железистых (П₃игижр(у)ОВ), XVI. Нижние пологие (менее 10°) части склонов карстовых воронок под осоковыми болотами на торфяно-подзолах мелких глеевых песчаных и супесчаных (ТП₂рп(у)ОВ), XVII. Днища неглубоких (до 3 м) карстовых воронок под сосновыми и берёзово-сосновыми черничными лесами на П₁игп(у)ОВ, XVIII. Днища глубоких (5–10 м) карстовых воронок под папоротниковыми болотами на болотных низинных торфяных мощных почвах (Бнт''ОВ), XIX. Днища глубоких (5–10 м) карстовых воронок под осоково-сфагнумовыми и папоротниково-сфагнумовыми болотами на Бнт''ОВ и торфяно-подзолах глубоких песчаных глеевых (ТП₂рпОВ). **Коренные склоны долин рек:** XX. Коренной пологий (менее 10°) склон долины р. Вятки с близким, до 1,5 м, подстиланием элювием пермских известняков под осиновыми неморально-мертвопокровными лесами с липой (П₂ярус) на дерново-подзолах неглубоких песчаных иллювиально-железистых (П₃оижрВ[Э₁]).

для 3 – 1,48%). В 4 участке благодаря наличию обширных дюнно-карстовых котловин по средней площади (36148 м²) выделяются контура нижних, а не средних частей склонов под осиново-берёзовыми мертвопокровными лесами на торфяно-подзолах, значительную среднюю площадь контура имеют и котловинные урочища – более 1000 м². Общая средняя площадь всех контуров максимальна для данного участка (2371 м²) с характерными для него крупными формами.

Для математического анализа сложности ландшафтного рисунка применяется ряд коэффициентов (индексов) от относительно простых хронологических, таких, как индекс сложности, или индекс Викторова (KI), до сложных интегральных показателей оценки ландшафтного разнообразия (индексы Симпсона (CI) и Шеннона (H)).

Индекс сложности ландшафта (индекс Викторова) можно найти как для отдельных типов ПТК, так и для ключевого участка в целом. Он определяется по формуле:

$$KI = \frac{N(N_i)^2}{S(S_i)}$$

Индекс Викторова хорошо иллюстрирует сложность вершинных фаций участка (KI=0,57) и урочищ неглубоких котловин (KI=0,23). На этом фоне склоновые подуро-

чища (особенно фации средних и нижних частей склонов) выглядят довольно простыми, что естественно, учитывая относительно небольшое количество и одновременно значительную площадь их контуров. К.у. имеет высокий суммарный индекс KI, равный 0,1902. Это сближает его с к.у. №1 (KI=0,2021), с его сложным расчленённым мезорельефом, большим количеством мелких ландшафтных контуров.

Важная характеристика ландшафта – его разнообразие, или степень повторяемости строения на всей территории исследования. Любое разнообразие, в том числе и ландшафтное, может быть оценено как мера дисперсии либо как мера энтропии [12]. Для оценки разнообразия применяется множество индексов, но все они, по сути, являются вариациями двух формул – дисперсии и энтропии.

Индекс Симпсона (C) основан на формуле дисперсии:

$$C = \sum_{i=1}^m \frac{S_i(S_i - 1)}{S(S - 1)}$$

Индекс Симпсона часто используют в экологии для оценки биоразнообразия внутри экосистемы. В морфологии ландшафтов этот индекс может быть применён для оценки вероятности принадлежности к различным типам ПТК любых 2 контуров, случайно ото-

бранных из неопределённо большого их числа. Считается, что индекс Симпсона – очень чувствительный инструмент для выявления доминирования одного или нескольких типов ПТК [13]. С другой стороны, это является основным недостатком индекса для оценки разнообразия [12], так как его значение слабо зависит от числа типов ПТК (m), практически полностью зависит от площади 1–2 наиболее обширных урочищ, а небольшие ПТК почти не учитываются. К.у. №4 имеет максимальный индекс Симпсона среди всех участков ($C1=0,8051$), что говорит о выравненности площадей его ПТК и незначительном доминировании отдельных урочищ в ландшафте, а значит наибольшем его разнообразии. Действительно, площадь ни одного типа ПТК (даже средних частей склонов) не превышает 50% от общей площади участка.

Индекс разнообразия Шеннона основан на формуле энтропии:

$$H = - \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} \log_2 \frac{S_i}{S}$$

Как отмечают некоторые авторы [14], индекс Шеннона, как и индекс Симпсона, зависит не только и не столько от числа ландшафтных выделов, но в значительной степени от равномерности их распределения и не обнаруживает четкой связи с общей площадью. Результат подсчета $H = 2,0034$ – подтверждает ранее полученную величину индекса Симпсона и также является максимальным среди всех участков.

Наравне с характеристикой сложности и разнообразия ландшафта большое значение имеет анализ формы ландшафтных контуров, которая оценивалась при помощи 2 показателей – коэффициента расчленённости ($K2$) и индекса кругообразности ($K3$).

Коэффициент расчленённости определялся по формуле:

$$K2 = \frac{P(P_i)}{2\sqrt{\pi} S(S_i)}$$

Самой высокой расчленённостью характеризуются вершины, верхние части склонов дюн и контура вершинных и склоновых фаций карстовых воронок, занимающие относительно небольшую площадь, но вытянутые по всей длине отдельной дюны или целой дюнной гряды, либо, как в случае с карстовыми воронками, образующие узкие, вложенные друг в друга пояса. Средние части склонов из-за большого общего периметра везде имеют низкий $K2$. Котловины и днища карстовых воронок, об-

ладая округлой формой, также не отличаются высоким значением этого показателя. К.у. №4 имеет средний показатель общей расчленённости ($0,0415$), сходный с аналогичным показателем для к.у. №1 ($0,0431$). Эти участки обладают сочетанием сильно расчленённого мезорельефа с относительно выровненными ПТК.

Для сравнения формы ландшафтных контуров с кругом использовался индекс кругообразности:

$$K3 = \frac{4\pi S(S_i)}{P^2}$$

Высокий индекс $K3$ имеют все котловины. Так как в формулу подставлялись не площади и периметры отдельных контуров, а общие величины для типов ПТК или всего участка, то значения $K3$, как правило, значительно меньше 1 (круг), что не мешает индексу кругообразности хорошо показывать общие особенности формы ландшафтного рисунка. $K3$ к.у. №4 – $0,0005$ – минимально среди всех участков, несмотря на присутствие кругообразных ПТК днищ карстовых воронок. В данном случае $K3$ отражает скорее общую высокую расчленённость рельефа с большим количеством вершинных и склоновых фаций неправильной формы и дюнных гряд, чем наличие небольшого числа кругообразных контуров днищ ($K3 = 0,25-0,30$).

В результате ландшафтных исследований в закарстованной части Медведского бора схема типологической классификации ландшафтов этой долинно-зандровой равнины была дополнена ещё одним – карстовым – подтипом надпойменно-террасового типа местности (в дополнение к древнеэоловому и болотному). На 4 ключевом участке площадью чуть более 100 га выявлено 20 типов ПТК различного уровня – от фаций до урочищ – на 6 вариантах положения в мезорельефе (вершина, верхняя, средняя, нижняя части склона, котловина, субгоризонтальная поверхность). Типы ПТК сформированы 10 растительными ассоциациями и 7 почвенными разностями. Таким образом, закарстованные участки района исследований можно признать самыми сложно устроенными частями медведского ландшафта. Карстовые участки долинного зандра, так же как и дюнные поля центральной части бора, обладают высокой расчленённостью рельефа, а относительно небольшая мощность песков и особый микроклимат глубоких карстовых воронок определяют повышенное ландшафтное разнообразие этих территорий. Дюнные гряды закарстованных участков длиной до 1,5 км

и более имеют, в отличие от центральных районов бора, юго-восточное, а не северо-восточное простирание, совпадающее с общим направлением цепочек карстовых воронок района исследований. GPS-картографирование зарекомендовало себя как наиболее рациональный и удобный метод фиксации границ ландшафтных выделов. Математический анализ созданной ландшафтной карты 4 ключевого участка показал: 1) сложность и повышенное ландшафтное разнообразие, а точнее, меньшее доминирование отдельных типов ПТК, закарстованных районов Медведского бора; 2) наибольшую расчленённость вершин и верхних частей склонов дюн, вершинных и склоновых фаций карстовых воронок, а наименьшую – котловин выдувания, днищ карстовых воронок и средних частей склонов; 3) наибольшую кругообразность контуров котловин и днищ воронок, а также низкую общую кругообразность сильно расчленённой дюнно-карстовой части бора.

Литература

1. Прокашев А.М., Жуйкова И.А., Пахомов М.М. История почвенно-растительного покрова Вятско-Камского края в послеледниковье. Киров. 2003. 143 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Средне-волжская. Листы О-39-XV (Кирово-Чепецк). О-39-XVI (Зуевка). О-39-XXI (Медведок). О-39-XXII (Уни). М. 1998. 149 с.
3. Буш Н.А. Материалы к флоре Вятской губернии // Труды общества естествоиспытателей при императорском Казанском университете. Т. XXI. Вып. 2. Казань. 1889. С. 5, 37.
4. Тарасова Е.М. Государственный памятник природы «Медведский бор» // О состоянии окружающей природной среды Кировской области в 2000 году. Региональный доклад. Киров. 2001. С. 131–143.
5. Исупова Е.М. К характеристике почвенного покрова лесов на песках боровой террасы реки Вятки (на примере Медведского бора) // Учёные записки кафедры физической географии. Вып. № 24. Киров. 1968. С. 24–40.
6. Русских А.В., Иванов А.Д. Пещеры и карстовые озёра Волго-Вятского края. Слободской. 1992. 87 с.
7. Кузницын М.А. Гидрохимия озёр Медведского бора // Вятская земля в прошлом и настоящем: Матер. III науч. конф. Т. 2. Киров. 1995. С. 64–66.
8. Хабаков А.В. Об эоловых послетретичных образованиях Вятской губернии // Записки Российского минералогического общества. Вып. 2. Л. 1926. С. 380–391.
9. Матушкин А.С. Структура ландшафтов задровых равнин Вятско-Камского Предуралья // Естественные и технические науки. М. 2010. №3(47). С. 246–255.
10. План лесонасаждений Медведского лесничества Нолинского лесхоза Кировской области. Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Кировской области. 2003.
11. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
12. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии. Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. С. 91–129.
13. География и мониторинг биоразнообразия. М.: Издательство Научного и учебно-методического центра Моск. ун-та, 2002. 432 с.
14. Иванов А.Н., Крушина Ю.В. Ландшафтное разнообразие и методы его измерения // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: Матер. XI Междунар. ландшафтной конф. М.: Географический факультет МГУ, 2006. С. 99–101.

Влияние регионального переноса загрязнителей на трансформацию биогеохимических параметров горно-таёжных ландшафтов

© 2011. Е. А. Хайрулина¹, к.г.н., с.н.с., Е. М. Никифорова², к.г.н., с.н.с.,
Е. А. Ворончихина¹, к.г.н., с.н.с.,

¹Естественно-научный институт Пермского государственного университета,

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
e-mail: elenakhay@gmail.com, natalk@mail.ru, voronchihina-ea@yandex.ru

В статье представлены результаты исследований влияния аэрального поступления тяжёлых металлов в результате регионального переноса на биогеохимические параметры природных комплексов заповедников «Басеги» и «Вишерский», представляющих горную тайгу Западного Урала. Для оценки трансформации биогеохимических параметров были рассмотрены химический состав лесной подстилки, почв и древесной растительности.

The article shows the results of studies of transboundary heavy metal pollution impact on biogeochemical parameters on the natural systems of natural reserve of «Basegi» and «Visherskii», representing the mountain taiga of the Western Urals. To assess the transformation of the biogeochemical parameters the chemical composition of forest litter, soil and forest vegetation were considered.

Ключевые слова: региональный перенос загрязнителей, заповедники, тяжёлые металлы, биогеохимические параметры

Key words: transboundary pollution, natural reserves, heavy metals, biogeochemical parameters

Введение

Исключительный охранный режим государственных природных заповедников РФ предполагает сохранение не только биологического разнообразия ландшафтов, но и естественных ландшафтно-геохимических параметров, что в условиях регионального рассеивания загрязнителей становится сложной задачей.

Особую опасность представляет увеличение содержания тяжёлых металлов (ТМ), которые активно участвуют в региональном и межрегиональном переносе загрязнителей. В большинстве стран Европы более половины антропогенных выпадений ТМ определяется трансграничным переносом [1]. В лесных ландшафтах опасность загрязнения тяжёлыми металлами возрастает, т. к. катионогенные элементы, к которым относится большинство ТМ, активно мигрируют в условиях кислой среды, лесная растительность и подстилка являются их интенсивными биогеохимическими поглотителями.

Цель исследования – изучить атмосферные поступления ТМ в ландшафты Западного Урала на примере заповедников Пермского края и выявить трансформацию их биогео-

химических параметров под влиянием регионального переноса загрязнителей.

Объект и методы исследований

В качестве объектов исследования были выбраны заповедники «Басеги» и «Вишерский». Благодаря статусу на их территории исключена любая хозяйственная деятельность. Объекты исследования находятся на различном удалении от промышленных центров Урала. Заповедник «Басеги» расположен в наиболее промышленно освоенной горнозаводской части Урала на расстоянии менее 50 км к востоку и северо-востоку от промышленных городов. Заповедник «Вишерский», напротив, наиболее удалён от промышленных центров Пермского края, республики Коми и Свердловской области.

Оба заповедника представляют ненарушенные горно-таёжные комплексы Западного Урала. Они относятся к верхним звеньям горных каскадных систем Урала, что обеспечивает геохимическую автономность их миграционных потоков. С другой стороны, природные комплексы расположены на пути регионального переноса атмосферных воздушных масс. Хребты Урала, являясь

Таблица 1

Характеристика ландшафтов ключевых площадок заповедников Западного Урала			
№	Местоположение	Растительность	Почвы
1	Западный склон г. Сев. Басега	Берёзово-пихтово-еловый с примесью рябины кислично-папоротниково-хвоцевый зеленомошный лес	Бурозём грубогумусовый среднесуглинистый неглубоко каменистый
2	Восточный склон г. Сев. Басега	Берёзово-елово-пихтово-рябиновый чернично-папоротниковый зеленомошный лес	Бурозём грубогумусовый среднесуглинистый каменистый
4	Северный склон г. Сред. Басега	Пихтово-берёзово-еловый с примесью рябины лерхенфельдиево-черничный зеленомошный лес	Подзолистая грубогумусовая иллювиально-железистая
5	Южный склон г. Сред. Басега	Берёзово-пихтово-еловый малиновый папоротниковый зеленомошный лес	Бурозём грубогумусовый среднесуглинистый
6	Восточный склон г. Южн. Басега	Берёзово-пихтово-еловый малиновый злаково-папоротниковый зеленомошный лес	Бурозём грубогумусовый среднесуглинистый каменистый
8	Западный склон г. Южн. Басега	Берёзово-елово-пихтовый с примесью рябины малиновый чернично-папоротниковый зеленомошный лес	Грубогумусовая иллювиально-железистая поверхностно-каменистая
10	Восточный склон г. Муравьиный Камень	Берёзово-пихтово-еловый с примесью рябины лерхенфельдиево-черничный зеленомошный лес	Подзолистая тяжелосуглинистая поверхностно-каменистая
11	Западный склон г. Ишерим	Пихтово-берёзово-еловый с примесью рябины малиновый чернично-папоротниковый зеленомошный лес	Горная лесная неоподзоленная среднесуглинистая

естественными барьерами, повышают опасность поступления загрязнителей на территорию заповедника. По этой причине в аналогичных условиях Висимского заповедника (восточноуральского аналога заповедника «Басеги»), в экосистемах горных вершин Урала содержание ТМ достигает уровня буферной зоны Среднеуральского медеплавильного завода [2]. Среди приоритетных загрязнителей в почвах выделены цинк, медь, свинец и кадмий.

С целью определения вклада аэрального поступления ТМ в заповедные ландшафты был рассмотрен ветровой режим района исследования и состав атмосферных осадков (талых снеговых вод), собранных на территории заповедников. Опробование снежного покрова было проведено на стационарных площадках биогеохимического мониторинга. Пробы снега отбирались в конце марта перед началом снеготаяния. Всего собрано более 50 проб снега. Для определения растворимых и нерастворимых форм ТМ в снежном покрове твёрдая нерастворимая фракция выделялась путём фильтрования. Основной ряд наблюдений был получен на основе данных валового содержания химических элементов.

Для выявления трансформации биогеохимических параметров анализировался химический состав лесной подстилки (горизонт A_0 , глубина 0–2,5 см) и древесной растительности (листья берёзы *Betula pubescens* Ehrh. и *Betula pendula* Roth, хвои ели *Picea obovata* Ledeb. и пихты *Abies Sibirica* Ledeb). Валовое содержание 36 микроэлементов в талых водах и лесной подстилке определялось в Центральной Уральской лаборатории атомно-эмиссионным анализом. После выявления приоритетных загрязнителей в лаборатории атомно-абсорбционной спектроскопии географического факультета МГУ определяли подвижные формы ТМ в органоминеральном горизонте почв (2,5–6 см), применяя кислотную вытяжку (1н HCl) и ацетатно-аммонийный буфер (АА).

Изучение геохимии ТМ в ландшафтах заповедников проходило в 1994–2005 гг. по традиционной методике с помощью метода ключевых площадок [3, 4], выбранных после первичного полевого обследования в наиболее типичных горно-таёжных природных комплексах с учётом экспозиционного фактора. Исследуемые площадки обладают относительной однородностью почвообразующих пород, почв и растительного покрова (табл. 1). По услови-

ям миграции площадки исследования относятся к трансэлювиальным элементарным ландшафтам с абсолютными высотами 400 – 430 м.

Результаты исследований и обсуждение

Среднее содержание ТМ в снеговых водах заповедных ландшафтов показывает, что их химический состав напрямую зависит от местоположения заповедников по отношению к источникам загрязнения (табл. 2). Анализ ветрового режима за исследуемый период (1994–2005 гг.) выявил, что существенную долю составляют ветра западного, южного и восточного направлений (рис. 1), а заповедник «Басеги» находится в непосредственной близости к городам, в которых сосредоточены производства цемента, сжигания угля, чёрная и цветная металлургия и машиностроение, т. е. те виды производства, выбросы которых содержат тяжёлые металлы [5].

Для заповедника «Басеги» характерны повышенные концентрации большого ряда элементов в снеге. Максимальные концентрации в талых водах отмечаются для цинка, марганца и бария. Средние концентрации практически всех рассматриваемых элементов превышают нормальные содержания для снега [6], что указывает на чрезвычайно высокое антропогенное воздействие и значительную роль регионального атмосферного переноса в поступлении загрязнителей в заповедные ландшафты.

На основе средних содержаний ТМ в талых водах заповедника «Вишерский» был построен следующий ряд элементов, мг/кг:

$$\frac{Zn}{537,5} > \frac{Mn}{404,5} > \frac{Ba}{188,2} > \frac{Sr}{57,5} > \frac{Cr}{43,2} > \frac{Cu}{40,7} > \frac{Pb}{31,9} > \frac{V}{22,8} > \frac{Ni}{13,2} > \frac{Co, Mo}{2,3}$$

По средним значениям концентрации элементов в снежном покрове заповедника «Басеги» (за период 1994–2001 гг.) для склонов различных экспозиций хребта Басег ТМ образуют следующие ряды элементов, мг/кг:

Западный склон г. Северный Басег:

$$\frac{Zn}{2531,1} > \frac{Mn}{1291,2} > \frac{Ba}{435,2} > \frac{Cr}{243,0} > \frac{Cu}{156,1} > \frac{Ni}{121,8} > \frac{Pb}{59,7} > \frac{V}{55,5} > \frac{Co}{19,9} > \frac{Sr}{3,1} > \frac{Mo}{2,9}$$

Восточный склон г. Северный Басег:

$$\frac{Zn}{2470,7} > \frac{Mn}{683,1} > \frac{Ba}{565,3} > \frac{Cr}{231,3} > \frac{Cu}{72,9} > \frac{Ni}{50,7} > \frac{Sr}{38,9} > \frac{Pb}{34,2} > \frac{V}{31,3} > \frac{Co}{16,7} > \frac{Mo}{3,6}$$

Восточный склон г. Южный Басег:

$$\frac{Mn}{441,7} > \frac{Ba}{349,2} > \frac{Zn}{217,5} > \frac{Cr}{150,9} > \frac{Cu}{141,5} > \frac{Pb}{117,7} > \frac{V}{90,1} > \frac{Sr}{59,1} > \frac{Ni}{52,8} > \frac{Co}{6,5} > \frac{Mo}{1,7} > \frac{Cd}{0,2}$$

Западный склон г. Южный Басег:

$$\frac{Mn}{393,8} > \frac{Ba}{187,0} > \frac{Cr}{171,2} > \frac{Zn}{154,7} > \frac{Cu}{102,4} > \frac{Pb}{87,9} > \frac{V}{60,9} > \frac{Ni}{47,8} > \frac{Sr, Co}{3,4} > \frac{Mo}{3,2} > \frac{Cd}{1,3}$$

Видно, что аэрогенная нагрузка на природные комплексы заповедника «Вишерский» меньше. На этом основании содержание металлов в снежном покрове заповедника можно использовать при расчёте коэффициента концентрации (Kc) [7].

Экспозиции склонов гор вносят коррективы в распределение элементов в снежном покрове. Повышенный уровень содержания ТМ в снежном покрове наблюдается на западном

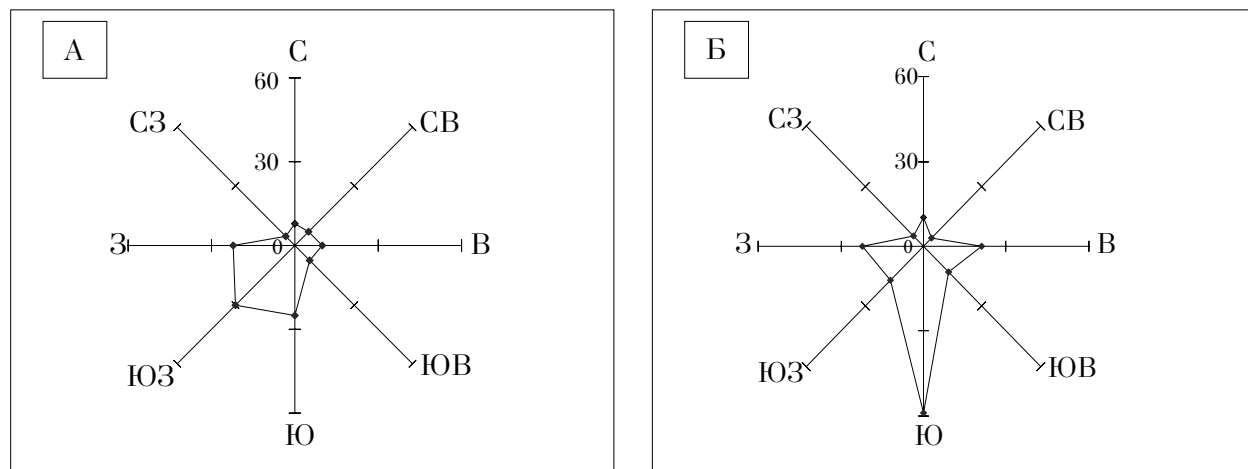


Рис. 1. Ветровой режим в зимний период 2001–2002 гг. (А) и 2002–2003 гг. (Б) (повторяемость по каждому румбу в днях), по данным «Летописи природы...», 2003 г., 2004 г.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в снежном покрове и лесной подстилке
заповедников «Басеги» и «Вишерский»
(1994–2001 гг.)

Элемент	Норма*	Снег				Кларк **	Лесная подстилка (0-10 см)			
		«Басеги» (n=20)		«Вишерский» (n=4)			«Басеги» (n=24)		«Вишерский» (n=7)	
		1	2	1	2		1	2	1	2
Ni	57	73,2	46,4-193,8	43,2	11,3-17,3	20	23,1	7,0-48,2	18,8	8,8-35,7
Co	40	11,4	1,6-50,0	2,3	1,9-2,9	40	8,7	0,9-32,4	6,7	0,9-12,8
Cr	52	201,8	82,3-645,2	43,2	34,5-49,6	30	60	8,6-123,1	45,2	7,1-107,2
Mn	520	793,9	164,0-4720,5	404,5	356,4-410,0	800	1966,2	300,5-7250,0	895,2	199,9-1931,0
V	50	56,9	9,1-162,1	22,8	12,4-28,8	80	61,3	10,8-145,0	40,6	7,0-107,2
Cu	100	116,7	17,2-316,7	40,7	32,7-55,4	50	28,9	9,5-65,6	22,8	7,2-50,0
Zn	610	1504,8	21,3-9193,5	537,5	497,6-570,0	60	126,6	41,6-33-69,5	57,3	28,7-97,8
Pb	90	70,8	4,3-327,6	31,9	12,4-51,8	40	44,8	10,4-123,1	28,2	10,4-50,0
Mo	1	2,6	0,6-6,5	2,3	–	1	1,6	0,0-11,9	0,7	0,3-1,2
Ba	нет данных	394,6	69,1-1854,8	188,2	116,5-290,0	150	320,6	43,0-667,0	210	49,7-500,7
Sr	нет данных	33,7	1,5-116,8	57,5	19,2-87,0	150	56,3	14,0-109,4	44,6	14,2-107,2
Cd	0,5	0,7	0,1-2,5	0	–	0,2	1,5	0,0-4,1	–	–

Примечание: n – количество проб; 1 – среднее арифметическое содержания элементов в плотном остатке (мг/кг сухой массы); пределы колебаний (мг/кг); * – норма содержания в плотном остатке снега (мг/кг) [6]; ** – кларк для пород Урала [3].

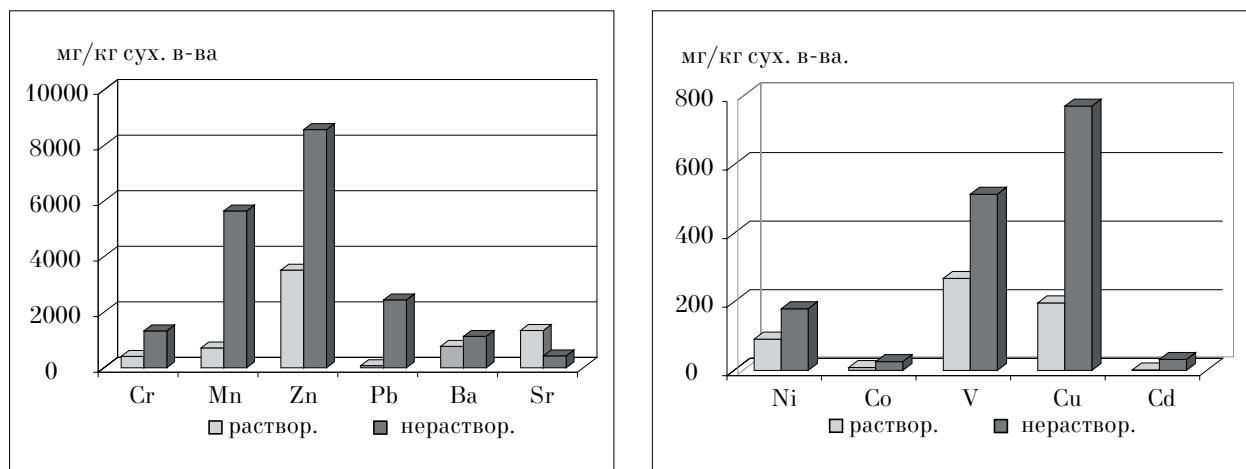


Рис. 2. Содержание элементов в растворимой и нерастворимой фракциях снежного покрова заповедника «Басеги», 2005 г.

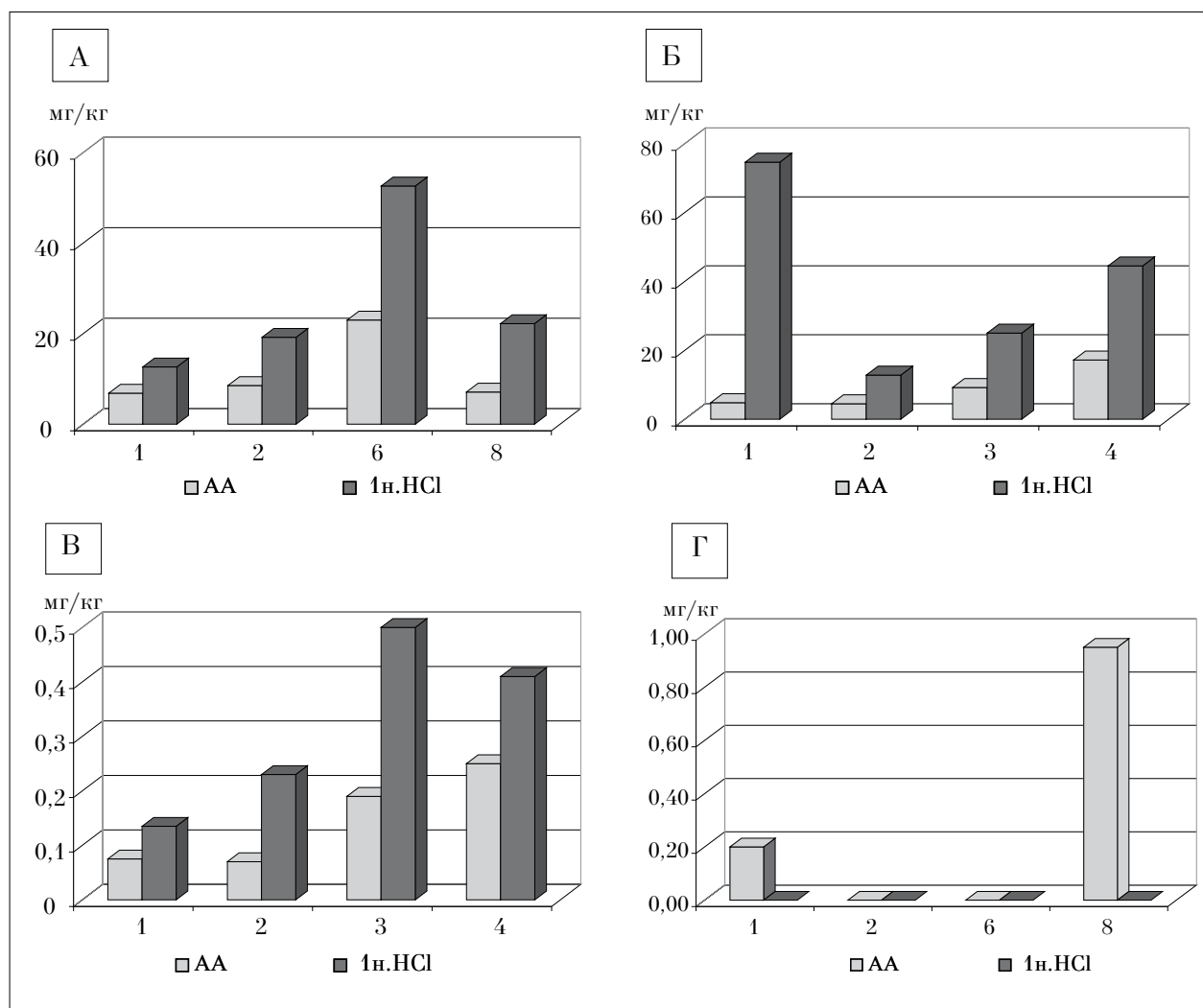


Рис. 3. Содержание подвижных (AA буфер, pH 4,8) и кислоторастворимых (1н НCl) форм свинца (А), цинка (Б), кадмия (В) и хрома (Г) в почвах заповедника «Басеги»

склоне г. Северный Басег. По отдельным элементам превышение фонового уровня установлено в 2,0–9,2 раза; максимальные значения Кс для никеля – 9,2, кобальта, хрома и цинка (7,9 – 4,6), меди – 3,8. Снежный покров склонов г. Южный Басег загрязнён ТМ в меньшей степени. Коэффициенты концентрации кобальта, хрома, никеля находятся в пределах 1,4 – 4,0. Однако для элементов ванадия, свинец и кадмий отмечены максимальные значения Кс (4,1, 3,7 и 2,3 соответственно).

Важным индикатором загрязнённости атмосферных выпадений является соотношение растворимых и нерастворимых форм элементов в снежном покрове [6 – 9]. На относительно удалённых и чистых территориях в составе атмосферных выпадений преобладают растворимые формы ТМ, а вблизи источников выбросов увеличивается доля нерастворимых соединений.

Проведённый анализ этих форм ТМ в снежном покрове заповедника «Басеги» (рис. 2) показал, что поступление элементов на территорию заповедника из снега происходит в основном в виде нерастворимых соединений (пыли). В валовом объёме ТМ, накапливающихся в плотном остатке снеговых вод, 77% приходится на твёрдую фракцию. Наибольшие концентрации в нерастворимой форме имеют цинк, марганец и свинец, а в растворимой – цинк. Такое соотношение элементов в большей степени характерно для снежного покрова загрязнённых городских ландшафтов крупных промышленных центров [8], чем для заповедных.

Изучение химического состава лесной подстилки на площадках исследования позволило установить схожие различия в концентрациях ТМ. Для заповедника «Вишерский» содержание почти всех рассматриваемых ТМ соответствует кларку пород, а лесная подстилка заповедника «Басеги» аккумулирует их в повышенных концентрациях (табл. 2).

Оценка содержания подвижных форм ряда ТМ в органо-минеральном горизонте почв (рис. 3) показала, что в почве заповедника «Басеги» присутствует достаточно большое количество легкорастворимых соединений металлов, доступных для поглощения их растениями, которые составляют до 50–70% от их валовых концентраций. При этом свинец, цинк и кадмий, содержащиеся в органо-минеральном горизонте почв, находятся преимущественно в менее подвижной кислоторастворимой форме, а хром – в виде легкоподвижных соединений. В южной части заповед-

ника содержание в почвах легкоподвижных форм доступных для растений выше.

Высокую степень нахождения ТМ в растительности заповедных ландшафтов подтверждают коэффициенты биологического поглощения (Кб) (табл. 3). Пониженные значения коэффициента отмечены для заповедника «Вишерский». Анализ коэффициентов биологического поглощения лиственных и хвойных пород показал слабую дифференциацию между природными комплексами г. Северный Басег и заповедника «Вишерский». Для них характерно энергичное биологическое поглощение марганца, цинка, стронция, бария, меди, что подчёркивает катионофильный характер биогеохимической специализации растений горно-таёжных ландшафтов. Вероятно, высокие валовые концентрации цинка и марганца в снежном покрове существенно не влияют на биогеохимические параметры комплексов Северного Басега.

На склонах г. Южный Басег происходит изменение состава ассоциации наиболее биологически активных ТМ и увеличиваются видовые различия в накоплении элементов. В листьях берёзы возрастает степень накопления цинка, марганца, стронция и бария. Для хвойных деревьев снижается в 2–3 раза поглощение марганца и бария. Для всех древесных пород растёт биологическое поглощение техногенных элементов: свинца – в 2 раза, ванадия – в 1,5–2 раза, хрома – в 14 раз, кадмия – в десятки раз.

Заключение

Несмотря на относительную удалённость от промышленных центров и заповедный режим, природные комплексы заповедника «Басеги» (по сравнению с незагрязнёнными комплексами заповедника «Вишерский») испытывают интенсивное аэральное воздействие, связанное с региональным переносом загрязнителей и аккумуляцией их в почвенно-растительных субстратах.

Геохимическим индикатором загрязнения горно-таёжных ландшафтов является снежный покров. Степень накопления элементов в снеге и их спектр зависят от экспозиции склонов горных хребтов и положения относительно основных направлений регионального переноса загрязнителей. Наибольшее загрязнение снежного покрова ТМ отмечается на западном склоне г. Северный Басег, где высокие концентрации выявлены для элементов никель – кобальт – хром – цинк – медь.

Таблица 3

Ряды коэффициентов биологического поглощения в горно-таёжных ландшафтах

№ площадки, местоположение пробы	Субстрат	Коэффициент биологического поглощения					
		> 20	10-20	5-10	1,0-5	0,1-1,0	<0,1
Заповедник «Вишерский»*	Хвоя ели, пихты	Mn ₃₀ , Zn ₃₀ , Sr ₂₈	Cu ₁₁	Ba ₇ , Ni ₆	Co _{4,3} , Pb _{1,3}	V _{0,5} , Cr _{0,3}	Cd, Mo
	Лист берёзы	Zn ₃₉ , Mn ₃₆ , Sr ₃₀ , Ba ₂₂	Cu ₁₃ , Ni ₁₂		Mo _{3,6} , Co _{2,9}	V _{0,7} , Pb _{0,7} , Cr _{0,5}	Cd
1. Зап. склон г. Северный Басег	Хвоя ели, пихты	Mn ₃₁ , Mo ₂₁ , Sr ₂₀	Zn ₁₁	Ba ₈ , Cu ₇ , Ni ₆	Co _{2,1} , Pb _{2,1}	Cr _{0,9} , V _{0,4}	Cd
	Лист берёзы	Zn ₈₀ , Mn ₄₄ , Sr ₃₅ , Mo ₂₈ , Ba ₂₁	Ni ₁₄ , Cu ₁₁		Co _{4,4} , Pb _{2,4} , V ₂ , Cr ₁		
2. Вост. склон г. Северный Басег	Хвоя ели, пихты	Mn ₂₅	Zn ₁₈ , Ba ₁₄ , Sr ₁₃	Cu ₈	Mo _{4,1} , Ni _{3,0} , Co _{3,0} , Pb _{2,6}	Cr _{0,8} , V _{0,5}	Cd
	Лист берёзы	Zn ₅₀ , Mn ₃₅ , Ba ₂₁	Sr ₁₉ , Cu ₁₁	Ni ₉ , Co ₆ , Mo ₆	Pb _{2,4} , V _{1,6}	Cr _{0,8}	
6. Вост. склон г. Южный Басег	Хвоя ели, пихты		Mn ₁₇ , Sr ₁₃	Zn ₉ , Cu ₉ , Ba ₇	Ni _{3,6} , Pb _{3,3} , Mo _{2,8} , Co _{2,5} , V _{1,4}	Cr _{0,8} , Cd _{0,2}	Cd
	Лист берёзы	Zn ₅₅ , Sr ₃₂ , Mn ₃₂	Ba ₁₅ , Cu ₁₅ , Cr ₁₄ , Ni ₁₂		Pb _{4,6} , Co _{3,9} , V _{2,3} , Mo _{1,4}	Cd _{0,6}	
8. Зап. склон г. Южный Басег	Хвоя ели, пихты		Mn ₁₆ , Zn ₁₂ , Cu ₁₀	Sr ₇ , Pb ₅	Mo _{4,3} , Ba _{3,5} , Ni _{3,3} , Co _{1,2} , V _{1,1} , Cr _{1,1}		Cd
	Лист берёзы	Zn ₄₀ , Mn ₁₆	Cd ₁₆ , Sr ₁₆ , Mo ₁₃ , Cu ₁₀	Ba ₇ , Ni ₆	Pb _{3,4} , Co _{3,1} , V _{2,0} , Cr _{1,0}		

Примечание: * – среднее значение для заповедника «Вишерский».

В южной части заповедника поступление загрязнителей из Свердловской области и Пермского края формирует следующую ассоциацию элементов: ванадий – свинец – кадмий.

Аэральные потоки ТМ приводят к трансформации основных биогеохимических параметров горно-таёжных экосистем – лесной подстилки, почв, древесных растений. Процессы загрязнения способствуют увеличению в лесной подстилке подвижных соединений ТМ, что отражается на повышении биологической активности некоторых технофильных элементов (свинца, кадмия, хрома, ванадия) и приводит к снижению у хвойных деревьев интенсивности поглощения жизненно важных биогенных элементов (марганца, бария и некоторых др.).

Установленные повышенные концентрации ряда токсичных элементов в заповедных экосистемах могут вызвать развитие деструктивных процессов в их природном функционировании и привести к дальнейшей трансформации биогеохимических параметров у живых организмов.

Литература

1. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment. I.Ilyin, O.Travnikov, W.Aas / EMEP Status Report 2/2006.
2. Воробейчик Е.Л., Давыдова Ю.А., Кайгородова Ф.Ю., Мухачева С.В. Исследование мелких млекопитающих Висимского заповедника: вклад в популяционную экотоксикологию // Экологические исследования в Висимском биосферном заповеднике: Матер. науч. конф. Екатеринбург. 2006. С. 108–129.
3. Вострокнутов Г.А. Временное методическое руководство по проведению геохимических исследований при геоэкологических работах. Екатеринбург: Уралгеология, 1991. 137 с.
4. Глазовский Н.Ф., Злобина А.И., Учватов В.П. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна. Пушино. 1978. 28 с.
5. Максимович Н.Г., Ворончихина Е.А., Хайрулина Е.А., Жекин А.В. Техногенные биогеохимические процессы в Пермском крае // Геориск. 2010. № 2. С. 38–45.
6. Геохимия окружающей среды. М: Недра, 1990. 335 с.

7. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М. 1992. 54 с.

8. Касимов Н.С. Эколого-геохимические оценки состояния городов // Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 336 с.

9. Павленко И.А., Батоян В.В., Кучумова Н.А. Выявление зон промышленного загрязнения по исследованию снежного покрова // Техногенный пото-

ки вещества и состояния экосистем. М.: Наука, 1984. С. 193–210.

Настоящая работа была подготовлена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 р_урал_а «Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ОСВОЕНИЕ СЕВЕРА
И ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОВОССТАНОВЛЕНИЯ»

24–26 мая 2011 г.
Сыктывкар

Основные направления работы конференции:

- Устойчивость экосистем Севера и их трансформация под воздействием техногенного фактора
- Природопользование и природовосстановление нарушенных территорий на Севере (приемы и методы)
- Охрана биоресурсов и традиционные формы хозяйства на Севере
- Микробиологические методы очистки нефтезагрязненных земель
- Формирование посттехногенных экосистем и восстановление биологического разнообразия на посттехногенных территориях
- Экологическое картографирование
- Социальные и эколого-экономические аспекты природопользования и природовосстановления

Контактные адреса Оргкомитета:
167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
e-mail: panjukov@ib.komisc.ru
<http://www.ib.komisc.ru/add/j2/index.php>

Состояние цианобактерии *Nostoc linckia* в условиях загрязнения среды никелем и нефтепродуктами и перспективы её использования в качестве биосорбента

© 2011. А. И. Фокина¹, к.б.н., ст. преподаватель, С. С. Злобин¹, аспирант, Г. И. Березин¹, аспирант, Ю. Н. Зыкова², аспирант, С. Ю. Огородникова^{1,3}, к.б.н., с.н.с., Л. И. Домрачева^{2,3}, д.б.н., профессор, А. Л. Ковина², к.б.н., доцент, Е. А. Горностаева⁴, студент,

¹Вятский государственный гуманитарный университет,

²Вятская сельскохозяйственная академия,

³Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

⁴Вятский государственный университет,

e-mail: ecolab2@gmail.com

Изучены изменения в популяционной плотности и жизнеспособности цианобактерии *Nostoc linckia* под влиянием никеля и нефтепродуктов. Показано, что, несмотря на значительную гибель клеток в условиях загрязнения среды, исследуемый штамм ностока обладает высокой адсорбционной активностью к изучаемым поллютантам.

Changes in population density and viability of the cyanobacteria *Nostoc linckia* under the influence of nickel and oil products are investigated. It is shown that in spite of lots of cells dying in polluted environment *Nostoc* strain under investigation is characterized by a high adsorption activity to the investigated pollutants.

Ключевые слова: цианобактерии, жизнеспособность клеток, токсиканты, биосорбция

Key words: cyanobacteria, cell viability, toxicants, biosorption

Способность отдельных групп микроорганизмов к связыванию, деструкции и детоксикации различных поллютантов является теоретической основой использования их в биоремедиационных целях и, в частности, в качестве биосорбентов. Известно также, что одни из микроорганизмов обладают широким спектром действия, другие проявляют специфичность к определённому загрязнителю.

Антропогенная нагрузка на окружающую среду приводит к активной циркуляции в водных и почвенных экосистемах широкого спектра токсикантов минеральной и органической природы. Поэтому для эффективных биотехнологических методов очистки экосистем предполагается использование микроорганизмов с высокой устойчивостью к воздействию токсикантов и высокой скоростью наращивания биомассы. Перспективными объектами в этом плане считают дрожжи [1, 2], плесневые грибы [3 – 7], псевдомонады [8], актиномицеты и актинобактерии [9, 10], водоросли [11 – 13], у которых эффективность сорбции достигает 80% и более. Большим биоремедиационным потенциалом обладают и фотосинтезирующие прокариоты – цианобактерии: см обзоры [14, 15].

Цель данной работы – изучить изменения состояния популяции цианобактерии (ЦБ) *Nostoc linckia* под влиянием никеля (Ni) и нефтепродуктов и оценить биосорбционные возможности этого организма.

Объекты и методы

Объектом исследования была ЦБ *Nostoc linckia* (Roth.) Vorn et Flah., шт. 271, выделенная А. Л. Ковиной из дерново-подзолистой почвы в окрестностях г. Кирова и поддерживаемая в альгологически чистой культуре музея фототрофных микроорганизмов на кафедре ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э. А. Штиной Вятской ГСХА.

В качестве поллютантов использованы никель (Ni) в виде соли ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) и нефтепродукты (НП) – смазочная охлаждающая жидкость «Алтек» (этиленгликоль, пропиленгликоль, бура техническая, 3-этанол-амин) в концентрациях 2 и 20 мг/л, а также их смесь. Выбор данных поллютантов обусловлен тем, что они являются одними из основных компонентов сточных вод машиностроительных предприятий, где есть гальванические цеха. В концентрации 20 мг/л они

обычно поступают для внутренней очистки на предприятии.

Культуру ЦБ в контрольном и опытном вариантах выращивали в жидкой среде Громова № 6 без азота в течение двух недель в люминестате при постоянной температуре (+25 °С) и круглосуточном освещении (3000 лк). Титр ЦБ при постановке опыта составлял $7 \cdot 10^6$ клеток/мл. Подсчёт численности клеток ностока проводили в камере Горяева, а учёт численности бактерий-спутников – путём посева соответствующих разведений культуральной жидкости на среду МПА в 4-кратной повторности [16]. Жизнеспособность клеток ЦБ определяли по активности дегидрогеназы тетразолюно-топографическим методом [17].

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в культуре *N. linckia* анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), образующимся в процессе ПОЛ. Данная методика [18] была ранее модифицирована нами для ЦБ [19].

Содержание хлорофилла а в клетках ЦБ определяли спектрофотометрически. За основу была взята методика [20], которая была доработана нами для ЦБ. Для анализа отбирали 1 мл суспензии ЦБ, добавляли 2 мл ацетона, гомогенизировали. Из гомогената экстракт хлорофилла отделяли центрифугированием. Содержание хлорофилла а рассчитывали по формулам, приведённым в монохроматической методике с подкислением.

Остаточное содержание Ni определяли методами инверсионного вольтамперометрического анализа (ИВА) и атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС), а также нефтепродуктов (НП) методом ИВА в культуральной жидкости проведено на базе научно-исследовательской экоаналитической лаборатории ВятГГУ. Пробоподготовку гомогенизированной биомассы ностока осуществляли аналогично сточным водам для инверсионного анализа и очищенным сточным водам для определения нефтепродуктов.

Сущность метода ИВА Ni основана на адсорбционном концентрировании диметилглиоксиматных комплексов на поверхности рабочего электрода. Аналитическим сигналом является появление пика катодного восстановления адсорбированного комплекса, положение которого характеризует данное вещество (в зависимости от условий для никеля может находиться при потенциале 1000 ± 200 мВ), а его высота пропорциональна концентрации никеля в растворе [21]. Измерения проводи-

ли на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА» с датчиком «Модуль-ЕМ 04».

Параллельно проводили измерения концентрации Ni методом ААС на спектрометре «Спектр-5». В атомно-эмиссионной спектроскопии металлические атомы возбуждаются за счёт энергии пламени. При возвращении в основное состояние они излучают свет с характеристической длиной волны. Это излучение выделяется монохроматором, и впоследствии измеряется его интенсивность, которая пропорциональна концентрации измеряемого элемента. В атомно-абсорбционном анализе измеряют поглощение, определяемое отношением интенсивностей излучения, прошедшего через пламя без пробы и после распыления в него исследуемого раствора [22].

Определение содержания нефтепродуктов основано на выделении эмульгированных и растворённых нефтяных компонентов из почвы экстракцией четырёххлористым углеродом, хроматографическом отделении углеводородов от соединений других классов в колонке с оксидом алюминия и количественном их определении по интенсивности поглощения C-H связей метиленовых (-CH₂-) и метильных (CH₃-) групп в инфракрасной области спектра (2930 ± 70 см⁻¹). Данный метод позволяет делать эффективную оценку нефтяного загрязнения, осуществлять непосредственный мониторинг загрязнений нефтяными углеводородами без потери каких-либо фракций. Измерение аналитического сигнала проводили на приборе «КН-2М» [23].

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что *Nostoc linckia* по-разному реагирует на действие испытываемых поллютантов. Так, внесение Ni раздельно и в сочетании с НП в питательную среду приводит к существенному замедлению роста ЦБ по сравнению с контролем. Численность клеток в этих вариантах составляет всего от 3,5 до 8,3% по сравнению с контролем. Однако при внесении НП титр ЦБ снижается не столь значительно и составляет 56,8 и 82,4% в зависимости от концентрации НП (табл. 1).

За время экспозиции численность клеток в популяции ЦБ в контрольном варианте выросла более чем в 35 раз, под влиянием НП (2 и 20 мг/л) – в 20 и 29 раз соответственно, тогда как в присутствии Ni (2–5 варианты) численность клеток увеличивалась очень

Таблица 1

Влияние поллютантов на интенсивность роста культуры *Nostoc linckia*

Вариант, доза	Титр клеток/мл · 10 ⁶	Снижение титра, % к контролю
1. Контроль	250,0±0,44	
2. Ni, 2 мг/л	8,8±1,40	3,5
3. Ni, 20 мг/л	18,8±4,0	7,5
4. (Ni+НП), 2 мг/л	10,0±2,5	4,0
5. (Ni+НП), 20 мг/л	20,8±2,52	8,3
6. НП, 2 мг/л	141,9±18,4	56,8
7. НП, 20 мг/л	206,0±32,4	82,4

Таблица 2

Влияние поллютантов на жизнеспособность клеток *Nostoc linckia* (%)

Вариант, доза	Доля клеток	
	Живые	Мёртвые
1. Контроль	96,48±4,32	3,52
2. Ni, 2 мг/л	83,53±15,4	16,47
3. Ni, 20 мг/л	2,94	97,06±2,72
4. (Ni+НП), 2 мг/л	88,21±5,2	11,79
5. (Ni+НП), 20 мг/л	2,27	97,73±1,96
6. НП, 2 мг/л	89,6±8,6	10,4
7. НП, 20 мг/л	89,67±7,8	10,33

незначительно – от 1,2 до 2,9 раза по сравнению с первоначальным титром.

Таким образом, выявлен сильнейший ингибирующий эффект Ni на интенсивность размножения испытываемой ЦБ.

Более того, определение жизнеспособности клеток тетразольно-топографическим методом показало, что высокие концентрации Ni при сохранении внешней структуры клеток приводят тем не менее к почти полной гибели популяции ЦБ (табл. 2, варианты 3 и 5).

Пересчёт титра клеток с учётом их жизнеспособности убедительно показывает токсичность Ni для *N. linckia*. С увеличением концентрации токсиканта возрастает и ингибирующий эффект (табл. 3).

Специфика и природных, и альгологических чистых штаммов ЦБ состоит в том, что они представляют собой микрокосмы, обильно заселённые бактериями-спутниками, ко-

торые играют существенную роль в адаптации ЦБ к внешним условиям [24, 25]. Определение численности бактерий-спутников в культуральной жидкости *N. linckia* показало, что по сравнению с контролем этот показатель выше только в одном варианте – Ni, 20 мг/л (табл. 4). При этом интоксикация питательной среды разными поллютантами характеризуется сходной реакцией гетеротрофных бактерий: чем выше доза токсиканта, тем больше количество бактерий. Данный факт можно объяснить по-разному. Одно из объяснений сводится к тому, что с увеличением концентрации токсиканта повышается процентное содержание мёртвых клеток *N. linckia* (табл. 2) и это создает благоприятную среду для размножения бактерий-спутников. Возможно и другое объяснение: в процессе возрастания концентрации токсикантов интенсифицируется отбор бактерий, устойчивых к применяемым соеди-

Таблица 3

Титр клеток *Nostoc linckia* с учётом их жизнеспособности

Вариант, доза	Численность клеток · 10 ⁶ в 1 мл
1. Контроль	241,2
2. Ni, 2 мг/л	7,35
3. Ni, 20 мг/л	0,55
4. (Ni+НП), 2 мг/л	8,82
5. (Ni+НП), 20 мг/л	0,47
6. НП, 2 мг/л	127,14
7. НП, 20 мг/л	184,72

Таблица 4

Влияние поллютантов на численность бактерий-спутников в культуре ЦБ *N. linckia*

Вариант опыта	Доза токсикантов, мг/л	Численность бактерий-спутников, 10 ³ КОЕ/мл
1.Контроль	0	184±36
2.Ni	2	21±4,5
3.Ni	20	373±25
4.НП	2	15±3,0
5.НП	20	47±7,7
6.Ni+НП	2	41±7,1
7.Ni+НП	20	150±36

нениям. В частности, среди свободно живущих бактерий выявлены Ni-резистентные штаммы, механизм устойчивости которых определяется защитным действием магниевого насоса бактериальных клеток [26] или способностью продуцировать сидерофоры в присутствии Ni [27].

Вычисленные коэффициенты корреляции показывают, что в вариантах с отдельным внесением Ni и нефтепродуктов зависимость между численностью бактерий и дозами токсикантов очень высокая (рис. 1, 2).

Поведение гетеротрофных бактерий в среде с внесением Ni и НП одновременно показывает, что при малой дозе величина коэффициента корреляции примерно такая же, как в случае с отдельным внесением токсикантов (рис. 1–3). Однако если увеличение концентрации Ni и нефтепродуктов приводит к дальнейшему возрастанию коэффициента корреляции (до 0,9) и, таким образом, наблюдается классическая реакция «доза–эффект», то при внесении смеси Ni+НП эта реакция сильно сглажена.

Таким образом, испытываемые поллютанты оказывают сильное действие как на культуру ЦБ *N. linckia*, так и на состояние популяций бактерий-спутников. Но действие это различно: применяемые токсиканты в любой концентрации вызывают угнетение развития фототрофной бактерии и увеличение процентного содержания в её популяции мёртвых клеток, что особенно чётко проявляется во всех вариантах с внесением Ni. В то же время с ингибированием развития *N. linckia* происходит активизация размножения бактерий-спутников.

Сопоставление результатов количественного учёта численности клеток ЦБ и бактерий-спутников, а также определения жизнеспособности клеток ностока с результатами синхронного химического анализа (ПОЛ, содержание хлорофилла, поглощение Ni и НП) показывает, что происходят существенные измене-



Рис. 1. Зависимость численности бактерий-спутников *N. linckia* от дозы внесения никеля

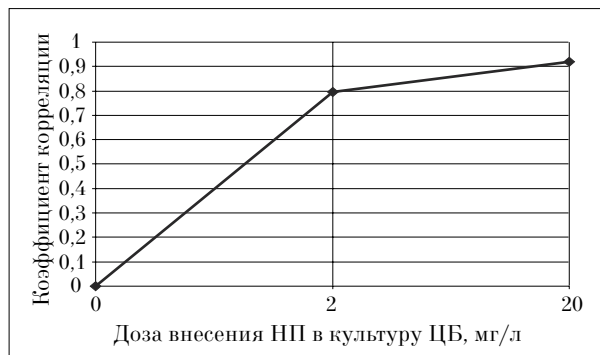


Рис. 2. Зависимость численности бактерий-спутников *N. linckia* от дозы внесения нефтепродуктов (НП)

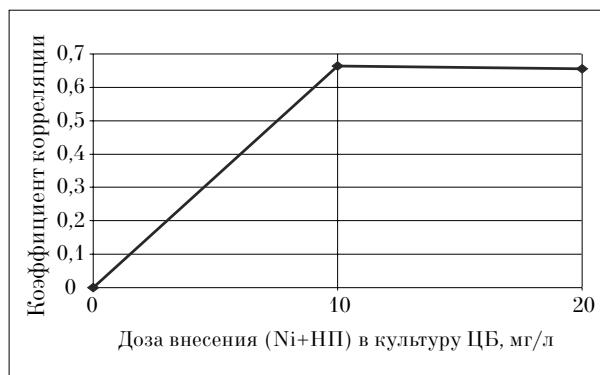


Рис. 3. Зависимость численности бактерий-спутников *N. linckia* от дозы внесения никеля и нефтепродуктов

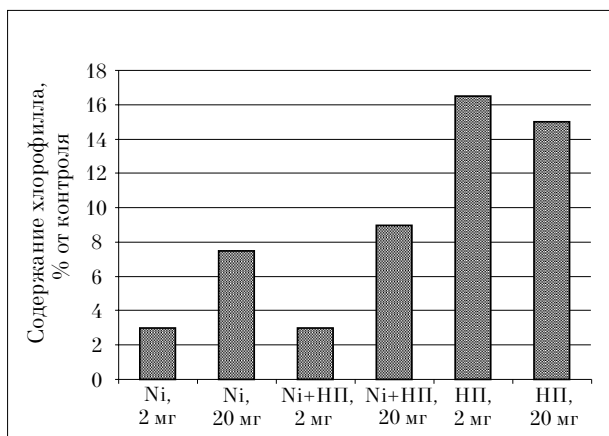


Рис. 4. Содержание хлорофилла а в культуре *N. linckia* при внесении токсикантов, % от контроля

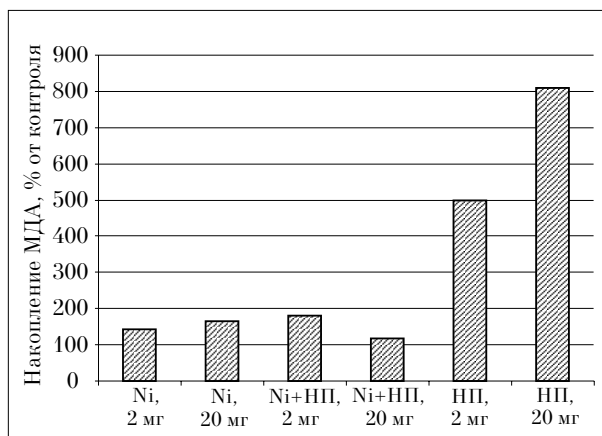


Рис. 5. Накопление МДА в культуре *N. linckia* под влиянием никеля и нефтепродуктов % от контроля

ния в протекании физиологических процессов у *N. linckia*. Так, содержание хлорофилла а по сравнению с контролем снижается во всех вариантах (рис. 4). Наиболее значительное снижение отмечается в случаях внесения в питательную среду Ni в любых концентрациях и Ni в сочетании с НП.

Сравнение результатов по снижению титра клеток *N. linckia* и содержания в них хлорофилла в присутствии Ni показывает их практическую тождественность (табл. 5). Вероятно, разрушение фотосинтезирующего пигмента под действием Ni становится одной из причин гибели популяции ЦБ.

Изучение действия стрессовых факторов на антиоксидантные системы эукариотных водорослей показывает, что могут наблюдаться следующие изменения в структуре и функционировании клетки: вздутие тилакоидов, аккумулялирование липидных глобул, увеличение содержания веществ, реагирующих с тибарбитуровой кислотой и H₂O₂, возрастание содержания глутатиона [28].

Установлено, что под влиянием никеля и нефтепродуктов происходит возрастание интенсивности окислительных процессов и накопление продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида в культуре *N. linckia* (рис. 5). В большей степени возрастание

интенсивности ПОЛ вызывают нефтепродукты, по-видимому, это связано с особенностями химического состава нефтепродуктов и направленности процессов их биодеструкции. Так, входящие в состав НП углеводороды, этиленгликоль и пропиленгликоль подвергаются биотрансформации, которая прежде всего идет по пути окисления. Нередко в ходе окислительной деструкции токсикантов образуются активные промежуточные продукты, которые инициируют образование активных форм кислорода (супероксидный радикал и др.), вызывающих окислительное повреждение биологических молекул, в том числе и липидов [29].

Ранее нами было показано, что поллютанты разной химической природы (хлорид натрия, ацетат свинца, сульфат меди, третлан бензин) вызывают активацию процессов ПОЛ в культуре *N. linckia* [30]. В большей степени возрастание интенсивности ПОЛ вызывал сульфат меди.

Определение содержания Ni и НП показало, что за 14 суток экспозиции ЦБ *N. linckia* в загрязнённой среде содержание токсикантов в культуральной жидкости существенно изменилось (табл. 6).

В анализе содержания Ni впервые сравнивали два метода его обнаружения: ИВА и ААС. Выявлено, что оба метода дают сопоставимые

Таблица 5
Снижение численности клеток *N. linckia* и содержания в них хлорофилла а под действием никеля (% к контролю)

Вариант	Титр клеток	Содержание хлорофилла а
Ni, 2 мг/л	3,5	3,0
Ni, 20 мг/л	7,5	7,5
(Ni+НП), 2 мг/л	4,0	3,0
(Ni+НП), 20 мг/л	8,3	9,0

Таблица 6

Остаточное содержание никеля и нефтепродуктов в культуральной жидкости *N. linckia*

Вариант, доза (мг/л)	Методы определения		
	НП, ИВА*, мг/л	Ni, ИВА, мг/л	Ni, ААС*, мг/л
Контроль, 0	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Ni, 2	Не определяли	1,32 ± 0,60	1,307±0,366
НП, 2	0,04 ± 0,01	Не определяли	Не определяли
Ni, 2 + НП, 2	0,14 ± 0,04	1,38 ± 0,62	1,175±0,329
Ni, 20	Не определяли	11,75 ± 2,29	8,225±2,333
НП, 20	0,15 ± 0,04	Не определяли	Не определяли
Ni, 20 + НП, 20	0,88 ± 0,22	11,13 ± 2,67	9,150±2,521

Примечание: *ИВА – инверсионный вольтамперометрический анализ; ** ААС – атомно-абсорбционный способ.

Таблица 7

Уровень извлечения никеля из культуральной жидкости биомассой *N. linckia* (%)

Вариант, доза	Метод ИВА	Метод ААС
Ni, 2 мг/л	34,0	34,65
Ni, 20 мг/л	41,25	58,87
(Ni+НП), 2 мг/л	31,0	41,25
(Ni+НП), 20 мг/л	44,35	54,25

результаты, хотя метод ААС даёт повышенные показатели поглощения. Некоторые расхождения в результатах можно объяснить тем, что для инверсионного определения приемлемы низкие концентрации, поэтому перед анализом исследуемые растворы были разбавлены в 250 раз. При разбавлении неизбежна ошибка анализа, чем и объясняется некоторая разница результатов анализа двумя методами [34].

Тем не менее по полученным результатам чётко прослеживается определённая тенденция в поведении ЦБ на поглощение Ni из культуральной среды – чем выше первоначальная концентрация токсиканта, тем полнее его извлечение из среды биомассой ЦБ (табл. 6).

Таким образом, уровень биосорбции токсикантов из жидкой среды ЦБ *N. linckia* может достигать почти 60%. Учитывая, что культура ЦБ первоначально развивалась в загрязнённой среде, реально предположить, что уровень биосорбции может быть существенно выше, если биомассу ЦБ, выращенную без добавления токсикантов, использовать как фильтр, пропуская через неё загрязнённую жидкость.

Выводы

1. При культивировании ЦБ *N. linckia* в среде с добавлением никеля и нефтепродуктов происходят существенные изменения в количественных параметрах популяции, её жизнеспособности, содержании хлорофилла а и величины ПОЛ.

2. Из двух испытанных токсикантов никель обладает более репрессивным действием по сравнению с нефтепродуктами.

3. Наличие токсикантов не угнетает развитие бактерий-спутников ностока.

4. Благодаря высокому уровню сорбционной активности *N. linckia* по отношению к никелю и нефтепродуктам данный штамм ЦБ можно рассматривать как перспективный объект для разработки методов цианобактериальной очистки жидкостей от токсикантов.

Литература

- Vadkertiova R., Slavikova E. Metal tolerance of yeast isolated from water, soil and plant environments // J. Basic Microbiol. 2006. V. 46. № 2. P. 145–152.
- Лозовая О.Г., Касаткина Т.П., Подгорский В.С. Поиск сорбентов тяжёлых металлов среди дрожжей различных таксономических групп // Микробиол. ж. 2004. Т. 66. № 2. С. 92–101.
- Ровбель Н.М., Гончаров И.А., Бабицкая В.Г., Соколова Т.В., Томсон А.Э. Биосорбция ионов тяжёлых металлов грибами *Alternaria alternate* и *Aspergillus carbonarius* // Микробиология и биотехнология на рубеже 21 столетия: Матер. международной конф. Минск. 2000. С. 78–79.
- Slaba M., Dlugonski J. Selective recovery of Zn²⁺ from waste slag from a metal-processing plant by the microscopic fungus *Verticillium marquandii* // Biotechnol. Lett. 2000. V. 22. № 21. P. 1699–1704.
- Massaccesi G., Romero M.C., Bucsinzky A.M. Cadmium removal capacities of filamentous soil fungi isolated

- from industrially polluted sediments, in La Plata // Word J. Microbiol. And Biotechnol. 2002. V. 18. № 9. P. 817–820.
6. Куимова Н.Г., Жилин О.В., Павлова Л.М. Аккумуляция и биоминерализация благородных металлов микромицетами // Микол. и фитопатол. 2008. Т. 42, № 4. С. 342–353.
7. Vahabi K., Karimi S., Khodadadi S., Ahmadi H. Arsenic bioremediation by *Penicillium canescens* // Plant Pathol. 2008. V. 90. № 3. С. 603–604.
8. Andreoni V., Colombo M., Colombo A., Vecchio A., Finoli C. Cadmium and zinc removal by growing cells of *Pseudomonas putida* strain B14 isolated from a metal-impacted soil // Ann. Microbiol. 2003. V. 53. № 2. P. 135–148.
9. Ledeau T., Bagot D., Jezequel K., Fabre B. Cadmium biosorption by free and immobilized microorganisms cultivated in a liquid soil extract medium: Effects of Cd, pH and techniques of culture // Sci. Total Environ. 2002. 291. № 1-3. P. 73–83.
10. Костина Л.В., Куюкина М.С., Ившина И.Б. Изучение устойчивости актинобактерий к солям ванадия // Вестн. Перм. ун-та. 2004. № 2. С. 114–117.
11. Franklin N.M., Stauber J.L., Apte S.C., Lim R.P. Effect of initial cell density on the bioavailability and toxicity of copper in microalgal bioassays // Environ. Toxicol. and Chem. 2002. 21. № 4. P. 742–751.
12. Raize O., Argaman Y., Yannai S. Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae // Biotechnol. and Bioeng. 2004. V. 48. № 4. P. 451–458.
13. Morin S., Duong T.T., Boutry S., Coste M. Modulation de la toxicite des metaux vis- -vis du developpement des biofilms de cours deau // Criptogamie. Algal. 2008. 29. № 3. P. 201–216.
14. Фокина Ф.И., Домрачева Л.И., Широких И.Г., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю. Микробная детоксикация тяжёлых металлов (обзор) // Теор. и прикл. экол. 2008. № 1. С. 4–11.
15. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Попов Л.Б., Зыкова Ю.Н. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор) // Теор. и прикл. экол. 2009. № 1. С. 8–18.
16. Практикум по микробиологии. Под ред. А.И. Нетрусова. М.:Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
17. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Ольгова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода определения гидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теор. и прикл. экология. 2008. № 2. С. 23–28.
18. Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск:Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.
19. Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н., Березин Г.И., Домрачева Л.И., Калинин А.А. Комплексная оценка состояния цианобактерии *Nostoc paludosum* Kütz. при воздействии различных поллютантов // Теор. и прикл. экология. 2010. № 3. С. 47–51.
20. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. International Council for the Exploration of the Sea. Copenhagen K. Denmark. 2000. 17p.
21. Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. 61 с.
22. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. ФР.1.31.2007.03683. Москва. 13 с.
23. Методика измерения массовой доли нефтепродуктов в питьевых, природных и очищенных сточных водах методом ИК-спектрометрии. Количественный химический анализ почв. ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000. 22 с.
24. Штина Э.А., Панкратова Е.М. Взаимодействия азотфиксирующих синезелёных водорослей с микроорганизмами-спутниками. // Актуальные проблемы биологии синезелёных водорослей. М.: Изд-во Наука, 1974. С. 61–77.
25. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в естественных условиях и в конструируемых системах // Теор. и прикл. экология. 2007. № 1. С. 4–15.
26. Tripathi V.N., Strivastova S. Ni²⁺-uptake in *Pseudomonas putida* strain S4: A possible role of Mg²⁺-uptake pump // J. Biosci. 2006. V. 31. № 1. P. 61–67.
27. Neelam T., Meenu S. Enhancement of plant growth and decontamination of nickel-spil soil using PGPR // J. Basic. Microbiol. 2009. V. 49. № 2. P. 195–204.
28. Tian Jiyuan, Yu Juan Changes in ultrastructure and of antioxidant system of alga (*Dunaliella salina*) during accumulation to enhanced ultraviolet-B radiation // J. Photochem. and Photobiol. 2009. V. 97. № 3. P. 152–160.
29. Юрин В. М. Основы ксенобиологии. Минск: Новое знание, 2002. 267 с.
30. Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н., Березин Г.И., Домрачева Л.И., Калинин А.А. Реакция различных видов цианобактерий рода *Nostoc* на действие токсикантов // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Матер. междунар. научно-практической конф., посвящённой 100-летию со дня рождения проф. Э.А. Штиной. Киров: Вятская ГСХА. 2010. С. 216–221.
31. Выдра Ф., Штулик К., Юлакова Э. Инверсионная вольтамперометрия. М.: Мир, 1980. 278 с.

Экологические проблемы переработки отходов фторопластов

© 2011. С. В. Хитрин, д.х.н., профессор, С. Л. Фукс, к.т.н., с.н.с.,
С. В. Девятерикова, к.т.н., доцент, В. Ю. Захаров, д.х.н., профессор,
С. Н. Родников, к.т.н., доцент,
Вятский государственный университет,
e-mail: khitrin@vgu.ru

Охарактеризованы пути переработки отходов фторопластов наиболее приемлемые с экологической и экономической точек зрения. Показаны преимущества и недостатки методов измельчения, пиролиза, термодеструкции и агрегации политетрафторэтилена.

The ways of processing fluoroplastic wastes that are the most suitable from the ecological and economic point of view are characterized in the article. Advantages and disadvantages of grinding methods, methods of thermal destruction and aggregation of polytetrafluoroethylene are shown.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, отходы, измельчение, пиролиз, термодеструкция, агрегации, экологические проблемы

Key words: politetrafluorethylen, waste, crushing, termal destruction, aggeregations, environmental problems

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) находит применение во многих отраслях практической деятельности человека, что связано с его уникальными свойствами – стойкость к химическому, физическому и биологическому воздействию, высокая температура плавления и отсутствие жидкотекучести. Однако существуют ограничения для более широкого применения ПТФЭ, в том числе большое количество отходов производства, сложных для повторного переработки и являющихся вследствие этого загрязнителями окружающей среды [1].

Причинами этого являются:

- нерастворимость ПТФЭ во всех известных растворителях, что затрудняет нанесение фторсодержащих покрытий;
- отсутствие простых, надёжных и экологически безопасных способов переработки отходов. Утилизация отходов ПТФЭ является сложной задачей, так как связана с невозможностью его сжигания из-за образования высокотоксичных продуктов – карбонилдифторида, перфторизобутилена, фтористого водорода и других, представляющих угрозу для биосферы;
- высокая химическая, термическая, климатическая, физическая и биологическая стойкость ПТФЭ делают отходы практически вечными. Так как ПТФЭ не усваивается ни одним из известных микроорганизмов, то последствия его накопления

приведут в будущем к антропогенной катастрофе. Поэтому большая часть отходов производства фторопластовых изделий складывается в специальных хранилищах на территории предприятий. Наиболее ценные отходы для исключения их загрязнений упаковываются в полиэтиленовые мешки в расчёте на будущие технологии их переработки. Часть из них для переработки и вторичного использования экспортируется за рубеж.

К настоящему времени количество отходов фторполимеров в России составляет не менее 0,1 млн. тонн, что оценивается приблизительно в 100 млн. долларов. Централизовать этот рынок пока не удаётся из-за низкой рентабельности бизнеса и больших затрат на логистику.

Однако проблема может получить развитие, если удастся получить более тонкий продукт (50–100 мкм), который можно добавлять в первичный ПТФЭ (до 25%) при производстве изделий. Поэтому его цена может приближаться к цене первичного продукта.

Измельчение отходов. В настоящее время наибольший эффект от переработки отходов фторопластов следует ожидать при их помоле. Однако процесс переработки сдерживается отсутствием оборудования для эффективного экономического помола вторичного фторопласта, позволяющего получить

продукт, способный заменить частично первичный фторопласт в производстве изделий.

Сверхтонкий помол. Внедрение сверхтонкого помола ПТФЭ для изготовления вторичных изделий связано с измельчением отходов до размеров от 50 до 200 мкм. Возможность получения такой дисперсности обусловлена специфическими особенностями фторопласта-4: отсутствием перехода в вязко-текучее состояние, высокоэластическими свойствами полимера, сохраняющимися вплоть до криогенных температур.

В настоящее время используются преимущественно два метода [2]:

1) криогенное измельчение отходов в среде жидкого азота или других инертных газов. Для очистки от посторонних примесей и получения сверхчистого продукта иногда после криогенного измельчения фторопласт подвергают дополнительной обработке смесью водных паров серной и соляной кислот, в результате чего получают высококачественный мелкодисперсный порошок белого цвета;

2) механическое измельчение методом ударного действия [3]. Изменения, происходящие с гранулированными порошками Ф-4Д и Ф-4ДМ при измельчении в диспергаторе в среде изопропилового спирта и при сухом измельчении в роторно-вихревой мельнице, полученные Красновым А. А., иллюстрируются рисунком 1. Исходный порошок представляет собой агломераты, имеющие размеры около 500–700 мкм (рис. 1А), а после измельчения частицы становятся волокнистыми (рис. 1В и 1С).

Радиационное измельчение. Способ измельчения ПТФЭ до 100–300 мкм связан с его низкой радиационной стойкостью. Этот способ можно использовать как предварительную стадию измельчения. Иногда облучение отходов сочетают с их нагревом. Разработан также

радиационно-химический способ получения теломерных растворов ПТФЭ в сверхкритическом диоксиде углерода [4].

Прочие способы. Существует способ измельчения отходов фторопласта в результате соударения частиц при транспортировании их встречными струями воздуха, формирование которых происходит в двух разгонных рубках, установленных на одной оси навстречу друг другу.

Другой способ измельчения отходов состоит в интенсивном перемешивании их с поваренной солью, нагретой до 500°C или охлажденной до температуры минус 130°C в зависимости от состава отходов. В процессе перемешивания отходы, контактируя с кристаллами соли и нагреваясь, истираются до мелких фракций либо, охлаждаясь, приобретают хрупкость и тоже разрушаются кристалликами соли на мелкие фракции.

Пиролитические способы. Пиролизом промышленных отходов получен ПТФЭ ультрадисперсный низкомолекулярный, который нашёл применение в качестве ресурсосберегающей добавки к моторным маслам [5]. В отличие от высокодисперсных порошков ПТФЭ он обладает наноэффектом, имеет многофракционный состав с минимальным размером частиц примерно 1 мкм. Частицы сферические и легко распадаются на нанопленки при механическом воздействии. Этот продукт используют как «сухую смазку», антифрикционную и противоизносную добавки к маслам для бензиновых и дизельных двигателей, для подшипников, трансмиссий и др.

Известен процесс пиролитического разложения отходов ПТФЭ в токе сухого азота при температуре 500°C [6]. В результате термодеструкции фторопласта при температуре выше 450°C в данной установке получают до 85%

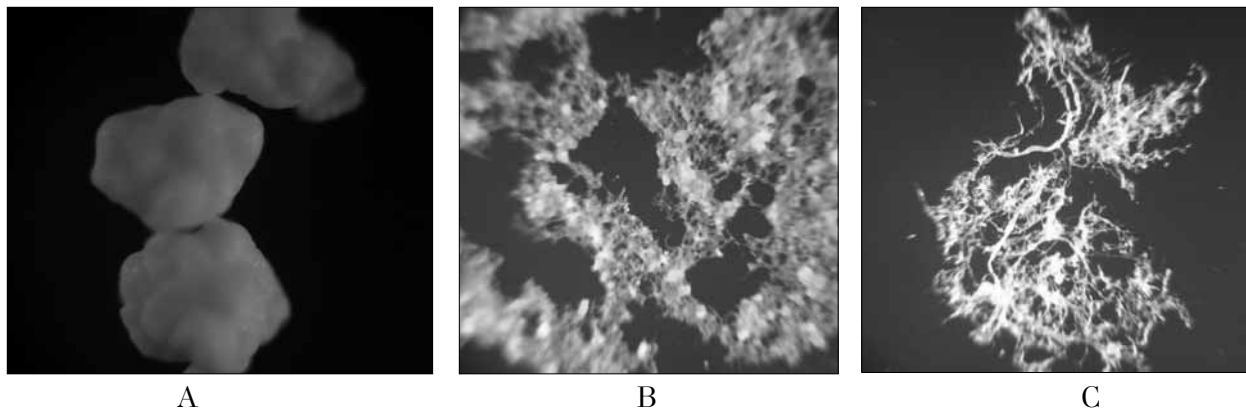


Рис. 1. Фотографии фторопласта Ф-4Д:
А – порошка, В – после его диспергации в среде изопропилового спирта,
С – после измельчения в роторно-вихревой ударной мельнице

тетрафторэтилена, около 10% гексафторпропилена и других продуктов и около 5% высокодисперсных частиц ПТФЭ. Недостатком является его низкий выход, а также образование трудноразделимых смесей газообразных продуктов (образуются маловостребованные смеси фторолефинов), включая токсичные. На практике такие смеси вынужденно сжигают на дорогостоящих установках с использованием водорода.

Термодеструкция фторопластов в присутствии водяного пара [7] при температуре 500–650°C позволяет получить ультрамелкий ПТФЭ (УПТФЭ). Выход конечного продукта зависит от температуры и количества водяного пара. Параллельно образуются газообразные продукты, содержащие тетрафторэтилен ТФЭ (60%), оксиды углерода (до 20%), гексафторпропилен (до 10%), октофторциклобутан (до 10%) и др.

Термодеструкция с исчерпывающим фторированием [8, 9] проводится при нагреве до 480–500°C смеси отходов ПТФЭ с переносчиком фтора CoF_3 . В результате образуются УПТФЭ и низкомолекулярные продукты. Этот порошок состоит из сферических монокристаллических частиц размером примерно 0,5 мкм, сформированных в агрегаты размером до 10 мкм (рис. 2). Выделяющиеся продукты деструкции – перфторпарафины нормального строения можно улавливать и накапливать с помощью поглотителя и использовать в качестве широко востребованных растворителей и смазок.

Способ агрегации. Имеются методы не только диспергирования и деструкции отходов ПТФЭ, но и их агрегации с образованием монолита. Они дорогостоящи и сложны. Здесь принципиально новым подходом к решению проблемы восстановления у вторичного ПТФЭ способности перерабатываться в монолитные блочные заготовки является создание метода и технологии его радиационно-привитой регенерации. Метод основан на радиационно-химической сополимеризации тонкодисперсных (размер от 10 до 100 мкм) порошков вторичного ПТФЭ со своим мономером (ТФЭ), другими фторированными или обычными мономерами, а также их смесями, что позволяет снизить на 1-2 порядка требования к значению критического размера частиц исходных порошков вторичного ПТФЭ. Путём облучения расплавов фторопласта Ф-4 получен ПТФЭ с прочно сшитыми цепями [10].

Проблемы переработки отходов ПТФЭ. Наиболее рентабельным, технологичным и экологичным способом утилизации является

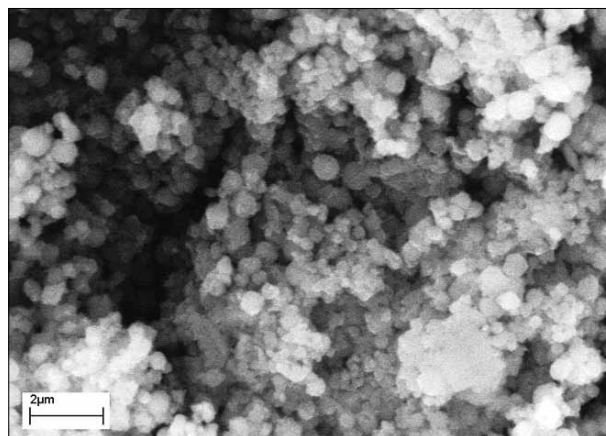


Рис. 2. Изображение частиц УПТФЭ на сканирующем электронном микроскопе

переработка отходов на предприятиях, производящих фторполимеры и обладающих технической базой для утилизации побочных газообразных продуктов.

Из-за широкого ассортимента перерабатываемых одним заводом фторопластов отходы получают различные по наполнению и по окраске. Не всегда эти отходы на производстве сортируются. Поэтому часто из смеси поступающих на вторичную переработку отходов фторопластов можно получить новый продукт с сильно ограниченной сферой применения. Сортировка продукта по маркам и их отдельная переработка требуют различных технологий и соответственно дополнительных затрат.

Свойства вторичного полимера зависят от наличия оборудования. Так, для получения спечённого фторопласта Ф-4 требуются дробилки грубого помола и вальцевый фрикционный измельчитель с регулируемым зазором между валками и изменяющейся фрикцией. При пропускании через неё стружки, кусков спечённой плёнки и крошки предварительно дробленного вторичного фторопласта-4 удаётся получить чешуйки толщиной до 10–50 мкм, пригодные для производства тонкодисперсного порошка на криогенных измельчителях.

Кроме того, существует проблема сохранения отходов в их первоначальном виде без привнесения в них посторонних материалов, мусора, масла и пр.

Большинство отходов, которые поступают в места переработки, требуют дополнительной обработки для очистки от загрязнений – мойки и сушки, что увеличивает стоимость и уменьшает возможности вторичной переработки.

До настоящего времени отсутствуют экологически приемлимые технологии перера-

ботки таких чисто антропогенных отходов, какими являются фторопласты. В странах Евросоюза в ближайшее время планируется запретить захоронение отходов, содержащих фторполимеры. Потребление фторопластов в разных отраслях новой техники растёт ежегодно на 10–20%. В России скопились самые крупные количества отходов фторопластов. Необходимы консолидированные усилия научно-инженерного и экологического сообщества для полной и безопасной переработки этих отходов в новые товарные и сырьевые продукты, в целях предотвращения нарастающего загрязнения окружающей среды.

Литература

1. Бузник В.М., Вопилов Ю.Е., Дедов С.А., Игнатьева Л.Н., Мурна А.С., Слободюк А.Г. Строение ультрадисперсных порошков политетрафторэтилена, полученных гидротермальным способом из промышленных отходов // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. № 18. С. 33–39.
2. Пугачев А.К., Росляков О.А. Переработка фторопластов в изделия: технологии и оборудование. Л.: Химия, 1987. 168 с.
3. Бадиков Ю.В. Техника и технология гидроакустического воздействия в процессах химической технологии. Уфа: Реактив, 2001. 204 с.
4. Алляров С.Р., Никольский В.Г., Дударева Т.В., Шарпаты В.А., Кисперт Л.Д., Диксон Д.А. Отходы: сухое измельчение вторичного политетрафторэтилена // Сотрудничество для решения проблем отходов: Матер. 4-й Междунар. конф. Харьков. 2007. С. 117–129.
5. Фукс С.Л., Хитрин С.В., Филатов В.Ю., Чермянина Е.А., Максимова Е.А. Утилизация отходов политетрафторэтилена термодеструкцией // «ПРОТЭК»: Матер. XII Междунар. конф. Москва. 2006. Т. 2. С. 405–412.
6. Блинов И.Б., Дедов С.А., Кузнецов В.Н., Мангутов Р.З., Мурин А.В., Новиков М.Д., Синько А.В., Шабалин Д.А., Шарапов Д.С. Способ переработки отходов политетрафторэтилена. Патент 2387632 Российская Федерация. 2010.
7. Цветников А.К. Установка для переработки политетрафторэтилена. Патент 2035308 РФ. 1995.
8. Филатов В.Ю., Мурин А.В., Казиенков С.А., Хитрин С.В., Фукс С.Л. Исследование деполимеризации политетрафторэтилена в присутствии водяного пара или переносчика фтора // Журнал прикладной химии. 2011. № 1. С. 147–150.
9. Фукс С.Л., Хитрин С.В., Казиенков С.А., Филатов В.Ю. Исследование возможности рекуперации отходов фторопластов // Бутлеровские сообщения. 2007. Т. 11. № 3. С. 61–67.
10. Хатилов С.А., Артамонов Н.А. Создание нового антифрикционного и уплотнительного материала на основе радиационно-модифицированного политетрафторэтилена // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. № 3. С. 89–97.

Альгоиндикационная характеристика минеральных гидроморфных почв

© 2011. Л. В. Кондакова, к.б.н., зав. кафедрой,
Вятский государственный гуманитарный университет,
e-mail: ecolab@vshu.kirov.ru

Изучена реакция водорослей на изменение водного режима в ряду минеральных гидроморфных почв. Выделены виды-индикаторы водного режима почв разной степени оглеения. Дана экологическая характеристика альгофлоры.

The algae reaction of mineral hydromorphic soils on change of water regime was investigated. The species indicating water regime in soil of various degrees of gley are shown. Ecological characteristics of algaeflora is presented.

Ключевые слова: водоросли, оглеение, индикаторы

Key words: Algae, gley, indicators

Минеральные гидроморфные и мезогидроморфные почвы широко распространены и занимают огромные территории в гумидных ландшафтах России и за её пределами. Нередко представляя непрерывный ряд почв с разной степенью признаков гидроморфизма, они крайними вариантами соприкасаются с зональными автоморфными и болотными почвами, часто противоположными по своим свойствам [1]. Водоросли являются постоянным фототрофным компонентом почв. Одним из необходимых условий их жизнедеятельности является влажность почвы. Она определяет интенсивность развития водорослей, сезонную динамику численности и биомассы, а также состав и видовое богатство группировок водорослей [2, 3]. Действие почвенной влаги на водоросли может быть прямым и косвенным. Влажность почвы определяет её температуру, растворимость и концентрацию солей, рН почвенного раствора. В монографиях М. М. Голлербаха и Э. А. Штиной [2, 3] отмечаются особенности отношения разных групп водорослей к влажности среды.

Приспособления к недостаточному и неустойчивому увлажнению почвы выражаются у водорослей следующими особенностями:

1. Небольшие размеры клеток способствуют использованию водных плёнок на поверхности почвенных частиц, облегчают сорбцию веществ и обеспечивают лучшее передвижение и распространение в почве.

2. Образование слизи, состоящей из гидрофильных коллоидных полисахаридов, удерживающих большое количество воды. Способность коллоидных полисахаридов к набу-

ханию позволяет за несколько минут абсорбировать воду в количестве, превышающем объём клетки или колонии в 8–14 раз.

3. Отсутствие у большинства видов подвижных стадий или их приуроченность к влажному периоду.

4. Наличие спор и покоящихся стадий, помогающих переносить недостаток увлажнения.

5. Физиолого-биохимические свойства протопласта, заключающиеся в высокой вязкости и устойчивости протоплазмы против плазмолиза, повышенной концентрации клеточного сока, наличие достаточного количества связанной воды в клетке, большой сосудистой силе, позволяющей использовать гигроскопическую влагу воздуха.

6. Гелефикация цитоплазмы, понижение интенсивности дыхания и обмена веществ и сохранение способности к саморегуляции позволяют клеткам быстро переходить из жизнедеятельного состояния в жизнеспособное и наоборот. Засухоустойчивость водорослей различна в разных отделах. Отмечено, что наименее засухоустойчивыми являются диатомеи и жёлтозелёные водоросли.

Наиболее устойчивы против недостатка влаги и высыхания синезелёные нитчатые водоросли порядка *Oscillatoriales* и зелёные порядка *Chlorosarcinales*. Менее устойчивы виды порядков *Nostocales*, *Chlamydomonadales*, *Heterococcales*. Наличие в почве плёночно-гравитационной воды показывают гидрофильные зелёные водоросли порядков *Mesotaeniales* и *Desmidiiales*, синезелёные из порядка *Chroococcales*, крупные диатомеи [4].

По мнению Э. А. Штиной и М. М. Голлербаха [5], несмотря на космополизм большинства видов почвенных водорослей и значительную долю убиквистов среди них, можно подобрать индикаторные виды, наличие которых в почве говорит об определённых её свойствах.

Изучение почвенных водорослей как индикаторов водного режима выработанных торфяников проведено Е. А. Бусыгиной [6]. Стационарное и лабораторные исследования экологических рядов по влажности подтвердили вывод о ведущем влиянии влажности почвы на характер альгосинузии и приуроченность отдельных видов водорослей к определённым условиям увлажнения (табл. 1).

Влияние влажности чётко сказывается на сезонных изменениях численности и биомассы водорослей, что подтверждено большинством исследований. Оценивая динамику водорослей по их биомассе, Л. И. Домрачева [7] и Г. И. Маркова [8] показали, что лимит влаги отражается как на биомассе, так и на месячной и сезонной продукции водорослей. Пики биомассы и количества водорослей совпадают с максимальной влажностью почвы. Однако в условиях постоянного остаточного увлажнения этот фактор перестаёт играть решающую роль, и развитие водорослей определяется взаимодействием с другими педобионтами.

Цель исследования: выявление видов водорослей – индикаторов водного режима минеральных гидроморфных почв.

Объекты и методы

Исследования альгофлоры оглеённых почв с естественным водным режимом проведены на трёх стационарах Кировской области: «Ивакинские пашни» (Котельничский район), «Коробовские пашни», «Перекоп» (Кирово-Чепецкий район). Почвообразующей по-

родой является элювий коренных пермских отложений. Заболачивание обусловлено поверхностными водами.

Отбор почвенных проб и их анализ проводили с соблюдением требований, принятых в почвенно-альгологических исследованиях. Определение видового состава проводили методом водных и чашечных культур со стёклами обрастания, прямым микроскопированием свежевзятой почвы. Для характеристики группировок водорослей использовали следующие критерии [5]: видовой состав; доминантные виды; спектр жизненных форм; встречаемость отдельных видов или групп водорослей; специфические виды, численность и биомассу водорослей.

Результаты и обсуждение

Альгофлора в гидроморфных минеральных почвах достаточно разнообразна. На стационаре «Ивакинские пашни» выявлено 132 вида водорослей, в почвах стационара «Перекоп» – 87 видов, в стационаре «Коробовские пашни» – 55 видов (табл. 2). При изучении почв с естественным водным режимом отмечены общие закономерности развития водорослей на почвах разной степени оглеения [9, 10]. Так, от неоглеённой почвы к глеевой увеличивается общее видовое разнообразие водорослей (табл. 2). Положительную реакцию на увеличение влажности почвы проявляют синезелёные водоросли, в меньшей степени – зелёные и жёлтозелёные. При этом в почвах стационара «Ивакинские пашни» число видов *Cyanophyta* в неоглеённой почве составляло 20, в глеевой – 34; представителей отдела *Chlorophyta* – 28 и 36; *Xanthophyta* и *Eustigmatophyta* – 15 и 18 соответственно.

В глеевых почвах стационара «Коробовские пашни» в силу переувлажнения в весенний период наблюдали более насыщенные плёнки

Таблица 1

Виды водорослей, специфичные для участков различного увлажнения [6]

Увлажнение		
слабое (40%)	среднее (60%)	сильное (80%)
<i>Nostoc calcicola</i>	<i>Phormidium valderinae</i>	<i>Gloeocapsa minima</i>
<i>Chlorosarcinopsis minor</i>	<i>Phormidium corium</i>	<i>Gloeocapsa minuta</i>
<i>Actinochloris sphaerica</i>	<i>Phormidium boryanum</i>	<i>Cylindrospermum majus</i>
<i>Dictyococcus irregularis</i>	<i>Phormidium nitens</i>	<i>Oscillatoria splendida</i>
<i>Spongiococcum tetrasporum</i>	<i>Dispora crucigenoides</i>	<i>Oscillatoria amoena</i>
<i>Characiopsis minutissima</i>	<i>Tribonema ulotrichoides</i>	<i>Oscillatoria limosa</i>
<i>Pleurochloris pyrenoidosa</i>	<i>Bumilleria sicula</i>	<i>Tetraëdron minimum</i>
<i>Navicula pelliculosa</i>	<i>Navicula mutica</i>	<i>Nitzschia palea</i>

Таблица 2

Видовой состав альгофлоры гидроморфных почв (1 – число видов, 2 – процент)

Почва, стационар	Cyanophyta		Chlorophyta		Xanthophyta + Eustignmatophyta		Bacillariophyta		Всего	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
«Ивакинские пашни»										
Дерново- подзолистая неоглеенная	20	28,2	28	39,4	15	21,1	8	11,3	71	100
Дерново- подзолистая глубокооглеённая	20	28,6	28	40	14	20	7	10	70	100
Дерново- подзолистая глееватая	29	32,2	34	38,9	18	20	8	8,9	89	100
Дерново- перегнойная глеевая	34	35,8	36	37,9	18	18,9	7	7,4	95	100
«Перекоп»										
Дерново- подзолистая неоглеённая	25	58,1	10	23,3	5	11,6	3	7	43	100
Дерново- подзолистая глееватая	19	61,3	7	22,6	2	6,4	3	9,7	31	100
Дерново - перегнойная глеевая	26	56,5	12	26,1	4	8,4	4	8,7	46	100
«Корововские пашни»										
Дерново- подзолистая неоглеённая	4	36,4	4	36,4	0	0	3	27,2	11	100
Дерново- подзолистая глееватая	5	33,3	5	33,3	1	6,7	4	26,7	15	100
Дерново - перегнойная глеевая	9	19,6	20	43,5	10	21,7	7	15,2	46	100

«цветения», а также застой воды, анализ которой выявил ряд видов водной флоры: *Stigeoclonium sp.*, *Zygnema sp.*, *Synura uvella* и др.

При переходе от глееватой к глеевой почве изменение водного режима приводит к коренной перестройке сообществ водорослей. Индикаторными видами избыточного увлажнения минеральных почв являются: *Cylindrospermum stagnale*, *C. majus*, *Calothrix gracilis*, *C. elenkini*, *Pseudanabaena galeata*, *Trichromus variabilis*, *Nitzschia palea*, *Euglena mutabilis*, *Closterium pusillum*, *Cosmarium anceps*, *C. cucurbita*, *C. subcrenatum*.

Согласно классификации М. М. Голлербаха и Э. А. Штиной [2, 3], все встречающиеся в почвах виды водорослей могут быть распределены по трём группам:

1. Эдафотфильные, истинно почвенные водоросли;

2. Амфибиальные, встречающиеся в почвах хотя бы временно переувлажнённых;

3. Гидрофильные, встречаются в почвах в случае застоя воды на их поверхности.

Оптимальная влажность почвы для жизни большинства почвенных водорослей умеренного климата лежит в пределах 60–80% от полной влагоёмкости, что совпадает с оптимальной влажностью для высших мезофильных растений.

Экологический анализ альгофлоры показал, что в гидроморфных почвах стационара «Ивакинские пашни» ведущее значение имеют представители С-, Ch- и X-жизненных форм (табл. 3). Эти одноклеточные, колони-

Таблица 3

Экологический анализ альгофлоры гидроморфных минеральных почв

Почвы	Формула экиобиоморф
«Ивакинские пашни»	
Дерново-подзолистая неоглеённая	$C_{19} (CF_8) Ch_{12} X_{10} P_{10} B_8 H_6 amph_{.2} hydr_{.2} M_2$
Дерново-подзолистая глубоко оглеённая	$C_{23} (CF_{11}) Ch_{12} X_{10} P_8 B_7 H_5 amph_{.2} hydr_{.2} M_1$
Дерново-подзолистая глееватая	$C_{26} (CF_{15}) Ch_{15} X_{14} P_{12} H_9 B_8 amph_{.2} hydr_{.2} M_1$
Дерново-перегнойная глеевая	$C_{26} (CF_{17}) X_{14} hydr_{.13} Ch_{12} P_{12} H_7 B_7 amph_{.3} M_1$
«Перекоп»	
Дерново-подзолистая неоглеённая	$P_{15} C_9 (CF_7) X_7 Ch_3 H_3 B_3 M_1 hydr_{.1}$
Дерново-подзолистая глееватая	$P_{11} C_8 (CF_6) X_3 Ch_3 B_3 H_2 M_1 hydr_{.1}$
Дерново-глеевая	$C_{14} (CF_{11}) P_{10} Ch_9 X_5 B_4 hydr_{.4} H_2 M_1$
«Корововские пашни»	
Дерново-подзолистая неоглеённая	$C_3 (CF_2) B_3 H_2 P_1 Ch_1 X_{10} M_1$
Дерново-подзолистая глееватая	$C_6 (CF_3) B_4 H_2 P_1 Ch_1 M_1$
Дерново-глеевая	$C_{11} (CF_4) H_9 B_8 X_6 hydr_{.5} P_3 Ch_2 amph_{.1} M_1$

Таблица 4

Встречаемость водорослей в почвах разной степени оглеения стационара «Ивакинские пашни»

Виды водорослей	Процент встречаемости в почвах:			
	неоглеённая	глубоко-оглеённая	глееватая	глеевая
Встречаемость не изменяется				
<i>Microcoleus vaginatus</i>	40	50	50	50
<i>Chlamydomonas gloeogama f. gloeogama</i>	20	37,5	40	37,5
<i>Chlorococcum humicola</i>	70	50	60	62,5
<i>Chlorella vulgaris</i>	30	37,5	40	37,5
<i>Chlorosarcinopsis minor</i>	10	12,5	20	12,5
<i>Klebsormidium flaccidum var. flaccidum</i>	20	12,5	20	25
<i>Botrydiopsis arhiza</i>	20	12,5	20	25
<i>Eustigmatos magnus</i>	50	75	60	50
<i>Pleurochloris pyrenoidosa</i>	20	37,5	20	25
<i>Xanthonema exile</i>	40	25	40	37,5
<i>Hantzschia amphioxys</i>	100	87,5	100	87,5
Встречаемость увеличивается				
<i>Calothrix elenkinii</i>	0	0	10	37,5
<i>Nostoc muscorum</i>	20	25	30	75
<i>N. paludosum</i>	10	12,5	10	37,5
<i>Phormidium aerugineo-coerulea</i>	10	12,5	20	25
<i>Trichromus variabilis</i>		12,5	10	50
<i>Chlamydomonas atactogama</i>	10	12,5	10	62,5
<i>Characiopsis minuta</i>	10	12,5	10	25
<i>Bumilleria klebsiana</i>	10	10	10	50
<i>Nitzschia palea</i>	10	25	30	50
Встречаемость уменьшается				
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	70	62,5	90	12,5
<i>Nostoc punctiforme</i>	50	37,5	60	25
<i>Phormidium autumnale</i>	50	37,5	50	25
<i>Ph. corium</i>	50	25	40	0
<i>Planktosphaera maxima</i>	50	62,5	20	12,5
<i>Bumilleriopsis brevis</i>	50	37,5	30	12,5
<i>Pinnularia intermedia</i>	20	25	10	0
<i>Luticola mutica</i>	50	50	80	25

альные и нитчатые водоросли, обитающие как в толще почвы, так и на её поверхности, при благоприятных условиях формируют тонкие слизистые плёнки, часто образованные азотфиксирующими видами. Устойчивы к неблагоприятным условиям. В ряду оглеённых почв (от неоглеённой к глеевой) растёт число гидрофильных видов. В глеевой почве их число увеличивается в 6,5 раза по сравнению с неоглеённой почвой. С увеличением оглеения растёт число азотфиксирующих видов [9 – 10].

В почвах стационара «Перекоп» в составе жизненных форм преобладают представители Р-, С-, Х-форм. С увеличением оглеения растёт число гидрофильных и азотфиксирующих видов и видов, устойчивых к неблагоприятным условиям (Сh-форм). В то же время снижается видовое разнообразие представителей Р-формы, представленных нитевидными синезелёными водорослями, обладающими ксероморфной структурой.

Экологический анализ почв стационара «Коробовские пашни» подтвердил отмеченные на других стационарах закономерности: увеличение видового разнообразия от неоглеённой к глеевой почве, рост числа азотфиксаторов, диатомей и зелёных нитчаток.

Интерес представляет встречаемость видов (табл. 4). Встречаемость выражается частотой нахождения особей вида в процентах ко всему числу изученных проб. Встречаемость водорослей в гидроморфных почвах от-

ражает адаптированность видов флоры к конкретным условиям влажности.

Анализ встречаемости выявил 2 группы видов альгофлоры по отношению к влажности:

1. Виды, не чувствительные к изменению влажности в пределах гидроморфного ряда;

2. Чувствительные к изменению влажности.

У ряда видов встречаемость от неоглеённой почвы к глеевой растёт, у других – уменьшается.

Данное наблюдение дополняет имеющиеся литературные данные о приуроченности видов альгофлоры к определённому водному режиму почв.

Индикаторами состояния водного режима почв могут являться макроскопические разрастания водорослей на поверхности почвы – её «цветение». При «цветении» почвы возможно определение видового состава путём прямого микроскопирования плёнок. Наличие видов в составе наземного фототрофного сообщества свидетельствует об их активной жизнедеятельности и функционировании [11]. В дерново-подзолистых почвах «цветение» по данным разных авторов вызывали: *Chlamydomonas sp.*, *Luticola mutica*, *Hantzschia amphioxys* [12]; *Klebsormidium flaccidum*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum sp.* [13]; *Nostoc punctiforme*, *Cylindrospermum licheniforme*, *Phormidium autumnale*, *Plectonema edaphicum* [14]. В аллювиальной дер-

Таблица 5

«Цветение» гидроморфных почв

Почвы	Доминанты «цветения»
«Ивакинские пашни»	
Дерново-подзолистая неоглеённая	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Phormidium corium</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> , <i>Eustigmatos magnus</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i>
Дерново-подзолистая глубокооглеённая	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>
Дерново-подзолистая глееватая	<i>Nostoc muscorum</i> , <i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Phormidium autumnale</i> , <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Eustigmatos magnus</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama f.gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i>
Дерново-перегнойная глеевая	<i>Nostoc muscorum</i> , <i>Trichromus variabilis</i> , <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama f.gloeogama</i> , <i>Nitzschia palea</i>
«Коробовские пашни»	
Дерново-подзолистая неоглеённая	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Phormidium corium</i> , <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Klebsormidium flaccidum var. flaccidum</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i>
Дерново-подзолистая глееватая	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Trichromus variabilis</i>
Дерново-глеевая	<i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Trichromus variabilis</i> , <i>Pseudanabaena catenata</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Nitzschia palea</i>

новой почве – *Nostoc sphaeroides*, *Phormidium autumnale*, *Ph. tenue*, *Ph. uncinatum* [13]; *Nostoc sphaeroides*, *Phormidium autumnale*, *Ph. ambigum*, *Lyngbya martensiana*, *Microcoleus vaginatus* [15].

Нами изучено «цветение» оглеённых почв на стационарах «Ивакинские пашни» и «Коробовские пашни» (табл. 5).

В почвах гидроморфного ряда стационара «Ивакинские пашни» проведено изучение численности и биомассы водорослей. Минимум численности водорослей во все сроки наблюдения отмечен в глеевой почве. Численность водорослей в неоглеённой почве в слое 0–5 см составляла 13,5–51,6 тыс. клеток в 1 г абс. сух. почвы; в глееватой – 54,2–86,9 тыс.; в глеевой – 9,1–33,3 тыс. клеток/г. Максимум численности во все сроки наблюдения имела глееватая почва. Подобную картину наблюдала Э. А. Штина [16]: численность водорослей в средней части склона (дерново-подзолистая почва под рожью) в 2–3 раза превышала соответствующие показатели верхней части склона и нижней его части.

Заключение

В ряду оглеённых почв изменяется характер группировок почвенных водорослей. С увеличением степени оглеения увеличивается видовое разнообразие водорослей, при этом растёт число гидрофильных видов и азотфиксаторов. По показателю встречаемости выявлены группы видов водорослей с широкой и узкой толерантностью по отношению к влажности. Перестройка состава альгофлоры происходит в глеевой почве. В неоглеённой, глубокооглеённой и глееватой почвах комплекс доминирующих видов представлен эдафотрофными сообществами, в глеевой почве в состав доминантов включаются гидрофильные виды. Индикаторными видами избыточного увлажнения минеральных почв являются: *Cylindrospermum stagnale*, *C. majus*, *Calothrix gracilis*, *C. elenkinii*, *Pseudanabaena galeata*, *Trichromus variabilis*, *Nitzschia palea*, *Euglena mutabilis*, *Closterium pusillum*, *Cosmarium anceps*, *C. cucurbita*, *C. subcrenatum*.

Литература

1. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука, 1974. 207 с.
2. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
3. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
4. Штина Э.А., Зенова Г.М., Манучарова Н.А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449–1461.
5. Штина Э.А., Голлербах М.М. Принципы и методы использования почвенных водорослей для биоиндикации // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. М.: МГУ, 1980. С. 75–84.
6. Бусыгина Е.А. Развитие почвенных водорослей на мелиорированных выработанных торфяниках в зависимости от их водного режима: Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Л. 1976. 19 с.
7. Домрачева Л.И. Продукция водорослей в дерново-подзолистой почве, определённая при ежесуточном счёте // Динамика микробиологических процессов в почве и обуславливающие её факторы. Таллин. 1974. Ч. 1. С. 161–163.
8. Маркова Г.И. Биомасса почвенных водорослей в некоторых типах растительности ущелья реки Варзоб. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Душанбе, 1976. 25 с.
9. Кондакова Л.В. Изменение сообществ почвенных водорослей при мелиорации дерново-подзолистых почв. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л. 1984. 16 с.
10. Кондакова Л.В. Альгологический мониторинг пахотных дерново-подзолистых оглеённых почв в оценке эффективности агро-мелиоративных мероприятий // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 2. С. 50–57.
11. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
12. Куликова Р.М. «Цветение» торфяно-болотных почв // Почвоведение. 1965. № 2. С. 63–67.
13. Штина Э.А. Водоросли дерново-подзолистых почв и их роль в почвенных процессах. Дис. ... докт. биол. наук. М. 1955. 525 с.
14. Помелова Г.И. Динамика почвенных водорослей в севообороте. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь. 1971. 18 с.
15. Носкова Т.С. Сообщества водорослей некоторых почв Кировской области. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Горький. 1968. 19 с.
16. Штина Э.А. Водоросли дерново-подзолистых почв Кировской области // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. 1959. Сер. 2. Вып. 2. С. 36–141.

Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом

© 2011. М. А. Каниськин¹, аспирант, А. А. Изосимов¹, аспирант, В. А. Терехова^{1,2}, д.б.н., зав. лабораторией, О. С. Якименко¹, к.б.н., с.н.с., М. А. Пукальчик³, аспирант,

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

²Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН,

³Вятский государственный гуманитарный университет,

e-mail: kaniskinmaksim@gmail.com

Исследовано влияние ряда гуминовых препаратов (ГП) на проявление экотоксичности модельных почвогрунтов (МПГ), содержащих фосфогипс (ФГ). С помощью стандартизованных тест-культур (*Daphnia magna*, *Scenedesmus quadricauda*, *Sinapis alba*) установлено, что ГП из торфа – Pe-FlexK и угля – BC-EnK снижают токсичность смеси МПГ и ФГ. Детоксицирующая активность ГП падает при увеличении их концентрации в МПГ (с 0,005% до 0,02%) и увеличении дозы внесения ФГ (с 3,3% до 7,5%).

Influence of some humic products (HP) on ecotoxicity of model soils mixtures (MS) with phosphogypsum (PG) is investigated. Using the standardized test-cultures (*Daphnia magna*, *Scenedesmus quadricauda*, *Sinapis alba*) it is established that humates originated from peat – Pe-FlexK and from coal – BC-EnK reduce toxicity of MS and FG mixtures. Detoxication activities of HP decrease at increasing their concentrations in mixtures from 0.005% to 0.02% and increase the share of phosphogypsum from 3.3% to 7.5%.

Ключевые слова: гуматы, токсичность, биотестирование, детоксикация, экологическое нормирование

Key words: humates, toxicity, biotesting, detoxication, ecological standardization

Введение

В современной концепции нормирования вредных воздействий и качества объектов окружающей среды большое значение в определении уровня экологического неблагополучия придаётся биотическим показателям. Оценку и нормирование факторов, способных приводить к ухудшению условий существования живых организмов, рекомендуется проводить как биоиндикационными методами наблюдения *in situ*, так и методами экспресс-биотестирования образцов *ex situ* по реакции стандартизованных тест-культур в лабораторных условиях, так называемыми методами «опережающего контроля» [1].

В связи с решением проблемы озеленения и рекультивации загрязнённых участков территорий в урбоэкосистемах активно используются различные минеральные и органические добавки к почвам и почвогрунтам, действие которых на биоту не всегда благоприятно. К таким мелиорирующим компонентам относится фосфогипс.

Фосфогипс (ФГ) – побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты, получаемой при разложении фосфатного сырья

или апатитового концентрата смесью серной и фосфорной кислот дигидратным способом или полугидратным. Возможность использования этого вида многотоннажного отхода химической промышленности как вторичного минерального ресурса подтверждена нормативными документами – ГОСТ 25916-83, ГОСТ 30772-2001. Фосфогипс находит разностороннее применение в народном хозяйстве. Питательная ценность ФГ обуславливает его использование в качестве добавки к почвогрунтам, потребность в которых неуклонно растёт. Наличие в нём таких важных элементов питания растений, как кальций, фосфор, сера, делает его привлекательным в качестве удобрения на бедных почвах [2]. Используют ФГ и в качестве мелиоранта почв солонцовых комплексов [3].

Широкое применение ФГ, однако, сдерживается тем, что наряду с основным действующим веществом (гипсом) он содержит большое количество примесей – соединения стабильного стронция, фтора, кадмия и других элементов. Частично нейтрализовать токсическое действие примесей ФГ можно, как экспериментально показано, внесением органического вещества [4].

В настоящее время освоено производство широкого спектра гуминовых препаратов (ГП)

из различных источников – углей, торфов, промышленных органических отходов. Гуматы рекомендованы к применению в качестве почвенных кондиционеров для улучшения свойств почвы или для нейтрализации токсикантов [5]. В связи с этим практический интерес представляет оценка детоксицирующей активности промышленных ГП по отношению к токсичным компонентам фосфогипса, входящего в состав модельного почвогрунта.

Широко известна возможность использования гуминовых соединений для детоксикации загрязняющих веществ органической природы, например, таких, как нефтепродукты [6], для очистки грунтовых вод [7] и почв от тяжёлых металлов [8]. Благодаря двучленности химической структуры (наличию хорошо гидролизуемой периферической части и негидролизуемого ядра) [9], а также большому разнообразию функциональных групп [10], гуминовые вещества представляют большой интерес в качестве детоксицирующих агентов. Однако механизм их действия исследован недостаточно. Известно, что действие гуминовых веществ может быть прямым – связывание, например, ионов тяжёлых металлов в комплекс с функциональными группами [8], либо косвенным – стимулирование активности живых организмов [11], а также модулирование жизнедеятельности представителей биоты, участвующих в деструкции поллютанта [12]. Весьма вероятно, что ГП разного происхождения (из углей, торфов и промышленных органических отходов) и соответственно различные по химическому строению могут различаться и по детоксицирующему эффекту в отношении компонентов фосфогипса.

С помощью биотестирования на стандартизованных тест-организмах можно выявить потенциальную экологическую опасность почв и почвогрунтов [13], а также нормировать внесение биобезопасных добавок (фосфогипса, гуматов и др.).

Цель исследования – оценка биоактивности почвогрунта с разным содержанием фос-

фогипса (ФГ) и влияния ряда гуминовых препаратов (ГП) разного происхождения и содержания на её изменение.

Материалы и методы

Исследование проводили в условиях лабораторных экспериментов с использованием модельного почвогрунта (МПГ), приготовленного промышленным способом в соответствии с международным стандартом ИСО 11268-1. Состав МПГ: каолин – 20%; переходный торф – 10%, строительный песок с размером частиц 0,2-0,4 мм – 70% [14].

В работе исследовали три разновидности МПГ с содержанием фосфогипса – 0%; 3,3% и 7,5% (по массе). Используемый в экспериментах фосфогипс (ФГ) представлял собой продукт переработки фосфатного апатитового сырья (хибинского апатита Кировского месторождения).

Химический состав ФГ (% по массе): CaO – 29,36; SO₂ – 43,55; P₂O₅ общ – 0,36; P₂O₅ вод – 0,01; SrO общ – 2,34; SrO вод – 0,064; Al₂O₃ – 0,12; Fe₂O₃ – 0,16; Na₂O вод – 0,007; Na₂O общ – 0,02; K₂O общ – 0,02; K₂O вод – 0,003; SiO₂ – 0,37; F общ – 0,11; F вод – 0,005 [15].

Для оценки действия ГП разного генезиса использовали пять видов промышленных гуматов калия и натрия, различающихся по некоторым химическим свойствам (табл. 1).

Растворы гуматов использовали в двух концентрациях – 250 и 1000 мг/л в расчёте на сухое вещество ГП. Образцы для биологического и химического исследования готовили следующим образом. Фосфогипс и МПГ, предварительно просеянные через сито с диаметром ячеек 1 мм, смешивали в сухом виде. Затем смесь массой 400 г увлажняли растворами ГП до влажности 60% от наименьшей влагоёмкости (НВ = 34,6%). Массовая доля сухого вещества ГП в МПГ составила 0,005% (при внесении раствора ГП в концентрации 250 мг/л) и 0,020% (при внесении раствора ГП в концентрации 1000 мг/л). В качестве кон-

Таблица 1

Характеристика исследуемых гуминовых препаратов

Гуминовый препарат	Источник получения	Содержание сухого в-ва, %	Зольность, %	Содержание элементов в золе, % от сухого в-ва ГП				
				Na	K	Ca	Mg	Fe
Pe-FlexK	Торф	8,6	25,8	0,1	10,3	0,1	0,03	2,6
Pe-EcoK	Торф	2,0	34,1	0,2	16,5	0,5	0,02	3,6
BC-EnK	Уголь	8,6	45,4	0,1	13,5	0,1	0,05	1,5
BC-HumNa	Уголь	95,7	28,8	1,4	0,2	0,3	0,07	3,5
OW-LhK	Лигносульфонат	94,5	40,0	2,3	12,6	0,1	0,01	0,3

троля использовали образец МПГ без внесения ФГ и ГП. После экспозиции образцов в течение 10 сут. при 25 °С проводили токсикологические исследования и химические анализы.

Химические анализы включали определение рН водной вытяжки потенциометрическим методом, содержание фторид- и нитрат-ионов в водной вытяжке методом ионно-обменной хроматографии, также подвижных форм Ca, Sr, Cu, Zn, Cd, Pb методом атомно-адсорбционной спектрометрии (ААС) в ацетатно-аммонийной вытяжке.

Токсикологические исследования проводили с применением трёх стандартизованных тест-культур разной таксономической принадлежности (водоросли, ракообразные и высшие растения), которые по предварительным исследованиям среди прочих видов обнаружили наибольшую чувствительность (наличие токсичности при наименьшем содержании ФГ) к внесению фосфогипса [16].

Альготестирование проводили по реакции зелёных микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. по стандартной «Методике определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей» (ФР.1.39.2007.03223). При подсчёте в камере Горяева фиксировали изменение прироста численности клеток водорослей в опытных пробах относительно контроля через 72 ч. экспозиции при 22±2 °С и освещённости 3000 лк. Нетоксичными считали пробы, в которых снижение прироста численности клеток водорослей относительно контроля не превышало 20%.

Биотестирование на низших ракообразных *Daphnia magna* Straus проводили согласно «Методике определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний» (ФР.1.39.2007.03222). Выживаемость мальков рачков в водных экстрактах образцов подсчитывали через 96 ч. экспозиции проб при 22±2 °С и освещённости 700–800 лк. Нетоксичными считали пробы, в которых гибель особей не превышала 10% относительно контроля.

Фитотоксичность образцов оценивали по изменению длины корней проростков горчицы *Sinapis alba* L., находящихся в контакте с твёрдым веществом образцов. Исследования проводили с использованием пластиковых контейнеров [17] по стандартной методике ISO 11269-1 («Phytotoxkit – Seed germination and early root growth») в модификации [18]. Дли-

ну корней измеряли по истечении 120 ч. экспозиции проростков семян при 24 °С в темноте. Нетоксичными считали пробы, в которых подавление роста корней не превышало 20% относительно контроля.

Токсикометрические параметры рассчитывали с помощью пробит-анализа [19]. Полуэффективная доза – EC_{50} соответствовала такому содержанию добавки ФГ, которое вызывало 50%-ое отклонение исследуемого параметра от контроля. Безвредная доза внесения ФГ – *NOEL* (no observed effect level) определялась как содержание ФГ, не оказывающее токсического действия на тест-организмы.

Для количественной оценки эффективности воздействия ГП на МПГ с ФГ рассчитывали коэффициент детоксикации (*D*) по формуле:

$$D = \frac{T_T - T_{T+ГП}}{T_T}$$

Он отражает изменение уровня токсичности (*T*) по отношению к тест-культуре в присутствии ГП ($T_{T+ГП}$) по сравнению с токсичностью тех же образцов без добавления ГП (T_T) [20]. Положительное значение этого параметра свидетельствует об уменьшении токсического эффекта при внесении ГП, отрицательное – об увеличении токсичности с внесением ГП. При этом наиболее благоприятным для функционирования биоты будет значение, близкое к 1 или больше.

Результаты и обсуждение

Влияние фосфогипса на токсичность почвогрунта и эффект гуминовых препаратов на биоактивность их смеси.

Проведена серия токсикологических экспериментов по изучению влияния ФГ (0%; 3,3%; 7,5%) в МПГ и добавок разных ГП (0,005% и 0,020%) на параметры трёх тест-систем. Отклонения значений «откликов» тест-культур от контроля (МПГ без добавок ГП и ФГ) при воздействии моделированных образцов представлены в таблице 2.

Как видно из результатов анализа всех трёх тест-систем, фосфогипс при содержании 3,3% и 7,5% придавал токсичность МПГ (табл. 2). Добавление ГП оказало определённое влияние на изменение тест-параметров. При этом на фоне 7,5% ФГ все пробы МПГ оставались токсичными, т. е. ни один из ГП не оказался достаточно эффективным в отношении обильно насыщенных ФГ образцов МПГ. Тогда как при массовой доле ФГ 3,3% внесение ГП Pe-FlexK и BC-EnK спо-

Таблица 2

Влияние содержания ФГ и разных ГП в МПГ на «отклики» биотест-систем

Вариант опыта		Значение «откликов» тест-культур (% от контроля)		
Содержание ФГ, %	Содержание ГП, %	Длина корней <i>S. alba</i>	Выживаемость <i>D. magna</i>	Прирост численности <i>S. quadricauda</i>
0	0 (Контроль)	100,0 ± 3,0	100,0 ± 6,8	100,0 ± 3,5
	0,005 Pe-FlexK	121,1 ± 7,3	96,6 ± 6,8	115,3 ± 5,9
	0,020 Pe-FlexK	100,3 ± 9,0	89,7 ± 6,8	126,7 ± 4,4
	0,005 Pe-EcoK	102,1 ± 7,2	89,7 ± 6,8	86,5 ± 7,3
	0,020 Pe-EcoK	98,7 ± 6,9	86,2 ± 6,8	82,4 ± 8,9
	0,005 BC-EnK	128,1 ± 5,9	96,6 ± 6,8	99,4 ± 7,2
	0,020 BC-EnK	112,6 ± 4,9	96,6 ± 6,8	49,7 ± 6,9
	0,005 BC-HumNa	117,9 ± 3,9	100,0 ± 6,8	75,5 ± 2,9
	0,020 BC-HumNa	106,4 ± 12,8	100,0 ± 6,8	67,7 ± 5,0
	0,005 OW-LhK	115,7 ± 2,9	100,0 ± 6,8	85,2 ± 3,9
	0,020 OW-LhK	122,8 ± 5,0	89,7 ± 6,8	75,5 ± 12,8
3,3	0	72,2 ± 4,1 *	65,5 ± 6,8	50,9 ± 4,1
	0,005 Pe-FlexK	113,1 ± 4,9	103,5 ± 0,0	84,8 ± 8,4
	0,020 Pe-FlexK	98,4 ± 5,0	79,3 ± 6,8	54,3 ± 7,3
	0,005 Pe-EcoK	56,1 ± 4,8	58,6 ± 6,8	54,7 ± 4,4
	0,020 Pe-EcoK	98,0 ± 7,7	55,2 ± 6,8	55,7 ± 5,0
	0,005 BC-EnK	107,6 ± 8,4	103,5 ± 0,0	81,0 ± 4,8
	0,020 BC-EnK	107,7 ± 7,6	86,2 ± 13,5	42,8 ± 7,7
	0,005 BC-HumNa	83,5 ± 6,9	65,5 ± 6,8	54,8 ± 5,8
	0,020 BC-HumNa	96,1 ± 5,0	13,8 ± 6,8	49,2 ± 8,7
	0,005 OW-LhK	72,0 ± 5,9	37,9 ± 6,8	57,5 ± 6,9
	0,020 OW-LhK	73,0 ± 6,7	34,5 ± 6,8	50,2 ± 5,0
7,5	0	54,4 ± 3,5	48,3 ± 6,8	33,9 ± 3,5
	0,005 Pe-FlexK	46,3 ± 2,2	58,6 ± 6,8	34,7 ± 3,2
	0,020 Pe-FlexK	57,7 ± 3,5	55,2 ± 6,8	41,3 ± 4,0
	0,005 Pe-EcoK	56,2 ± 3,5	3,5 ± 6,8	33,6 ± 2,2
	0,020 Pe-EcoK	25,6 ± 4,2	3,5 ± 6,8	34,3 ± 3,5
	0,005 BC-EnK	65,5 ± 3,1	58,6 ± 6,8	43,3 ± 3,5
	0,020 BC-EnK	59,9 ± 4,0	44,8 ± 6,8	41,6 ± 4,2
	0,005 BC-HumNa	62,7 ± 4,2	44,8 ± 6,8	25,7 ± 6,6
	0,020 BC-HumNa	43,3 ± 4,5	17,2 ± 6,8	21,5 ± 2,6
	0,005 OW-LhK	70,7 ± 6,6	37,9 ± 6,8	26,8 ± 4,2
	0,020 OW-LhK	44,8 ± 2,6	34,5 ± 6,8	23,5 ± 4,5

Примечание: курсивом выделены токсичные варианты.

собствовало снижению токсичности. Следует отметить, что негативное действие отдельных ГП – BC-HumNa и 0,020% BC-EnK по отношению к водорослям *S. quadricauda* проявлялось даже при отсутствии ФГ.

Наглядное представление о различиях в детоксицирующей эффективности исследуе-

мых ГП даёт сравнение средних коэффициентов детоксикации – *D_{ср}*, получаемого усреднением *D* по трём тест-культурам (рис. 1).

Полученные данные подтверждают, что влияние гуматов на параметры токсичности образцов зависит, с одной стороны, как и ожидалось, от содержания ФГ, а с другой – от содер-

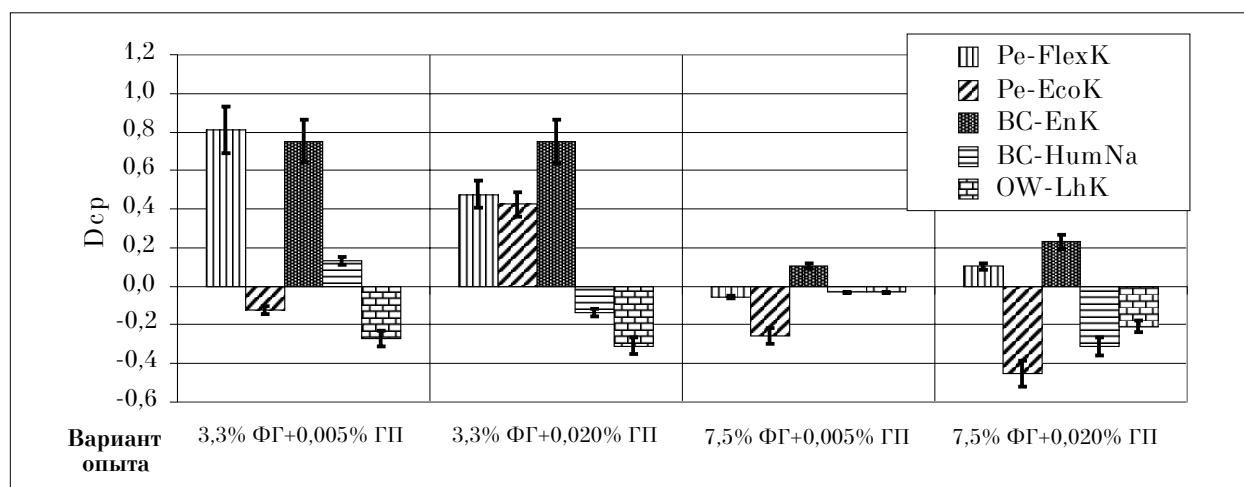


Рис. 1. Сравнение D_{cp} при действии ГП различного происхождения на МПГ с содержанием ФГ 3,3% и 7,5%

жания и природы ГП. Из представленных результатов следует, что наибольший эффект все ГП дают при содержании ФГ – 3,3% (рис. 1). При внесении в МПГ большего количества ФГ (7,5%) коэффициент детоксикации оказывается в большинстве случаев отрицательным, что свидетельствует о неспособности исследуемых ГП снижать токсический эффект смеси МПГ и ФГ (7,5%). В тех же случаях, когда D_{cp} положителен (0,005% BC-EnK, 0,020% Pe-FlexK, 0,020% BC-EnK), его значения тем не менее достоверно ниже D_{cp} соответствующих образцов при массовой доле ФГ 3,3%. Полученные данные свидетельствуют о том, что при увеличении содержания фосфогипса детоксицирующая активность ГП снижается.

Существенной оказалась зависимость D_{cp} от генезиса ГП. Наибольшим значением параметра D_{cp} характеризовались ГП Pe-FlexK (0,005%) и BC-EnK (0,005% и 0,020%). Достаточно высокие (около 0,5) значения коэффициента детоксикации получены для ГП 0,020% Pe-FlexK и 0,020% Pe-EcoK, однако они оказались достоверно ниже максимальных значений D_{cp} . Коэффициент детоксикации имел низкие (а зачастую даже отрицательные) значения при внесении обеих испытанных концентраций ГП BC-HumNa и K-OW-LhK.

Безопасный уровень содержания ФГ в МПГ, как и детоксицирующую эффективность ГП разного происхождения, исследо-

Таблица 3

Влияние ГП на изменение токсикометрических параметров (EC_{50} и $NOEL$) трёх биотест-систем при оценке уровня безопасности ФГ в МПГ

Содержание ГП, %	Водоросли <i>S. quadricauda</i>		Рачки <i>D. magna</i>		Высшие растения <i>S. alba</i>	
	EC_{50}	$NOEL$	EC_{50}	$NOEL$	EC_{50}	$NOEL$
Без внесения ГП (контроль)	5,05 (100,0)*	1,95 (100,0)	7,72 (100,0)	2,75 (100,0)	8,73 (100,0)	3,79 (100,0)
0,005 Pe-FlexK	7,71 (152,7)	3,64 (186,7)	8,45 (109,5)	3,73 (135,6)	14,11 (161,6)	7,87 (207,7)
0,020 Pe-FlexK	5,62 (111,3)	2,26 (115,9)	8,77 (113,6)	1,87 (68,0)	14,66 (167,9)	7,17 (189,2)
0,005 BC-EnK	7,73 (153,1)	3,62 (185,6)	8,45 (109,5)	3,73 (135,6)	14,66 (167,9)	7,14 (188,4)
0,020 BC-EnK	4,88 (96,6)	1,83 (93,8)	6,91 (89,5)	2,9 (105,5)	14,27 (163,5)	6,9 (182,1)

Примечание: в скобках указано значение в процентах относительно контроля.

вали по изменению параметров EC_{50} и $NOEL$ в биотестах. Наибольший детоксицирующий эффект обнаружили ГП из торфа Ре-FlexK и угля ВС-EnK (рис. 1). Значения токсикометрических параметров (EC_{50} и $NOEL$) для этих двух препаратов приведены в таблице 3.

Из полученных данных видно, что живые организмы способны выдержать достаточно высокую нагрузку фосфогипса. Из использованных в данной работе тест-культур наиболее резистентными к наличию ФГ в почвогрунте оказались высшие растения, а наиболее чувствительными – водоросли (EC_{50} 8,73% и 5,05%, $NOEL$ 3,79% и 1,95% соответственно). Значения биотического «отклика» в тесте с дафниями на воздействие ФГ без добавления ГП занимали промежуточное положение.

Исследования влияния ГП на токсикометрические показатели МПГ с ФГ практически во всех тест-системах показали чёткую зависимость действия гуматов от их содержания (табл. 3). Эффект и Ре-FlexK, и ВС-EnK при внесении ГП с массовой долей 0,005% выше, чем при 0,020%. Для 0,005% Ре-FlexK показатель EC_{50} увеличивался в 1,1–1,6 раз, $NOEL$ – в 1,4–2,1 раза. Аналогичные параметры при внесении 0,005% ВС-EnK – в 1,1–1,7 раза и в 1,4–1,9 раза соответственно. При содержании гуматов на уровне 0,020% наблюдалось снижение токсикометрических показателей МПГ с ФГ на 3–32%.

Влияние фосфогипса и гуминовых препаратов на изменение содержания потенциально токсичных примесей в почвогрунте

Для выявления возможных причин изменения токсичности МПГ под влиянием добавок ФГ и ГП проведён анализ содержания потенциальных химических загрязнителей и величин рН в разных вариантах опыта. Результаты представлены в таблице 4.

Отмеченное в биотестах влияние ГП на биоактивность МПГ связано, возможно, с их воздействием на подвижность отдельных токсичных элементов. Фактором, во многом определяющим их подвижность, является рН почвенной вытяжки. В контрольном образце (табл. 4) значение составляло 5,8, а внесение ФГ в количестве 3,3% и 7,5% приводило к снижению рН на 0,6–0,8 ед., что объясняется гидролитически кислой природой ФГ. Использование ГП приводило, за некоторым исключением, к небольшому увеличению рН, что можно отнести на счёт щелочной реакции растворов ГП.

Другим важным показателем загрязнения почв при применении ФГ является содержание

стабильного Sr. Как видно из таблицы 4, внесение 3,3% и 7,5% ФГ повышало содержание стронция в 112 и 193 раза соответственно. Добавление ГП на фоне ФГ приводило к незначительному увеличению подвижного стронция (на 10–30%). Согласно литературным данным [21], концентрации валовых форм Sr в почве выше 600 мг/кг могут вызывать «уровскую болезнь» человека (болезнь костей, связанную с нарушением кальциевого обмена). Ионы кальция и стронция, как известно, могут замещать друг друга в тканях живых организмов, поэтому показателем экологической опасности и биодоступности Sr служит отношение Ca : Sr [2]. В значительно меньшей степени внесение ФГ отразилось на содержании подвижного кальция (табл. 4). В отличие от Sr его содержание возросло только в 7–14 раз по сравнению с контролем, стало причиной снижения отношения Ca : Sr примерно в 15 раз при внесении ФГ в МПГ. Следует отметить, что подвижные формы тяжёлых металлов – меди, цинка, кадмия и свинца – во всех вариантах опыта обнаружены лишь в следовых количествах.

Другим поллютантом, в значительном количестве содержащимся в ФГ, является фтор. Концентрация его водорастворимых форм в ФГ может достигать 50 мг/кг. При вносимых дозах ФГ количество фтора не превышало установленных ПДК 10 мг/кг. Внесение ФГ приводило к увеличению содержания фторид-иона в МПГ более чем в 2 и 3 раза по сравнению с контролем. Добавление ГП на фоне ФГ оказывало неоднозначный эффект на концентрацию фтора.

Химический анализ показал, что внесение ГП влияет, главным образом, на содержание нитратного азота, главным источником которого предположительно являлись собственно препараты. Добавление ГП повышало содержание нитрат-иона более чем в 1,5 раза (по сравнению с контролем) во всех вариантах внесения ФГ. Так, в случае с препаратом Ре-ЕсоК количество нитратов достигло 206 мг/кг, что могло стать дополнительным стрессовым фактором для биотест-систем. Избыточным содержанием нитрат-иона можно объяснить наибольший эффект биостимуляции по отношению к высшему растению *S. alba*, для которого нитраты важны для роста и функционирования, в отличие от типичного гидробионта *D. magna*.

Заключение

Таким образом, показано, что содержание фосфогипса в МПГ более 3,3% может оказывать негативное действие на биоту. Гуминовые препараты способствовали повышению безо-

Таблица 4

Значения рН и показателей химического загрязнения в различных вариантах модельного эксперимента

Вариант опыта		Значение показателей					
ФГ, %	Содержание ГП, %	рН	F ⁻ , мг/кг	NO ₃ ⁻ , мг/кг	Sr ²⁺ , мг/кг	Ca ²⁺ , мг/кг	Ca/Sr
0	0 (Контроль)	5,8	0,75	97	3,5	1106	316
	0,005 Ре-FlexK	5,8	0,70	148	5,8	929	160
	0,020 Ре-FlexK	5,8	0,25	131	4,7	1113	237
	0,005 Ре-EcoK	5,8	0,80	184	5,1	1241	243
	0,020 Ре-EcoK	5,9	0,55	206	5,0	1267	253
	0,005 BC-EnK	5,5	0,70	152	5,5	1118	203
	0,020 BC-EnK	5,7	0,70	180	5,7	1335	235
	0,005 BC-HumNa	5,7	2,45	147	4,1	1028	251
	0,020 BC-HumNa	5,7	0,35	193	4,1	1074	262
	0,005 OW-LhK	5,9	1,50	143	4,3	1240	288
	0,020 OW-LhK	5,8	0,35	138	6,4	1519	237
3,3	0	5,2	1,55	86	394	7315	19
	0,005 Ре-FlexK	5,8	1,50	138	425	7468	18
	0,020 Ре-FlexK	5,8	1,55	154	446	11188	25
	0,005 Ре-EcoK	5,1	1,55	130	511	11484	23
	0,020 Ре-EcoK	5,2	1,65	186	568	11334	20
	0,005 BC-EnK	5,3	1,65	135	486	8713	18
	0,020 BC-EnK	5,5	1,70	148	449	12628	28
	0,005 BC-HumNa	5,1	1,90	136	556	10933	20
	0,020 BC-HumNa	5,1	1,95	118	360	7184	20
	0,005 OW-LhK	5,9	1,55	138	518	9794	19
	0,020 OW-LhK	5,8	2,05	113	446	8600	19
7,5	0	5,0	2,35	94	676	14751	22
	0,005 Ре-FlexK	5,1	2,55	123	727	18352	25
	0,020 Ре-FlexK	5,1	2,45	109	700	20358	29
	0,005 Ре-EcoK	5,1	3,20	119	687	17121	25
	0,020 Ре-EcoK	5,1	3,45	194	808	20801	26
	0,005 BC-EnK	5,0	2,95	143	658	15892	24
	0,020 BC-EnK	5,1	3,10	123	825	19176	23
	0,005 BC-HumNa	5,0	3,35	107	695	18087	26
	0,020 BC-HumNa	5,0	3,00	119	674	18721	28
	0,005 OW-LhK	5,1	3,00	194	699	15935	23
	0,020 OW-LhK	5,1	3,05	97	751	20734	28

пасности субстрата для живых объектов – снижали токсичность смеси МПГ с ФГ. Применение гуматов оказалось эффективнее при низких дозах внесения ФГ: при содержании фосфогипса 3,3% снижение токсичности выражено в большей степени, чем при 7,5%.

Эффективность влияния ГП, в свою очередь, зависит от их содержания. Установле-

но, что в образцах МПГ с ФГ при действии ГП 0,005% токсичность снижается в существенно большей степени, чем при 0,020%.

Как показали расчёты коэффициентов детоксикации *Dcp*, ГП в зависимости от источника происхождения – уголь, торф или органические отходы по-разному влияют на изменение токсичности смеси МПГ с ФГ. Выбор-

ка из пяти ГП не позволяет дать статистически обоснованное заключение о взаимосвязи источника происхождения и их активности. Тем не менее исследованные в работе ГП в порядке убывания детоксицирующей активности могут быть расположены следующим образом: BC-EnK > Pe-FlexK >> Pe-EcoK > BC-HumNa > K-OW-LhK.

Как показал анализ содержания потенциальных химических загрязнителей, при внесении ФГ в МПГ необходим мониторинг за состоянием таких показателей, как реакция почвенной среды, содержание фторид-иона и подвижных форм стронция и кальция, а при внесении ГП – за содержанием нитрат-иона. Полученные данные позволяют сделать вывод, что выявленное в биотестах снижение токсичности образцов обусловлено, вероятно, повышением резистентности тест-культур, механизмы которого предстоит исследовать.

Литература

1. Терехова В.А. Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 1 (91). С. 88–90.
2. Любимова И.Н., Борисочкина Т.И. Влияние потенциально опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе, на окружающую среду. М.: ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН, 2007. 48 с.
3. Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов. М.: Изд-во РАСХН, 2006. 46 с.
4. Каниськин М.А., Терехова В.А., Яковлев А.С. Контроль гуматной детоксикации отходов фосфогипса методами биотестирования // Экология и промышленность России. 2010. № 8. С. 48–51.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
6. Ivanov A., Maltzeva E., Yudina N., Svarovskaya L. The stimulation of microorganisms activity of petropolluted soils by humic preparations // Molecular Understanding to Innovative Applications of Humic Substances: 14th International Meeting of the International Humic Substances Society. Moscow – Saint Petersburg, Russia. 2008. V. II. Humus Sapiens. P. 659–662.
7. Цветкова Е.А., Куликова Н.А., Каршук Л.А., Перминова И.В. Перспективы использования силикагеля, модифицированного гуминовыми кислотами, для очистки природных сред от липополисахаридов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Биологический. Т. 12. Вып. 1. Приложение 1. Биотехнология. Экология. Охрана окружающей среды. 2007. С. 188–194
8. Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водных и почвенных средах в условиях абиотических стрессов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва: МГУ. 2008. 48 с.
9. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. 213 с.
10. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 248 с.
11. Yakimenko O. Chemical and plant growth stimulatory properties in a variety of commercial humates // Humic substances – linking structure to functions: 13-th Meeting of the International Humic Substances Society. Karlsruhe. 2006. V. 45. P. 1017–1021.
12. Вятчина О.Ф., Жданова Г.О., Стом Д.И. Некоторые эффекты гуминовых веществ на микроорганизмы // Гуминовые вещества в биосфере: Тез. докл. IV Всерос. конф. М. 2007. С. 405–411
13. Терехова В.А. Биотестирование в оценке безопасности искусственных почвогрунтов из органосодержащих отходов // Экология производства. 2010. № 2. С. 56–59
14. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. М. 2001. 226 с.
15. Фосфогипс и его использование / Под ред. С. Д. Эвенчика, А. А. Новикова. М.: Химия, 1990. 222 с.
16. Каниськин М.А. Исследование влияния добавок фосфогипса к почвогрунту на биотест-системах разной таксономической принадлежности и трофического уровня // «Ломоносов»: Тез. докл. XVII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. М. 2010. С. 48.
17. Persoone G. Recent new microbiotests for cost-effective toxicity monitoring: the Rapidtoxkit and the Phytotoxkit // 12th International Symposium on Toxicity Assessment: Book of Abstracts. 2005. P. 112.
18. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. Выпуск 13. № 1. С. 1–18.
19. Платонов А.Г., Ахалая М.Я. Дозовая зависимость постлучевой гибели. Расчёт полудетальной дозы ЛД₅₀ методом пробит-анализа: Учеб. пособие. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2006. 33с.
19. Perminova I.V., Kulikova N.A., Zhilin D. M. et al. Mediating effects of Humic Substances in the Contaminated environments. Concepts, Results, and Prospects, Viable Me of Soils and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation. Springer. Netherlands. 2006. P. 249–273.
20. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 298 с.

Авторы выражают глубокую признательность к.б.н. Завгородней Ю.А. и д.б.н. Картовой Е.А. за помощь в организации проведения химических анализов, к.б.н. Горленко А.С., Домашиневу Д.Б. и компании «Ликса» за предоставление почвогрунта и фосфогипса.

Работа выполнена в рамках ГК № Н1/08 от 18.04.09. с Департаментом природопользования и охраны окружающей среды правительства г. Москвы, при частичной поддержке программы «Биоразнообразие» и ГК 14.470.11.0796.

Оптимизация приёмов природовосстановления нарушенных земель на севере таёжной зоны

© 2011. И. А. Лиханова, к.б.н., н.с., И. Б. Арчегова, д.б.н., в.н.с.,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: likhanova@ib.komisc.ru, archeгова@ib.komisc.ru

В статье рассмотрены нетрадиционные приёмы лесной рекультивации. Изложены результаты опыта по оптимизации разработанной ранее с учётом специфики климатических условий севера таёжной зоны двухэтапной схемы «природовосстановления». Показана возможность сокращения схемы при использовании на первом этапе одновременно с улучшением свойств техногенного субстрата (внесение удобрений, посев многолетних трав) посадки крупномерных саженцев древесных растений. На пятый год после проведения восстановительных работ отмечены высокая сохранность (96–100%) высаженных сосны, березы и лиственницы, удовлетворительный их рост при хорошем развитии травянистого покрова, проективное покрытие которого достигает 70–75%.

The paper deals with untraditional reforestation methods. It contains the experiment results on optimization of earlier two-stage «nature-restoration» scheme, developed special for far north taiga zone climatic conditions. There exists a possibility of the scheme reduction planting large-sized 5-7-year-old young trees at the first stage along with technogenic substratum improvement (fertilizers, perennial grasses). Five years after recovery procedures pine, birch and larch plants demonstrated a high safety grade (96–100%), a satisfactory growth rate, a good grassy cover development with a total projective cover degree of 70–75%.

Ключевые слова: лесные экосистемы, техногенный субстрат, агротехнические методы, схема природовосстановления

Key words: technogenic substrata, two-stage «nature-restoration» scheme, forest ecosystem, agrotechnical methods, planting big-sized 5-7-year-old young trees

Нарастание темпов добычи минерального сырья на севере Европейской части России ведёт к неуклонному возрастанию площади техногенно нарушенных земель. В таёжной зоне под действием мощного антропогенного прессы идёт разрушение или деградация леса. Известно, что лесные экосистемы Севера играют важную средообразующую роль, способствуют сохранению биоразнообразия, представляют надёжный сток углерода, что крайне важно в условиях глобального потепления климата. Важно также отметить, что традиционный образ жизни местного населения опирается на использование ресурсов леса. Однако самовосстановление лесных экосистем в суровых климатических условиях Севера затруднено. Древесные породы, произрастая у северной границы своего ареала, находятся в экстремальных для себя условиях. Близ пределов своего распространения виды занимают наиболее благоприятные экотопы и, несмотря на это, имеют пониженную фитоценологическую устойчивость [1, 2], низкую семенную продуктивность [3–5], повышенную восприимчивость к грибным болезням. Таким образом, в подзоне крайнесеверной тайги восстановле-

ние экосистемы, близкой по типу к зональной, требует содействия со стороны человека. Однако приёмы восстановления лесных экосистем на Севере разработаны недостаточно [6].

Наши исследования по разработке приёмов, ускоряющих восстановление лесных экосистем, проводятся на территории Усинского нефтяного месторождения (Усинский район Республики Коми), расположенного в подзоне крайнесеверной тайги. Суровость климатических условий района исследования характеризует среднегодовая температура воздуха $-3,2^{\circ}\text{C}$, наиболее холодный месяц – январь со среднемесячной температурой $-18,4^{\circ}\text{C}$. Снежный покров залегаёт 200 дней, средняя высота его – 48 см. Среднемесячная температура воздуха в июле, самом тёплом месяце, составляет $+13,8^{\circ}\text{C}$. Длительность периода со среднесуточной температурой выше $+5^{\circ}\text{C}$ – 110 дней. За год выпадает в среднем 474 мм осадков, из них за вегетационный период (июнь–август) – 159 мм [7].

В растительном покрове преобладают редкостойные еловые, елово-берёзовые леса с сомкнутостью крон 0,3–0,5, высотой древесных растений 8–15 м, бонитет V-Va. В соста-

ве древостоев значительно участие сосны и лиственницы. Наиболее широко распространены леса долгомошной группы типов, значительно менее – зеленомошной и сфагновой групп. Леса перемежаются с крупными болотными массивами, 10% площади занято тундровой растительностью [8]. Почвообразующие породы представлены моренными суглинками и песчаными отложениями водно-ледникового происхождения. На песчаных породах в зависимости от степени увлажнения характерны сочетания торфянисто-подзолистых иллювиально-железистых и иллювиально-гумусово-железистых почв; на суглинках – сочетания глееподзолистых и торфянисто-подзолисто-глеевых почв [9].

С учётом особенностей климатических условий Севера была разработана система приёмов «природовосстановления», включающая два этапа [10]. На первом этапе, «интенсивном», в короткие сроки восстанавливаются растительный покров и деятельный биогенно-аккумулятивный слой. Базовый приём первого этапа – посев многолетних трав, адаптированных к местным условиям, по фону органических и минеральных удобрений. На втором этапе, «ассимиляционном», агорезим снимается, и сформированное на первом этапе травянистое сообщество постепенно замещается зональным типом растительности (лесной экосистемой) в процессе самовосстановительной сукцессии. Выявлено, что при применении двухэтапной схемы «природовосстановления» уже во втором десятилетии, т. е. на втором этапе, посттехногенная экосистема находится на сукцессионной стадии мелколиственного древесно-кустарникового сообщества, под пологом берёзы и ивы начинает появляться ель [11]. С учётом, однако, замедленного самовозобновления, низкой устойчивости хвойных пород на границе своего распространения предложен оптимизированный комплекс приёмов восстановления лесных экосистем на севере таёжной зоны. Он заключается в посадке дре-

весных пород одновременно с комплексом агротехнических приёмов на первой, «интенсивной», стадии схемы «природовосстановления» в целях активизации восстановления древесного яруса и в целом лесной экосистемы.

В настоящей статье рассмотрена эффективность предложенного комплекса приёмов восстановления лесных экосистем с учётом природно-климатических условий севера таёжной зоны, а также наиболее распространённых типов посттехногенных объектов.

Весной 2005 г. был заложен опыт на двух посттехногенных участках – песчаном карьере и песчаной отсыпке буровой площадки. До проведения опыта, несмотря на более чем 20-летний процесс самовосстановления, растительный покров на обоих участках практически отсутствовал – проективное покрытие его не достигало 2%. Незакрепленный растением песчаный материал легко переносился воздушными и водными потоками. Субстрат характеризовался низким содержанием элементов-биогенов – органического углерода ($C_{орг.}$) – 0,1–0,2 %, гидролизуемого азота ($N_{гидр.}$) – 0,2–0,3 мг/100 г в.с. почвы.

На опытные площадки были высажены дички сосны (*Pinus sylvestris*), лиственницы (*Larix sibirica*) и берёзы (*Betula pubescens*) из расчёта 2500 шт./га (табл. 1). Растения были взяты из естественных лесных экосистем с комом земли размером 30×30 см. Средняя высота сосны составляла 50,1±2,2 см, лиственницы – 74,0±4,8 см, берёзы – 43,2±3,4 см. После посадки древесных растений были внесены минеральные (азофоска) и органические (торф) удобрения и по удобренному фону высеяна смесь многолетних трав. В состав травосмеси входили *Poa pratensis*, *Festuca rubra*, *Festuca pratensis*, *Bromopsis inermis*, *Phleum pratense*, *Trifolium pratense* (при соотношении 1:1:1:1:1:1). В дальнейшем ежегодно проводили подкормку всей площади каждого участка минеральными удобрениями: на второй год после закладки опыта – мочевиной

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

Площадка, №	Техногенный объект	Площадь участка, м ²	Посадочный материал	Агротехнические приёмы улучшения субстрата
1	Песчаная отсыпка около скважины	100	Сосна	торф – 0,5 т/га, N60P60K60, травосмесь (20 кг/га)
2	Песчаный карьер	60	Лиственница	торф – 0,5 т/га, N60P60K60, травосмесь (20 кг/га)
3	Песчаный карьер	60	Берёза	торф – 0,5 т/га, N60P60K60, травосмесь (20 кг/га)

Таблица 2

Биометрические показатели саженцев на опытных площадках (осенние наблюдения)

Количество лет после посадки	Приживаемость (сохранность), %	Высота, см	Диаметр стволика, см	Диаметр кроны, см
Сосна, площадка 1				
1	100	59,1±2,4	1,1±0,1	32,9±1,4
2	100	60,9±2,8	1,5±0,2	37,3±1,6
3	100	68,8±3,1	1,7±0,1	46,5±2,1
4	96	79,5±3,1	1,8±0,1	48,7±3,1
5	96	100,3±4,3	2,1±0,2	55,4±4,5
Лиственница, площадка 2				
1	100	79,4±4,6	1,1±0,1	34,0±3,4
2	100	82,6±5,3	1,5±0,1	36,7±3,7
3	100	86,9±5,1	1,7±0,1	Не опр.
4	100	90,7±4,8	1,8±0,1	49,5±3,3
5	100	98,7±8,7	2,1±0,2	54,3±6,0
Берёза, площадка 3				
1	100	60,0±4,0	Не опр.	30,5±2,7
2	100	80,7±3,9	1,1±0,1	40,9±3,6
3	100	95,4±4,3	Не опр.	52,7±3,2
4	100	116,2±4,8	2,0±0,1	70,5±4,1
5	100	125±5,9	2,3±0,2	80,6±3,9

из расчета 40 кг/га д.в., на третий, четвертый и пятый год – азотфоской из расчёта 45 кг/га действующего вещества каждого компонента.

В ходе исследования характеризовали состояние растительного покрова общепринятыми методами [12], определяли сохранность, биометрические параметры [13] и фитопатологическое состояние [14] высаженных древесных пород. Агрохимический анализ образцов техногенных субстратов выполняли общепринятыми в почвоведении методами [15].

По результатам пятилетних наблюдений сохранность высаженных растений высокая – практически 100% (табл. 2). Необходимо отметить, что незначительный отпад сосны, за пять лет составляющий 4%, связан с поражением ослабленных экземпляров саженцев после пересадки грибными болезнями снежное и обыкновенное шютте. Высокая сохранность растений связана с использованием достаточно развитых растений, перенесённых с комом земли, а также с уходом за растениями в течение 5 лет.

Индикационным признаком состояния древесных пород в посадке является прирост их в высоту. С третьего года после посадки прирост сосны стабильно увеличивался, достигая на пятый год более 20 см. Прирост у лиственницы также имел тенденцию к увеличению после первых двух лет после пересадки, на пятый год достигнув 8 см. Меньшее увеличе-

ние у неё прироста и более резкие колебания к 5-му году, по-видимому, связаны с дефолиацией и дехромацией хвои, отмиранием верхушечной почки у четверти высаженных растений. В связи с высокой экологической пластичностью берёзы её прирост во все годы после посадки был достаточно высоким, составляя около 15–20 см.

На пятый год после посадки средняя высота высаженных дичков сосны и лиственницы составила около 1 метра. У берёзы, в связи с более высокими темпами роста, высота достигла 1,25 м. Таким образом, высаженные древесные растения к 5-у году после посадки характеризовались удовлетворительным развитием.

На опытные площадки начали внедряться деревья и кустарники. Отмечены единичные всходы и мелкий подрост (высотой до 20 см) берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados* Wimm.).

Травяной покров на рассматриваемых опытных площадках активно развивался.

Если на второй год после посева общее продуктивное покрытие травянистого яруса составляло 30%, то к пятому – увеличилось до 70–75% (табл. 3). Интересно отметить появившиеся погрызы у травянистых растений и обильный помет зайцев. В травянистом ярусе из высевных трав практически выпадают овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), требовательная

к влажности почвы, и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). Остались корневищные злаки – коострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) и корневищно-рыхлокустовая овсяница красная (*Festuca rubra* L.). Причём последний вид, в связи с малой требовательностью к богатству почв и увлажнению, имел наибольшее из высеянных трав проективное покрытие. В травянистый покров внедрялись несеянные виды растений, из которых превалирует овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), на опытных площадках 2 и 3 являясь доминантом. Растение характерно для сухих сосновых боров. Из внедрившихся злаков также отметим щучку дернистую (*Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv.), вейник лапландский (*Calamagrostis lapponica* (Wahl.) Hartm), полевицу тонкую (*Agrostis tenuis* Sibth.), луговик извилистый (*Avenella flexuosa* (L.) Drey). Зафиксированы виды, характерные для зарастания антропогенно нарушенных земель, – иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop), хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.). Внедрялись виды, характерные для лесных и луговых экосистем, – золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), мелкопестник острый (*Erigeron acris* L.), однако их участие мало. Необходимо отметить, что в нижнем ярусе формирующегося растительного сообщества отмечены лесные кустарнички: вороника (*Empetrum hermaphroditum* (Lange) Hagerup) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), привнесенные вместе с комом земли. Моховой покров представлен пионерными видами (табл. 3). Около 15–30% от площади опытных участков покрыто протонемой мхов. Таким образом, на участки характерно внедрение луговых, лесных, а также видов, характерных для антропогенно нарушенных территорий. Большинство внедрившихся видов отмечено единично. Пёстрый видовой состав на участках характеризует молодость и неустойчивость состава данного сообщества.

Показано увеличение наземной фитомассы почвенного покрова на участках, основную массу которого представляли травянистые растения, что характерно для «интенсивного» этапа, когда влияние древесных растений на почвенный покров ещё не существенно. Так, на 4-й год на участке с посадкой сосны в среднем общая наземная фитомасса почвенного покрова, представленная только травянистыми растениями, составляла 110,1 г/м², а в её составе 93% приходилось на злаки. Отмершая растительная масса, из которой формируется на поверхности субстрата подстил-

ка, составила 8,2 г/м². К пятому году общая наземная фитомасса (живая) увеличилась в среднем до 300 г/м². При этом в фитомассе по-прежнему преобладали злаки (более 92%). Фракция старики составила 16 г/м². На поверхности сформировалась подстилка, масса которой достигала 58 г/м². Подземная фитомасса составила 400 г/м².

В соответствии с развитием напочвенного растительного покрова и накоплением растительной морт-массы происходили изменения в субстрате. Однако при замедленном разложении отмершей растительной массы аккумуляция органического углерода в субстрате идёт медленно (табл. 4), что согласуется с данными наблюдений других исследователей за преобразованием техногенных субстратов [16]. Так, на поверхности субстрата опытных площадок образовался рыхлый слой отмерших растительных остатков (подстилка), под которым на четвёртый-пятый годы выделяется заметно уплотнённый массой корней растительный слой до 3(5) см. Однако морфологически (по окраске) гумусный слой ещё не выделился. Вместе с тем в нём уже была отмечена аккумуляция основных элементов питания (азота, фосфора, калия) по сравнению с показателями в исходном субстрате (табл. 4).

Как показали результаты рассмотренного опыта, сочетание интенсивных агроприёмов с использованием качественного посадочного материала – крупномерных саженцев сосны, лиственницы и берёзы с комом земли – обеспечивает высокую приживаемость древесных растений и активный их рост при одновременном развитии травянистого покрова, что в дальнейшем обеспечивает преобразование техногенного субстрата и формирование почвы как компонента лесной экосистемы [17].

Распространённое мнение о необходимости уничтожения напочвенного травянистого покрова при посадке лесных культур для улучшения роста древесных растений (конкуренция за элементы питания) не является обоснованным. При восстановлении лесных насаждений на посттехногенных землях севера таёжной зоны требуется улучшение субстрата, главную роль в этом процессе играет биологический способ.

Почва как компонент экосистемы развивается с запаздыванием по сравнению с растительным сообществом. Процесс почвообразования активизируется только после накопления некоторой критической величины растительной массы и продуктов её трансформации на/в субстрате.

Характеристика развития напочвенного покрова на площадках опыта (проективное покрытие по годам, %)

Площадка \ Вид	1				2				3			
	Количество лет от начала опыта											
	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
Высеянные травы												
<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub	2	6	10	7	2	1	1	4	2	2	2	1
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	1	3	<1	2	1	5	–		2	3	<1	<1
<i>Festuca rubra</i> L.	2	3	7	26	2	7	8	15	2	5	10	12
<i>Phleum pratense</i> L.	4	7	5	5	4	6	5	2	4	7	2	4
<i>Poa pratensis</i> L.	2	5	8	6	3	7	3	1	3	4	15	10
<i>Trifolium pratense</i> L.	1	1	<1	1	1	<1			1	<1		
Внедрившиеся виды												
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drey.				1								
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	<1	<1					1	2		1	3	11
<i>Calamagrostis lapponica</i> (Wahl.) Hartm.						<1	1	<1			1	4
<i>Carex arctisibirica</i> (Jurtz.) Czer.		<1	<1	<1								
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop	3	2	4	1	2	2	2	1	1	2	2	1
<i>Chenopodium album</i> L.		<1										
<i>Crepis tectorum</i> L.			1								<1	
<i>Dactylis glomerata</i> L.			<1	1								
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.			<1	<1		<1	<1	3		<1	<1	<1
<i>Empetrum hermaphroditum</i> (Lange) Hagerup	<1	<1	<1	<1								
<i>Equisetum arvense</i> L.	3	2	1	<1	4	2	2	2	4	4	3	3
<i>Erigeron acris</i> L.					<1	<1	<1	<1				
<i>Festuca ovina</i> L.	10	16	41	20	8	12	50	45	8	15	35	30
<i>Hieracium altipes</i> (Lindb. fil. ex Zahn) Juxip						<1						
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	1	3	<1	2	1	1	1	1	1	<1	1	1
<i>Rumex acetosella</i> L.					<1	<1	<1	<1	1	1	<1	<1
<i>Solidago virgaurea</i> L.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.							<1	<1				
<i>Tripleurospermum perforatum</i> (Merat.) M.Lainz	<1	<1										
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.		<1										
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	<1	<1	<1	<1								
Мхи												
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid	<1	<1	<1	5		<1	<1	<1		<1	<1	<1
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	<1	<1	1	<1		<1	<1	<1		<1	<1	<1
<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	<1	<1	1	1		<1	<1	4		<1	<1	4
Протогема мхов		21	32	30		9	15	15		14	20	20
Общее проективное покрытие	30	48	75	70	28	40	70	70	29	44	75	75
Число видов травянистых растений	18	18	17	17	13	16	15	15	11	13	14	13
Число видов мхов	3	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3

Примечание: пустые ячейки означают, что вид не отмечен.

Таблица 4

Изменение агрохимических показателей субстрата на опытных площадках по годам

Пло- щадка, №	Глубина взятия образца, см	рН _{водн.}	С, %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг/100 г в.с.п.			ммоль/100 г. в.с.п.	
исходный субстрат								
1	0-10	6,5	0,2	0,3	5,7	2,9	0,9	0,0
2	0-10	5,9	0,1	0,2	6,8	2,6	0,7	0,0
3	0-10	5,6	0,1	0,2	5,7	2,2	0,8	0,2
на второй год после посадки								
1	0-5	6,1	0,3	1,3	5,6	3,0	1,1	0,1
	5-10	6,1	0,2	0,3	3,4	1,8	1,0	0,4
2	0-5	5,8	0,5	1,5	7,2	5,3	0,8	0,6
	5-10	5,7	0,2	0,4	8,6	3,5	1,1	0,7
3	0-5	5,8	0,2	1,1	8,1	6,2	0,6	0,2
	5-10	5,8	0,2	0,4	9,2	4,8	1,2	0,2
на четвёртый год после посадки								
1	0-3	6,1	0,3	1,0	16,2	7,4	0,8	0,1
	3-15	6,0	0,1	0,2	5,7	3,9	1,3	0,2
	15-30	6,4	0,1	0,5	5,6	2,5	1,3	0,4
на пятый год после посадки								
1	0-5	5,1	0,2	1,5	11,1	13,4	0,7	0,2
	5-10	5,5	0,1	0,7	5,0	4,7	0,9	0,3
	10-15	6,0	0,1	1,0	6,5	4,1	0,9	0,3
	15-20	6,0	0,1	0,7	5,0	3,4	0,7	0,3
3	0-5	5,0	0,2	0,6	10,1	10,8	0,2	0,2
	5-10	5,3	0,1	0,3	6,6	4,3	0,4	0,3
	10-15	5,4	0,2	0,7	9,4	5,1	0,7	0,5

Проведённый опыт позволяет отметить возможность уже на первом («интенсивном») этапе схемы природовосстановления ускорения формирования лесной экосистемы. Обобщение результатов при продолжении наблюдений позволит дать рекомендации оптимизированной схемы «природовосстановления».

Литература

1. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. 244 с.
 2. Парфенов В.И. Адаптация видов растений на границах равнинных ареалов умеренной зоны // Изучение биологического разнообразия методами сравнительной флористики. СПб.: СПбГУ, 1998. С. 99–106 с.
 3. Басов В.А. Оперативный и многолетний прогноз вызревания семян и урожайности ели на Европейском Севере // Информационный листок № 15. Сыктывкар. 1987. 4 с.
 4. Басов В.А. Оперативный прогноз урожайности и вызревания семян сосны и многолетняя оценка каче-
- ства семян в таёжной зоне // Информационный листок № 14. Сыктывкар. 1987. 3 с.
5. Федорков А.Л. Адаптация хвойных к стрессовым условиям Крайнего Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 100 с.
 6. Капелькина Л.П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб: Наука ПРО-ПО, 1993. 192 с.
 7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Л.: Гидрометеоздат, 1989. Ч. 1. 483 с.
 8. Юдин Ю.П. Геоботаническое районирование // Производительные силы Коми АССР, М.-Л.. 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 323-359.
 9. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1975. 344 с.
 10. Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере, Сыктывкар. 1998. 12 с. (Научные доклады / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 412)

11. Лиханова И.А., Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М. Восстановление лесных экосистем на антропогенно нарушенных территориях подзоны крайнесеверной тайги европейского северо-востока России. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 112 с.

12. Полевая геоботаника. М.-Л.: Наука, 1964. 532 с.

13. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесная промышленность, 1964. 48 с.

14. Семенкова И.Г., Соколова Э.С. Лесная фитопатология. М.: Экология, 1992. 352.

15. Агрохимические методы исследования почв. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 556 с.

16. Абакумов Е.В. Накопление и трансформация органического вещества на разновозрастных отвалах песчаного карьера // Почвоведение. 2008. № 8. С. 955–963.

17. Посттехногенные экосистемы Севера. Спб.: Наука, 159 с.

ОБЩЕСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПРИ ДЕПАРТАМЕНТЕ РОСПРИРОДНАДЗОРА ПО ПРИВОЛЖСКОМУ ФЕДЕРАЛЬНОМУ ОКРУГУ

Федеральной службой по надзору в сфере природопользования в соответствии с приказом № 149 от 21.03.2011 г. утверждены положение, структура, состав Общественного совета при Федеральной службе по надзору в сфере природопользования и составы Общественных советов при Департаменте Росприроднадзора по 8 федеральным округам.

На основании утверждённого положения Общественный совет является постоянно действующим совещательно-консультативным органом. В его компетенцию входит:

- рассмотрение инициатив граждан РФ, общественных объединений, юридических лиц, органов государственной власти в области окружающей среды;
- осуществление научных экспертиз, проведение общественных слушаний по вопросам природопользования и охраны окружающей среды;
- разработка рекомендаций по проектам нормативных правовых актов, целевых программ и иных государственных документов в области природопользования и охраны окружающей среды;
- взаимодействие со средствами массовой информации по освещению вопросов на заседаниях Общественного совета, а также вопросов, связанных с перспективными направлениями развития в области природопользования и охраны окружающей среды;
- взаимодействие с органами государственной власти, местного самоуправления и институтами гражданского общества.

В состав Общественного совета при Департаменте Росприроднадзора по Приволжскому федеральному округу включены ведущие специалисты природоохранных органов, руководители предприятий, учёные, экологи: А. А. Синильщиков (г. Н.Новгород), Т. Я. Ашихмина (г. Киров), В. М. Боев (г. Оренбург), А. К. Веселов (г. Уфа), А. И. Иванов (г. Пенза), Е. С. Климов (г. Ульяновск), В. А. Круглов (г. Н.Новгород), А. П. Лепехин (г. Пермь), В. С. Наумов (г. Н.Новгород), А. К. Стрелков (г. Самара).

Эколого-биологические и лечебно-диагностические аспекты альвеококкоза

© 2011. С. П. Ашихмин¹, к.м.н., декан, И. А. Редькин¹, соискатель,
О. Б. Жданова^{1,2}, д.б.н., профессор, П. Г. Распутин¹, д.м.н., профессор,
Л. Р. Мутошвили², аспирант, Е. С. Ключкина¹, соискатель,
¹Кировская государственная медицинская академия,
²Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
e-mail: oliabio@yandex.ru

В статье приведены результаты эпизоотологических и эпидемиологических исследований. Изучено влияние объективных и субъективных причин ошибок в диагностике альвеококкоза. Кроме того, изучена возможность применения перфторана для борьбы с интраоперационным кровотечением.

The article presents the results of epizootic of epidemiological studies. The influence of objective and subjective reasons of diagnostic errors in alveococcosis diagnosis is considered. Besides, the possibility of using perfluorane to control intraoperative bleeding is investigated.

Ключевые слова: альвеококкоз, эпидемиология, эпизоотология, перфторан,
паразитозы человека, диагностика, хирургическое вмешательство

Key words: alveococcosis, epidemiology, epizootology, perfluorane,
humanorganism parasites, diagnostics, surgery

Альвеококкоз (alveococcosis; альвеолярный эхинококкоз, многокамерный эхинококкоз) – гельминтоз из группы цестодозов, характеризующийся тяжёлым хроническим течением, первичным опухолевидным поражением печени, нередко с метастазами в головной мозг и лёгкие, а также во многие другие органы. Часто заболевание заканчивается летально. По Международной классификации болезней МКБ-10 имеет код: B67.5 (Инвазия печени, вызванная *Echinococcus multilocularis*), B67.6 (Инвазии другой локализации и множественный эхинококкоз, вызванный *Echinococcus multilocularis*), B67.7 (Инвазия, вызванная *Echinococcus multilocularis*, неуточнена). Возбудитель – личинка (онкосфера) ленточного червя *Alveococcus multilocularis*.

В настоящее время описаны 16 видов и 13 подвидов рода *Echinococcus* (Rudolphi, 1801), из них *E. granulosus* (Batsch, 1786), *E. multilocularis* (Leukart, 1863), *E. oligarthus* (Diesing, 1863), *E. vogely* (Raush, Bernstein, 1972). *E. granulosus* (Batsch, 1786), *E. multilocularis* (Leukart, 1863) распространены в России, остальные встречаются в Центральной и Южной Америке. В течение последних лет неоднократно подчёркивалась важность штаммовой изменчивости в эпидемиологии *Echinococcus*.

Личиночная форма альвеококка представляет собой узел, состоящий из конгломерата ми-

кроскопических пузырьков, образующихся путём почкования, плотно прилегающих или сросшихся друг с другом. Полость пузырьков заполнена желтоватой вязкой жидкостью или густой тёмной массой. Альвеолярный эхинококкоз – наиболее тяжело протекающий гельминтоз человека, широко распространён среди животных.

Жизненный цикл. Попав в пищеварительный тракт промежуточного хозяина человека, онкосферы освобождаются от наружной оболочки, внедряются в толщу слизистой оболочки желудка или тонкого кишечника, проникают в кровеносные или лимфатические капилляры, далее в воротную вену и оседают преимущественно в печени, где личинки формируются в ларвоцисты. Не исключается возможность попадания части онкосфер в нижнюю полую вену, в правое предсердие и правый желудочек сердца и через малый круг кровообращения в лёгкие, а части – в большой круг кровообращения. Онкосферы могут быть занесены в любые другие органы, однако первичный альвеококкоз других органов встречается очень редко.

Онкосферы альвеококка, попавшие перорально в пищеварительный канал, оседают преимущественно в правой доле печени. Поражение других органов (лёгкие, головной мозг, почки, селезёнка, мышцы, брюшина, брыжейка) является следствием метастазирования.

Образовавшиеся в печени узлы представляют собой узлы продуктивно-некротического воспаления беловатого цвета, нередко – хрящевой плотности, на разрезе напоминают ноздреватый сыр [1, 2]. Размеры узла варьируют от 0,5 до 30,0 см и более в диаметре.

Альвеококковый узел может достичь поверхности печени, прорасти в соседние органы (почку), а также в диафрагму, кости и ткани – внепечёночное метастазирование.

При присоединении вторичной инфекции возникают холангиты, абсцессы печени, нагноение. Иногда развивается цирроз печени. При прорастании желчных протоков развивается механическая желтуха.

При альвеококкозе, помимо механического фактора генеза, имеют значение иммунологические, а на поздних – иммунопатологические механизмы, иммуносупрессивное, токсико-аллергическое воздействие. «Паразитарный рак» – обоснованное определение альвеококкоза печени.

Природный резервуар и окончательные хозяева альвеококков – песцы, лисы, волки, койоты и другие дикие животные. Заражение человека происходит при поедании печени заражённых промежуточных хозяев. Реже отмечают случаи заражения при употреблении в пищу дикорастущих ягод и трав, загрязнённых фекалиями животных. В Российской Федерации альвеококкоз распространён преимущественно на территориях Республики Саха (Якутия), Красноярского, Алтайского и Хабаровского краёв, в Томской, Омской и других областях. Спорадически заболевание также регистрируют в Татарстане и Башкортостане.

Так, например, в Якутии, по данным лечебных учреждений и прозектур за последние 20 лет, наблюдали 559 случаев альвеококкоза. Считают, что среди коренного населения один больной приходится на 400 человек, а в Вилюйске – на 250.

На втором месте по распространению альвеококкоза стоит Алтайский край, где зарегистрировано около 100 больных, почти такое же число случаев выявлено в Новосибирской и Камчатской областях. В Красноярском крае за 15 лет зарегистрировано 98 больных. Регулярно альвеококкоз встречается в Томской, Омской, Иркутской и Магаданской областях и Хабаровском крае. Около 300 случаев зарегистрировано в Казахстане.

Реже это заболевание встречается в Узбекистане, Кыргызстане, Таджикистане, Туркмении, Азербайджане, Армении, Грузии,

Молдавии и Украине. Неоднократно выявлялись больные альвеококкозом в Татарстане и Башкортостане.

Альвеококкоз – типичное природно-очаговое заболевание. На полуострове Таймыр альвеококки найдены у 64,1% вскрытых песцов и у 1 из 2 красных лисиц, реже у собак и волков. Личиночная стадия обнаружена у сибирского лемминга. Среди большого числа вскрытых животных в Магаданской области альвеококки были у 25,4% песцов, в то время как собаки (вскрыто более 800) оказались не заражёнными. Значительная поражённость песцов установлена на Чукотке. Подробное изучение распространения альвеококкоза в Камчатской области провела Т. А. Яковлева [2, 3]. Она исследовала более 7000 хищных животных и значительное число грызунов. Основная роль в распространении альвеококкоза на Камчатке принадлежит лисице, однако в населённых пунктах заражено до 2,7% собак. Ларвоцисты альвеококка обнаружены у красной полёвки, полёвки-экономки, лесного лемминга и ондатры.

В таёжной полосе и южнее основным окончательным хозяином альвеококка служит также лисица. Например, в Амурской области он установлен у 22,5% красных лис. В Омской области при вскрытии более 3000 млекопитающих ларвоцисты альвеококка обнаружены у ондатры, водяной крысы, лесной и полевой мыши, обыкновенной бурозубки, но наиболее часто они встречались у красносерой, узкочерепной, обыкновенной полёвки и полёвки-экономки.

У узкочерепной полёвки ларвоцисты альвеококка найдены в Тыве, там они обнаружены также у даурской песчанки. В Башкортостане половозрелые альвеококки обнаружены у красных лисиц и не выявлены у волков и собак. К. И. Абуладзе пишет, что при альвеококкозе, как правило, интенсивность и экстенсивность инвазии собак небольшая, за исключением Якутии [2, 3].

К сожалению, во многих районах РФ, в том числе в центральных областях России, исследования окончательных и промежуточных хозяев на альвеококкоз, как правило, не проводилось, хотя в России альвеококкоз человека в прошлом описывался в основном в центральных районах России и в Сибири.

Несмотря на то, что в настоящее время наблюдается тенденция к снижению заболеваемости альвеококкозом людей (6,4–6,6% от общего количества больных с поражениями печени), из года в год в нашей стране регистриру-

ется альвеококкоз у человека; а из-за того, что основная масса врачей практически незнакома с их диагностикой, абсолютное число больных поступает в гепатологические центры с тяжёлыми осложнениями (11,5% больных поступает в терминальной стадии). Нередко до постановки диагноза проходит от 1 до 32 лет. Так, например, в Кировской области за 30 лет в зональном центре удельный вес больных с альвеококкозом составил 28,4% среди больных с очаговыми заболеваниями печени, четверть из них – жители Кировской области. Хотя средний возраст больных составил 42 года, многие из них направлялись как неоперабельные. Учитывая широкое распространение альвеококкоза среди диких животных (13,3% диких лисиц, 12,5% волков заражены имагинальной стадией гельминта) и то, что, к сожалению, иммунологическая диагностика тканевых гельминтозов у человека в Кировской области не имеет широкого применения на местах, особенно среди сельского населения, можно предположить, что количество заболевших несколько выше. Диагностика альвеококкоза представляет определённые трудности для морфологов и клиницистов, и как следствие появление диагностических ошибок, чему способствуют:

Объективные причины: недостаточная разрешающая способность имеющихся в наличии методов обследования больных и сложность дифференциальной диагностики, недостаточная оснащённость медицинских учреждений диагностической аппаратурой, особенно в сельской местности, где в большей степени появляется возможность заражения тканевыми гельминтозами.

Субъективные причины: гипердиагностика аллергических реакций; неполное обследование больного, недостаточное использование диагностических методов, в том числе гистологических исследований; постановка диагноза на основании результатов одного малоинформативного метода исследования; отсутствие или недостаточно полная история заболевания больного; постановка диагноза только на основании клинической картины; чрезмерная самоуверенность врача, переоценка собственных возможностей и возможностей лечебного учреждения; недостаточная специализация, например, при диагностике паразитарных заболеваний печени [3, 4].

При вскрытии умерших людей также в сельской местности допускается масса морфологических ошибок:

Объективные причины:

– недостаточное оснащение и разрешающая способность имеющейся аппаратуры;

– невозможность широкого применения на местах гистологических, иммунологических и электронно-микроскопических методов исследования;

– очаговость поражения.

Субъективные причины:

– отсутствие связи и преемственности между клиницистом и морфологом;

– изучение патологического материала без использования гистологических методов;

– чрезмерная самоуверенность врача-прозектора, переоценка собственных возможностей и возможностей лечебного учреждения.

Из проведённого анализа следует, что причины клинических и морфологических ошибок чаще носят субъективный характер. Таким образом, сложная диагностика альвеококкоза и поздняя обращаемость больных обуславливают тот факт, что в лечебные учреждения пациенты поступают на поздних стадиях, с обширными поражениями печени, когда хирургическое вмешательство по поводу альвеококкоза печени, к сожалению, далеко не всегда гарантирует излечение пациента. Обширная резекция печени (ОРП) (с удалением 50–80% объёма органа) – единственный метод, позволяющий добиться радикального излечения или заметного продления жизни у больных с альвеококкозом. Однако это вмешательство продолжает оставаться операцией высоких рисков, среди которых на одном из первых мест стоит риск возникновения массивных интраоперационных кровотечений. Профузное кровотечение является ведущей причиной смерти больных во время ОРП. За последние годы кровопотеря при этих операциях значительно снизилась, но до настоящего времени остаётся существенной, превышающей по данным ряда авторов 2–4 л [4, 5].

Для борьбы с интраоперационным кровотечением весьма эффективным средством является пережатие печёночно-двенадцатиперстной связки (ПДС), по сосудам которой обеспечивается приток крови к печени. Однако этот приём небезопасен вследствие высокой чувствительности органа к ишемии и довольно быстро наступающих расстройств центральной гемодинамики, в связи с чем многие авторы рекомендуют ограничивать время окклюзии ПДС 15–20 минутами [6]. Однако нередко ситуации во время оперативного вмешательства, когда требуется прекратить приток крови к печени на более продолжительный срок. Длительная интраоперационная окклюзия ПДС уже сама по себе явля-

ется тяжелейшим испытанием для больного в условиях ОРП, а в сочетании с другими специфическими факторами, усугубляющими тяжесть оперативного вмешательства, чревата самыми неблагоприятными последствиями. В связи с этим поиск средств инфузионной терапии, позволяющих уменьшить ишемизацию печени, предотвращающих тем самым развитие реперфузионных нарушений, является актуальной задачей хирургической гепатологии. Исходя из данной задачи, нами была проведена серия экспериментов на животных (кролики) с целью оценки эффективности использования при пережатии ПДС эмульсионных инфузионных сред на основе перфторуглеродов, которые, как показало исследование их свойств, обладают полифункциональным действием.

Изучение перфторана – первого отечественного фармакопейного препарата этого класса – выявило у него газотранспортные, противоишемические, иммуотропные свойства, а также способность к усилению детоксицирующей функции печени. С учётом указанных свойств перфторан применяется в качестве кровезаменителя с функцией переноса кислорода и углекислого газа для уменьшения затрат донорской крови и эритроцитарной массы, как противошоковое, противоишемическое, кардиопротекторное и иммуномодулирующее средство [7 – 9].

В ходе экспериментов было установлено, что при сублетальной длительности пережатия ПДС у кроликов (20 мин.) страдает как сама печень (развитие жировой и белковой дистрофии, формирование некрозов), так и весь организм, в частности, развивается выраженный иммунодефицит с поражением центральных (тимус) и периферических (селезёнка) органов иммуногенеза с ухудшением исследуемых показателей от 1 к 3 суткам после операции. Сравнительный анализ полученных данных показал, что дооперационное введение традиционных инфузионных препаратов гемодинамического действия (полиглюкин) позволило лишь ненамного уменьшить деструктивное воздействие окклюзии ПДС на паренхиму органа и на иммунный гомеостаз животных, в то время как в условиях аналогичного по срокам и объёму введения перфторана наблюдалась практически полная нормализация структуры печени, иммунных органов, периферической иммунограммы и цитохимических показателей лимфоцитов. При критической ишемии печени (40 мин.) разработанная схема

инфузионной терапии на основе сочетанного периоперационного введения перфторана и полиглюкина обеспечила 100% выживаемость животных (способствуя восстановлению паренхимы печени и предотвращая развитие выраженной иммунодепрессии) против 65% в группе с изолированным введением полиглюкина. Полученные данные позволили рекомендовать включение перфторана в схемы инфузионной терапии при оперативных вмешательствах на печени по поводу альвеококкоза в условиях прекращения афферентного кровообращения с целью профилактики реперфузионных нарушений и иммунной недостаточности в послеоперационном периоде.

Литература

1. Баллад Н.Е., Гаврилова Е.М., Зорихина В.И. Эффективность применения иммуоферментного метода в диагностике эхинококкоза и альвеококкоза в зависимости от степени очистки антигена // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1979. № 2. С. 70–76.
2. Белозеров С.Н. Иммунологическая диагностика гельминтозов: Автореф. дис. ... докт. вет. наук. М. 1990. 44 с.
3. Масленникова О.В. Гельминтофауна промысловых животных в природных биоценозах Кировской области. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киров. 2005.
4. Журавлев В.А., Русинов В.М. Пути снижения кровопотери при резекциях печени // Актуальные вопросы трансфузиологии и клинической медицины: Тезисы науч.-практ. конф. Киров. 2005. С. 190–193.
5. Вишневский В.А., Назаренко В.А., Икрамов Р.З., Тарасюк Т.И. Пути улучшения результатов обширных резекций печени // Анн. хирург. гепатол. 2005. Т. 10. № 1. С. 12–17.
6. Рахимов Б.М., Леснин А.С., Федоров А.П. Хирургическое лечение очаговых поражений печени // Анн. хирург. гепатол. 1998. Т. 3. № 1. С. 19–22.
7. Иванецкий Г.Р. Донорская кровь и ее альтернативы // Перфторорганические соединения в биологии и медицине. Пущино. 1999. С. 146–151.
8. Багненко С.Ф., Мойсюк Я.Г., Резник О.Н. Противоишемическая защита почек у асистолических доноров с применением перфторана «in situ» // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии: Матер. XIII Междунар. конф. Пущино. 2004. С. 76–88.
9. Бакулин М.К., Дармова С.В., Бакулин В.М. Теория и практика использования перфторуглеродов «голубой крови» при глубинном культивировании биодефекторов // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 4. С. 4–14.

СИМПОЗИУМ «БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ»

На биологическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова в конце января состоялся симпозиум по биологически активным веществам микроорганизмов. Замечательно, что этот симпозиум был посвящён 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, профессора МГУ Николая Сергеевича Егорова.

Родился Николай Сергеевич 5 января 1921 года в деревне Попадкино Ивановской области. После окончания средней школы Н. С. Егоров сразу был призван на воинскую службу в составе Черноморского флота. С первых дней Отечественной войны участвовал в боевых действиях на территории Бессарабии, в обороне Одессы, Очакова, Севастополя и Новороссийска. В боях за Новороссийск Н. С. Егоров был ранен и после прохождения лечения в госпитале Коканда в 1942 году демобилизован.

В 1943 году Н. С. Егоров был принят в число студентов биолого-почвенного факультета МГУ, который окончил в 1948 году и был принят в аспирантуру. В 1952 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Условия образования стрептомицина», в 1965 году – докторскую диссертацию на тему «Образование микроорганизмами ряда антибиотиков и фибринолитических ферментов». После окончания аспирантуры был оставлен на кафедре микробиологии, где прошёл путь от ассистента до заведующего кафедрой. В феврале 1967 г. Советом Министров СССР назначен заместителем министра высшего и среднего специального образования СССР, где курировал Главное управление вузами, непосредственно подчинённое министерству. В августе 1967 г. по инициативе заведующего кафедрой микробиологии МГУ академика АН СССР В. Н. Шапошникова, добровольно ушедшего в отставку, ректором университета академиком АН СССР И. Г. Петровским Н. С. Егоров был назначен заведующим кафедрой микробиологии, которой руководил на общественных началах до октября 1989 года.

Вся научная деятельность Н. С. Егорова связана с биосинтезом микроорганизмами антибиотиков, полисахаридов, аминокислот, микробиологическим синтезом ферментов медицинского и иного назначения. Большая серия работ связана с условиями биосинтеза таких антибиотиков, как стрептомицин, хлортетрациклин, новобиоцин, актиномицин, грамицидин С, низин и др. Значительное место занимают работы по изучению образования микроорганизмами полисахаридов, их химического строения и роли в жизнедеятельности продуцентов. Впервые в СССР под его руководством были начаты и успешно развиваются сейчас исследова-

ния по образованию низшими грибами, актиноциетами и другими микроорганизмами ряда специфических протеиназ с фибринолитическими, плазмокоагулирующими и антикоагулянтными свойствами. Николай Сергеевич – автор 600 публикаций, имеет 76 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

За боевые заслуги и трудовые достижения профессор Н. С. Егоров награждён многими государственными наградами. Он полный кавалер ордена Отечественной войны (ордена II и I степени), дважды кавалер ордена Трудового Красного Знамени. Н. С. Егоров – лауреат Ломоносовской премии I степени за научную работу, Ломоносовской премии за педагогическую деятельность, премии Совета Министров СССР, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный профессор Московского университета.

С 1953 года (уже более 55 лет!) профессор Н. С. Егоров читает спецкурс «Антибиотики» для студентов V курса кафедры микробиологии, важнейшие положения которого отражены в концептуальном учебнике «Основы учения об антибиотиках», выдержавшем 6 изданий.

В настоящее время Н. С. Егоров – профессор Международного биотехнологического центра МГУ им. М. В. Ломоносова (МБЦ МГУ) по кафедре микробиологии, руководитель отдела промышленной микробиологии МБЦ МГУ.

Пленарную сессию симпозиума открыл заведующий кафедрой микробиологии МГУ, профессор А. И. Нетрусов. В своём докладе «Антибиотики – взгляд в будущее» он изложил основные перспективные направления развития биотехнологии антибиотиков во всём мире. Второй доклад пленарной сессии «Микробная биотехнология (становление и состояние)» был сделан юбиляром, профессором Н. С. Егоровым. В докладе автор изложил историю становления и достижений биотехнологии в Советском Союзе, а также проанализировал современное состояние этой отрасли в России. Автор отметил, что микробная биотехнология антибиотиков в современной России во многом утратила свои позиции по сравнению с Советским Союзом. В настоящее время в нашей стране практически прекращён выпуск субстанций антибиотиков, а вся фармацевтическая промышленность занимается в основном фасовкой импортного сырья.

Массовое применение различных антибиотиков в медицине и сельском хозяйстве привело к появлению у микроорганизмов множественной устойчивости к этим веществам. Этой проблеме был посвящён доклад однофамильца юбиляра, профес-

сора химического факультета МГУ А. М. Егорова. Большинство антибиотиков являются веществами β -лактаминового ряда, которые быстро расщепляются ферментами – β -лактамазами. Гены, кодирующие синтез β -лактамаз, представляют собой «кассетный» комплекс, ассоциированный с мобильными элементами плазмид. Благодаря такой организации генов множественной устойчивости к антибиотикам они быстро распространяются в популяциях не только между штаммами одного вида, но и между бактериями разных видов. Автор также отметил в своём докладе, что в последнее время были открыты бета-лактамазы расширенного спектра действия (БЛРС). Один из таких ферментов – метало-бета-лактамаза-1 был обнаружен в популяциях энтеробактерий в Нью-Дели (<http://medforce.ru/Novosti-medicini/Gen-NDM-1-delaet-bakterii-ustoiachivim-k-deiestviyu-daje-samix-silnix-antibiotikov.html>). Приобретение энтеробактериями гена НДМ-1, который кодирует синтез метало-бета-лактамаза-1, привело к появлению штаммов, устойчивых почти ко всем антибиотикам, используемым в медицинской практике. Таким образом, антибиотики являются экологическим фактором, способствующим накоплению в окружающей среде устойчивых популяций патогенных бактерий. В заключение доклада автор предложил запретить использование антибиотиков не в медицинских целях, например, в сельском хозяйстве и активизировать поиск продуцентов антибиотиков пептидной природы, которые не подвержены действию бета-лактамаз.

В микробных сообществах антибиотики играют роль конкурирующего фактора, который способствует освоению экологических ниш. Вопросу экологической роли антибиотиков в экосистемах был посвящён доклад профессора кафедры биологии почв П. А. Кожевина. Знания о биологии продуцентов антибиотиков, их конкурентных взаимоотношениях с другими популяциями микробов в экосистемах позволяют целенаправленно вести поиск микроорганизмов, продуцирующих новые, неизвестные ранее антибиотические вещества. Примером такого целенаправленного поиска может являться антибиотик рапамицин, или сиролimus. Этот антибиотик был выделен из почвенных бактерий *Streptomyces hygroscopicus*, найденных на острове Рапа Нуи (о. Пасхи) ещё в 1975 году. Рапамицин представляет собой макролидный антибиотик, который впервые был открыт в качестве противогрибкового агента. Однако в результате исследований этого антибиотика сотрудниками Национального института геронтологии (США) было установлено, что рапамицин обладает противоопухолевыми свойствами, может использоваться в качестве иммунодепрессанта при пересадке органов

и тканей и почти на 40% продлевает жизнь лабораторным животным. С лёгкой руки средств массовой информации (<http://science.computenta.ru/440269/>) рапамицин был назван «эликсиром жизни». Таким образом, изучение микробных сообществ природных биоценозов сулит ещё много открытий лекарственных веществ.

После пленарного заседания начали работу три секции: 1. «Биологически активные вещества микроорганизмов и межмикробные взаимодействия»; 2. «Антибиотики»; 3. «Бактериофаги и ферменты». Роли биологически активных веществ в метаболизме антибиотиков и регуляции ростовых процессов их продуцентов были посвящены доклады Ботвинко И. В. (Москва) – «Экзополисахариды бактерий...», Рыжкова Е. П. (МГУ, Москва) – «Биологически активные вещества в биологии продуцентов...», Дерябина Д. Г. (Оренбург) – «Бактериальные авторегуляторы...». В докладах Захарченко Н. С. (ИБХ РАН, Пущино) – «Роль ассоциативных микроорганизмов...» и Широких А. А. (НИИСХ Северо-Востока РАСХН, Киров) – «Реакция меристемных растений...» сообщалось о роли биологически активных соединений во взаимодействиях растений и микроорганизмов. Особенно интересными были доклады Иваница В. А. (Одесский ГУ) и Колотиловой Н. Н. (МГУ, Москва), посвящённые вкладу русских учёных в развитие мировой микробиологии.

Во второй секции, посвящённой собственно антибиотикам, прозвучали доклады об антимикробных пептидах и белках (Юдин Т. Г., МГУ, Москва), антимикробной и противоопухолевой активности грибов *Trichoderma* (Садыков В. С., МГУ, Москва), биологически активных веществах продуцентов авермектинов (Белявская Л. А., Киев). Очень интересным и познавательным было сообщение Полина А. Н. (МГУ, Москва) об истории изучения антибиотиков на кафедре микробиологии МГУ.

На секции «Бактериофаги и ферменты» следует отметить интересные доклады: Золотухина С. Н. (Ульяновск) о бактериофагах патогенных энтеробактерий, Куракова А. В. (МГУ, Москва) о стратегии поиска микромицетов-продуцентов ферментов для медицины и биотехнологии, Михайлова Р. В. (Минск) о синтезе грибных редуктаз. Не менее интересными были и доклады других авторов, посвящённые проблемам биологии бактериофагов и ферментам микроорганизмов.

На секционном заседании «Горизонты науки и биотехнологии» были представлены доклады и сообщения молодых учёных и аспирантов.

В перерывах между заседаниями секций в рекреационном зале факультета проводилась сессия постерных докладов. Было представлено около 30 докладов.

На заключительном пленарном заседании под председательством профессора Нетрусова А. И. были выработаны и приняты решения о работе симпозиума. В заключении с поздравлением юбиляра профессора Н. С. Егорова выступили проректор МГУ П. В. Вржещ, декан биологического факультета М. П. Кирпичников, академик Г. В. Добровольский, сотрудники МБЦ МГУ и кафедры микробиологии. Декан биологического факультета М. П. Кирпичников в связи с 90-летием вручил Н. С. Егорову нагрудный знак МОИП «За заслу-

ги». В своё время этим знаком были награждены ректор МГУ академик В. А. Садовничий, академик Г. В. Добровольский, а также Дж. Уотсон.

Завершил работу симпозиума профессор А. И. Нетрусов, который в своём заключительном слове выразил надежду на дальнейшее развитие науки об антибиотиках в России.

*А. А. Широких, д.б.н.,
ГНУ НИИСХ Северо-Востока
Россельхозакадемии*



ПРИГЛАШАЕМ УЧИТЬСЯ!

**Химический факультет
Вятского государственного гуманитарного университета
проводит приём в 2011 году:**

В аспирантуры по специальностям:

- 03.02.08 Экология
- 25.00.36 Геоэкология

Приём документов – с 15 мая по 30 июня.

Контактные телефоны: (8332) 33-11-95 (деканат химического факультета); 37-38-72 (отдел аспирантуры и докторантуры).

В магистратуры по направлениям подготовки:

- 020800.68 – Экология и природопользование (магистерская программа «Геоэкология»)
- 020100.68 – Химия (магистерская программа «Химия окружающей среды, химическая экспертиза и экологическая безопасность»)

Срок обучения – 2 года, форма обучения – очная.

Вступительное испытание – комплексный экзамен по направлению подготовки

Приём документов – с 15 июня до 25 июля.

Контактные телефоны: (8332) 33-11-95 (деканат химического факультета); 67-87-78 (приёмная комиссия).

Абитуриентов на специальности и направления подготовки:

- 022000.62 Экология и природопользование (профиль – Экология; квалификация: бакалавр).

Срок обучения – 4 года, форма обучения – очная.

Вступительные испытания: география (ЕГЭ), математика (ЕГЭ), русский язык (ЕГЭ).

- 020100.62 Химия (квалификация: бакалавр).

Срок обучения – 4 года, форма обучения – очная.

Вступительные испытания: химия (ЕГЭ), математика (ЕГЭ), русский язык (ЕГЭ).

- 020201.65 Фундаментальная и прикладная химия (квалификация: специалист).

Срок обучения – 5 лет, форма обучения – очная.

Вступительные испытания: химия (ЕГЭ), математика (ЕГЭ), русский язык (ЕГЭ).

Приём документов – с 15 июня до 25 июля.

Контактные телефоны: (8332) 33-11-95 (деканат химического факультета); 67-87-78 (приёмная комиссия).

СЛОВО О БОЛОТАХ

Мхов ковёр зелёный, тонкий,
И вода под ним на дне...
Да корявые сосёнки
Притаились в тишине.
Запах трав болотных бродит,
Изнуряет и томит...
От багульника исходит,
Рядом с ним болотный мирт.
Голубеет голубика,
Воском ягоды обдав,
Мир невидимый и дикий
Влаги, запахов и трав.
Барабанит дятел внятно
По источенной ольхе,
И копыт лосиных пятна
Отпечатались на мхе...
Клюквы красные разливы
Потянулись из земли,
Осень голосом тоскливым
Накликают журавли.

В представлении некоторых горожан болота – это бросовая земля, комариное царство, источник болезней. А на деле совсем не так! Болота – это ценнейший торф, запасы которого в стране и области велики. Но надо иметь в виду, что торф – это невозобновимое природное сырьё. О торфе очень образно сказал писатель Михаил Михайлович Пришвин: «Болото со всеми запасами горючего торфа есть кладовая солнца». В настоящее время торф используется как удобрение, как топливо, используется также в химической промышленности, в медицине, в строительном деле.

Не надо забывать, что болота – это мощные хранилища природной влаги. Ведь именно в болотах Тверской области вырвалась на свет могучая русская река Волга, а в болотах Удмуртии с маленького ручейка начинается река Вятка.

При осушении болота уровень грунтовых вод в прилегающей местности снижается на площади в четыре раза превышающий размер болота.

Примеры отрицательного влияния массового осушения болот можно привести по нашей области.

Многим памятен 1972 год, когда в засуху торф горел и дымил от Кирова до Москвы.

При понижении уровня грунтовых вод исчезают пруды, озёра, мелеют реки. Вот почему надо очень внимательно относиться к выбору объекта для осушения.

Верховые и переходные болота – это богатые ягодники с клюквой, голубикой и брусникой.

С гектара болота можно получить 200–300 кг клюквы, которая имеет пищевое и лекарственное значение и служит предметом экспорта.

Болота богаты ценными лекарственными растениями. Здесь находят приют многие виды птиц и зверей. Это – ценные охотничьи угодья. Безвозвратно гибнет болото при торфодобыче, так как снижается основной слой торфяной залежи и остаётся не имеющий плодородия массив.

Деградируют болота и при пожарах, которые бывают на торфяниках. Если пожары повторяются через 20–30 лет, то возобновление древесного яруса задерживается, гибнет флора и фауна. На месте пожара образуется пустошь.

Моховой и лишайниковый покров восстанавливается очень медленно.

Болота испытывают негативное влияние человека от загрязнения воды, воздуха, под воздействием сточных вод животноводческих комплексов, при частом посещении человеком болотных систем, особенно в местах кострищ и лагерных стоянок.

В Кировской области разведано 1739 болот площадью 500 тысяч гектаров (4% территории области). Основные торфяные ресурсы сосредоточены на 54 крупных массивах. 10 болот имеют площадь свыше 5 тысяч гектаров. Самое крупное болото Дымное имеет площадь 34,5 тысячи гектаров (Верхнекамский район). Болото Пищальское в Оричевском районе занимает площадь – 18,6 тысячи гектаров, болото Кайское в Подосиновском районе – 10,5 тысячи гектаров.

В последние годы выявлены новые возможности торфа. Из него получают ряд ценнейших медицинских и химических препаратов.

На плодородных почвах низинных торфяников можно выращивать высокие урожаи сельскохозяйственных культур (Кировская лугоболотная станция, СПК имени Степана Халтурина и «Новый путь» Орловского района, хозяйство «Русское» Кирово-Чепецкого района и другие хозяйства).

В области выделены болотные резервы. Это болота, не подлежащие осушению и торфоразработкам, и болота, подлежащие освоению в естественном состоянии.

Болота – это молодость земли!

*С. Ф. Тихвинский, д.с.-х.н., профессор
Вятской государственной
сельскохозяйственной академии*