



Материалы всероссийской  
научной школы для молодежи

**Инновационные  
методы и подходы  
в изучении  
естественной и антропогенной  
динамики окружающей среды**

Лекции

ЧАСТЬ 1

Киров  
2009

**Федеральное агентство по науке и инновациям**  
**Вятский государственный гуманитарный университет**  
**Учреждение Российской академии наук**  
**Институт биологии Коми НЦ Уральского отделения РАН**  
**Учреждение Российской академии наук Институт географии РАН**  
**Государственный природный заповедник «Нургуш»**

**МАТЕРИАЛЫ**  
**ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ДЛЯ МОЛОДЕЖИ**  
**«ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ**  
**В ИЗУЧЕНИИ ЕСТЕСТВЕННОЙ И АНТРОПОГЕННОЙ**  
**ДИНАМИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

**ЛЕКЦИИ**

**ЧАСТЬ 1**

**Киров 2009**

ББК 20.1в  
И 66

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Вятского государственного гуманитарного университета*

Редакционная коллегия:

Т. Я. Ашихмина, профессор, д. т. н.,  
В. П. Савиных, профессор, д. т. н.  
Л. И. Домрачева, профессор, д. б. н.,  
И. Г. Широких, профессор, д. б. н.,  
А. М. Прокашев, профессор, д. с.-х. н.,  
Н. П. Савиных, профессор, д. б. н.,  
А. И. Таскаев, в. н. с., к. б. н.  
Ю. А. Бобров, доцент, к. б. н.,  
И. А. Жуйкова, доцент, к. б. н.,  
С. Ю. Огородникова, с. н. с., к. б. н.

Сборник материалов издан при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (Госконтракт № 02.741.11.2088). ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

**И 66** Инновационные методы и подходы в изучении естественной и антропогенной динамики окружающей среды: Материалы всероссийской научной школы для молодежи (в 3 частях). Часть 1. Лекции. (Киров, 30 ноября – 5 декабря 2009 г.). – Киров: ООО «Лобань», 2009. 223 с.

ISBN 978-5-85908-165-3

В сборнике представлены лекции, прочитанные ведущими российскими учеными по направлениям всероссийской научной школы для молодежи: методология научных исследований; биологические аспекты экологических исследований; палеогеографические исследования эволюции растительности, климата, почв и ландшафтов; экологические исследования в оценке состояния окружающей среды.

Материалы сборника предназначены для студентов, аспирантов, молодых ученых, научных сотрудников, преподавателей вузов, специалистов природоохранных служб.

ISBN 978-5-85908-165-3

ББК 20.1в

© Вятский государственный гуманитарный университет, 2009

# СОДЕРЖАНИЕ

## МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

<i>Сауров Ю. А.</i> Основы методологии деятельности научной школы .....	4
<i>Ашихмина Т. Я.</i> Методология комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного загрязнения.....	14

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

<i>Широких А. А.</i> Грибы в наземных экосистемах .....	40
<i>Тарасова Е. М.</i> Динамика флоры естественных и антропогенных экосистем.....	52
<i>Савиных Н. П.</i> Биоморфологические аспекты экологических исследований.....	61

## ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ, КЛИМАТА, ПОЧВ И ЛАНДШАФТОВ

<i>Пахомов М. М.</i> Последовательная смена ландшафтов Северной Евразии в связи с эволюцией климата в кайнозое .....	74
<i>Пахомов М. М.</i> Смены эколого-климатических обстановок на пространстве Северной Евразии за последние 130 тысяч лет.....	95
<i>Борисова О. К.</i> Методы реконструкции растительности и климата по палинологическим данным .....	107
<i>Прокашев А. М.</i> Почвы с полигенетическим профилем как маркеры истории почвенного покрова Вятского Прикамья.....	119
<i>Прокашев А. М.</i> Истории развития почвенного покрова Вятского Прикамья в послеледниковье .....	131

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Домрачева Л. И.</i> Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий .....	148
<i>Широких И. Г.</i> Биотехнологические методы повышения стрессоустойчивости растений к неблагоприятным экологическим факторам .....	160
<i>Головко Т. К.</i> Методы и подходы экологической физиологии растений для целей биомониторинга .....	172
<i>Кочуров Б. И.</i> Экодиагностика территорий .....	183
<i>Кочуров Б. И.</i> Землепользование и землеустройство на региональном и муниципальном уровнях .....	194
<i>Кочуров Б. И.</i> Эффективность регионального природопользования и устойчивое развитие .....	205

# МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

*Ю. А. Сауров*

*д. пед. н., профессор кафедры дидактики физики и математики,  
Вятский государственный гуманитарный университет, vshu@inbox.ru*

«Для того, чтобы мы могли увидеть  
какую-то область явлений, нужно иметь  
соответствующий схематизм».

Г. П. Щедровицкий

**I. О методологии деятельности научной школы.** Сначала фактически речь идет о поиске схематизмов (идей, механизмов, моделей, принципов и т. п.), которые и дают возможность представить (определить) деятельность научной школы. Объектом представления, по-видимому, является познавательная, просветительская, образовательная, практическая деятельность ученых, взятая в историческом, методологическом и социальном аспектах. Предмет же мы видим в особенностях становления и функционирования научной школы, в особенностях развития её как вида практики.

Научная деятельность с необходимостью возникает тогда, когда существующими средствами уже нельзя решить ту или иную задачу. Если старые нормы не работают, то, как считают методологи, создание новых норм регулируется сначала просто фактором приближения к цели. Потом эти идеи, положения сглаживаются, уточняются, закрепляются в каком-либо языке. Переход от старых норм к новым нормам труден, психологически весьма болезненный. Именно в этом мы видим причину непонимания одних специалистов другими. Именно здесь кроется объяснение борьбы за новое, за познание, за истину. В научной школе, где по определению предполагается принципиально новая постановка и решение проблем, такая борьба может объективно приобретать особую остроту. Причем как внутри научной школы, так и вне её. Это является одним из проявлений действительно новых, а отсюда и неожиданных решений.

Научная школа в первом приближении может быть определена как неформальная научная соорганизация ученых для выполнения исследований. Несомненно, это историческое образование, обычно связанное с лидирующей деятельностью ведущего (крупного) ученого; несомненно, также, что это некая социально-производственная структура с целым рядом типичных функций организации. Обычно научная школа существует как некое объединение в рамках какой-либо научной, учебной или производственной организации. Для системного видения деятельности научной школы необходимо выделить следующие элементы: состав и структура, материальная и духовная база, методологический аппарат и инструментарий, процедуры, методики и стиль исследовательской

деятельности, продукты и иные результаты деятельности, проблемы. В целом научная школа понимается как некая устойчивая социальная (научная) машина по производству коллективно значимого интеллектуального продукта (идей, знаний, норм деятельности и др.).

**Структура и состав.** Структура научной школы может быть описана в историческом (этапы развития), кадровом (состав), функциональном (роли, темы, инструменты познания), организационно-управленческом (индивидуальная работа, аспирантура, докторантура, журнал, конференция и др.) аспектах. Элементами структуры школы, очевидно, являются: исследователи; такие субъекты деятельности как кафедра, факультет, лаборатории; конференция, журнал, опытные площадки; процедуры познавательной (исследовательской) деятельности; духовные традиции (принципы, нормы культуры) и др.

**Материальная и духовная база.** Обратимся только к характеристике теоретической (мыслительной) деятельности. Во-первых, важна открытость деятельности, во-вторых, существенной является деятельность по координации других деятельностей в данной области, в-третьих, в конкретном деле, например, экспериментальном исследовании свойств почвы, деятельность не замыкается на технике, а интегрирует методологию познания, физику, химию, биологию, географию и др. Однако подчеркнем, что никакой реальный мир без идеального не построить, и важно увидеть в практике любой познавательной деятельности как раз построение идеального мира, т. е. идей, принципов, моделей, закономерностей.

Характерно, что все виды деятельности в явном виде присутствуют в деятельности научной школы: практическая деятельность, коммуникация, рефлексивная деятельность, в том числе по оцениванию реальности, понимание и теоретическое мышление (конструирование) в заданной предметной области. Для согласования этих деятельностей необходимыми являются а) инструменты методологии по организации, кооперированию, схематизации этой деятельности, б) формы коллективной (рефлексивной) деятельности – семинары, конференции, диалог.

**Методологические основы.** Принципиальный фактор: научная школа должна точно выдерживать длительное время направление исследований. Это направление должно хорошо идентифицироваться, глубоко и широко по собственно научному и прикладному потенциалу. Решаются всегда в основном две группы научных целей: а) разработка и воспроизводство методов и методик исследования (экспериментирование, моделирование и др.) в данной области познания, б) получение нового научного продукта (знаний, методик, образцов техники и др.).

На начальном этапе развития научной школы обычно духовным источником, ориентировкой, ядром будущей коллективной деятельности является индивидуальное творчество. Затем в него вовлекаются другие субъекты, формируется кооперативная деятельность, развивается специализация, растет производительность деятельности... Так создается «научная машина» под названием научная школа. На этом этапе существенной работой является выделение, формирование и признание общих норм познавательной деятельности в форме ме-

тодологических правил, принципов: цели и направление деятельности, нормы и правила деятельности с объектами научной деятельности, правила разделения индивидуального и коллективного научного продукта, процедуры согласования экспериментальной и теоретической работы, нормы отношения к фактам, к деятельности других научных школ и др. Важной для научной школы является представление интеллектуального продукта в максимально конкретной (обобщенной), воспроизводимой, материальной форме (опыты, установки, знаковые системы и др.).

Жизненность функционирования научной школы обеспечивается: а) стратегической задачей трансляции и освоения «опыта творчества» в данной области познания, в том числе в форме воспроизводства норм метода научного познания (исследовательской деятельности), а в итоге – теоретического мышления, б) освоения мотивов (ценностей и т.п.) самой деятельности, в) постоянным воспроизводством реальной познавательной деятельности во всем богатстве процессов и результатов (моделирование, экспериментирование и др.).

**Процедуры деятельности.** Хранителем Духа познания школы является научный руководитель, нередко её основатель и лидер. Особенности его стиля научной и образовательной деятельности имеют существенное значение. Стиль деятельности имеет основанием научную картину мира, т.е. основные принципы, системы знаний, методы и приемы исследования. Трудолюбие, ориентир и работа на идею, научная корректность и честность в разработках, аккуратность в деталях... – вот типичные черты стиля научного руководителя. Очевидно, что эти качества используются как инструментарий для управления деятельностью учеников и сотрудников.

За публикациями реконструируются следующие типичные **познавательные действия**: выделение, построение естественнонаучного феномена (явления), материальное, техническое и идеальное представление его в наиболее простом и «чистом» виде, конструирование элементарной теории, поиск эффективных приемов изучения и описания, трансляция результатов. Существенными для научной школы являются и **социальные действия**: вовлечение в методическое творчество студентов, кооперация с другими специалистами страны, постоянные публикации экспериментальных исследований, борьба за точность и корректность научных фактов и др. Типичными для научной школы являются следующие особенности **исследовательской** деятельности: конкретное отношение к экспериментам; тесное сочетание индивидуальной и коллективной работы (сотворчество), при приоритете коллективных действий; жесткий ориентир на конкретный научный продукт с четкой новизной; профессиональное знание предмета; активность в отстаивании истинности своих моделей и решений и др.

**Продукты деятельности.** Назовем некоторые требования к продуктам деятельности научной школы: ежегодные публикации десятков статей, несколько условно в объеме 4 п.л. для научного работника в год; обобщающие статьи в ведущих научных журналах, периодически выходящие монографии и учебные пособия; постоянное проведение научных (Всероссийских) конференций, постоянная защита кандидатских диссертаций, подготовка докторских

диссертаций, участие во внедрении в практику результатов научной деятельности и др.

И все же основным продуктом, по нашему мнению, является сам механизм работы научной школы, который **воспроизводит** дух и процедуры науки. Содержательно речь идет о воспроизводстве и трансляции метода научного познания в физике вместе с мировоззренческими обобщениями. В самом широком смысле это процедуры коллективной и индивидуальной деятельности по тематике научной школы. Для прикладных исследований это разработка новых технологических и технических решений, прямо нацеленных на использование в практике. В превращенной форме эти продукты несут образцы творческой деятельности. Например, в технике нового опыта (установки) «заключена, зашифрована» деятельность экспериментирования в единстве техники опыта, теории явления, методики наблюдения и фиксирования данных... За освоением именно этой деятельности всегда будут стоять успехи.

**Проблемы функционирования и развития.** Первой, ключевой (организационно-содержательной) проблемой является построение вертикали по подготовке, воспроизводству ученых и научной школы в целом: докторантуры и подготовки докторов наук, формирование специализированных научных лабораторий, формирование специализированного диссертационного совета и иных структур, т. е. в целом необходимо **усложнение структуры** функционирования научной школы. Второй проблемой считаем **совершенствование методологии** исследований по выбранному направлению, на этой основе выполнение обобщающих теоретических работ, издание научных методик и др. Третья проблема выражается в переходе от этапа накопления опыта деятельности к этапу получения широкого **социального эффекта**, что требует дополнительных процедур деятельности. Это могут быть семинары, практикумы, курсы лекций по методикам исследования др.

**II. Вопросы методологии научного познания.** Научная школа воспроизводит познавательную деятельность с некой спецификой методологии научного исследования. Если для всего естествознания метод познания был сформулировать классиками (Г. Галилей, Ф. Бэкон, А. Эйнштейн и др.), то методология исследования, особенно по части специальных приемов, может быть уникальной, нести в себе тонкие и особые виды деятельности. Успешность этих деятельностей определяет продуктивность научной школы, позволяет её идентифицировать. Обратимся сначала к **методу познания**.

Успехи современной цивилизации базируются на гипотетико-дедуктивном методе науки нового времени (начиная от Галилея до Эйнштейна и современных физиков, биологов, конструкторов, медиков и т.д.). Мощь этого метода мыслительной деятельности, метода познания мира оказалась настолько значительной, что позволила создать цивилизацию машинного типа, развитию которой пока нет конца. И альтернативы пока тоже нет. Попытки психологии, политологии или даже политехнологии (и других идеологических инструментов) стать движителем познания и преобразования – пока ещё робкие попытки. Не случайно сейчас в науке и образовании вновь в полной мере стал актуальным и реализуется современный научный метод классического естествознания.



Движение в этом направлении было всегда, но сейчас, после периода охлаждения, принимается стратегическое значение этих норм познавательной и преобразующей деятельности.

Основателем научного метода естественнонаучного познания считают Г. Галилея, который отверг существовавшее до него представление о том, что человеческий разум непосредственно воспринимает знания из внешнего мира. Таким образом, он отделил мир природы от мира науки, фактически сделав научное мышление инструментом социальных по масштабу открытий. Галилей пришел к фундаментальным открытиям, считая гипотезу центральным моментом познания. Гипотеза – синтез рационального (фактов) и творческого (воображения). Благодаря гипотезам научная теория стала выполнять не только объяснительную, но и предсказательную функцию. Поскольку гипотеза – всегда творение разума, она может считаться достоверной только после практической (экспериментальной) проверки.

Научный метод познания вооружил человечество поразительной мощью обобщения. Великий Максвелл выразил все достижения электродинамики в четырех уравнениях. Восхищенный внутренней и внешней красотой этих математических уравнений другой гениальный ученый, немецкий физик Больцман, выразил свой восторг стихами, начинавшимися фразой: *War es ein Gott der diese Zeichen schrieb?..* (Не бог ли эти знаки начертал?..)

До начала XX века модельные гипотезы в науке воспринимались адекватно, почти тождественно изучаемым явлениям, что сейчас, к сожалению, распространено при обучении. Но революция в физике и вообще в познании состояла а) в отказе от классических моделей, в построении новых моделей, б) в выяснении гносеологической ограниченности любых моделей. Любая модель «работает», т. е. верно отражает суть явления, лишь в определенных границах. Постоянный поиск истинности знаний (понятий, законов) достигается в науке благодаря их неразрывной связи со всей суммой экспериментальных данных, с практикой деятельности. Цикл познания по А. Эйнштейну начинается с опыта и кончается экспериментом.

В целом **логика метода научного познания** представлена следующей последовательностью действий:

– обобщение определенной группы фактов и постановка проблемы, причем в роли фактом могут выступать факты опыта, факты деятельности, факты истории, факты знания и др.,

– выдвижение обоснованного предположения, дающего ключ к решению поставленной проблемы, т.е. гипотезы в виде функциональной зависимости величин, либо в виде модели изучаемого объекта или явления,

– вывод из гипотезы строго логических следствий, которые позволяют объяснить наблюдаемые явления или предвидеть новые явления,

– экспериментальная проверка следствий, а таким образом и гипотезы, эффективное использование знаний практикой и признание актуальности, ценности, истинности знаний.

Метод естественнонаучного познания оказал и оказывает существенное влияние на культуру вообще. (Отдельно о материальной культуре и не гово-

рим!) Не случайно, например, такая элитарная область гуманитарного знания как методология при своем развитии опиралась и опирается в первую очередь на достижения естествознания (Г. П. Щедровицкий, В. С. Степин, Т. Кун, К. Поппер и др.). Этот метод вскрывает природу понятий, дает инструменты их эффективного построения и использования, здесь вскрывается социальная природа идеальных образований, любого мышления (К. Маркс, Э. Ильенков и др.). На этой основе решаются проблемы языка описания, представления. Сейчас метод настолько значимо дает видение реальности, что об объектах природы под его углом зрения говорят как об «естественно-искусственных». Отсюда научный метод сближает объекты естествознания и объекты инженерии, культуротехники, в целом культуры. Сейчас системы гуманитарных знаний в традициях своих форм и языка прямо или косвенно используют логические, знаниевые структуры, наработанные, например, в физике. Фундаментальные понятия пространства, энергии, времени, открытой и закрытой системы (и т. п.) были эффективно обжиты в гуманитарных науках. Примеров тут не счесть. И самое главное, «зигзаги» мыслительной деятельности, мыследеятельности, освоенные в творческой лаборатории естествознания, переносятся через коммуникации в гуманитарные области и дают там свои плоды.

Метод научного познания помогает на практике преодолевать грань культуры и социализации. Известно, что встраивание в структуры и деятельности общества нередко связано не с усвоением культурных норм. Мы видим результаты воспроизводства лжи, обмана и др. И это даже востребовано. Но это никогда не будет культурной нормой в рамках классического понимания культуры. А метод, задаваемый как культуросообразная деятельность, ведет к изменению мира, к практике, к реальной жизнедеятельности, а отсюда – к социализации. Он – носитель идеальных норм культуры, а отсюда – «хранитель» традиций деятельности, смыслов и процедур познания.

В начале XXI века со всей очевидностью проявилась, обозначилась относительная ценность любых знаний. Отношение к замкнутым знаниям, к формальным знаниям быстро деградирует, формальные знания становятся безнравственными. Только функционирование системы знаний как метода дает устойчивый эффект в познании и преобразовании мира. А значит, такие системы будут востребованы, потребность в них растет. Здесь кроется причина эффективности метода научного познания. Метод модельных гипотез, отработанный до деталей в физике, позволяет образованным людям легко преодолевать барьеры между языками культурных достижений разных эпох, разных школ, разных стран. Так воспроизводится единство культуры. Научная школа – один из инструментов решения такой глобальной задачи.

Но для успеха научной деятельности мало владеть общими представлениями о методе научного познания, нужно владеть техниками, в том числе методологическими. Обозначим некоторые из них.

**Отношение «объект – предмет».** В познании первично мы имеем дело с понятиями. Но задают (обозначают) они принципиально разные миры. Первый – это реальность, представленная особенно явно и хорошо в физике физическими объектами и явлениями. Второй мир – это мир характеристик, средств

описания, моделей, предметов и других идеальных образований. К ним относятся и идеализированные объекты. Они, часто в форме моделей, задают (представляют, несут) объекты теоретического мира, и этот мир в принципе описывает некий объективный (реальный) мир. Однако, с точки зрения деятельностной природы знаний, очевидно, что в культуре (и науке) теоретический мир первичен. Мы сначала его получаем, осваиваем, формируем. А объективный (реальный) мир является следствием (суперпозицией) предметных представлений деятельности (Г. П. Щедровицкий и др.). Итак, субъективно в познании объективный мир вторичен, т.е. является неким итогом познания. И поэтому очевидно трудным, не всегда доступным. Заметим, что в случае конкретной исследовательской деятельности обычно объект задается (научным руководителем, задачей и т. п.), а затем в ходе исследования строятся его предметы.

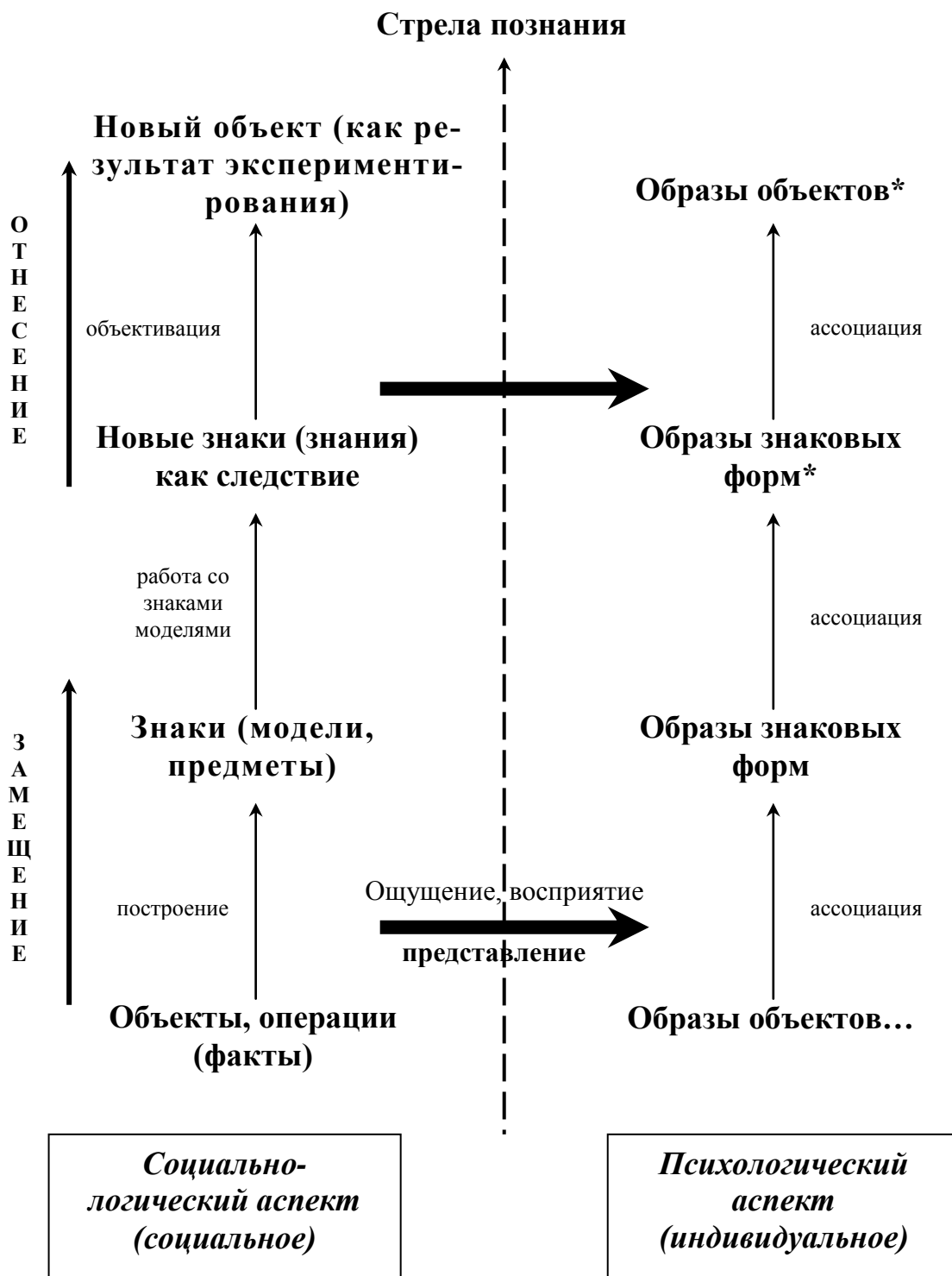
Отсюда понятно, что в научных исследованиях нет «робинзонады», т.е. исследование начинается со знаний, с предметов, в значительной степени в коммуникации с научным руководителем. Потом факты и анализ позволяют определить объект исследования, после чего начинается деятельность по классической логике метода научного познания. Но конкретная цель требует ограничения исследовательской деятельности, так мы приходим к предмету исследования. И под него получаем конкретные знания, предметы. Они позволяют углубить представления об объекте, иногда по-новому его определить, реже переструктурировать все представления.

**Отношение «модель – знания».** Сейчас уже общепринята методологическая норма: научные знания получают на моделях. Под моделью понимается любой заместитель объекта с нужной познавательной целью. В научном познании объект всегда замещается моделью (материальной, идеальной...). Построение и изучение моделей – существенная сторона познавательной деятельности. При исследовании (познании) «не модель определяется относительно объекта, а класс объектов относительно модели» (Щедровицкий, 2005). А при обучении – наоборот.

Познавательная деятельность представлена несколькими фундаментальными процессами: деятельностью как активностью, пониманием, рефлексией, коммуникацией, мышлением. Они в основном задают интеллектуальное пространство познания. Но и сами эти процессы задаются определенными нормами. Поиск этих норм все время продолжается, иногда принимая формы жестких дискуссий, борьбы. Не случайно растет значение интерпретации результатов, воспроизводимости данных и др. В познании (исследовании) успех деятельности зависит а) от усвоения норм познавательной деятельности, мышления, б) от ситуативного творческого акта деятельности. Современный **стиль естественнонаучного мышления**, т. е. нормы научного подхода к исследованию и его результатам, характеризуется следующими чертами:

- **научный рационализм**, выраженный в признании объективности и познаваемости мира,
- признание **динамического развития мира**,
- **системный подход** в познании объектов и явлений,

- множественность описания (языки, модели), последовательное приближение к истине,
- ограниченность знания, приближенность эмпирического знания.



*Рис. Модель мышления*

Социальная (и историческая) природа мышления – одно из фундаментальных положений современной методологии. Без поставленного и верного мышления трудно рассчитывать на успехи; мышление – один из важных инструментов познания. Наиболее последовательным, ясным и продуктивным

выражением этой позиции является, на наш взгляд, модель мышления Г. П. Щедровицкого. Приведем её в нашей форме (см. рис. 1). Здесь жестко отделены психологические и социальные аспекты, четко просматривается содержательная единица мыслительного акта. С одной стороны: объект – его замещение знаковой моделью, с другой стороны – образы объектов и образы знаковых форм. Взаимосвязь этих двух разных миров происходит через известные процессы ощущения, восприятия, представления, что в итоге дает некий цикл. Хотя в бесконечном познании он не замкнут, так как далее в познании возможны две стратегии: а) получение новых знаков при работе с известными знаками, б) возникновение, как инсайт, новых знаковых форм, а потом переход к самим знакам. Из известных знаний о процессе познания можно смело сделать вывод, что обе стратегии реализуются вместе, делая процесс мышления весьма гибким и эффективным.

Разделение интеллектуальных процессов происходит в каких-то особенных условиях под задачу, обычно же они сливаются, взаимно переходят и в живой деятельности в «чистом виде» не выделяются. Фундаментально признать, что мышления без деятельности не бывает, хотя и кажется это очевидным. Известный философ Э. В. Ильенков смело для 1968 г. писал: «Способность же мыслить с помощью мозга не только развивается, но и возникает впервые только вместе с приобщением человека к общественно-человеческой культуре, к знаниям... Ум – дар общества человеку... И один из самых «верных» способов уродования мозга и интеллекта – формальное заучивание знаний... Так что учить мыслить нужно, прежде всего, с развития правильно ставить (задавать) вопросы... И ум с самого начала надо воспитывать так, чтобы противоречие служило для него не поводом для истерики, а толчком к самостоятельной работе, к самостоятельному рассмотрению самой вещи, а не только того, что о ней сказали другие люди... Голый результат без пути, к нему ведущего, есть труп, мертвые кости, скелет истины, неспособный к самостоятельному движению, как прекрасно выразился в своей «Феноменологии духа» диалектик Гегель...» (Ильенков, 1968). Итак, мышление – есть функция деятельности, а не функция созерцания, что в данной методологической модели четко обозначено. И для организации научной деятельности это имеет принципиальное значение. И в **экспериментировании** это прямо реализуется.

**Общее заключение и последующая проблематизация.** 1. В научной школе воспроизводится и сохраняется метод научного познания с особенными чертами проявления. Он позволяет для задач обозначенной тематики школы получить позитивные результаты. Носителями многосложной и своеобразной познавательной деятельности в разнообразной кооперации являются ученые как коллектив. 2. Отношение между природой и мыслительной деятельностью не такое простое, как очерчено выше. Мы согласны с такой жесткой и неожиданной позицией: «...то, что мы называем «проблемами природы», есть, по сути дела, особый вид проблем культуры и проблем деятельности. Природная интерпретация – это превращенная, как говорил К. Маркс, и превратная, как добавил бы я от себя, трактовка проблем культуры, культурных значений и смыслов» (Щедровицкий, 2005). Отсюда наше внимание и интерес к методологии.

### **Библиографический список**

- Бунге М. Философия физики. М.: Прогресс, 1975. 347 с.
- Голдстейн М., Голдстейн И. Как мы познаем. Исследование процесса научного познания. М.: Знание, 1984. 256 с.
- Губин В. Б. О физике, математике и методологии. М.: ПАИМС, 2003. 321 с.
- Губин В. Б. О методологии лженауки. М.: ПАИМС, 2004. 172 с.
- Ильенков Э. В. Об идолах и идеалах. М.: Политиздат, 1968. 319 с.
- Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. М.: Наука, 1974. 287 с.
- Кун Т. Структура научных революций. М.: ООО «Изд-во АСТ», 2002. 608 с.
- Лекторский В. А. Эпистемология классическая и неклассическая. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 256 с.
- Поппер К. Логика и рост научного знания. М.: Прогресс, 1993. 605 с.
- Поппер К. Предположения и опровержения. М.: «Изд-во АСТ», 2004. 638 с.
- Сауров Ю. А. Глазовская научная школа методистов-физиков: История и методология развития: Монография. Киров: Изд-во КИПК и ПРО, 2009. 208 с.
- Сауров Ю. А., Сауров С. Ю. Научные картины мира: Элементы эпистемологии. Киров, 2006. 192 с.
- Сачков Ю. В. Вероятностная революция в науке (Вероятность, случайность, независимость, иерархия). М.: Научный мир, 1999. 144 с.
- Степин В. С. Теоретическое знание. М.: «Прогресс–Традиция», 2000. 744 с.
- Швырев В. С. Научное познание как деятельность. М.: Политиздат, 1984. 232 с.
- Щедровицкий Г. П. Проблемы логики научного исследования и анализ структуры науки. М.: Путь, 2004. 400 с.
- Щедровицкий Г. П. Мышление – Понимание – Рефлексия. М.: Наследие ММК, 2005. 800 с.

# МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Т. Я. Ашихмина*

*д.т.н., профессор, зав. кафедрой химии,  
Вятский государственный гуманитарный университет,  
зав. лабораторией биомониторинга Института биологии Коми  
НЦ Уральского отделения РАН  
и Вятского государственного гуманитарного университета,  
ecolab2@gmail.com*

Данная лекция посвящена разработке методологических основ организации комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды. В ней обоснована **структура комплексного экологического мониторинга**, определены подходы по **выявлению приоритетных показателей** контроля природных сред и объектов, описаны **принципы организации сети и регламента** мониторинга окружающей природной среды.

Научно-методологические основы комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды опираются на фундаментальные работы: Герасимов, 1975; Израэль, 1980; Израэль, 1984; Реймерс, 1992; Виноградов, 1976; Виноградов, 1982; Виноградов, 1984; Виноградов, 1993; Сукачев, 1961; Одум, 1975; Уиттекер, 1980; Шуберта, 1988; Мотузова, 1999; Криволицкий, 1987; Криволицкий, 1994; Горшков, 1995; Владимиров, 1986; Владимиров, 1999; Фролова, 1996 и др.

Комплексный экологический мониторинг окружающей природной среды рассматривается нами как система долгосрочных наблюдений, оценок, контроля и прогноза её состояния с целью получения достоверной информации, необходимой для предотвращения и уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей природной среды в районе источника загрязнения.

Методологической основой комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного воздействия принят экосистемный подход, ориентированный на раскрытие целостности состояния компонентов природной среды в районе источника загрязнения, нацеленный на выявление причинно-следственных связей в системе «Источник загрязнения – окружающая природная среда».

Экосистемный подход в оценке антропогенного воздействия строится на сопоставлении структурно-функциональных показателей экосистем и их биотических компонентов, нарушенных воздействием локального источника загрязнения с аналогичными экосистемами фоновых территорий. Это позволяет вычленить локальные изменения от воздействия определённого объекта из сложной совокупности форм динамики, обусловленной природными факторами, а также трансграничным переносом загрязнений.

Взаимосвязь компонентов природной среды в зоне техногенного источника представлена в модели на рис. 1.



Рис. 1. Схема модели, отражающей взаимосвязь компонентов природной среды в зоне техногенного источника

Основными элементами модели являются источник техногенного загрязнения, атмосферный воздух, водные, наземные и почвенные экосистемы в виде представителей растительного и животного мира с взаимосвязанными с ними природными средами. Источник техногенного воздействия оказывает влияние на атмосферный воздух, почву, водные объекты, биоту. Все блоки модели функционально взаимосвязаны.

Система комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды представляет собой совокупность подсистем мониторинга атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, растительного и животного мира, различающихся по своим целевым задачам, но организационно объединенных в единое целое – компоненты природной среды. Каждая из взаимодействующих подсистем, наряду с перечнем задач мониторинга, свойственных только ей, отвечает за состояние других подсистем, изучая воздействие одного и



того же техногенного источника загрязнения по специфическим для нее показателям, тем самым не копируя друг друга, а дополняя и придавая системе целостный комплексный характер. Схема модели взаимодействия подсистем комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды представлена на рис. 2

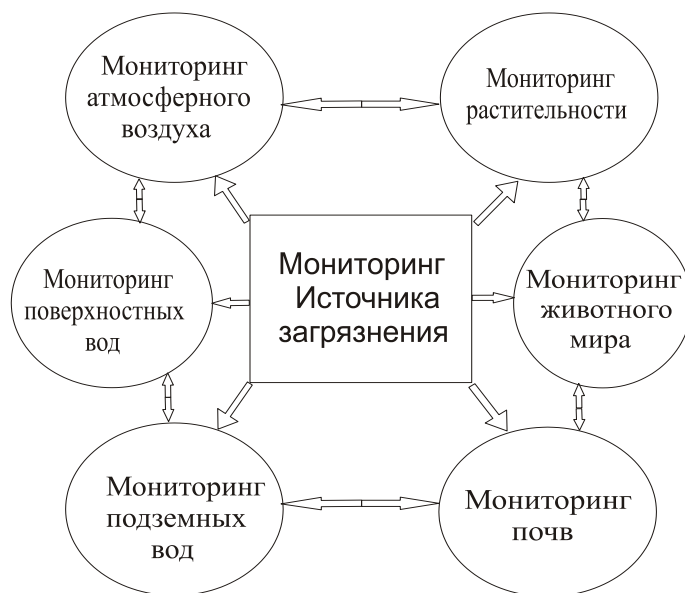


Рис. 2. Схема модели взаимодействия подсистем комплексного экологического мониторинга

Организация комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного воздействия требует нестандартных подходов, специфичных для каждого техногенного источника загрязнения.

Это вызывает достаточно большое количество проблем и оперативное их решение. Прежде всего, **поведение огромного перечня загрязняющих веществ в окружающей природной среде мало изучено, методы идентификации продуктов их спонтанной трансформации не отработаны**, поэтому мониторинговые исследования должны сопровождаться серьезными научными изысканиями.

**Отсутствие надлежащей нормативно-методической базы** для организации эффективного контроля загрязняющих веществ и, в особенности, специфических экотоксикантов, образующихся в районе источника загрязнения и в ходе химических превращений в природных средах, представляет собой существенную особенность организации экологического мониторинга в зоне техногенного воздействия.

Серьезной проблемой в организации и проведении комплексного экологического мониторинга природных сред и объектов является **отсутствие единых требований по методам отбора проб, физико-химического и биологического анализа**. Такие методики должны иметь определенный нормативно-

технический и правовой статус, они должны быть аттестованы, введены в действие и стандартизованы (Мясоедов, 2000).

Комплексный экологический мониторинг в районе техногенного воздействия нуждается в научных разработках по изучению биологического действия загрязняющих поллютантов и продуктов их трансформации на живые объекты, в применении новейших высокочувствительных приборов и оборудования для получения комплексных оценок по воздействию источника загрязнения, достоверной информации о состоянии окружающей природной среды.

Организация и функционирование системы комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в районе техногенного источника загрязнения должны опираться на следующие принципы:

– принцип **комплексности**, заключающийся в объединении в системе мониторинга различных видов наблюдений: мониторинга источников и факторов антропогенных воздействий, непосредственно экологического мониторинга природных сред и объектов, в т. ч. биологического. Принцип комплексной организации экологического мониторинга, который должен реализоваться в процессе систематических наблюдений, оценки и прогноза техногенных воздействий действующего источника загрязнения и происходящих при этом изменений в природном комплексе. Кроме того, при организации комплексного экологического мониторинга в зонах техногенного воздействия для характеристики различных природных сред и биологических объектов целесообразно использовать комплекс интегральных показателей, применять методы системного анализа параметров, характеризующих влияние источника загрязнения на состояние экосистемы в целом;

– принцип **единства структурной организации мониторинга**, реализуемый путем объединения подсистем мониторинга атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, растительного и животного мира, в единую систему комплексного экологического мониторинга, обеспечивающую контроль и прогнозирование возможных изменений состояния окружающей природной среды в зоне техногенного воздействия;

– принцип **приоритетности**, заключающийся в выявлении и использовании в системе мониторинга источника техногенного воздействия приоритетных показателей контроля атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод и биоценозов. В число приоритетных показателей в первую очередь должны быть включены показатели, отражающие максимальный (по массе) выброс ЗВ, в особенности тех, по которым систематически превышаются предельно допустимые концентрации, с учетом суммации воздействия ЗВ, кумулятивных и генотоксических характеристик (мутагенности, канцерогенности, тератогенности); применительно к подсистемам мониторинга природных сред и объектов к приоритетным должны относиться показатели, в наибольшей степени отражающие специфику ожидаемого неблагоприятного воздействия источника техногенного воздействия;

– принцип **обязательного научного сопровождения**, требующий с учетом новизны многих решаемых в ходе комплексного экологического мониторинга задач одновременного выполнения научных исследований в области ана-

лиза свойств химических токсикантов и изучения трансформации их в природных средах и объектах, внедрения в практику биологического мониторинга наиболее адекватных средств и методов наблюдения углубленных и регулярных обследований, постановки модельных экспериментов в полевых и лабораторных условиях, применения научно обоснованных методов контроля, наблюдений, оценок и расчетов, обеспечивающих сравнимость и достоверность результатов краткосрочных и долгосрочных прогнозов оценки качества окружающей среды.

Кроме того, организацию подсистем мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного воздействия необходимо создавать на основе специфичных для них способов и методов:

**сравнительность** – сопоставление получаемых данных в динамике наблюдений по годам, а также сравнение регистрируемых показателей по наблюдаемой территории с данными по выбранному фоновому участку (участку сравнения);

**экспрессность** – достаточная для обеспечения опережающего характера мониторинга скорость получения и обработки данных о регистрируемых показателях;

**непрерывность** – такой способ организации мониторинга природных сред и объектов (по периодичности полевых исследований), который обеспечивает своевременную регистрацию прогностически неблагоприятных сдвигов изучаемых показателей;

**чувствительность** – способность выявить ранние прогностически значимые изменения состояния исследуемых параметров в компонентах природной среды;

**углубленность анализа** – использование не только стандартных методов и способов химического, токсикологического, биологического анализа природных сред и объектов, но и разработки новых методов, постановки модельных экспериментов по выявлению откликов биообъектов на различные техногенные воздействия;

**максимальная достоверность** (объективность) – научно обоснованный выбор исследуемых параметров (их значимость для прогнозирования), применяемых методов анализа и способов обработки получаемых в процессе мониторинга данных;

**опережающий характер и прогнозирование** – такой способ организации комплексного экологического мониторинга в зоне техногенного воздействия, который позволяет заблаговременно выявить сверхнормативные сдвиги исследуемых параметров до того момента, как они повлекут неблагоприятные последствия в изменении компонентов природной среды, и с достаточной степенью надежности позволят предсказать появление таких последствий;

**выявление отдаленных последствий** – способность за счет отсроченного по времени контроля выявить неблагоприятные последствия источника техногенного воздействия, возникающие вследствие воздействия неучтенных факторов или вследствие ошибок в определении допустимых уровней воздействия на

живые организмы (например, при проявлении кумулятивного, синергического действия химических, физических и других факторов внешней среды);

**тесная взаимосвязь подсистем мониторинга** – обеспечение объединения информационных потоков из различных подсистем комплексного экологического мониторинга, обработки данных о состоянии всех значимых факторов природной среды;

**надежность организации информационных потоков** – обеспечение непрерывности сбора, обработки, передачи и обобщения данных, собираемых в процессе мониторинга его участниками.

Все элементы данной системы должны взаимодействовать на единых методологических принципах и методических подходах, создавая целостный комплексный характер получаемой информации об изменениях, происходящих в окружающей природной среде в зоне техногенного воздействия. Все информационные потоки с подсистем экологического мониторинга по базе данных должны быть совместимы, что позволит провести на единой основе кодирования информационных объектов формализацию показателей подсистем мониторинга природных сред и объектов с целью обмена информацией, обеспечения целостности и согласованности данных графической, картографической обработки и анализа полученной информации. Данная информация позволит в режиме реального времени моделировать и прогнозировать изменения экологической обстановки в районе источника загрязнения, предупреждать о возникновении опасных ситуаций природного или техногенного характера, готовить предложения для принятия управленческих решений, направленных на охрану и оздоровление окружающей природной среды. Добиться этого можно только путем объединения всех подсистем мониторинга: атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, растительного и животного мира в единую систему комплексного экологического мониторинга.

### ***Структура комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в районе источника загрязнения***

Объектами комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в районе источника загрязнения является **геологическая среда** (почвы, недра, атмосферный воздух, поверхностные, подземные воды, биота) вблизи источника загрязнения и на фоновых территориях, а также системы локального источника загрязнения. Неотъемлемой частью комплексного экологического мониторинга является и **гидрометеорологический мониторинг**, обеспечивающий наблюдение за погодно-климатическими факторами в районе источника техногенного загрязнения, составление прогнозов погоды, паводков, неблагоприятных метеоусловий, контроль загрязнения атмосферного воздуха на стационарных и маршрутных метеопостах, контроль гидрологического режима и химического состава вод поверхностных водотоков, предупреждения о приближении опасных гидрометеорологических явлений.

На основе выполненных наблюдений за состоянием геологической среды (почв, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, биоты) на техногенных и фоновых территориях, метеорологических параметров делается оценка экологического состояния окружающей природной среды, разрабатываются прогнозы и рекомендации по улучшению экологической обстановки. Схема комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структура комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного воздействия и на территории фона

Из данной схемы следует, что система комплексного экологического мониторинга должна обеспечивать наблюдение и контроль состояния окружающей природной среды за природными средами и объектами, природными ресурсами, источниками антропогенного воздействия на природную среду в зоне источника техногенного воздействия и на фоновых территориях. В качестве фоновых территорий могут использоваться фоновые территории региональной системы экологического мониторинга, сходные по природным условиям. Кроме

того, в программу комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в зоне техногенного воздействия должен входить и экологический мониторинг антропогенного фона, который должен проводиться по линии природоохранных ведомств и служб организаций и предприятий-природопользователей. В программу мониторинга антропогенного фона должны включаться наблюдения за общепромышленными ЗВ и загрязнителями, специфичными для всех предприятий, оказывающих влияние на состояние окружающей среды на территории вблизи исследуемого источника техногенного загрязнения. Мониторингу подлежат атмосферный воздух, водные источники, почвы, сточные воды и отходы производства.

### **Обоснование перечня контролируемых показателей комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды в районе источника загрязнения**

Одним из главных и сложнейших вопросов организации комплексного экологического мониторинга является определение приоритетных показателей контроля химических загрязняющих веществ в зоне источника техногенного загрязнения. Еще более сложным вопросом является обоснование перечня приоритетных показателей мониторинга состояния компонентов природной среды.

В перечень показателей контроля **химических загрязняющих веществ в зоне источника техногенного загрязнения** должны входить особо опасные химические и биологические вещества, включенные в список федерального регистра. На ряду с этим в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения в перечень контролируемых показателей должны быть включены следующие общепромышленные загрязнители : диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода (II), озон, пыль, углеводороды (в т. ч. бенз(а)пирен) (Кондратьев, 1996). Кроме того, в программу комплексного экологического мониторинга природных сред и объектов необходимо включать контроль за содержанием специфических для данного источника техногенного загрязнения загрязняющих веществ в выбросах и сбросах производственного процесса, а также продуктов их трансформации в природном комплексе. На начальных этапах проведения мониторинга целесообразно отслеживать содержание большинства ЗВ в выбросах и сбросах предприятия, а в дальнейшем в ходе эксплуатации его перечень параметров программы экологического мониторинга целесообразно откорректировать.

Принципам экологического нормирования компонентов природной среды в настоящее время посвящено большое количество работ, имеются монографии, научные обзоры по оценке состояния и устойчивости экосистем (Снакин и др., 1992), по экологическому нормированию техногенных загрязнений (Воробейчик и др., 1994; Кривоуцкий и др., 1988; Кочуров, 1984; Крючков, 1988), выделению зон экологического бедствия на основе биотических критериев (Виноградов и др., 1993), по ландшафтной индикации антропогенных изменений природных комплексов (Викторов, 1985; Протасов, 1995). Авторами данных исследований разработаны экологические шкалы, критерии экологичности, по которым предлагается оценивать состояние природных объектов и сред на различных уровнях. Для оценки воздействия комплекса ЗВ предлагается ис-

пользовать различные агрегационные индексы, например взвешенные по долям ПДК: для атмосферы – комплексный коэффициент  $S$ , представляющий собой сумму кратностей превышения ПДК выбрасываемых в атмосферный воздух веществ, приведенных к 3-му классу опасности с учетом биологической суммации (СанПиН 2.2.1/2.1.1.10301-01). Совокупную оценку опасных уровней загрязнения водных объектов предлагается определять, используя формализованный суммарный показатель химического загрязнения вод (ПХЗ-10), который особенно важен для территорий, где загрязнение химическими веществами наблюдается сразу по нескольким веществам (Протасов, 1995). Расчет проводится по десяти соединениям, максимально превышающим ПДК, по формуле

$$\text{ПХЗ} - 10 = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_{10}}{\text{ПДК}_{10}},$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_{10}$  – концентрации химических веществ в воде; ПДК – рыбохозяйственных вод.

При определении ПХЗ-10 для химических веществ, по которым относительно удовлетворительный уровень загрязнения вод отсутствует, отношение  $C/\text{ПДК}$  условно принимается равным 1. Для установления ПХЗ-10 рекомендуется (Протасов, Молчанов, 1995) проводить анализ воды по максимально возможному числу показателей.

Преимуществом методов биоиндикации перед физико-химическими является интегральный характер ответных реакций организмов, с помощью которых выявляется наличие в окружающей природной среде комплекса загрязнителей. Некоторые биологические методы помогают диагностировать негативные изменения в природной среде на ранних стадиях (экспресс-методы) и при таких количествах токсикантов, которые еще не могут быть зафиксированы приборами. Вследствие этого, по биоиндикационным признакам можно выявить экологические нарушения при низких уровнях загрязнения, когда еще нет серьезных ограничений для развития растений и опасности для населения, что позволяет принять меры для предотвращения дальнейшего поступления загрязнителей в окружающую природную среду и не допустить необратимых изменений в экосистемах. Особую значимость имеет то обстоятельство, что биоиндикаторы отражают степень опасности соответствующего состояния окружающей природной среды для всех живых организмов, в т. ч. и для человека.

**Показатели мониторинга почв.** Для оценки экологического *состояния почв* основными показателями степени экологического неблагополучия выбраны критерии физической деградации, химического и биологического загрязнения.

В связи с этим, программа мониторинга почв должна включать три группы контролируемых параметров:

– показатели ранней диагностики развития негативных изменений: угнетение биоты (по ферментативной активности), нарушение окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных свойств, определение показателей ионообменных и сорбционных свойств (сумма обменных оснований), емкости поглощения (определяется по ГОСТ 17.4.4.01-84), изменение плотности и

фильтрации почв, минерализованности почвенного раствора, дренажных и грунтовых вод и др.;

– показатели изменения более устойчивых свойств почв: количество и качество гумуса (методом И. В. Тюрина (1965), ГОСТ 26213-91), содержание элементов питания растений, а также тяжелых металлов и углеводов, степень агрегированности (структурности) почвенного покрова, биологическая продуктивность ценозов;

– показатели устойчивых и глубоких изменений свойств почв: соотношение фракций гранулометрического состава, минералогический и химический состав.

Кроме того, в системе комплексного экологического мониторинга ценными сведениями являются показатели, характеризующие состояние лесной подстилки, общего видового разнообразия почвенной биоты, обилия и соотношения численности индикаторных видов (микроорганизмов, водорослей, грибов, мезофауны) (Воробейчик и др., 1994; Стриганова, 1980). Наиболее простым в определении, но в то же время достаточно информативным показателем интенсивности деструкционных процессов в лесной экосистеме является мощность (толщина) лесной подстилки.

Для экотоксикологической оценки почв принята кратность превышения предельно допустимой концентрации конкретного ЗВ дифференцированно для веществ различного класса опасности. Признаком биологической деградации почвы является снижение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, о котором можно судить по уменьшению уровня активной микробной биомассы, снижения интенсивности размножения почвенных гидробионтов, ферментативной активности бактерий, а также по более распространенному, но менее точному показателю – дыханию почвы; изменению состояния организмов-биоиндикаторов загрязнения почвы (почвенных водорослей, микрогрибов, червей и др.).

С целью определения биологических свойств почв в программу мониторинга целесообразно включать анализ состояния почвенного микробоценоза по количественному учёту различных групп и измерению интегральных параметров функционирования (почвенное дыхание, скорость разложения целлюлозы, активность азотфиксации, нитрификации и т. д.) (Левин и др., 1989). В качестве биоиндикаторов для оценки состояния почв могут быть использованы биомасса грибов в почве (Бабьева, Зенова, 1989) и почвенные водоросли, их видовой состав, доминантные виды, спектр жизненных форм, встречаемость отдельных видов или групп водорослей, специфические виды или группы их. В почвах распространены водоросли, относящиеся в основном к четырём отделам: сине-зеленые (*Cyanophyta*), зеленые (*Chlorophyta*), желтозеленые (*Xanthophyta*), диатомовые (*Bacillariophyta*). Из них наиболее чувствительны к техногенному загрязнению желтозеленые водоросли (Штина, 1976; Штина и др. 1998).

Показатели первой группы контролируются несколько раз в год, второй – раз в 2–5 лет, третьей – один раз в 10 лет, а биологического загрязнения ежегодно (Муромцев, 2000).



**Показатели оценки состояния вод и водных экосистем.** Основными требованиями к выбору показателей для оценки *состояния вод и водных экосистем* являются информативность, простота измерений, оперативность получения информации и возможность контроля. По отклику водных экосистем и их компонентов на внешние воздействия в программу целесообразно включать контроль за изменениями морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидрофизических параметров, т. е. изменениями параметров среды обитания, происходящих непосредственно под влиянием антропогенных воздействий, а также изменениями биоты.

Концентрация кислорода и степень окисляемости органических веществ служат критерием уровня трофности водоема. Бихроматная окисляемость является мерой общего содержания органических веществ, перманганатная окисляемость указывает на содержание легко окисляемых, а также частично трудно минерализуемых гумусовых веществ в воде. Концентрация последних обуславливает цветность воды. Интегральным показателем кислородного равновесия в воде является показатель БПК<sub>5</sub>. Величина рН зависит от продукционно-деструкционных процессов, которые обуславливают сдвиг карбонатного равновесия, в результате чего фотосинтез повышает величину рН, а минерализация органического вещества приводит к ее уменьшению. По уровню концентрации азотных и фосфорных неорганических и органических соединений можно судить об интенсивности продукционно-деструкционных процессов. Из числа физико-химических и микробиологических показателей изучения состава воды, донных отложений, состояния гидробионтов для комплексной оценки водоема в программу мониторинга целесообразно включать следующие показатели:

- *органолептические* (температура, запах, привкус, цветность, мутность);
- *физико-химические* (рН, взвешенные вещества, общая минерализация, общая жесткость, сухой остаток, щелочность, содержание железа, марганца, мышьяка, свинца, фтора, сульфатов, хлоридов, сульфидов, фосфатов, углекислоты, СПАВ, азота общего, аммонийного, нитратного);
- *специфические*, характерные для источника техногенного загрязнения;
- *промышленные, сельскохозяйственные и бытовые* загрязнения (перечень показателей которых согласовывается с центром Госсанэпиднадзора);
- *санитарные* (растворенный кислород, БПК<sub>5</sub>, ХПК, окисляемость перманганатная, содержание нитритов, нитратов, ПАВ, аммония);
- *микробиологические* (число лактозоположительных кишечных палочек, колифагов, фитопланктона);
- изменение биотопического разнообразия, биомассы и численности гидробионтов;
- истощение запасов ценных и редких видов гидробионтов;
- смена доминирующих видов;
- накопление органами и тканями гидробионтов различных токсикантов.

Экспериментальные и полевые исследования водных объектов проводятся в соответствии с ГОСТ Р 51592-00, по системе Пантле-Бука в модификации Сладечека (Снакин и др., 1992; Pantle, 1955; Sladecsek, 1973), широко применяе-

мой в странах Восточной Европы и СНГ, а также методом индикации по диатомовым водорослям (метод Ватанабе) (Watanabe, Asai, 1986).

По этой же системе показателей органолептических, санитарных, микробиологических, физико-химических и специфических должен проводиться мониторинг подземных, грунтовых и питьевых вод, кроме того, исследуются гидрогеологические и эксплуатационные характеристики.

Контроль подземных и грунтовых вод регламентируется СанПиН 2.1.4.554-96 «Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения», СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения» и СП 2.1.5.1059-01 «Санитарные правила. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения» и проводится 2 раза в год (после пика весеннего паводка и в осеннюю межень).

**Система программных наблюдений биоты.** Использование *растительных объектов* для целей биомониторинга объясняется спецификой самих растений, а также биосферной ролью растительного покрова. Неподвижные растения более доступны для наблюдения, чем животные. Растения являются связующим звеном между абиотическими компонентами экосистем и остальными организмами, поэтому они первыми испытывают нарушения от загрязнения всех природных сред - атмосферы, почвы, воды, чем и объясняется их повышенная чувствительность к антропогенному загрязнению. К числу информативных параметров наземного фитоценоза по реакции на антропогенное воздействие относятся:

– *видовой (флористический) состав*, параметр реагирует практически на все формы антропогенных влияний (физические, химические, биологические) как в случае прямого, так и косвенного воздействия (Снакин и др., 1992);

– *проективное покрытие* доминирующих видов, параметр реагирует на механические нарушения фитоценоза, химические воздействия (через изменение жизненного состояния видовых популяций), биологические факторы (Ипатов и др., 1966) (ориентировочно определено, что пороговое значение параметра проективного покрытия доминирующих видов составляет примерно 2/3 от нормы (Быков, 1952);

– *спектр жизненных форм* растений фитоценоза (Серебряков, 1964). В качестве параметра состояния фитоценоза может быть использован спектр экобиоморфологических групп (Корчагин, 1976). Параметр реагирует на факторы, вызывающие изменение экотопа (выпас, рубки, сенокосение, режим заповедности, рекреация, техногенные воздействия, подтопление или осушение, химические воздействия);

– *аспективность* (ритмологическая характеристика фитоценоза) (Уиттекер, 1980; Бейдеман, 1954), параметр реагирует на все антропогенные воздействия;

– *возрастной спектр* ценопопуляций доминирующих видов растений, который отражает представительство конкретного вида в фитоценозе, параметр реагирует на разные антропогенные факторы (выпас, рубки, техногенные влия-

ния), в случае прямого и опосредованного – через изменение экотопа, воздействия (Заугольнова и др., 1988; Павлов, 1990).

К наиболее простым и доступным методам оценки состояния растительности относится *индикация по морфологическим признакам*. Этот подход к использованию методов биоиндикации в системе экологического мониторинга в течение многих лет апробировался в работах специалистов Центра экологической политики России (г. Москва) и показал высокую эффективность при выполнении оценки экологического состояния окружающей среды в ряде регионов России (Самарская, Брянская, Астраханская, Калужская области, Чувашская Республика и др.) и других стран СНГ. Методы *интегральной биологической оценки* состояния окружающей среды были использованы для характеристики района размещения крупного центра военно-химической промышленности в г. Чапаевске Самарской области. Интегральная оценка состояния растений проводилась по морфологическим и физиологическим признакам древесных и травянистых растений, а животных – по морфологическим, цитогенетическим, иммунологическим и физиологическим признакам (Захаров, 2000; Захаров и др. 2000).

Анализ литературы и проведенные нами в течение почти 20 лет полевые исследования позволили выявить индикаторные признаки состояния растительности, определить типы лесных и луговых экосистем для включения их в программу экологического мониторинга окружающей природной среды.

**Лесные фитоценозы** рекомендуется изучать по ярусам – древостой, подлесок, напочвенный покров по следующему перечню показателей:

– *видовой состав* – число видов, их ценотическая приуроченность редкие и охраняемые виды, виды-антропофиты;

– *жизненное (санитарное) состояние* растений – по видам каждого яруса; косвенные показатели жизненного состояния – высота растений, бонитет (деревьев), фенологическое состояние, повреждение болезнями и вредителями, толщина живого и мертвого слоя мхов; дополнительные показатели жизненного состояния – класс дехлоризации (сосна), класс дефолиации (сосна), показатели состояния хвои сосны, развития побегов, нарушения органогенеза, репродуктивных органов;

– *характеристика физиологических процессов*: дыхание, фотосинтез, активность пероксидазы;

– *возрастные спектры* ценопопуляций деревьев;

– *структура фитоценозов* – проективное покрытие (по ярусам и структурно функциональным группам);

– *обилие видов* по ярусам;

– *фитомасса*;

– *лесная подстилка* (мощность по структурным слоям) - неразложившаяся, разложившаяся (гумус);

– *лихеноиндикация* (эпифиты сосны) - видовое разнообразие и насыщенность, проективное покрытие, высота поднятия по стволу, состояние слоевища;

– *содержание элементов в золе и соке растений* (мхи *Pleurocium Schreberi*, *Hylocomium splendens* (хвоя сосны) – фосфор (ГОСТ 26657-85), азот

(ГОСТ 50466-93), нитраты (ГОСТ Р 50465-93), нитриты (ГОСТ Р 50465-93), марганец (ГОСТ 27997-88), железо (ГОСТ 27998-88, МУ ГКСЭН), свинец (МУ ГКСЭН, МУ ЦИНАО), кальций (ГОСТ 26570-85).

Мониторинг *луговых фитоценозов целесообразно осуществлять по следующему* перечню показателей:

- *видовой состав* сообщества;
- *фенологическое состояние растений, аспективность*;
- *жизненное состояние и степень повреждения* болезнями и вредителями;
- *нарушения репродуктивных органов* – качество пыльцы клевера лугового, чины луговой, зверобоя продырявленного, одуванчика лекарственного;
- *характеристика физиологических процессов* – дыхание, фотосинтез, активность пероксидазы;
- *возрастные спектры* ценопопуляций доминантов;
- *структура фитоценозов* – обилие и проективное покрытие видов растений фитоценоза, запасы (биомасса) надземной части травостоя и структурно-функциональных его частей (злаков, разнотравья, по морфотипам, по экогруппам и т. д.);
- *состав структурно-функциональных групп* (соотношение по числу видов, проективному покрытию, биомассе), морфотипов растений, экологических групп, индикаторов хозяйственного состояния;
- *луговая дернина* – степень задернения (% от общей площади фитоценоза), мощность (толщина), связность (прочность), характер задернения (осоковое, злаковое, плотно-, рыхлокустовое, корневищное);
- *содержание химических элементов в золе и соке растений*.

В качестве индикационного признака стабильности развития растений могут быть использованы показатели флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков (Захаров и др., 2000).

*Для оценки состояния ландшафта* целесообразно включить в программу следующие показатели: доля лесов от общей площади земель, площадь усохших лесов, в т. ч. хвойных и лиственных, площадь погибших лесных культур; данные по динамике трансформации ландшафтных единиц территории – скорость изменения видового состава экосистем (индекс Симпсона), скорость смены доминирующих и индикаторных видов, скорость изменения запасов древесины, скорость трансформации площадей ландшафтных объектов.

По структурно функциональным показателям состояния биогеоценозов (экосистем) определяется их устойчивость. *Основными показателями устойчивости биогеоценоза* являются: запас живой биомассы; скорость разложения органического вещества (опадо-подстилочный коэффициент). Максимальной устойчивостью обладают биогеоценозы, имеющие максимальные значения фитомассы. Наивысшие значения опадо-подстилочного коэффициента характеризуют наименее устойчивые экосистемы (болот, тундр, заболоченных лесов).

*Для оценки деградации экосистем* целесообразно использовать коэффициент интегральной сохранности биогеоценозов (Степанов, Черненькова, 1987; Черненькова, 2000). Коэффициент подсчитывается путем вычисления среднего

арифметического всех имеющихся параметров компонентов биогеоценоза с предварительным нормированием каждого показателя.

Оценку состояния *наземных зооценозов* рекомендуется проводить по почвенной мезофауне, орнитофауне, мелким млекопитающим, земноводным и охотничьим животным. В отличие от мониторинга растительности, отслеживаемые показатели состояния животного мира более изменчивы и в пространственном, и во временном отношении. Ввиду этого в программу мониторинга животных целесообразно включать меньшее количество показателей по сравнению с мониторингом растительности, но отслеживать их ежегодно.

Для оценки состояния фауны подбираются группы животных, реагирующих на специфические и неспецифические воздействия (Бутовский, 1990; Воробейчик, 1990; Садыков и др., 1985). Для биоиндикационных исследований зооценозов под действием антропогенных факторов рекомендуется три наиболее изученных и простых в применении показателя состояния зоокомпонентов биогеоценоза – трофическая структура, видовое разнообразие и плотность популяции (Снакин и др., 1992; Захаров и др., 2000).

*Трофическая структура* в ненарушенной экосистеме более или менее постоянна; при антропогенных трансформациях экосистем это соотношение нарушается; всегда снижается относительное обилие зоофагов и сапрофагов и возрастает относительное обилие фитофагов (Бутовский, 1990; Козлов, 1991). Предложено считать пороговым значением антропогенного фактора нагрузку, вызывающую изменение удельной массы одной из трех указанных групп на 20%, а критическим – на 50%.

Пороговым значением антропогенной нагрузки следует считать снижение *видового разнообразия* на 5%, а критическим – на 10% (Straalen, 1990).

*Плотность популяций видов-индикаторов* – важнейший показатель состояния экосистемы, высокочувствительный к основным антропогенным факторам. В результате антропогенного воздействия плотность популяций отрицательных видов-индикаторов будет снижаться (например, жуужелиц в зонах химического загрязнения), а положительных видов-индикаторов – возрастать (например, тлей в тех же зонах). Достаточная изученность отдельных популяций позволяет подобрать специфические виды-индикаторы практически на все типы антропогенных воздействий.

Кроме отмеченных выше показателей можно использовать также ряд других информативных признаков: *структура сообщества, соотношение полов, дифференциальная смертность в онтогенезе.*

Животные, используемые в качестве биоиндикаторов химического загрязнения, должны иметь высокую чувствительность к изучаемому фактору, большую продолжительность жизни или интенсивное размножение, высокую численность, интенсивный обмен веществ, а также оседлость, малый индивидуальный участок обитания, постоянный контакт с изучаемым антропогенным фактором.

Лучшими индикаторами являются виды, обладающие следующими признаками (Одум, 1975):

1. Стенотопные, приспособленные к существованию в строго определенных условиях.

2. Виды, более редкие в сообществах.

3. Виды, более крупные по размерам.

Численное соотношение разных групп видов более показательнее, чем численность данного вида. Информативными показателями состояния зооценоза являются видовой состав мелких млекопитающих (мышевидных грызунов и мелких насекомоядных), данные по их обилию в типичных станциях.

По орнитофауне в качестве показателей мониторинга в программу может быть включено видовое разнообразие обилие и птиц, обилие видов-синантропов, разнообразие насекомоядных птиц, гибель кладок, выживаемость молодняка.

Из охотничьих животных в качестве биоиндикатора может использоваться крот – представитель почвенной фауны. При наличии миграции поллютантов по трофическим цепям и наблюдающейся их аккумуляции в объектах питания крота интенсивность его размножения будет напрямую зависеть от возможного воздействия вещества-загрязнителя. Для анализа и выявления возможного воздействия рекомендуется использовать показатели обилия крота в однотипных местообитаниях, расположенных на разном удалении от источника загрязнения.

Перспективными для биоиндикации наземных экосистем являются животные-амфибионты (лягушки, тритоны), на которых загрязнение среды оказывает интенсивное воздействие на разных стадиях их индивидуального развития (Конешова, 1996; Завьялов, 1995; Шляхтин и др., 1995). Загрязнение водоемов (в том числе временных, образующихся в весенний период за счет поверхностного стока) приводит к частичной гибели их кладок, снижению выживаемости молодых особей, а при интенсивном загрязнении – к морфологическим патологиям.

Для контроля состояния зооценоза информативны показатели по изучению обилия видов макро-, мезо- и микрофауны, биомассы мезофауны, представителей почвенной фауны, которые составляют 95% всех видов, входящих в наземный зооценоз (Гиляров, 1987; Фасулати, 1971; Рысс, 1988).

Почвенную мезофауну следует анализировать на уровне сообществ. Традиционными показателями являются: общая плотность населения (биомасса), видовое (групповое) разнообразие, параметры таксономической и трофической структуры (доля дождевых червей, сапрофагов, зоофагов и т. д.), вертикальное распределение, доля эвритопных видов. Наиболее чувствительной группой оказываются *дождевые черви* и другие крупные сапрофаги. Ответными реакциями населения почвенных беспозвоночных на разные виды загрязнения являются: уменьшение общего обилия (плотности особей и биомассы); снижение таксономического разнообразия; возрастание роли эвритопных видов; увеличение пространственной неоднородности и смещение плотности в более нижние горизонты почвы; изменение трофической структуры в сторону уменьшения доли сапрофагов и увеличения доли фитофагов.

Для характеристики *состояния водных экосистем* в программу мониторинга животного мира необходимо включить следующие показатели: гидрофи-

зические и гидрохимические показатели воды как среды обитания (общая минерализация и ионный состав, прозрачность, кислородный режим, рН, содержание нитрат-ионов и фосфат-ионов, электропроводность); степень токсобности (оценка уровня накопления соединений поллютантов в организмах гидробионтов); оценка состояния водных экосистем (индекс сапробности по Сладечеку или Ватанабе, индекс видовой разнообразия, величина биологического потребления кислорода, валовая продукция фитопланктона). В качестве дополнительных могут быть включены показатели для оценки гомеостаза по морфологическим признакам, характерным для каждого объекта исследования.

Выбор параметров изучения экосистем для целей мониторинга должен проводиться по принципу максимально полного описания процессов в экосистеме. При практической невыполнимости полного объема работ для характеристики всех показателей структурно-функционального состояния биогеоценоза можно ограничиться наиболее информативными.

Наиболее чувствительной к антропогенным воздействиям является биотическая составляющая экосистем. Главную роль играет растительность, изменчивость показателей состояния которой соответствует изменениям всей экосистемы. *Для оценки состояния биотического компонента экосистемы* предлагается в соответствии с работами К.А. Куркина (Куркин, 1980); В.Д. Лопатина (Лопатин, 1988) использовать структурно-функциональные характеристики, отражающие процессы создания, использования, разрушения и остаточного накопления в экосистемах биологической продукции различных категорий (первичной, вторичной, остаточной, мертвой) и некоторые этапы круговорота веществ, вовлеченных в биологические циклы (общие методические указания по изучению экосистем). Часть показателей состояния экосистемы, определяемых для целей мониторинга, следует отнести к исходным характеристикам (Снакин и др., 1992).

*Для оценки состояния экосистем* в программу мониторинга целесообразно включить: запас живой биомассы (фито-, зоо- и микробомассы) – в абсолютном выражении и по соотношению групп организмов (или их частей); запас мертвого органического вещества; интегральную характеристику структуры органического вещества (соотношение запасов гумуса, фитомассы, зоомассы и биомассы организмов (по формуле органического вещества экосистемы А. А. Титлянова (1983)); величину первичной и вторичной продуктивности, соотношение этих величин является показателем текущего функционирования экосистемы; опад – количество ежегодно отмирающих частей растений (наземных и подземных); истинный прирост, скорость воспроизводства органического вещества, скорость общего оборота органического вещества, скорость деструктивных процессов – опадо-подстилочный коэффициент. Кроме того, необходимо отслеживать показатели содержания химических элементов в органическом веществе - годовое потребление химических элементов; годичный возврат с опадом; накопление в фитоценозе (Родин, Базилевич, 1965; Исаков и др., 1986). Для количественной сравнительной оценки степени нарушенности экосистем можно использовать коэффициент интегральной сохранности биогеоценозов

(Степанов, Черненкова, 1987). Все показатели состояния экосистем необходимо сопоставлять с фоновыми данными.

Аналогичный подход с подразделением на неоднозначные группы признаков – «основные» и «коррелятивные» – предлагается в виде системы конкретных индикаторных признаков – показателей состояния экосистемы (Воробейчик и др., 1994).

В лиственных лесах и на лугах биоиндикационные исследования целесообразно проводить по доминирующим видам травянистых растений, у которых визуально определяются поражения (ожоги, снижение роста, изменение формы и окраски листьев).

Для экологического мониторинга особый интерес представляют природные объекты, в наибольшей степени, аккумулирующие ЗВ – лесная подстилка, тонкий верхний слой целинных почв, лишайниково-моховые группировки.

Перспективным подходом в оценке состояния природной среды является контроль биогенного круговорота веществ и продуктивности биоты.

При длительном воздействии ЗВ даже в очень низких концентрациях возможные экологические последствия могут проявляться спустя длительное время. Для прогноза этих последствий и их своевременного предупреждения можно использовать такие чувствительные показатели, как количество и качество пыльцы и семян, частота нарушений хромосом в клетках меристемы, фракционный состав белков растительных тканей, выпадение из состава сообществ отдельных индикаторных видов.

Программой мониторинга должны быть охвачены разнообразные местообитания в пределах данной территории и соответствующие им типы биогеоценозов с целью выявления степени толерантности различных типов фитоценозов к загрязнению. Однако осуществление программы мониторинга в таком объеме практически нереально из-за чрезвычайно высокой трудоемкости, поэтому систему контролируемых типов экосистем можно ограничить лишь характерными для данной территории, в число которых должны войти наиболее распространенные (занимающие наибольшие площади), а также зональные типы экосистем. По возможности желательно охватить наблюдениями все стадии сукцессионных и экологических рядов.

Наблюдения за состоянием экосистем и их компонентов должны осуществляться в течение ряда лет, чтобы отделить естественные изменения (свойственные экосистеме и вызванные как внутренними факторами, так и климатическими и др.) от нарушений, вызванных воздействием факторов антропогенной природы.

В сокращенную программу ежегодных наблюдений следует включать наиболее информативные показатели, отслеживаемые по экспресс-методикам, а исследования по полной программе проводить один раз в 5 лет.

В программу **гидрометеорологических наблюдений** на метеостанции и метеопостах целесообразно включить следующие показатели: температура воздуха (средняя, минимальная, максимальная), влажность воздуха, скорость и направление ветра ( $V_{\text{мгн}}$ ,  $V_{\text{ср}}$ ,  $V_{\text{max}}$ ), атмосферное давление, температура поверхности почвы, метеорологическая дальность видимости, высота нижней



границы облаков, определение количества и формы облаков, температура воздуха в приземном слое, гололедно-изморозевые отложения, интенсивность осадков, количество осадков, состояние подстилающей поверхности и характеристики снежного покрова, снегосъемка на ландшафтных маршрутах, наблюдение за состоянием погоды, атмосферными явлениями, гамма-фон.

При возникновении (угрозе возникновения) в районе метеостанции опасного или стихийного метеорологического явления проводятся учащенные наблюдения, необходимые для определения времени начала, усиления и окончания явления.

На гидрологических постах наблюдения должны проводиться по следующим основным элементам гидрологического режима рек: уровень воды, сток воды, расход воды, температура воды, ледовый режим, качество (химический состав) воды.

### ***Методические подходы к организации сети комплексного экологического мониторинга***

Важным элементом организации системы комплексного экологического мониторинга является её *рациональная пространственная структура, т.е. определение наиболее информативных мест размещения* стационарных автоматических и маршрутных постов контроля, ключевых и реперных участков, гидростов, гидрометеостов, наблюдательных скважин и т. д.

Сеть комплексного экологического мониторинга должна проектироваться с учетом ландшафтных, природно-климатических условий местности, состояния геологической среды и природных ресурсов. Такой подход позволит в автоматическом режиме, при проведении полевых маршрутных и экспедиционных исследований, в том числе в зонах повышенного риска (с высокой плотностью пунктов наблюдений), по утвержденной программой системе показателей максимально полно охватить наблюдениями и контролем зону влияния источника загрязнения, выполнить комплексную оценку состояния биогеоценозов и с наибольшей репрезентативностью и статистической достоверностью выявить изменения, происходящие в природных экосистемах, на основе сравнения с фоновыми территориями, сходными по природно-климатическим, ландшафтно-географическим и биоценотическим условиям.

При проектировании сети комплексного экологического мониторинга необходимо придерживаться следующих основных принципов (Ашихмина, 2002).

1. Сеть комплексного экологического мониторинга должна максимально полно охватывать зону вероятного влияния источника загрязнения на окружающую среду.

2. Проектирование сети необходимо проводить с учетом ландшафтных, природно-климатических условий местности, состояния геологической среды и природных ресурсов.

3. Сети наблюдения всех природных сред и объектов, источников техногенного воздействия должны быть объединены в единую комплексную сеть, действующую в рамках единой утвержденной программы мониторинга.

4. Для отслеживания состояния, устойчивости и динамики экологических систем маршрутные посты, ключевые и реперные участки, пункты учета должны быть спроектированы так, чтобы можно было сделать комплексную оценку биогеоценоза.

5. Проектирование сети должно осуществляться с учетом отслеживания показателей загрязнения, как в автоматическом режиме, так и при проведении полевых маршрутных и экспедиционных исследований.

6. Сеть мониторинга в зонах повышенного риска вблизи крупных населенных пунктов, транспортных магистралей, водоохраных зон, охраняемых природных территорий и объектов, зон отдыха и т. д. проектируется с повышенной плотностью пунктов наблюдений и исследований.

7. Для получения объективных оценок влияния источника загрязнения на окружающую среду сеть комплексного мониторинга должна включать наблюдения на фоновых территориях, сходных по природно-климатическим, ландшафтно-географическим и биоценотическим условиям с импактной зоной, но расположенных в природном комплексе вдали от источников антропогенного воздействия.

8. Территория зоны наблюдения, численность проживающего на ней населения, объектов животного и растительного мира должны быть достаточны для получения статистически достоверных оценок.

9. При проектировании сети мониторинга природных биологических объектов необходимо учитывать их приуроченность к определенным экологическим условиям.

Пространственная сеть комплексного экологического мониторинга проектируется на территориях промышленной зоны, санитарно-защитной зоны и зоны защитных мероприятий. Кроме того, она включает сеть пунктов наблюдений, ключевых участков, метео- и гидропостов на фоновых территориях.

Ключевые участки биологического мониторинга размещаются на территориях, занятых характерными растительными сообществами, в пределах санитарно-защитной зоны объекта, зоны защитных мероприятий и на фоновой территории. При выборе мест размещения ключевых участков должны быть учтены все варианты возможного воздействия объекта – ориентация по сторонам горизонта, роза ветров, удаленность от объекта, заселенность территории. Ключевые и реперные участки мониторинга почв, почвенной биоты, растительного и животного мира должны располагаться в типичных биогеоценозах в пределах зоны ожидаемого техногенного воздействия на окружающую среду, а также на фоновых территориях вдали от источников антропогенного воздействия для обеспечения наибольшей объективности оценки степени воздействия источника загрязнения.

В зоне влияния объекта точки постоянного учета могут быть размещены по координатной сетке. Для фоновых наблюдений выбираются полигоны на территориях с незначительной антропогенной нагрузкой, по природным условиям приближающиеся к техногенной зоне.

В связи с тем, что биоиндикаторы могут выступать в качестве тест-объектов для оценки реальной опасности здоровью населения от возможного

попадания поллютантов во внешнюю среду, рекомендуется размещать максимальное количество точек учета вблизи к более заселенным территориям, расположенным в направлении преобладающих ветров, с учетом рельефа местности и ее топографических данных.

**Периодичность отслеживания показателей комплексного экологического мониторинга.** При обосновании оптимальной периодичности наблюдений по всем подсистемам комплексного мониторинга учитывается характерное время реакции экосистем на тот или иной вид антропогенного воздействия.

С наибольшей частотой рекомендуется проводить мониторинг состояния атмосферного воздуха, так как это наиболее подвижная и изменчивая природная среда, в которой не происходит накопления ЗВ, но при этом воздух является основным переносчиком загрязнителей.

Экологический мониторинг атмосферного воздуха населенных мест предлагается проводить на границе санитарно-защитной зоны ежемесячно и на территории зоны защитных мероприятий ежеквартально, а метеорологические показатели регистрировать 4 раза в сутки. Мониторинг состояния подземных вод на эксплуатационных скважинах и наблюдательных скважинах – 3 раза в год (весенне-летне-осенний период). Мониторинг поверхностных вод целесообразно проводить 3 раза в год (весенне-летне-осенний период), а почв 2 раза в год. Сточные воды в сборнике производственных стоков должны контролироваться 1 раз в сутки, хозяйственно-бытовые, канализационные стоки – 2 раза в месяц.

Ежегодно в весенне-летне-осенний период проводятся исследования состояния почв, растительности, животного мира и агроценозов.

Система комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды должна функционировать в течение всего периода действия источника техногенного загрязнения, а также заданное время в постэксплуатационный период.

**Методическое обеспечение комплексного экологического мониторинга.** В экологическом мониторинге могут использоваться различные методы исследования. Среди них можно выделить дистанционные (аэрокосмические) и наземные. К наземным методам относятся биологические (биоиндикация, биотестирование) и физико-химические методы. Применение того или иного метода обусловлено, прежде всего, целями, наличием методик, оборудования, реактивов и условиями проведения. Если в государственном экологическом контроле могут использоваться результаты, полученные только с использованием утвержденных, аттестованных методик, то в экологическом мониторинге это требование пока необязательно. Так как утвержденных методик крайне мало и в основном они относятся к методам биотестирования, а в экспериментальной практике экологического мониторинга используются классические методы биологического анализа (Герасимов, 1975; Израэль, 1980; Израэль, 1984; Реймерс, 1992; Виноградов, 1976; Виноградов, 1982; Виноградов, 1984; Виноградов, 1993; Шуберт, 1988; Мотузова, 1999; Криволицкий и др., 1987; Криволицкий, 1994; Владимиров, 1986; Владимиров, 1999; Кондратьев и др., 1996; Мясоедов, 2000; Снакин и др., 1992; Воробечик и др., 1994; Криволицкий и др., 1988;

Кочуров, 1984; Крючков, 1988; Бабьева, Зенова, 1989; Штина, Голлербах, 1976; Штина и др., 1998; Муромцев, 2000; Бейдеман, 1954; Заугольнова, 1988; Павлов, 1990; Захаров, 2000; Захаров и др., 2000; Степанов, Черненькова, 1987; Черненькова, 2000; Бутовский, 1990; Воробейчик, 1990; Гиляров, 1987; Фасулати, 1971; Рысс, 1988; Куркин, 1980; Лопатин, 1988; Титлянова, 1983; Родин, Базилевич, 1965; Исаков и др., 1986; Ашихмина, 2002; Ашихмина, 2006; Ашихмина, Алалыкина, 2008; Мелехова и др., 2007; Стрельцов, 2003; Алалыкина и др., 2004; Домрачева и др., 2006; Герасимов, 1975).

Таким образом, комплексный экологический мониторинг окружающей природной среды в районе техногенного загрязнения можно представить в виде известной со времён Древнего Рима формулы «Что? Где? Когда?» и дополнить её составляющими «Как и Зачем?».

В лекции даны ответы на все эти вопросы:

**Что** отслеживается – это параметры, природные объекты;

**Где**, в каких местах отслеживается – это сеть мониторинга;

**Когда** отслеживается – это регламент, частота отслеживаемых показателей;

**Как** отслеживать – это значит, какими методами обеспечивать мониторинг;

**Зачем** – для получения достоверной информации, необходимой для предотвращения и уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей природной среды, а по И. П. Герасимову (1975) – для принятия управленческих решений.

### Библиографический список

Алалыкина Н. М., Ашихмина Т. Я., Кондакова Л. В. Фенология и региональный экологический мониторинг. Сыктывкар, 2004. 94 с.

Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.

Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М.: МГУ, 1989. 335 с.

Бейдеман И. Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 154 с.

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

Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.

Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 288 с.

Бутовский Р. О. Автотранспортное загрязнение и энтомофауна // Агрохимия. 1990. № 4. С. 139–150.

Быков Б. А. Из практики геоботанических работ в Прикаспии // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1952. Т. 57, № 5.

Викторов С. В., Чекишев А. Г. Ландшафтная индикация антропогенных изменений природных комплексов // Прикладные ландшафтные исследования. М.: МГПИ им. В. И. Ленина, 1985. С. 25–31.

Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. 213 с.

Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. М.: Мысль, 1976. 286 с.

Виноградов Б. В. Растительные индикаторы. М.: Высш. шк., 1982. 324 с.

Виноградов Б. В., Орлов В. П., Снакин В. В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Изв. РАН. Сер. геогр. № 5. 1993. С. 77–89.

Владимиров В. В. Город и ландшафт. М.: МНЭПУ, 1986.

Владимиров В. В. Урбоэкология. М.: МНЭПУ, 1999. 204 с.

Воробейчик Е. Л. Изменение населения педобионтов под действием выбросов крупного химического производства // Животный мир Южного Урала. Оренбург. 1990. С. 9–11.

Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 280 с.

Герасимов И. П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1975. № 3. С. 13–25.

Гиляров М. С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) // Количественные методы в почвенной зоологии. М., 1987. С. 202–217.

Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. 472 с.

Домрачева Л. И. Ашихмина Т. Я., Кондакова Л. В., Дабах Е. В., Огородникова С. Ю. Кантор Г. Я., Калинин А. А., Вараксина А. И. Эколого-аналитический мониторинг антропогенно-нарушенных почв // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета, 2006. № 14. С. 153–170.

Завьялов Е. В. Эколого-токсикологическое воздействие кожно-резорбтивных отравляющих веществ на фауну: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Волгоград, 1995. 18 с.

Заугольнова Л. Б. и др. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М.: Наука, 1988. 182 с.

Захаров В. М. Здоровье среды. Концепция. М.: Центр экологической политики России, 2000. 28 с.

Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М., 2000. 63 с.

Израэль Ю. А. и др. Теоретические и прикладные аспекты фонового экомониторинга состояния биоты // Проблемы экологического моделирования и моделирование экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 7–24.

Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.

Ипатов В. С., Кирикова Т. Н., Линдемман Т. Н. Об оценке степени участия видов в структуре растительного покрова // Бот. журн. 1966. Т. 5, № 8.

Исаков Ю. И., Казанская Н. С., Тишков А. А. Зональные закономерности динамики экосистем. М.: Наука, 1986. 150 с.

Козлов М. В. Влияние антропогенных факторов на популяции наземных насекомых // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. «Энтомология». 1991. Т. 13. 191 с.

Конешова Е. А. Эколого-токсикологическое воздействие зомана и продуктов его детоксикации на животных: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Волгоград, 1996. 17 с.

Корчагин А. А. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. Л.: Наука, 1976. Т. 5. 316 с.

Кочуров Б. И. Изучение и нормирование загрязнения земель // Влияние промпредприятий на окружающую среду: Тез. докл. Пушкино, 1984. С. 101–103.

Криволицкий Д. А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 272 с.

Криволицкий Д. А., Степанов А. Н., Тихомиров Ф. А., Федоров Е. А. Экологическое нормирование на примере радиоактивного и химического загрязнения экосистем // Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. М., 1988. С. 4–16.

Криволицкий Д. А., Тихомиров Ф. А., Федоров Е. А. Биоиндикация и экологическое нормирование // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. М., 1987. С. 18–26.

Крючков В. В. Необходимость нормирования техногенных нагрузок на экосистемы // Нормирование антропогенных нагрузок: Тез. докл. М., 1988. С. 121–123.

Куркин К. А. Параметры биогеоценозов и системный подход к их определению // Бюл. МОИП, отд. биол., 1980. Т. 25, № 3. С. 40–56.

Левин С. В., Гузев В. С., Асеева И. В., Бабьева И. П. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и проблемы охраны почв. М., 1989. С. 5–46.

Лопатин В. Д. О методике полевого изучения биогеоценоза и анализа полученных материалов // Экология. 1988. № 1. С. 23–28.

Мониторинг природных сред и объектов (Исследовательский практикум). / Под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров: Старая Вятка, 2006. 252 с.

Мотузова Г. В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 168 с.

Муромцев Н. А. Проблемы почвенно-экологического мониторинга // Современные проблемы почвоведения. М., 2000. С. 579–589.

Мясоедов Б. Ф. Аналитический контроль при уничтожении химического оружия // Федеральные и региональные проблемы уничтожения химического оружия. Инф. вып. № 2. М.: ВИНТИ, 2000. С. 104–115.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Павлов Б. К. Популяционный подход к экологическому нормированию // Методол. экол. нормирования. Харьков, 1990. С. 49.

Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России / Под ред. В. Ф. Протасова. М.: Финансы и статистика, 1995. 528 с.

Реймерс Н. Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. М.: Просвещение, 1992. 320 с.

Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 251 с.

Рысс А. Ю. Корневые паразитические нематоды сем. Pratylenchidae (Tylenchida) мировой фауны. Л., 1988.

Садыков О. Ф. Любашевский Н. Н., Богачева И. А. и др. Некоторые экологические последствия техногенных выбросов фтора // Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду. М., 1985. С. 43–53.

Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 146–202.

Снакин В. В., Мельченко В. Е. и др. Оценка состояния и устойчивости экосистем. М.: Минэкологии РФ, 1992. 128 с.

Степанов А. М., Черненкова Т. В. Экологическое нормирование на основе расчетов интегрального критерия сохранности экосистем // Экологические и социально-экономические критерии в системе управления охраной природной среды. Самарканд, 1987. С. 158–160.

Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд. Калужского ЦНТИ, 2003. 158 с.

Стриганова Б. Р. Питание почвенных сапрофагов. М.: Наука, 1980. 243 с.

Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов лесов. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

Титлянова А. А. Методология и методы оценки чистой первичной продукции и построение баланса элементов в экосистемах // Теоретические основы и опыт экологического мониторинга. 1983. С. 63–76.

Тюрин И. В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. 320 с.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 326 с.

Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М.: Высш. шк., 1971. 423 с.

Черненкова Т. В. Динамика биологического разнообразия таежных лесов в условиях промышленного загрязнения: Автореф. дис. ...д-ра биол. наук: М., 2000.

Шляхтин Г. В., Корякин Ю. Н., Хохоев Т. Х. и др. Методическое обеспечение комплекса исследований по воздействию кожно-нарывных отравляющих веществ на биоту // Российский химический журнал. 1995. Т. XXXIX. № 4. С. 107–109.

Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.

Штина Э. А., Зенова Г. Н., Манучарова Н. А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449–1461.

Экодинамика и экологический мониторинг Санкт-Петербург. региона в контексте глобальных изменений / Под ред. К. Я. Кондратьева, А. К. Фролова. СПб.: Наука, 1996. 448 с.

Экологический мониторинг: Учебно-методическое пособие. Изд. 3-е, испр и доп. / Под ред. Т. Я. Ашихминой. М.: Академический Проект, 2006. 416 с.

Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // *Das Wasserbrach*, 1955. Bd. 96, № 18. 604 s.

Sladeczek V. System of water quality from biological point of view // *Ergebn. himnol.*, 1973. V. 7. P. 1–128.

Straalen N. M. New methodological for estimating the ecological risk of chemical in the environment // *Proc. 6-th Int. Assoc. of Engineering Geology*. 6–10 August 1990. Amsterdam, 1990. P. 241–251.

Watanabe T., Asai K., Houki A. Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblages // *9-th Diatom Symposium*, 1986. P. 123–141.



# БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## ГРИБЫ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

*А. А. Широких*

*д.б.н., профессор кафедры экологии,*

*Вятский государственный гуманитарный университет, irgenal@mail.ru*

Грибы – это эукариотные гетеротрофные организмы относительно простой организации – от одноклеточных до нитчатых – мицелиальных. В системе органического мира они составляют отдельное царство – Fungi (Гарибова, Леконцева, 2005). До недавнего времени на основании таких признаков, как неограниченный верхушечный рост, полярность клетки, образование поперечных перегородок, грибы относили к низшим растениям. Однако отсутствие хлорофилла, гетеротрофный тип питания, наличие в клеточной стенке хитина, а не целлюлозы, образование мочевины в процессе азотного обмена, синтез запасных питательных веществ в форме гликогена, формирование лизосом в цитоплазме, структура дыхательных ферментов – цитохромов и транспортных РНК – черты присущие грибам позволили выделить их в отдельное царство. На основании сравнительного изучения цитохромов С установлено, что грибы являются очень древними организмами, существовавшими ещё до расхождения царств растений и животных.

Вегетативные тела грибов состоят из мицелия – ветвящихся нитей с апикальным верхушечным ростом и боковым ветвлением. Такое строение позволяет грибу максимально заселять субстрат для извлечения из него питательных веществ. У некоторых грибов, например дрожжей, вегетативное тело представлено одиночными почкующимися или делящимися клетками. Если такие почкующиеся клетки не расходятся, то образуется псевдомицелий (Бабьева, Чернов, 2004).

У грибов нет специальных структур приспособленных для питания, они всасывают питательные вещества всей поверхностью тела (Звягинцев и др., 2005). Разрастаясь по поверхности или в глубине субстрата, грибы соприкасаются с ним клеточной оболочкой, через которую они выделяют во внешнюю среду ферменты и поглощают питательные вещества абсорбтивным путем. Такой тип взаимодействия с субстратом определяет положение грибов как минерализаторов органических веществ в экосистемах.

Грибы размножаются бесполым (конидиями, спорами) и половым путём (образование различных половых структур) – зигоспор, сумок или базидий (рис. 1).

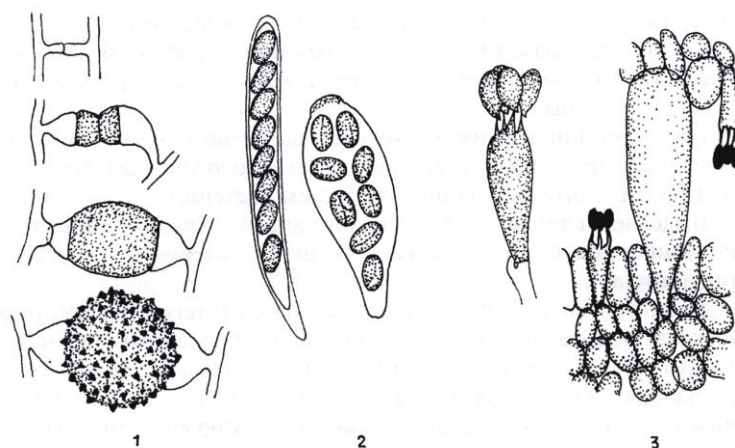


Рис. 1. Половые структуры грибов: 1 – зигоспора; 2 – сумки; 3 – базидии

Царство Fungi – настоящие грибы – включает четыре отдела – хитридиомицеты (*Chitridiomycota*), зигомицеты (*Zygomycota*), аскомицеты (*Ascomycota*) и базидиомицеты (*Basidiomycota*). Грибы, у которых не обнаружен половой процесс – дейтеромицеты (*Deuteromycota*) сохраняются в ряде классификационных систем в ранге отдела, в других же составляют группу «митотических грибов», не являющихся таксоном (Мюллер, Леффлер, 1995; Гарибова, Лекомцева, 2005).

**Хитридиомицеты.** Представители этого отдела являются единственной группой в царстве грибов, у которых в цикле развития имеются подвижные жгутиковые стадии (зооспоры). Это наиболее древняя группа грибов. Отдел включает преимущественно водные формы, но есть и почвенные паразиты водорослей, цветковых растений, беспозвоночных и грибов, или сапротрофы на субстратах, содержащих хитин, целлюлозу или кератин. Типичный представитель – *Olpidium brassicae* паразитирующий на капусте.

**Зигомицеты.** В этот отдел включены грибы, мицелий которых не разделены септами. Клеточные стенки мицелия содержат хитин и хитозан. Бесполое размножение осуществляется спорангиоспорами. Половой процесс – зигогамия. Отдел включает сапротрофные грибы и паразитов растений, животных, грибов; микообразователей (везикулярно-арбускулярные микоризы травянистых растений – порядок *Glomales*); эндо- и экзосимбионты членистоногих; хищные грибы. Типичный представитель – *Mucor ramsissimus*.

**Аскомицеты.** Это самый большой по числу видов отдел грибов (до 75% всех известных видов). В отдел включены сумчатые грибы, которые характеризуются эндогенным образованием половых спор (аскоспор). Отличительной чертой этих грибов является наличие сумки, или аска. Сумка – репродуктивный орган, в ней обычно формируется 8 спор. Споры прорастают в многоклеточный мицелий, на котором могут формироваться бесполое споры – конидии, играющие большую роль в цикле развития аскомицетов. Для аскомицетов характерен септированный мицелий и полное отсутствие подвижных форм. Типичные представители – строчок обыкновенный (*Gyromitra esculenta*) и пецица пузырчатая (*Peziza vesiculosa*).

**Базидиомицеты.** Отдел включает наиболее высокоорганизованные грибы. Основной отличительной чертой этих грибов является наличие специализированного органа – базидии, развивающегося в результате полового процесса. Базидия, как и сумка, – репродуктивный орган, на ней образуются базидиоспоры, с помощью которых идет дальнейшее размножение особи. Базидии располагаются на поверхности или внутри плодовых тел. Плодовые тела базидиомицетов могут иметь самую разнообразную форму. На мицелии они часто располагаются по кругу. Конидиальное бесполое спороношение у базидиомицетов встречается крайне редко. Типичные представители базидиомицетов – шампиньон (*Agaricus bisporus*) и белый гриб (*Boletus edulis*).

**Несовершенные грибы – дейтеромицеты.** Отдел очень разнообразен по характеру входящих в него видов, которые представлены формами с хорошо развитым септированным мицелием, но не имеющих половых спороношений. Размножение происходит вегетативным путём – таллоспорами, которые образуются из элементов мицелия, или почками бластоспорами (рис. 2).

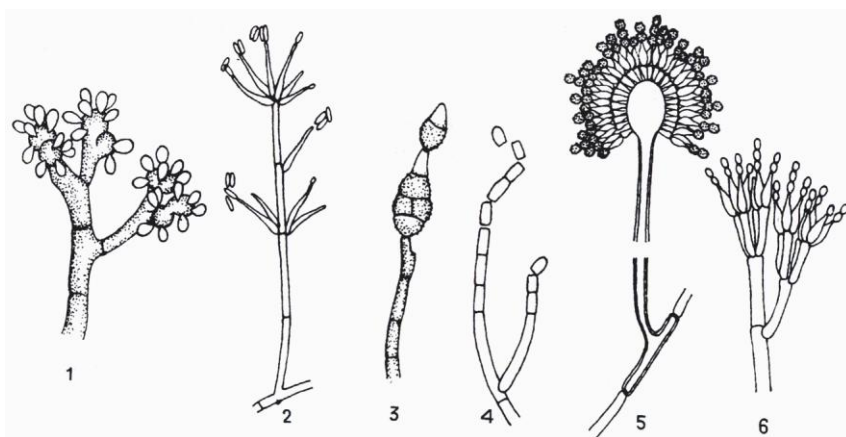


Рис. 2. Конидиальные спороношения несовершенных грибов

Несовершенные грибы представляют собой конидиальную стадию аскомицетов, реже базидиомицетов. Подтверждением этому служит то, что в некоторых случаях обнаруживаются высшие спороношения этих грибов в природе, или их удаётся получить на искусственных питательных средах в культуре.

Среди несовершенных грибов наиболее известны гифомицеты, насчитывающие до 10 тыс. видов. Их особенно много в почвах. Некоторые виды разлагают целлюлозу и другие полимерные соединения мёртвых растительных тканей. Типичные представители почвенных гифомицетов – грибы родов *Penicillium* и *Aspergillus*.

Сообщества грибов являются одним из главных составляющих экосистем нашей планеты. Грибы обитают повсеместно: в воде, почве, на древесине и растительном опаде, на живых тканях растений и животных. Они осуществляют широкий спектр биосферных функций, важнейшей из которых является разложение органического вещества (Одум, 1986; Carlile et al., 2001). Грибам в экосистемах отводится особый экогоризонт и роль посредников между живым и мёртвым веществом в биосфере (Каратыгин, 1994). Они контролируют широкий спектр экосистемных функций – первичную и вторичную продуктивность,

регенерацию биофильных элементов путем разложения растительных и животных остатков и перевода элементов из геологического в биологический круговорот (Мухин и др., 2000; Burford et al., 2002). Столь важная роль этих организмов в экосистемах сформировалась в процессе совместной эволюции растений и грибов как двух неотъемлемых компонентов любой экосистемы – автотрофов и гетеротрофов.

Первые сведения о грибах в палеонтологических материалах носили отрывочный, фрагментарный характер (Попов, 1967). Крупным прорывом в палеомикологических исследованиях можно считать работу английских ботаников Р. Кидстона и У. Лэнгла (Kidston, Lang, 1921), впервые описавших комплекс девонских вымерших растений, в тканях которых обнаружены грибы, а также следы их деятельности. Всего авторами было выявлено и описано около 15 грибных форм. Кидстон и Лэнг первыми обратили внимание на близость этих грибов по ряду морфологических признаков к современным эндомикоризным грибам, обитающим на современных представителях *Psilotum* и *Tmesipteris*, наиболее близких древним риниофитам. В исследованиях Кидстона и Лэнга, помимо таксономических, были впервые представлены также данные о ценотических связях, существовавших между организмами в экосистемах девона.

Большой интерес представляет находка наземных мицелиальных грибов из верхнего силура острова Готланд (Sherwood-Pike, Gray, 1985). В силурийских отложениях, имеющих возраст около 400 млн. лет, очень хорошо сохранились гифы, спороносные клетки и споры с поперечными перегородками. На основании некоторых морфологических признаков эти фоссилизированные остатки древних грибов были отнесены исследователями к аскомицетам.

В каменноугольном периоде отмечается значительное увеличение видового разнообразия грибов. В окаменевших остатках карбона найдены гифы с пряжками, закрытые плодовые тела, зигоспоры, различные хитридиомицеты, оомицеты и трихомицеты. Наиболее полно описан образец *Palaeancistrus*, обнаруженный в трахеидах папоротника *Zygopteris* (Dennis, 1970). Фоссилии представлены септированными гифами, причем некоторые из гиф имели как терминальные, так и интеркалярные хламидоспоры.

Таким образом, приведенные выше палеонтологические данные свидетельствуют о том, что вегетативные структуры грибов (мицелий и хламидоспоры) постоянно обнаруживаются в самых ранних ископаемых остатках древних биогеоценозов. Поэтому можно считать доказанным, что во все геологические эпохи грибы в качестве симбиотрофов и паразитов оказывали влияние на развитие, рост и распространение организмов, а в качестве сапротрофов участвовали в разложении их органических остатков (Каратыгин, 2007).

Для понимания роли грибов в современных экосистемах и развития трофо-ценотических отношений в ходе коэволюции грибов и растений важен анализ связей между ними в экосистемах прошлого. В первых наземных девонских экосистемах уже были заложены важнейшие формы и механизмы отношений между организмами автотрофного и гетеротрофного блоков, определивших в дальнейшем все многообразие последующих наземных экосистем. В частности,

выход растений на сушу, и ее освоение осуществлялось в рамках общего трофического контура, в котором существенное значение имели организмы гетеротрофного блока, в том числе сапротрофные и симбиотрофные грибы.

Широкому распространению грибов в современных экосистемах способствует ряд особенностей их биологии, наиболее важные из которых следующие:

1. Наличие у большинства грибов мицелиальной структуры, обеспечивающей большую величину отношения поверхности гиф к их объему. Это позволяет полнее заселять субстрат и дает высокую степень контакта с окружающей средой.

2. Значительные скорости роста и размножения, дающие возможность грибам в короткие сроки заселять обширные массы субстратов, накапливать большое число спор и распространять их на большие расстояния.

3. Высокая метаболическая активность, проявляющаяся в широком диапазоне действия различных факторов окружающей среды.

4. Значительная генетическая и биохимическая изменчивость (экологическая пластичность), позволяющая грибам быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды обитания и новым субстратам.

5. Способность быстро реагировать на действие неблагоприятных факторов среды переходом к покоящимся структурам (анабиозу), возможность длительно пребывать в нём, не теряя жизнеспособности, и также быстро переходить к активной жизнедеятельности при наступлении благоприятных условий.

Экологическая классификация грибов основана на двух подходах – *трофическом* (на основе способа питания – паразитический, симбиотрофный, сапротрофный, а также заселяемых субстратов – гумусовые сапротрофы, подстилочные сапротрофы и проч.) и *топическом* (на основе среды обитания, например, почвенные, водные грибы) (Белякова и др., 2006).

**Сапротрофные грибы.** Глобальная экологическая роль сапротрофных грибов заключается в освобождении углерода, связанного высшими растениями в процессе фотосинтеза. Благодаря наличию уникального комплекса ферментов грибы расщепляют самые стойкие биополимеры, целлюлозу и лигнин. Если целлюлозу способны разлагать различные представители царства грибов – аскомицеты, базидиомицеты и несовершенные грибы, а так же бактерии, то лигнин, составляющий 25% сухой биомассы растений, разлагают только грибы «белой гнили» – представители родов *Phanerochaete*, *Trametes*, *Pleurotus*, *Polyporus*, *Phlebia* (Головлева, Леонтьевский, 1990). Как показали исследования, большая часть (до 80%) продуктов распада древесины превращается под действием грибов в углекислый газ и лишь 15–35% идет на построение мицелия (Мухин и др., 2000; Мухин, Воронин, 2007). Таким образом, грибы завершают углеродный цикл, начатый фотосинтезирующими растениями. Переход углерода в CO<sub>2</sub> сопровождается освобождением других элементов, связанных в растительных клетках (табл. 1).

**Соотношение углерода и других элементов минерального питания при разрушении древесины грибами (Boddy, Watkinson, 1995)**

Субстрат	Потери веса, %	C/N	C/P	C/K	C/Ca	C/Mg
Неразрушенная древесина	0	247	3643	343	135	1797
Разрушенная древесина	29	175	2587	243	96	1288
То же	46	133	1967	185	73	965
То же	64	89	1311	123	49	643
То же	82	44	655	62	24	322
Грибной мицелий	–	35	505	115	66	285

За дальнейшие пути реализации углерода и других элементов минерального питания ответственны организмы, которые питаются мицелием и плодовыми телами дереворазрушающих спротрофов (главным образом беспозвоночные).

Наиболее подвижный углерод, хранящийся в почве (углерод гумуса), разлагается в результате микробиологических процессов, в которых активно участвуют и грибы. Поскольку их масса составляет примерно 90% от биомассы остальной почвенной микробиоты, значителен их вклад в разложение почвенного гумуса. Грибы возвращают в круговорот углерод, связанный в листьях, древесине, почве; через тела грибов проходит 2/3 связанного углерода на Земле.

Большинство сапротрофных грибов относится к следующим трофическим группам: *гумусовые сапротрофы* – почвообитающие грибы, которые участвуют в процессах разложения и синтеза гумуса; *подстилочные сапротрофы*, разлагающие мёртвые растительные остатки – лесной опад, отмершие части травянистых растений; *ксилотрофы*, развивающиеся в мертвой древесине и разлагающие её (например, трутовые грибы); *копротрофы*, питающиеся навозом травоядных животных.

Значительно меньше видов сапротрофных грибов развивается на мертвых животных. Чаще всего это низшие водные грибы – хитридиомицеты, оомицеты, развивающиеся на мертвых водных беспозвоночных и рыбах. Некоторые из них способны поражать ослабленных живых рыб и этом случае их можно рассматривать как паразитов.

**Грибы-паразиты.** Связь грибов с растениями возникла на самых ранних этапах эволюции растений, например, сообщается о грибных повреждениях перидермы псилофитонов (*Psilophyton*) обитавших в раннем девоне (Trant, Gensel, 1985). Эта связь сыграла большую роль в становлении современных фитоценозов. В частности, грибы-паразиты регулируют численность отдельных видов растений и способствуют формированию сложных многовидовых фитоценозов (Белякова и др., 2006). Они наиболее сильно поражают массовые виды и, снижая их численность, позволяют развиваться менее конкурентоспособным видам. Если последние становятся массовыми, они тоже начинают сильно поражаться. Так создаётся устойчивое равновесие видов в фитоценозах.

Среди грибов-паразитов различают облигатных (биотрофных) паразитов, утративших способность к сапротрофному существованию, например, ржавчинные (*Uredinales*), головнёвые грибы (*Ustilaginales*), и факультативных пара-

зитов, для которых паразитизм не обязателен (Дьяков, 1992). Последние могут существовать как сапротрофы, но в соответствующих условиях переходят к паразитическому образу жизни, например, *Alternaria*, *Fusarium*, *Curvularia* и др.

Отдельные группы грибов паразитируют на животных. Среди оомицетов, зигомицетов и аскомицетов есть большие таксоны, представители которых специализированы к поражению насекомых (энтомопатогенные грибы). В каждой из этих групп был единый предок, перешедший к паразитированию на насекомых, а его потомство иррадиировало в большой (иногда более 1000 видов) таксон. Играя роль регуляторов численности членистоногих, они одновременно являются редуцентами, которые обеспечивают деградацию хитинсодержащих субстратов и включают азотные в круговорот азота (Огарков и др., 2008).

Близка к экологической группе энтомопатогенных грибов своеобразная группа грибов-хищников. Эти грибы обитают в почве и имеют специальные приспособления – ловчие кольца, которыми они улавливают нематод. Процесс улавливания напоминает ловлю мух на липкую бумагу. После запутывания нематоды гифы гриба прорастают внутрь и быстро заполняют все ее тело. Весь процесс продолжается не более суток. Следует заметить, что в отсутствие нематод грибы ловушек не образуют. Хищные гифомицеты найдены во многих климатических зонах, что свидетельствует не только о космополитизме, но и большой экологической роли в утилизации огромной биомассы нематод, живущих в почве и также широко распространенных (Теплякова, 1999).

Паразитические патогенные грибы, связанные с человеком и животными, также подразделяются на облигатных и факультативных паразитов. Они способны вызывать глубокие поражения кожи и слизистых покровов, очаговые и системные микозы органов дыхания и кроветворения, органов зрения и слуха, центральной нервной системы (Кашкин и др., 1979; Марфенина, Фомичёва, 2007). Облигатные паразитические грибы этой экологической группы, например *Microsporum*, *Trichophyton*, очень специализированы и занимают узкую экологическую нишу. Паразитируя на человеке и животных, они практически не встречаются в других экотопах.

Существует так же небольшая группа микофильных грибов, паразитирующих на других видах грибов – плодовых телах макромицетов (например, *Spinnellus fusiger*) и мицелии микромицетов.

**Симбиотические грибы.** Эти грибы связаны почти исключительно с растениями. Как и паразитические виды грибов, они питаются содержимым клеток растений, но наряду с приносимым вредом, они придают растению-хозяину ряд полезных свойств. Если приносимая польза превышает вред, заражённые растения становятся более жизнеспособными и конкурентоспособными. Известны две группы грибных микосимбионтов растений: живущие в корне – *микоризные* грибы и живущие в надземных частях – *эндофитные* грибы.

*Микоризные грибы.* Термин микориза используется в двух значениях: с одной стороны для обозначения структуры – модифицированной части корня растения-хозяина, заселённой грибом, и с другой – для определения трофических взаимоотношений между корневой системой растения и микосимбионтом. Микориза представляет собой важнейший из симбиозов, в который вовлечены

растения и грибы. Более 80% наземных растений образуют микоризы различных типов (Brundrett, 2002). Микоризы встречаются практически во всех растительных ассоциациях и оказывают значительное влияние как на растения-фотобионты, так и на весь биогеоценоз в целом. Встречаются немикоризные растения, но практически не существует безмикоризных растительных сообществ.

Находясь в составе симбиоза с растением, гриб питается продуктами фотосинтеза и частично защищён тканями корня. Польза для растения заключается в следующем: 1) увеличивается объём всасывающей поверхности за счёт мицелия, выходящего в окружающее пространство, часто на большое расстояние от корня; 2) микоризные грибы переводят в усвояемую для растения форму

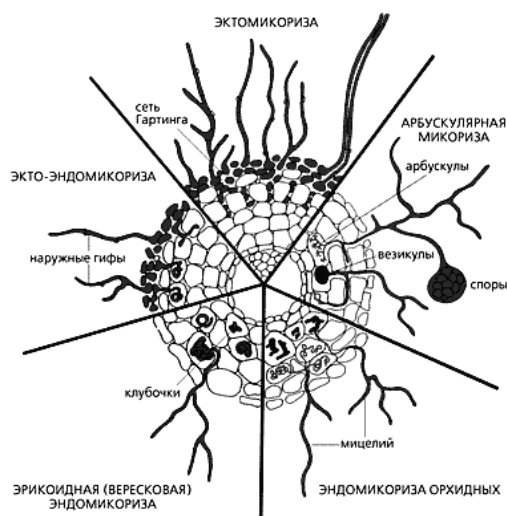


Рис. 3. Морфологические особенности различных типов микориз

труднодоступные соединения фосфора; 3) из мицелия в растение поступают синтезируемые грибом биологически активные соединения – витамины, гормоны и др.; 4) микориза защищает корни от потенциальных почвенных патогенов вследствие механической преграды (мицелиального чехла вокруг корня), выделения антибиотиков и активизации защитных свойств самого растения.

Известно несколько типов микоризных ассоциаций – *эндомикориза*, *эктомикориза* и *эндо-эктомикориза* (рис. 3).

При эндомикоризе гифы частично находятся внутри корня и частично выходят в почву. Такая микориза широко распространена среди архегониальных и покрытосемянных травянистых растений. Чаще всего этот тип микоризы образуют зигомицеты из порядка *Glomales*, которые формируют в клетках зараженных корней разветвлённые выросты мицелия (арбускулы), почему и микориза называется арбускулярной. Это наиболее древний тип микоризы: её имели растения, жившие в силуре и нижнем девоне. Первые арбускулярные эндомикоризы найдены в тканях древнейших растений (*Rhynia*, *Asteroxylon*, *Horneophyton*). Они очень схожи с современными эндомикоризными грибами рода *Glomus*. Роду ископаемого возбудителя эндомикоризы дано название *Glomites* (Taylor et al., 1995). Наличие арбускул у видов *Glomites* свидетельствует о том, что эндомикориза активно функционировала в раннем девоне и имела широкое распространение. Микоризные ассоциации способствовали адаптации первичных наземных растений к существованию вне воды.

Мицелий эктомикоризы оплетает кончик корня, образуя наружный чехол с отходящими в почву гифами, заменяющими отсутствующие корневые волоски. Этот тип микоризы образуют высшие базидиальные и сумчатые грибы (подосиновики, мухоморы, сыроежки, сморчки и т.д.) с корнями древесных голо- и покрытосемянных растений. Она возникла позднее эндотрофной – в кар-



боне (Каратыгин, 2007), и привела к возникновению лигнина, важнейшего растительного полимера. Продукты разрушения лигнина базидиальными грибами дали начало почвенному гумусу (Белякова, 2006).

Эктомикоризы в лесных сообществах способны осуществлять связь между растениями не только разных видов, но принадлежащих к разным ярусам, объединяя их в единую систему с общим оборотом питательных веществ, принимая участие в циклах биогенных элементов (Воронина, 2007; Booth, 2004; Read et al., 2004). В бореальной зоне эктотрофная микориза играет решающую роль, так как её образуют древесные породы-доминанты и эдификаторы растительных сообществ. Десятки видов эктомикоризных грибов могут находиться в корневой системе одного дерева, и наоборот, один микосимбионт способен взаимодействовать со многими особями растений как одного вида, так и разных видов, так что в большинстве микоризных ассоциаций обмен происходит не между двумя симбионтами, а между значительно большим количеством особей (Bruns et al., 2002). Кроме того, микоризные грибы образуют в лесных почвах обильный мицелий и участвуют в широком спектре взаимоотношений с почвенными организмами разных таксономических и трофических групп (Linderman, 1988).

При эндо-эктомикоризе, наряду с образованием мицелиального чехла вокруг корня, гифы внедряются в клетки внутренних тканей корня. Такой тип микоризы имеют вересковые растения, заражённые некоторыми аскомицетами. Микориза позволяет вересковым жить в экстремальных климатических условиях на очень бедных почвах.

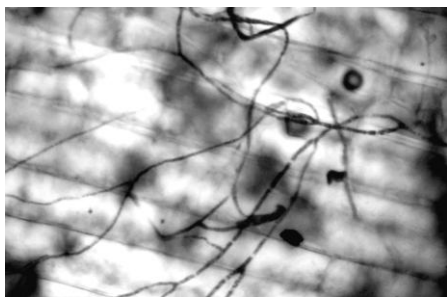


Рис. 4. Мицелий эндофитного гриба в тканях овсяницы *Festuca*

*Эндофитные грибы.* Кроме грибов-микоризообразователей в тканях растений присутствуют эндофитные грибы. Это организмы, живущие внутри растений, но не вызывающие симптомов заболеваний и находящиеся с хозяином в мутуалистических отношениях (рис. 4).

Эндофитные грибы были известны ещё в первой половине 20-го века (Благоваещенская, Дьяков, 2005). Одна из наиболее активно изучаемых в настоящее время групп эндофитных грибов это представители рода *Epichloë* и его анаморфа *Acremonium* (в настоящее время род *Neotyphodium* – Glenn et al., 1996). Эти эндофиты живут в симбиозе с видами родов *Festuca* (овсяница) и *Lolium* (райграс), а также родственными им родами. Более тщательные исследования показали, что эндофитные грибы имеют широкое распространение в растительных популяциях и встречаются не только у овсяницы и райграсса, но и других злаков (White, 1992; Marshall et al., 1999; Kelemu et al., 2001). Были открыты ещё две группы бессимптомных эндофитов – так называемые *Gliocladium*- и *Phialophora*-подобные грибы (Latch et al., 1984; An et al., 1993). Эта группа эндофитных грибов не родственна *Neotyphodium* и отличается от них особенностями роста мицелия, а также способностью заселять корни растения-хозяина (а не только листья и стебли). Эти грибы спорулируют

на растении-хозяине, не продуцируют алкалоиды и придают растению устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам (Malinowski, Beleski, 2000).

Эндوفитные грибы существенно изменяют жизнь своего хозяина. Заражённые растения отличаются от незаражённых по биохимическому составу: в них повышены концентрации азота и магния, присутствуют алкалоиды, продуцируемые эндифитом (Siegel et al., 1990). Для большинства эндифитных грибов характерно наличие большого количества вакуолей в клетках. Кроме того, в мицелии эндифитных грибов *in planta* могут присутствовать кристаллические включения, мембранные завитки, трубчатые комплексы, в то время как при выращивании изолятов на питательной среде таких структур не выявлено. В культуре у эндифитных грибов так же не всегда удаётся получить спороношение, что делает невозможным их идентификацию.

Эндифиты усиливают устойчивость растений к различным биотическим и абиотическим стрессам, что повышает их конкурентоспособность и даёт преимущество в борьбе за выживание. В растении, заражённом эндифитным грибом, накапливаются ядовитые алкалоиды, которые защищают его от выедания насекомыми, нематодами, жвачными животными. Эндифитные грибы могут вызывать половую стерилизацию растения-хозяина, что вынуждает их размножаться вегетативно и ведёт к формированию клональной структуры популяции (White, 1988). Сейчас существует тенденция рассматривать ассоциацию гриба-растение как единое целое, возможно даже, как единый организм.

Таким образом, в наземных экосистемах грибы являются представителями гетеротрофного блока. Большинство доступных для грибов биотопов заселено всевозможными растениями, животными, микроорганизмами. Лишь в исключительных случаях грибы не вступают с ними в экологические взаимодействия; всегда существуют какие-либо взаимоотношения (парабиоз), особенно в плане конкуренции за питательные вещества. Экологические взаимоотношения между грибами и другими организмами (особенно с фотобионтами), участие грибов в разложении органических остатков, круговороте биофильных элементов, создании почвенного плодородия определяет ту огромную роль, которую играют грибы в наземных экосистемах.

### **Библиографический список**

Бабьева И. П., Чернов И. Ю. Биология дрожжей. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2004. 221 с.

Белякова Г. А., Дьяков Ю. Т., Тарасов К. Л. Ботаника. Водоросли и грибы. М.: Академия, 2006. Т. 1. 315 с.

Благовещенская Е. Ю., Дьяков Ю. Т. Эндифитные грибы злаков // Микология и фитопатология. 2005. Т. 39, № 3. С. 1–15.

Воронина Е. Ю. Микоризы в наземных экосистемах: экологические, физиологические и молекулярно-генетические аспекты микоризных симбиозов // Микология сегодня / Под ред. Ю. Т. Дьякова и Ю. В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 142–234.

Гарибова Л. В., Лекомцева С. Н. Основы микологии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 220 с.

Головлева Л. А., Леонтьевский А. А. Биодegradация лигнина // Успехи микробиологии. М.: Наука, 1990. Вып. 24. С. 128–155.

Дьяков Ю. Т. Жизненные стратегии фитопатогенных грибов // Микология и фитопатология. 1992. Т. 26. Вып. 3. С. 34–35.

Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445 с.

Каратыгин И. В. Происхождение и эволюция грибов // Микология сегодня / Под ред. Ю. Т. Дьякова и Ю. В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 10–29.

Кашкин П. Н., Хохряков М. К., Кашкин А. П. Определитель патогенных, токсиногенных и вредных для человека грибов. Л.: Медицина, 1979. 270 с.

Мухин В. А., Воронин П. Ю. Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // Экология. 2007. № 1. С. 24–29.

Мухин В. А., Веселкин Д. В., Брындина Е. В. и др. Основные закономерности современного этапа эволюции микобиоты лесных экосистем // Грибные сообщества лесных экосистем / Под ред. В. Г. Стороженко и др. М.: Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2000. С. 26–36.

Марфенина О. Е., Фомичева Г. М. Потенциально патогенные мицелиальные грибы в среде обитания человека. Современные тенденции / Микология сегодня / Под ред. Ю. Т. Дьякова и Ю. В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. С. 235–266.

Мюллер Э., Леффлер В. Микология. М.: Мир. 1995. 343 с.

Огарков Б. Н., Огаркова Г. Р., Самусенок Л. В. Грибы – защитники, целители и разрушители. Иркутск. 2008. 247 с.

Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 2. 328 с.

Попов П. А. Микроскопические грибы как объект палеонтологических исследований // Микология и фитопатология. 1967. Т. 1. Вып. 2. С. 1596–1610.

Теплякова Т. В. Биоэкологические аспекты изучения и использования хищных грибов-гифомицетов. Новосибирск. 1999. 252 с.

An Z. Q., Siegel M. R., Hollin W., Tsai H. F., Schmidt D., Bunge G., Schardl C. L. Relationships among non-*Acremonium* sp. fungal endophytes in five grass species // Appl. Environ. Microbiol. 1993. V. 59. P. 1540–1548.

Boddy L., Watkinson S. C. Wood decomposition, higher fungi and their role in nutrient redistribution // Can. J. Bot. 1995 V. 73. P. 1377–1383.

Booth M. G. Mycorrhizal networks mediate overstorey – understorey competition in a temperate forest // Ecol. Letters. 2004. V. 7. P. 538–546.

Brundrett M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants // New Phytol. 2002. V. 154. P. 171–313.

Bruns T. D., Bidartondo M. I., Taylor D. L. Host specificity in ectomycorrhizal communities: what do exceptions tell us? // Integ. And Comp. Biol. 2002. V. 42. P. 352–359.

Burford E. P., Kierans M., Gadd G. M. Geomycology: fungi in mineral substrats // Mycologist. 2003. V. 17. P. 98–107.

Carlile M. J., Watkinson S. C., Gooday G. W. The Fungi. 2nd ed. San Diego; San Francisco; New York; Boston: Acad. press, 2001. 588 p.

Dennis R. L. A middle Pennsylvanian basidiomycetes mycelium with clamp connections // *Mycologia*. 1970. V. 62. № 3. P. 578–584.

Glenn A. E., Bacon C. W., Price R., Hanline R. T. Molecular phylogeny of *Acremonium* and its taxonomic implication // *Mycology*. 1996. V. 88. P. 369–383.

Kelemu S., White J.F., jr., Munoz F., Takayama Y. An endophyte of the tropical forage grass *Brachiaria brizantha*: Isolating, identifying, and characterizing the fungus, and determining its antimycotic properties // *Can. Microbiol.* 2001. V. 47. P. 55–62.

Kidston R., Lang W.H. On old red Sandstone plants showing structure from the Rhynie chert bed (Aberdeenshire). Part 5 // *Trans. Roy. Soc. Edinburg.* 1921. V. 52(33). P. 855–902.

Latch G. C. M., Christensen M. J., Samuels G. J. Five endophytes of *Lolium* and *Festuca* in New Zealand // *Mycotaxon*. 1984. V. 20. P. 535–550.

Linderman R. C. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect // *Phytopathology*. 1988. V. 78. P. 366–371.

Malinowski D. P., Beleski D. P. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of draught and mineral stress tolerance // *Crop Sci.* 2000. V. 40. P. 923–940.

Marshall D., Tunali B., Nelson L. R. Occurrence of fungal endophyte in species of wild *Triticum* // *Crop Sci.* 1999. V. 39. P. 1507–1512.

Read D. J., Leake J. R., Perez-Moreno J. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes // *Can. J. Bot.* 2004. V. 82. P. 1243–1263.

Sherwood-Pike M. A., Gray J. Silurian fungal remains: probable records of the class *Ascomycetes* // *Lethaia*. 1985. V. 18. № 1. P. 1–20.

Siegel M. R., Latch G. C. M., Bush L. P., Fannin F. F., Rowan D. D. et al. Fungal endophyte-infected grasses: alkaloid accumulation and aphid response // *J. Chem. Ecol.* 1990. V. 16. P. 3301–3315.

Taylor T. N., Hass H., Remy W., Kerp H. The oldest fossil lichen // *Nature*. 1995. V. 378. № 6554. P. 244.

Trant C. A., Gensel P. G. Branching in *Psilophyton*: a new species from the Lower Devonian of New Brunswick, Canada // *Amer. Journ. Bot.* 1985. V. 72. № 8. P. 1256–1273.

White J. F. Endophyte-host association in grasses. XVII. Ecological and physiological features characterising *Epichloe typhina* and some anamorphic varieties in England // *Mycologia*. 1992. V. 84. P. 431–441.

White J. F. Endophyte-host association in grasses. IX. A proposal concerning origin and evolution // *Mycologia*. 1988. V. 80. P. 442–446.

## ДИНАМИКА ФЛОРЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Е. М. Тарасова*

*директор,*

*Государственный природный заповедник «Нургуш»,*

*nurgush@zapovednik.kirov.ru*

Необходимым условием нормального функционирования экосистем и биосферы в целом является достаточный уровень биологического разнообразия.

Впервые словосочетание «биологическое разнообразие» применил Г. Бэйтс (1892) в известной работе «Натуралист на Амазонке», когда описывал свои впечатления от встречи около 700 разных видов бабочек за время часовой экскурсии.

В настоящее время принято различать три уровня биоразнообразия: генетический (популяционный), таксономический (видовой) и биоценотический (экосистемный, экологический). Видовой уровень биоразнообразия обычно рассматривается как базовый, а вид считается опорной единицей учета биоразнообразия.

В формировании экосистемного биоразнообразия центральную роль выполняют растения. Динамика видового богатства растительных сообществ связана с рядом факторов (Криволицкий, 1998):

– географической широтой, высотой над уровнем моря, или глубиной (в водной среде);

– продуктивностью среды, климатической изменчивостью, возрастом местообитания и суровостью среды;

– степенью физической и химической неоднородности местообитаний, изоляцией (островной эффект);

– биологическими свойствами сообществ (интенсивностью хищничества и конкуренции, пространственной неоднородностью, положением сообщества в сукцессионном ряду).

Закономерности изменения уровня флористического богатства Северной Евразии по широтному градиенту прекрасно иллюстрирует картосхема Е. В. Вульфа (1954), дающая наглядное представление о богатстве флоры различных территорий земного шара.

Продуктивность среды для растений зависит от любого ресурса, лимитирующего рост. По мере увеличения освещенности, средних температур и продолжительности вегетационного периода от полюсов к тропикам наблюдается повышение первичной продуктивности. Снижение температуры и сокращение продолжительности вегетационного периода с высотой приводят к уменьшению продуктивности. В водоемах продуктивность, как правило, падает с глубиной параллельно понижению температуры и освещенности. Резко сокращается продуктивность в аридных условиях, где её рост лимитируется недостатком влаги. Увеличение продуктивности ведет к расширению диапазона доступных ресурсов и способствует повышению видового богатства.

Рост биоразнообразия при возрастании продуктивности не является всеобщей закономерностью. Это демонстрирует, например, уникальный «газонный» эксперимент, проводимый с 1856 года до наших дней на Ротамстедской опытной станции (Англия). Пастбище площадью 2 га было поделено на 20 делянок; две из них служили контролем, остальные раз в год удобрялись. С 1856 по 1949 гг. изучалось видовое разнообразие сообщества травянистых растений на контрольных, и получавших полный набор удобрений, делянках. В то время как первые оставались практически неизменными, на вторых наблюдалось постепенное сокращение видового разнообразия. Подобный спад биоразнообразия называется «парадоксом обогащения» среды (Rosenzweig, 1995).

Увеличение доступности ресурсов ведет к сокращению числа видов.

Пространственная неоднородность среды может обеспечить сосуществование конкурирующих видов. В средах с большей пространственной неоднородностью разнообразнее микроместообитания, шире диапазон микроклиматических условий, что сопровождается более высоким видовым богатством. Растительное сообщество, занимающее целый ряд почв и форм рельефа, почти наверняка (при прочих равных условиях) будет богаче флористически, чем фитоценоз на ровном участке с однородной почвой.

Влияние климатических колебаний на видовое разнообразие зависит от их регулярности. В сезонном климате может сосуществовать больше видов, чем в областях с выровненным климатом.

В стабильных условиях возможно существование специализированных видов, более вероятно насыщение видами и сильное перекрывание ниш, что способствует увеличению видового богатства. Экстремальные условия среды ведут к снижению видового разнообразия. На необрабатываемых лугах северной Англии среднее число видов растений на площадке в  $1 \text{ м}^2$  наименьшее при низком рН почвы.

Сокращение видового богатства с высотой представляет собой столь же распространенный феномен, как и снижение его по мере удаления от экватора. Даже при незначительном перепаде высот внутри одного сообщества число видов существенно различается.

Сообщества могут различаться по видовому богатству своей близостью к состоянию равновесия (полнее насыщены видами). Тропические экосистемы богаче видами, чем умеренные области, благодаря длительной непрерывной эволюции. Экосистемы высоких широт, напротив, еще не восстановились после плейстоценовых оледенений. На одном гектаре дождевого тропического леса может произрастать 40–100 видов деревьев, в листопадных лесах востока Северной Америки – обычно 10–30, в тайге на севере Канады всего 1–5.

Видовое богатство возрастает в ходе сукцессии, вплоть до климакса или до определенной стадии, после которой следует обеднение флоры по мере исчезновения некоторых поздне-сукцессионных видов. Сукцессионный градиент видового богатства до определенной степени представляет собой закономерное следствие постепенного заселения участка видами из окружающих сообществ, находящихся на более поздних стадиях сукцессии, т. е. увеличение насыщенности видами. При сукцессии неизбежен каскадный эффект. Первыми видами бу-

дут те, которые лучше других способны заселять свободные пространства и конкурировать за них. Они обеспечивают неоднородность среды. Так, пионерные растения создают обедненные биогенными элементами участки почвы, повышают пространственную неоднородность концентрации питательных для растений веществ. Сами растения расширяют набор микроместообитаний и кормовой спектр для животных-фитофагов. Усиление выедания, а затем и хищничества путем обратной связи может способствовать дальнейшему росту видового богатства, обеспечивающего все больший набор пищевых ресурсов, усиление неоднородности среды и т. д. В лесу значительно менее изменчивы температура, влажность и скорость ветра, чем в раннесукцессионных сообществах. Увеличение постоянства среды обеспечивает стабильность условий и ресурсов, что позволяет поселяться и закрепляться специализированным видам.

Человек на протяжении сотен тысяч лет своего существования активно воздействовал на окружающую его живую природу, вплоть до уничтожения естественных экосистем и замены их сельскохозяйственными угодьями, городами и пригородными зонами. Такие экосистемы нередко более продуктивны, чем естественные, а их биоразнообразие довольно велико. Антропогенные биоценозы, формирующиеся и развивающиеся под комплексным воздействием природных и социально-экономических факторов, олигодоминантны.

Для количественной оценки биоразнообразия Р. Уиттекер в 1960 г. предложил понятия альфа-, бета-, гамма-разнообразия. В 1979 г. Крюгер и Тейлор добавили к этой классификации еще дельта-разнообразие:

*альфа-разнообразие* – разнообразие внутри местообитания или одного сообщества;

*бета-разнообразие* – разнообразие между местообитаниями;

*гамма-разнообразие* – разнообразие в обширных регионах биома, континента, острова и т. д.;

*дельта-разнообразие* – разнообразие, определяемое изменениями климатических факторов, что выражается в смене растительных зон, провинций и т. д.

Р. Уиттекер (1972), кроме того, различал две формы разнообразия: инвентаризационное (оценка разнообразия экосистем разного масштаба как единого целого) и дифференцирующее (оценка разнообразия между экосистемами) (табл. 1).

Биоразнообразие принято оценивать путем подсчета числа видов, или измерения их относительного обилия (активностью видов). Из общего числа видов какого-либо трофического уровня или сообщества обычно лишь немногие бывают доминирующими, т. е. имеют значительную численность (большую биомассу, продуктивность или другие показатели). Подавляющая часть видов относится к редким (с низкими показателями «значимости»).

Видовое разнообразие в разных местах часто зависит от шкалы измерения разнообразия (Мэгарран, 1992). Наиболее распространенный показатель видового богатства – видовая плотность (например, на 1 м<sup>2</sup>). На 1 м<sup>2</sup> полустественных европейских пастбищ может быть больше видов, чем в нижнем ярусе дож-

девого тропического леса в бассейне Амазонки. Разнообразие видов на 1 км<sup>2</sup> и более будет выше в тропическом лесу.

Таблица 1

**Формы и типы разнообразия по Р. Уиттекеру (1972, 1981) и др.**

Инвентаризационное разнообразие	Дифференцирующее разнообразие
<i>Точечное альфа-разнообразие</i> – разнообразие в пределах пробной площади или местообитания в пределах сообщества	<i>Внутреннее бета-разнообразие</i> (мозаичное разнообразие, изменение между частями мозаичного сообщества)
<i>Альфа-разнообразие</i> (внутреннее разнообразие местообитания для описания, представляющего гомогенное сообщество)	<i>Бета-разнообразие</i> (разнообразие между различными сообществами вдоль градиента среды)
<i>Гамма-разнообразие</i> (для ландшафта или серии проб, включающей более чем один тип сообщества, конкретную флору или фауну)	<i>Дельта-разнообразие</i> (географическая дифференциация, изменение сообщества вдоль климатических градиентов или между географическими регионами)
<i>Эпсилон-разнообразие</i> (для биома, географического региона, включающего различные ландшафты)	<i>Омега-разнообразие</i> (разнообразие биомов в рамках эпсилон разнообразия)

Опыт геоботаники и флористики говорит о том, что с расширением площади, на которой учитывается видовое разнообразие, наступают фазы относительной стабилизации состава видов растений, когда прирост числа видов резко замедляется и даже временно прекращается. Это происходит, когда исчерпывается видовое разнообразие сообщества. Видовое разнообразие увеличивается при увеличении размеров изучаемой площади.

Для упорядочивания данных по учету биоразнообразия используют индексы общности (табл. 2).

Таблица 2

**Определение индексов общности**

$a$ (число общих видов для двух списков)	$b$ (число видов, имеющих только во втором списке)	$a + b$ (общее число видов во втором списке)
$c$ (число видов, имеющих только в первом списке)	$d$ (число видов, отсутствующих в обоих списках, но имеющих в других, в которые входит всего $S$ видов)	$c + d$ (число отсутствующих видов во втором списке)
$a + c$ (общее число видов в первом списке)	$b + d$ (число отсутствующих видов в первом списке)	$a + b + c + d = S$ (всего видов)

Сумма  $(a + d)$  называется числом совпадений качественных признаков; сумма  $(b + c)$  – числом несовпадений;  $a$  – число положительных и  $d$  – число отрицательных совпадений.

Наиболее часто используются индексы Жаккара и Серенсена – Чекановского (табл. 3). Они равны 1 в случае полного совпадения видов сообществ и 0, если выборки совершенно различны и не включают общих видов.



**Основные индексы общности, учитывающие положительные совпадения  
(Песенко, 1982)**

Формула	Автор	Отношение
$I_B = \frac{a}{a+b}, b \geq c$	Браун-Бланке, 1932	$a$ к числу видов в большем списке
$I_{SzS} = \frac{a}{a+c}, b \geq c$	Шимкевич, 1926; Симпсон, 1943	$a$ к числу видов в меньшем списке
$I_{Cs} = \frac{2a}{ab+ac}$	Чекановский, 1900; Серенсен, 1948	$a$ к среднему арифметическому числу видов в двух списках
$I_K = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{ab} + \frac{1}{ac} \right)$	Кульчинский, 1927	$a$ к среднему гармоническому числу видов в двух списках
$I_{OB} = \frac{a}{\sqrt{ab+ac}}$	Охайя, 1957; Баркман, 1958	$O$ к среднему геометрическому числу видов в двух списках
$I_J = \frac{a}{a+b+c}$	Жаккар, 1901	$a$ к числу видов в объединенном списке
$I_{Ss} = \frac{a}{2ab+bc-a}$	Сокал, Снит, 1963	$a$ к сумме числа видов в объединенном списке и числу необщих видов
$I_{K2} = \frac{a}{b+c}$	Кульчинский, 1927	$a$ к числу необщих видов

В общем виде влияния экологических факторов на биоразнообразие сообществ сводится к следующему:

1. Пространственная гетерогенность увеличивает разнообразие.
2. Температурная гетерогенность может уменьшать и увеличивать разнообразие в зависимости от суровости климата и других факторов.
3. Стрессовые условия среды обычно отрицательно связаны с разнообразием.
4. При повышении конкуренции в относительно небольшой период времени разнообразие может уменьшаться, но при ее наличии в течение периода, достаточного для протекания эволюционных преобразований (видообразование), разнообразие может увеличиваться.
5. Враги действуют как конкуренция, их эффект на разнообразие зависит от интенсивности и длительности их воздействия и от влияния врагов на конкуренцию среди жертв.
6. Влияние интенсивности потока энергии через сообщество и объем ресурсов питания могут быть очень важными, но степень и направление их влияния на разнообразие зависят от многих других факторов.
7. В период сукцессии могут протекать процессы разной направленности при изменении разнообразия.

В настоящее время на Земле описано около 3,5 млн. видов живых организмов. Реальное количество видов, по оценкам специалистов, составляет не менее 10–35 (100) млн. На территории России зарегистрировано около 11400 видов аборигенных и заносных сосудистых растений. Флора сосудистых растений Кировской области представлена 1470 видами, г. Кирова – 1125.

Проследить динамику видов на определенной территории бывает достаточно сложно из-за отсутствия достоверных данных. Для г. Кирова такая возможность имеется благодаря большому количеству гербарных материалов, хорошо иллюстрирующих видовой состав сосудистых растений за два последних столетия. В качестве временных срезов флоры выбраны три периода наиболее интенсивных флористических исследований территории: первая половина XIX в., конец XIX – начало XX вв. и современный период, которые обозначены как локальные флоры ЛФ-I, ЛФ-II и ЛФ-III. Число выявленных видов составило для ЛФ-I - 467, для ЛФ-II – 718, для ЛФ-III – 1083.

Динамика флоры оценивалась по изменению активности видов. Несмотря на значительную антропогенную трансформацию территории, высокую активность в ЛФ-III сохранили 35 видов: *Bunias orientalis* L., *Chelidonium majus* L., *Thlaspi arvense* L., *Sorbus aucuparia* L., *Oxalis acetosella* L., *Menyanthes trifoliata* L., а также перекочевавший на городские газоны *Aegopodium podagraria* L. Понизилась активность у лесных и опушечных видов (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Ajuga reptans* L., *Glechoma hederacea* L., *Steris viscaria* (L.) Rafin., *Centaurea phrygia* L.), а также у многих сорных растений (*Brassica campestris* L., *Centaurea cyanus* L., *Raphanus raphanistrum* L.), в первую очередь у полевых сорняков, обилие которых напрямую зависит от агротехнических приемов и площадей, занятых посевами определенных культур.

Произошло снижение активности и у влаголюбивых растений (*Naumburgia thyrsoflora* (L.) Reichenb., *Ranunculus reptans* L., *Chrysosplenium alternifolium* L.), а также у ряда видов, тяготеющих к местам с нарушенным почвенно-травяным покровом и к антропогенным экотопам (*Leontodon autumnalis* L., *Achillea millefolium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Fragaria vesca* L., *Chenopodium album* L.).

Ценообразующие виды за 200 лет не утратили своих позиций. По-прежнему, наиболее активными остаются основные древесные породы *Picea x fennica* (Regel) Kom. и *Pinus sylvestris* L., несмотря на существенное уменьшение лесных площадей, особенно ельников. Повысилась активность у *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Сохранилась высокая активность у *Ranunculus acris* L., *Taraxacum aggr. officinale* Wigg., *Cirsium setosum* (Willd.) Bess., *Festuca pratensis* Huds., *Poa pratensis* L. Осталась неизменной активность у *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, *Ledum palustre* L., *Sedum acre* L.

Поскольку наиболее значительная трансформация местообитаний в пределах города приходится на XX столетие, именно за период между ЛФ-II и ЛФ-III, особенно заметно изменилась активность многих видов. У *Agrostemma githago* L. она упала до 0. Вид полностью исчез из агроценозов и в современной флоре присутствует как заносный благодаря моде последних лет на культивирование этого реликтового сорняка. Исчезли из посевов в ЛФ-III *Camelina sativa* (L.) Crantz s. l., *Bromus arvensis* L., *Lolium remotum* Schrank, *L. temulentum* L. и др. реликтовые сорняки. Снизилась активность у *Polygala amarella* Crantz, *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Rorippa palustris* (L.) Bess., *Viola epipsila* Ledeb., *V. selkirkii* Pursh ex Goldie., *Rubus arcticus* L.

У сравнительно небольшой группы видов активность повысилась: *Potentilla argentea* L. и *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl. Возрастание активности *Lamium album* L. связано с бурным захватом обширных пространств в центре города (на газонах, откосах коренного берега р. Вятки, в парках), отмеченное в последние 10–12 лет. При этом вид активно вытесняет газонные злаки.

В конце XIX в. во флоре города появляется большое количество заносных видов, преимущественно эфемерофитов, и отмечается частое дичание культивируемых растений. Последнее явление было отмечено еще в начале XIX в. (Вештомов, 1809), но не имело такого массового характера, как в современной флоре. Многочисленными во флоре города становятся *Acer negundo* L., *Collomia linearis* Nutt., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Impatiens glandulifera* Royle., *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch).

В ЛФ-III отсутствуют 42 вида, отмеченные в ЛФ-I и ЛФ-II. Среди них 6 реликтовых сорняков, вероятно исчезнувших из ЛФ, и 18 заносных видов, в том числе из территориально близких ЛФ (*Conringia orientalis* (L.) Dumort., *Malva mauritiana* L., *Alissum turkestanicum* Regel et Schmalh. var. *desertorum* (Stapf) Botsch., *Lithospermum officinale* L., *Avenella flexuosa* (L.) Drej. и др.). Для семи не найденных аборигенных видов имеются лишь литературные указания, не подтвержденные гербарными образцами (*Listera cordata* (L.) R. Br., *Veratrum lobelianum* Bernh.). Произрастание 11 видов в ЛФ-III установить не удалось, несмотря на тщательные поиски (в течение 14 лет), во время которых были обнаружены многие из считавшихся ранее исчезнувшими виды. Часть этих видов, вероятно, следует по-прежнему считать не найденными (*Utricularia intermedia* Heune, *Ajuga x hybrida* Kern., *Anemonoides altaica* (C. A. Mey.) Holub), другие, скорее всего, в настоящее время утрачены из ЛФ (*Lilium martagon* L. s. l., *Cypripedium guttatum* Sw.).

Наиболее динамичной в условиях антропогенно трансформированных экосистем является флора железных дорог (ж.-д.) и автомобильных дорог. Так, в г. Кирове на дорогах отмечено произрастание 644 видов сосудистых растений, что составляет 53,7% городской флоры. На автомобильных дорогах установлено произрастание 406 видов, на ж.-д. – 615. Общее количество видов дорог – 377, при этом 92,9% флоры автомобильных дорог входит во флору ж.-д. Флоры автомобильных и ж.-д. имеют высокий уровень сходства. Коэффициент сходства Сёренсена-Чекановского равен 74,0%. Для разных направлений автомобильных и ж.-д. он составляет 48,5–70,9%. Флоры автомобильных дорог в целом беднее флор ж.-д. и более сходны между собой. Коэффициент Сёренсена-Чекановского для этих флор 59,5–72,5%. Флора ж.-д. линий и станций более богата и разнообразна. Коэффициент Сёренсена-Чекановского колеблется от 41,6 до 71,9%.

Сходство флористического состава дорог определяется следующими причинами: расположением дорог в нагорной, или заречной частях города, окружением (характер жилого сектора, наличие садоводческих комплексов и естественных сообществ), интенсивностью движения транспорта (для дорог) или

характером использования территории (для станций и разъездов), особенностями грузопотоков (пассажирский и грузовой маршруты, количество дачников).

Местными (апофитами и гемерофобами) во флорах дорог являются 384 вида (59,6%). Флора автомобильных дорог включает в себя 72,5% местных видов, флора ж.-д. 60,2%, в городской флоре доля местных видов составляет 64,5%. По видовому составу флора автомобильных дорог ближе к местной флоре, чем флора всего города и, тем более, ж.-д., за счет большого количества апофитов (48,8%), активно занимающих придорожные экотопы.

Наиболее непостоянной частью флоры являются неофиты: 260 видов. В городской флоре 426 неофитов (35,5%). Флора автодорог значительно беднее неофитами (112 видов, 27,6%), чем флора ж.-д. (245 видов, 40,0%). Наибольшее количество неофитов содержат флоры крупных ж.-д. ст. и ж.-д. линии с интенсивным движением пассажирских и грузовых поездов (30,0–39,7%).

По способам иммиграции во флоре дорог преобладают ксенофиты. Они составляют 10,6 % флоры автомобильных дорог и 23,8% флоры ж.-д. Большая часть ксенофитов – терофиты (48,4%) и гемикриптофиты (36,6%). Эргазиофитов во флоре дорог 8,9 и 8,2%. Преобладают гемикриптофиты (34,5 %) и фанерофиты (34,5%), что связано со структурой культурной флоры города. Особую группу составляют эргазио-ксенофиты (8,1% и 8,0%), преимущественно плодовые фанерофиты (44,9%), или культивируемые терофиты (38,8%).

Флора ж.-д., по сравнению с флорой города, более ксерофильна, благодаря обилию заносных видов из более южных регионов и вселению на ксеротермные насыпи ж.-д. местных ксефильных видов. Флора автомобильных дорог более мезофильна, а по сравнению с флорой ж.-д. имеет неясную тенденцию к гигрофитизации, что связано с характером грунтов и физиологическими особенностями гигрофилов, охотно осваивающих придорожные местообитания.

Флора дорог, как и флора города в целом, сохраняет черты зональности. Господствующей широтной группой является бореальная. Лесостепные виды составляют 25,1% городской флоры, 22,1% флоры автомобильных и 32,3% флоры ж.-д. Во флоре дорог преобладают виды с европейскими, евразийскими и евросибирскими ареалами (67,6%). На ж.-д. европейских видов больше (38,6%), чем евразийских и евросибирских (34,7%). Роль американских видов в сложении флор города и дорог близка (5,9–6,3%). Это неофиты, в 36% случаев проникшие в состав городской флоры, продвигаясь вдоль дорог.

Оценка биологического разнообразия имеет важное прикладное значение, поскольку позволяет контролировать сохранение генетического потенциала, дает представление о состоянии экосистем на определенной территории; служит основой для разработки менеджмента отдельных видов.

### **Библиографический список**

Вештомов А. И. Вятская флора, рисованная с самой природы, с описанием свойства.... Вятка, 1809. Т. 1. 376 с. Т. 2. 326 с. Рукопись (Хранится в Кировском областном краеведческом музее).

Криволицкий Д. А., Мяло Е. Г., Огуреева Г. Н. География биологического разнообразия // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 1998. № 4. С. 81–86.

Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.

Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Мир, 1981. 328 с.

Rosenzweig M. L. Species Diversity in Space and Time. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995.

Whittaker R. H. Evolution and Measurement of Species Diversity // Taxon. 1972. V. 21. P. 213–251.

## БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Н. П. Савиных*

*д. б. н., профессор, зав. кафедрой биологии,  
Вятский государственный гуманитарный университет, botany@vshu.kirov.ru*

Термин «Биоморфология» (Biomorphologia, от греч. bios – жизнь; morphe – форма; logos – слово; англ: biomorphology), как синоним учения о жизненных формах (в частности, растений – фитоморфология) впервые был употреблён А. П. Хохряковым (1975). Это наука о строении, развитии в онтогенезе, распространении, экологии, биологии (поведении) и эволюции организмов. Как и многие другие современные науки о различных сторонах жизни живого, она погранична и тесно связана с интересами экологии, географии, биологии развития, физиологии, биоценологии, биогеографии. В биоморфологии выделяют структурное, онтогенетическое, экологическое, географическое и эволюционное направления исследований.

Несмотря на то, что экология как наука в современных условиях призвана решать, в основном, экосистемные проблемы, влияние условий среды на любой организм по-прежнему оценивают по состоянию и важнейшим показателям именно его (человека, растения, животного). У растений, прежде всего, – это структурная организация, выражающаяся в особенностях морфологического строения организма – живого объекта, включающего всю физически непрерывную систему, элементы которой благодаря физиологическому взаимодействию образуют единство (Современные подходы..., 2008).

Вычленив отдельную особь у растений в естественных условиях не всегда представляется возможным. Это обуславливается особенностями биологии и роста этих организмов, особенно постоянным нарастанием в течение жизни с образованием новых элементов, наличием морфологических и физиологических связей, часто скрытых в субстрате.

По способности к формированию в онтогенезе новых повторяющихся частей все организмы Земли подразделяют (Harper, Bell, 1979) на унитарные, метамерные и модульные. У *унитарных* организмов (большинство животных) рост закрытый (новых элементов не образуется); число частей с высокой степенью разнообразия ограничено и предопределено строением и функциями; время дифференциации частей ограничено в онтогенезе; функции между частями чётко разделены.

Метамерные организмы состоят из повторяющихся и однотипных частей, за исключением первого и последнего элемента, например, дождевой червь.

*Модульные организмы* (растения и некоторые животные) представлены особями с открытым ростом; части их с низкой степенью разнообразия; нередко с меняющимися в связи с условиями функциями; в неопределённом числе: сменяют друг друга в течение всей жизни особи. Это, например, стволы у кустарников, отдельные побеги у трав и т. д.

Модульная организация обеспечивает растениям большие преимущества. Прежде всего – способность регулировать успешность репродукции семенным и вегетативным путём. У растения формируется столько ассимилирующей поверхности, сколько способно обеспечить семенную репродукцию. В зависимости от условий число метамеров с листьями срединной формации бывает различно, как и степень ветвления побегов и соцветий, а также и число плодов. По образному выражению Н. Н. Марфенина (1999), «растение вписывается в среду». Весь этот процесс «задокументирован» во внешнем виде растения. Зная, в какое время и как развивается растение, можно судить об условиях местообитания особи и возможных изменениях их. Всякое отклонение от нормы свидетельствует о влиянии среды на организм. Оценить успешность существования особи в конкретных условиях можно с помощью сравнительной оценки повторяющихся в их структуре элементов. В последнее время эти элементы всё чаще называют модулями. Кроме структурных особенностей, понятие «модуль» в значениях такт, ритм, мелодия отражает ритмологические и временные закономерности формирования структуры – её циклический морфогенез (Марфенин, 1999). В соответствии с представлениями Л. Е. Гатцук (1974, 1994, 1995), Л. М. Шафрановой (1980, 1981), Н. Н. Марфенина (1999), И. С. Антоновой и О. В. Азовой (1999), И. С. Антоновой и Н. Г. Лагуновой (1999) мы определили **модуль** как однотипную структуру тела растения, закономерно повторяющуюся во времени и в пространстве и возникающую в результате одного цикла формообразования. Совокупность модулей образует новое целое с появлением у последнего своих собственных свойств. Возникшая система способна в дальнейшем стать еще более сложной в результате накопления модулей и войти в новую систему как ее составной элемент.

Н. Н. Марфенин (1999) указал на следующие особенности модульной организации: возврат к стартовому состоянию зачатка и обусловленный этим циклический морфогенез (мультипликация; ограниченный рост модуля и неограниченный рост особи в результате повторения их (модулей); локализация мест формирования зачатков (в том числе у многолетних растений и вегетативных однолетников-поликарпиков); дифференциация тела; автономизация частей (отдельных модулей). Особенно интересны его замечания о последствиях модульной организации: пластичность формы вследствие способности к значительно быстрому изменению размеров тела; высокая толерантность к повреждениям из-за отсутствия систем центральной регуляции; снижение внутривидовой конкуренции путём уменьшения числа генетически независимых особей при сохранении высокой плотности популяции путём автономизации отдельных модулей. Последнее определяет у растений внутривидовую конкуренцию между отдельными структурными элементами, и даже гибель их на начальных этапах развития, показанную В. Л. Бологовой (1993) на примере ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.). Поэтому, рассматривая строение растений с позиций модульной организации, исследователь способен оценить жизнь растения на органном, организменном, популяционно-видовом и даже ценоотическом уровнях изучения живого.

Основой модульного роста, как уже отмечалось, является повторяющийся морфогенез – мультипликация. В результате возникают модули разных размеров, но все они иерархически соподчинены (Марфенин, 1999). В связи с этим модули представляют собой в определенном смысле инструмент для морфологического анализа (Эсау, 1980; Кузнецова, 1995).

*Элементарный модуль* – мельчайший простейший (далее неделимый) – метамер s. st. – элементарный метамер (Барыкина, Гуленкова, 1983), состоящий из нижележащего междоузлия, узла, листа и почки или ее производных. Это – элементарная биоморфологическая единица побега, которая закладывается в течение одного пластохрона (период между заложением двух последовательных листовых зачатков на конусе нарастания побега).

Элементарный модуль у сформировавшегося побега может быть представлен следующими структурами в разных сочетаниях:

- 1) междоузлие (длинное или короткое: длина стебля не превышает его диаметр);
- 2) лист (низовой, срединной или верховой формаций);
- 3) пазушные элементы: почки разных типов или их производные – соцветие, вегетативные ассимилирующие или вегетативно-генеративные побеги;
- 4) в ряде случаев, особенно у наземно-ползучих трав и видов семейства Орхидные – придаточные корни, в том числе в составе тубероидов.

Совокупность элементарных модулей образует новое целое – одноосный побег. Это – *универсальный модуль*. Одноосный побег возникает также ритмично, регулярно и циклически, как и элементарный модуль, и наряду с определенным строением тоже обладает временной характеристикой. Время формирования универсального модуля определяется длительностью моноподиального нарастания одноосного побега за счет его верхушечной меристемы. Универсальность этого модуля проявляется в возможности применения его для решения многих задач: характеристики особей на уровне органа, системы органов и организма в целом и на всех этапах их (побега и организма) развития. Применение универсального модуля позволяет сравнивать изменения побегов на разных этапах онтогенеза растений, описывать побеги разных биоморф, оценивать степень специализации, дифференциации, автономности частей особи, сравнивать биоморфы на уровне органов, включать в сравнительно-морфологический анализ временной параметр. Новое целое, возникающее в результате мультипликации универсального модуля – основной модуль.

*Основной модуль* определяет основу и составляет сущность биоморфа. Это – элементарная биоморфологическая единица особи: пространственно-временная структура, которая формируется на основе целого универсального модуля или его части и закономерно повторяется в строении зрелых генеративных особей. Совокупность основных модулей определяет тип биоморфы.

Основной модуль для многоствольных деревьев – крона (Антонова, Лагунова, 1999), для одноствольного дерева – ветвь от ствола (Антонова, Лагунова, 1999), для кустарников – система побега формирования (Мазуренко, Хохряков, 1976, 1977), для многих длиннокорневищных трав – парциальный куст, для



стелющихся растений – система побегов 3–4-х порядков ветвления, аналог системы побега ветвления (Мазуренко, Хохряков, 1976).

Тип структуры модуля заложен генетически, и именно поэтому он закономерно повторяется. Более того, генетически заложено не только строение, но и последовательность заложения модулей. Особенно это относится к элементарному модулю, а именно: строению его боковых частей (листьев, почек и их производных), длине междоузлий. Поэтому модули как структурные элементы тела растения определяют морфологический критерий вида, его видоспецифичность.

Число модулей регулируется не только внутренними, но и внешними факторами. Внутренние факторы определяют тип, в основном, элементарного и универсального модулей в онтогенезе растения. На начальных этапах развития, в прегенеративный период, формируются лишь вегетативные модули. Элементарные модули различаются по типу листьев (семядоли, листья так называемого ювенильного типа, листья срединной формации, прицветники). Число универсальных модулей изменяется от одного в начале прегенеративного периода обычно до нескольких в конце этой стадии онтогенеза. И только по достижению ассимилирующей поверхностью площади, достаточной для успешной репродукции, у растений формируются вегетативно-генеративные или генеративные и элементарные, и универсальные модули. То же проявляется и в развитии вегетативно-генеративных универсальных модулей. Части цветка не формируются раньше элементарных модулей с листьями.

Внешние факторы регулируют число модулей: их формируется столько, сколько в данных конкретных условиях возможно быть у особи. Это является онтогенетической основой наличия и в полном смысле обеспечивает морфологическую поливариантность (Савиных, 2006, 2007). Взаимное влияние внешних и внутренних факторов через формирование разных типов модулей, особенно вегетативных и вегетативно-генеративных, реализуется в поливариантности темпов развития, разном ходе онтогенеза: полный, сокращённый, обрывающийся (Жукова, 1995) у особей одного вида.

Использование трёх категорий модулей при характеристике жизненных форм разных видов показало, что это – способ осознания структурных адаптаций организмов (Лелекова, 2006), стратегий и механизмов этих адаптаций (Кузнецова, 2007), биоиндикации и мониторинга (Савиных, 2002), понимания жизни растения, комфортности среды обитания и основанных на этом разработках способов сохранения особенно редких и уязвимых видов растений (Пичугина, 2007).

Оценка биологии растения с позиции модульной организации позволила по-новому оценить специфику онтогенеза растения в отличие от животных (особенно млекопитающих). У последних все органы в основном закладываются в эмбриональный период, никакие морфологические перестройки в постэмбриональный период в принципе не происходят. Морфа (тело) изменяется в основном в размерах. Зародыш у растений не может быть большим, в его составе есть лишь немногие первые метамеры побега. Поэтому все изменения у этих организмов происходят в постэмбриональный период, а тело формируется и

изменяется в течение всей жизни растения. Отсюда у многих видов, особенно у трав, высокая степень независимости от имеющихся старых частей растения.

Особую специфику растениям придаёт способность их к вегетативному разрастанию и размножению. По этим признакам различают вегетативно-неподвижные и вегетативно-подвижные растения. У *вегетативно-неподвижных* особей масса корней и побегов сосредоточена в одном месте, поэтому центр воздействия на среду у них один. Такие растения называют моноцентрическими. По особенностям морфологической дезинтеграции выделяют (Ценопопуляции..., 1976) в пределах моноцентрического типа биоморф три группы. Если морфологическая дезинтеграция отсутствует в онтогенезе особей, они в ходе всей жизни существуют как единые компактные образования. Это – стержнекорневые монокарпики (однолетники и многолетники), а также моноподиально нарастающие деревья. У особей второй группы морфологическая дезинтеграции поздняя неспециализированная. В течение большей части онтогенеза они существуют в виде единых компактных образований, однако в постгенеративном периоде наблюдается частичная партикуляция (распад на части), которая проявляется в перемещении зон активно развивающихся побегов возобновления, почек возобновления и корней на периферию особи и в образовании у неё отмершего центра. К этой группе биоморф относятся стержнекорневые частично партикулирующие травы, полукустарники, кустарники, подушки с придаточным укоренением. Это некоторые виды полыней (*Artemisia*), сверби́га восточная (*Bunias orientalis* L), василёк луговой (*Centaurea scabiosa* L). Особи третьей группы биоморф существуют в виде единого компактного образования в течение прегенеративного и части генеративного периода. Позднее, возможно даже у раннегенеративных особей, происходит полная партикуляция и возникают дочерние моноцентрические особи, а позднее и особи следующих поколений. Это многие стержнекорневые (клевер луговой (*Trifolium pratense* L), колокольчик скученный (*Campanula glomerata* L.), кистеко́рневые (лютик едкий – *Ranunculus acris* L.), плотнодерновинные (луговик дернистый – *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv), рыхлокустовые травы (некоторые виды лисохвостов – *Alopecurus*), стержнекорневые полукустарники, кустарники.

Различаются особи таких видов по числу побегов и их систем в составе индивидуума, типу корневой системы, особенностям побегообразования и цветорасположения. Изучение целостного организма возможно в течение всей или части его жизни (иногда достаточно большой).

Влияние среды на организм проявляется у таких растений в виде разного числа побегов в составе особи, разного числа побегов замещения, степени их разветвлённости, интенсивности корнеобразования, числе почек возобновления на один монокарпический побег.

Короткокорневищные травы: манжетка (*Alchemilla vulgaris* L. s. str.), гравилат (*Geum rivale* L.) и им подобные имеют неявно выраженные центры воздействия на среду, которые настолько сближены, что выделить их не всегда представляется возможным. Более того, на определённом этапе развития особи происходит морфологическая дезинтеграция, и растение переходит в фазу кло́на, представляя собой уже не единый организм, а совокупность вегетативно

возникших особей. Такие растения считают неявнополицентрическими. В зависимости от характера морфологической дезинтеграции в пределах этого типа биоморф выделены две группы. Для первой группы возможна частичная поздняя неспециализированная морфологическая дезинтеграция. Конкретные примеры указать пока не представляется возможным. Во второй группе биоморф дезинтеграция полная (ранняя или поздняя) неспециализированная. Она происходит иногда даже в прегенеративном периоде, но чаще в начале или в середине генеративного и реже в конце. Дочерние особи также имеют неявнополицентрическую структуру. В постгенеративном периоде у ряда видов они могут быть моноцентрическими.

Целостный организм, в сравнении, с моноцентрическими растениями можно описать лишь до морфологической дезинтеграции семенной особи.

Особенно затруднено изучение вегетативно-подвижных растений. У них в течение всей жизни постоянно, с закономерной последовательностью образуются повторяющиеся элементы, происхождение которых (семенное или вегетативное) не всегда возможно оценить из-за раннего отмирания главного корня.

Особую группу представляют вегетативно-подвижные виды с надземными стелющимися и ползучими (клевер ползучий – *Trifolium repens* L.) и подземными (орляк – *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) побегами. У них невозможно выделить центры воздействия на среду обитания, они растения ацентрические.

Физиологическая и морфологическая целостность особей сохраняется в течение разного времени, также не одинаковы время и возраст особи к моменту морфологической дезинтеграции. У длиннокорневищных трав целостность особей сохраняется в течение нескольких лет, у столонообразующих – менее одного года. Это *явнополицентрические* растения, состоящие из нескольких парциальных образований. По времени морфологической дезинтеграции в онтогенезе и времени формирования куртины<sup>1</sup> различают 2 группы биоморф. У особей 1 группы куртина возникает в конце онтогенеза, обособляются отдельные относительно автономные центры воздействия на среду – парциальные кусты или побеги. При этом полной дезинтеграции не происходит, и онтогенез завершается в фазе куртины. Это корневищно-стержнекорневые травы, возможно, некоторые подушки.

Вторая группа явнополицентрических биоморф характеризуется полной (ранней или поздней) специализированной (с наличием специальных органов для обеспечения вегетативного разрастания и размножения: корневищ, столонов, луковиц) дезинтеграцией. Куртина у этих особей образуется в онтогенезе рано, обычно в конце прегенеративного периода. В генеративном периоде первичный центр куртины отмирает, происходит вегетативное размножение. Возникшие дочерние особи также могут быть и более того становятся явнополицентрическими. Далее следует опять морфологическая дезинтеграция. Этот

---

<sup>1</sup> Куртина – образование, состоящее из первичного куста (или первичного побега) и парциальных кустов (или парциальных побегов), развившихся из терминальных почек специализированных побегов разрастания и связанных этими побегами друг с другом и с первичным кустом (или первичным побегом); корневая система смешанная.

процесс происходит регулярно в течение всего последующего отрезка генеративного периода. И лишь в постгенеративном периоде возможно образование вторичных моноцентрических растений. К этой группе биоморф относятся партикулирующие длиннокорневищные, корневищно-стержнекорневые, столонообразующие травы, а также геоксильные<sup>2</sup> кустарники и кустарнички.

Эта группа растений обладает ещё одним преимуществом по сравнению с унитарными животными и даже моноцентрическими организмами. Отсутствие систем внутреннего регулирования и раннее укоренение побегов в составе особи, особенно у трав, исключает зависимость новых образующихся частей от уже имеющихся структур. Поэтому отдельные части целого организма автономны: у них есть собственные органы ассимилирующие, питающие водой и минеральными веществами и обеспечивающие семенное образование потомков.

В последнее время среди явнополицентрических растений выделена особая группа – однолетники вегетативного происхождения. Особи, не имея многолетних частей и являясь, по сути, однолетними, достаточно долго существуют в фазе клона (совокупности вегетативно возникших индивидуумов). Многие являются практически бессмертными и все без исключения поликарпиками (многократно цветущими и плодоносящими в течение жизни). Это водные растения из экологической группы гидрофиты: водокрас (*Hydrocharis morsus-ranae* L.), телорез (*Stratiotes aloides* L.), шелковники – *Batrachium* (Петухова, 2008; Лебедева, Лапиров, 2006). Отдельные дочерние особи в течение некоторого недолгого времени имеют один центр воздействия на среду. Позднее наступает фаза полицентрического растения. Она кратковременна и оценивается как специфическая фенобиоморфа (Хохряков, 1994; Современные подходы..., 2008). После отмирания коммуникационных элементов (обычно столонов или междоузлий у побегов текущего года) образуются дочерние особи моноцентрические или с меньшим, чем у исходной, числом центров воздействия на среду. Далее всё повторяется снова, но обычно уже в следующем вегетационном периоде. Длительность жизни моноцентрических дочерних особей у однолетников вегетативного происхождения короче вегетационного периода. Но у столонообразующих, особенно розеточных биоморф, моноцентрические особи существуют довольно долго, формируя собственные, так называемые компактные клоны, как у земляники – *Fragaria vesca* L. (Шивцова, 2008; Современные подходы..., 2008).

Многолетние полицентрические растения образованы несколькими парциальными образованиями. У разных видов они различны. Это может быть парциальный куст, как у вероники дубравной (*Veronica chamaedrys* L.) отдельный парциальный побег (дремлик болотный – *Epipactis palustris* (L.) Crantz), система исходного побега. Подземные органы у таких образований также различны у разных растений. Они в виде столона и клубня у картофеля и стрелолиста (*Sagittaria sagittifolia* L.), геофильного участка побега (у грушанок –

---

<sup>2</sup> Кустарники и кустарнички, стволы у которых образуются из почек, расположенных в почве (роза иглистая и коричная, малина, черника, брусника).

Рурола и ортилли – *Orthilia*), луковицы у луков. Эти парциальные образования наряду с особями семенного происхождения, принимаются в качестве счётных единиц при ценопопуляционных исследованиях.

Остановимся на характеристике отдельных понятий, используемых при идентификации парциальных образований. Если особь располагается в пределах территории, впервые занятой семенем, число побегов в её составе больше 1, корневая система первичная, такую структуру называют первичным кустом. Если такой куст располагается вдали от исходно занятой территории и связан с другим кустом подземными органами, обычно многолетними, его называют парциальным<sup>3</sup>. Парциальный куст назван Л. Е. Гатцук (Современные подходы..., 2008) побеговым комплексом, закрепляющим территорию. То часть побеговой подсистемы, занимающая особое место на поверхности почвы или другого твёрдого субстрата. В пределах одного организма надземные части этих единиц отделены друг от друга пространством. Исходный побег может развиться из корня как корневой отпрыск, из подземной боковой почки, если в составе особи есть корневищная часть. И первичный, и парциальный куст выглядят как тесные группы составляющих элементов. Эти элементы абонируют территорию для организма и удерживают её. Поэтому этот элемент, по мнению Л. Е. Гатцук, играет и популяционно-ценотическую роль

Первичные и парциальные кусты образованы менее сложными структурами, названными Л. Е. Гатцук (Современные подходы..., 2008 и др.) укореняющимися побеговыми комплексами надземной оси. Это часть побеговой системы организма, возникшая из почки, расположенной на уровне земли или под землёй («геогенно»). В его основании лежит побег, контактирующий с почвой или другим твёрдым субстратом. Все надземные побеги также входят в состав этого комплекса. У кустарников – это ствол со всеми его разветвлениями в надземной части и с его подземной частью, если она есть. У деревьев – один ствол со всей его кроной и с его корневищной частью, если она существует. Для многолетних трав сезонного климата – это побег возобновления со всеми его надземными разветвлениями и корневищной частью в случае её присутствия. Этот элемент живёт в двух средах – воздушной и твёрдой; всегда укоренён или способен укорениться; формируется из почки зародыша семени или почки возобновления.

Сложность парциального образования, особенно степень ветвления и число побегов замещения в его составе в значительной степени зависит от возрастного состояния особи. Так, у вероники широколистной (*Veronica*

---

<sup>3</sup> Термин «парциальный куст» был изначально предложен И. Г. Серебряковым и М. В. Чернышевой (1955) для описания структурных элементов древесных растений, в частности кустарничка черники (*Vaccinium myrtillus* L.). Кроме того, парциальным кустом называют (Серебряков, Доманская, Родман, 1954) дочернюю особь в составе клона длиннокорневищного растения или структурных элементов, обособившихся в результате отмирания старых участков куста. В последнее время всё чаще этот термин используют именно для характеристики структурного элемента в составе особи и даже клона из нескольких тесно расположенных элементов, формирующейся на основе побега замещения с вторичной корневой системой, как у кустарничков, так и у трав.

*teucrium* L.) парциальные образования в начале жизни представлены в надземной части отдельными вегетативными побегами, в середине жизни это – типичные кусты, сформировавшиеся в результате образования нескольких побегов замещения на основе исходного и небольших геофильных участков побегов у них. В составе этих кустов по мере освоения особью близ лежащего пространства побегов замещения становится меньше и на определенном этапе развития обычно из спящей почки формируется побег со значительно более длинным геофильным участком. Это – будущий резид (Нухимовский, 1969): базальный многолетний участок монокарпического побега многолетних трав с почками возобновления) коммуникационного (структуры связующей и обеспечивающей морфологическую и физиологическую целостность особи) в будущем корневища и основа будущего парциального образования в составе растения. Такие кусты формируются в течение жизни достаточно долго и после морфологической дезинтеграции материнской особи. Поэтому отличить особи семенного и вегетативного происхождения возможно лишь при детальном анализе их. На последних этапах жизни парциальные образования представлены обычно последовательно сменяющимися отдельными цветущими, а затем вегетативными побегами.

Часто строение растений, их биомасса, репродуктивные возможности определяются жизненной стратегией вида (Раменский, 1938). В густых травостоях на лугах и при отличных для типичных условий освещения в лесах зрелые генеративные особи многих видов имеют незначительную биомассу, не цветут, имеют иное строение. После осветления строение особей усложняется, биомасса возрастает. Особенно это относится к стресс-толерантным видам, способным существовать в широком диапазоне условий среды.

Влияют на структуру особей и парциальных образований и условия обитания, и антропогенное воздействие. В каждом конкретном местообитании их морфологическая структура будет разной. Поэтому при любом экологическом исследовании, основанном на мониторинге особенно цветковых растений, необходимо учитывать несколько основных моментов, главными из которых следует назвать необходимость строгого выделения частей растения, которые необходимо анализировать; учёт онтогенетического состояния особи, возможность поливариантности развития (Жукова, 1995).

В ходе изучения и обобщения данных по особенностям онтогенеза растений выделено 2 надтипа и 5 типов поливариантности развития: А–надтип – структурная поливариантность с 3 типами: размерная, собственно морфологическая, поливариантность способов размножения и воспроизведения; Б–надтип – динамическая поливариантность, которая включает как типы ритмологическую и собственно динамическую или временную, определяемую длительностью онтогенетических состояний и темпами развития (Жукова, Комаров, 1990; 1991).

Для любого мониторингового исследования желательно изучать особи средневозрастные (зрелые) генеративные. У этих растений процессы новообразования и отмирания уравновешены, прирост биомассы максимально возмож-

ный, семенная продуктивность также максимальная. Именно в это время растение имеет типичную для вида жизненную форму.

К настоящему времени с разной степенью детальности изучен онтогенез многих видов средней полосы России (Онтогенетический атлас, Биологическая флора Московской области). В этих продолжающихся (Онтогенетический атлас – 5 томов, Биологическая флора Московской области – около 20 выпусков) изданиях можно почерпнуть сведения о строении особей в разных онтогенетических состояниях, чтобы оценить состояние рассматриваемых особей в определённых условиях обитания.

Успешность жизнедеятельности организмов проявляется в строении особей, размерах, соотношении вегетативных и генеративных побегов, цветении и плодоношении, поливариантности онтогенеза, строении парциальных структур особей.

Детали конкретного анализа биоморфологии и биоценологии для отдельных видов и методики анализа разработаны в трудах Т. А. Работнова (1950 и др.), А. А. Уранова (1975), О. В. Смирновой и др. (1976), Л. А. Жуковой (1979, 1986, 1987, 1995) и их последователей.

Любое воздействие, в первую очередь, распространяется на отдельные особи, затем – на популяции, позднее – на фитоценоз в целом. Поэтому программу изучения растений для целей мониторинга и оценки успешности их жизнедеятельности можно представить следующим образом.

1. Строение особей: число центров воздействия на среду, строение парциальных образований (высота, диаметр у парциальных кустов).

2. Соотношение вегетативных и цветущих побегов в составе счетной единицы.

3. Строение побегов: высота<sup>4</sup>, число метамеров с учетом строения их боковых органов – листьев и их производных (чешуй, катафиллов на геофильном участке, листьев срединной формации, прицветников), число почек или побегов возобновления (замещения), цветков.

4. Строение листьев срединной формации, особенно соотношение длины и ширины (измеряется у определенного метамера).

5. Строение соцветий. Если оно сложное – число парциальных соцветий, паракладиев.

6. Число бутонов, цветков, плодов.

7. Процентное соотношение плодов к общему числу цветков и бутонов.

8. Энергия семенного размножения.

Изучение растения по этому алгоритму требует тщательной и кропотливой работы. Не всегда обязательен учёт всех показателей. Каждое конкретное исследование требует индивидуального подхода и подбора, необходимых для решения поставленной задачи параметров изучения особи. Самое важное и главное: анализ сравниваемых элементов одного порядка.

---

<sup>4</sup> Высота побега зависит от нескольких показателей: длины междоузлий и число метамеров (элементарных модулей). Поэтому при определении размеров побегов необходимо учитывать оба эти показателя.

### Библиографический список

- Антонова И. С., Азова О. В. Архитектурные модели кроны древесных растений // Бот. журн. 1999. Т. 84. № 3. С. 10–28.
- Антонова И. С., Лагунова Н. Г. О модульной организации некоторых групп высших растений // Журн. общ. биол. 1999. Т. 60. № 1. С. 49–59.
- Барыкина Р. П., Гуленкова М. А. Элементарный метамер побега цветкового растения // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1983. Т. 84. Вып. 4. С. 114–124.
- Бологова В. Л. Некоторые аспекты макроморфологической структуры растительного организма на примере ежи сборной // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1993. Т. 98. Вып. 6. С. 55–70.
- Гатцук Л. Е. Геммаксиллярные растения и система соподчиненных единиц их побегового тела // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1974. Т. 79. Вып. 1. С. 100–113.
- Гатцук Л. Е. Иерархическая система структурно-биологических единиц растительного организма, выделенных на макроморфологическом уровне // Успехи экологической морфологии растений и ее влияние на смежные науки. М., 1994. С. 18–19.
- Гатцук Л. Е. Комплементарные модели побега и их синтез // Бот. журн. 1995. Т. 80. № 6. С. 1–4.
- Жукова Л. А. Большой жизненный цикл луговика извилистого и структура его ценопопуляций // Бот. журн. 1979. Т. 64. № 4. С. 525–540.
- Жукова Л. А. Поливариантность луговых растений // Жизненные формы в экологии и систематике растений. М., 1986. С. 104–114.
- Жукова Л. А. Динамика ценопопуляций луговых растений // Динамика ценопопуляций травянистых растений. Киев, 1987. С. 9–19.
- Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола, 1995. 224 с.
- Жукова Л. А. Введение // Онтогенетический атлас лекарственных растений. Йошкар-Ола, 2002. Т. 3. С. 7–17.
- Жукова Л. А., Комаров А. С. Поливариантность онтогенеза и динамика ценопопуляций растений // Журн. общ. биол. 1990. Т. 51. № 4. С. 450–461.
- Жукова Л. А., Комаров А. С. Количественный анализ динамической поливариантности в ценопопуляциях подорожника большого при разной плотности посадок // Биол. науки. 1991. № 8. С. 51–66.
- Кузнецова С. Б. Биоморфология княжика сибирского – *Atragene sibirica* L. (сем. *Ranunculaceae*): Дисс. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2007. 192 с.
- Кузнецова Т. В. К истории развития представлений о плане строения побега сосудистых растений и о месте филлома в нем // Бот. журн. 1995. Т. 80. № 7. С. 1–11.
- Лебедева О. А., Лапиров А. Г. Формирование побеговой системы, цветорасположение и модульная организация *Batrachium trichophyllum* (Chaix) Bosch // Материалы VI Всероссийской школы-конференции по водным макрофитам «Гидрботаника-2005». Рыбинск, 2006. С. 294–298.
- Лелекова Е. В. Биоморфология водных и прибрежно-водных семенных растений северо-востока Европейской России: Дисс. ... канд. биол. наук. Киров, 2006. 189 с.



Мазуренко М. Т., Хохряков А. П. // Биология и продуктивность растительного покрова Северо-Востока. Владивосток, 1976. С. 3–48.

Мазуренко М. Т., Хохряков А. П. Структура и морфогенез кустарников. М., 1977. 158 с.

Марфенин Н. Н. Концепция модульной организации в развитии // Журн. общ. биол. 1999. Т. 60. № 1. С. 6–17.

Нухимовский Е. Л. О термине и понятии «каудекс»: Сообщение №2: Современное состояние вопроса // Вестн. МГУ. Сер. 6. Биология, почвоведение. 1969. № 1. С. 55–62.

Петухова Д. Ю. Биоморфология столонно-розеточных гидрофитов: Дисс. ... канд. биол. наук. Киров, 2008. 207 с.

Пичугина Е. В. Биоморфология и структура ценопопуляций *Jurinea cyanoides* (L.) Reichenb. и *Dianthus arenarius* L. на северо-востоке европейской России в связи с их охраной: Дисс. ... канд. биол. наук. Киров, 2007. 261 с.

Работнов Т. А. Вопросы изучения состава популяции для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. Вып. 1. 1950. С. 465–483.

Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.

Савиных Н. П. Ресурсы продуцентов, природопользование и охрана природы // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВНИИОЗ. Киров, 2002а. С. 89–91.

Савиных Н. П. Род вероника: морфология и эволюция жизненных форм. Киров, 2006. 324 с.

Савиных Н. П. Модульная организация растений // Онтогенетический атлас лекарственных растений. Т. V (продолжающееся издание). Йошкар-Ола, 2007. С. 15–34.

Серебряков И. Г., Чернышева М. В. О морфогенезе жизненной формы кустарничка у черники, брусники и некоторых болотных *Ericaceae* // Бюлл. МО-ИП. Отд. биол. 1955. Т. 60. Вып. 2. С. 65–77.

Серебряков И. Г., Доманская Н. П., Родман Л. С. О морфогенезе жизненной формы кустарника на примере орешника. // Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы. Отд. Биол. 1954. Т. 59, вып. 2. С. 57–70.

Смирнова О. В. Объем счетной единицы при изучении ценопопуляций растений различных биоморф // Ценопопуляции растений. М., 1976. С. 72–80.

Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.

Хохряков А. П. Закономерности эволюции растений. Новосибирск, 1975. 200 с.

Хохряков А. П. Активная, а не пассивная жизненная форма // Природа. 1994. № 6. С. 36–41.

Ценопопуляции растений: Основные понятия и структура / Отв. ред. А. А. Уранов и Т. И. Серебрякова. М., 1976. 214 с.

Шафранова Л. М. О метамерности и метамерах у растений // Журн. общ. биол. 1980. Т. 41. № 3. С. 437–447.

Шафранова Л. М. Ветвление растений: процесс и результат // Жизненные формы: Структура, спектры и эволюция. М., 1981. С. 179–212.

Шивцова И. В. Эколого-морфологические особенности и организация популяций *Fragaria vesca* L.: Дисс. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 2008. 181 с.

Эсау К. Анатомия семенных растений. М., 1980. 558 с.

Harper J. L., Bell A. D. The population dynamics of growth form in organisms with modular construction // Population Dynamics, the 20th Symposium of the British Ecological Society. Oxford, 1979. P. 29–52.

# ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ, КЛИМАТА, ПОЧВ И ЛАНДШАФТОВ

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СМЕНА ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В СВЯЗИ С ЭВОЛЮЦИЕЙ КЛИМАТА В КАЙНОЗОЕ

М. М. Пахомов

д.г.н., профессор кафедры географии,

Вятский государственный гуманитарный университет, [mp1234@yandex.ru](mailto:mp1234@yandex.ru)

Природа Северной Евразии за последние 65 млн. лет претерпела очень сложную эволюцию. Менялось соотношение суши и моря, шла последовательная очень сложная смена природных обстановок, происходили разномасштабные климатические колебания, приведшие в плиоцене – плейстоцене к материковым и горным оледенениям и т. д. В настоящее время собран огромный палеогеографический материал, базирующийся на абсолютной геохронологии, на массовых палеоботанических и других фактах. Всё это позволило воссоздать эволюцию растительных ландшафтов, последовательные смены природных обстановок геологического прошлого. Рассмотрим кратко эти данные.

### 1. Палеоген

Палеоценовое время (65–54,9 млн. лет назад). Предварительно отметим, что на протяжении всего палеогена и первой половины неогена значительная часть современной суши юга Восточно-Европейской равнины, Западной Сибири и Туранской равнины покрывалась морскими водами Тетиса. Контрастность рельефа была существенно меньшей. Гор Кавказа, Памиро–Аалая и Тянь-Шаня не было. На месте пояса гор Южной Сибири простирались холмогорья разрушенных до состояния пенеплена каледонских и герцинских структур, подобно Казахскому мелкосопочнику.

В палеоценовое время на фоне постепенной регрессии обширного межконтинентального моря Тетис в современных причерноморских районах существовала теплолюбивая тропико-субтропическая растительность с *Nipa*, *Nyssa*, *Lauraceae*, *Taxodium* и т. д. Для сравнения напомним, что *Nipa*, например, произрастает сейчас в тропической Азии по затопляемым морским побережьям, *Nyssa aquatica*, *Taxodium distichum* характерны для заболоченных лесов Флориды и Миссисипи.

В северной части Русской равнины и в Центре произрастали хвойно-широколиственные леса с элементами субтропической листопадной флоры. В наиболее тёплой юго-восточной части равнины, ближе к современному Южному Уралу, были леса с участием пальм, миртовых, лавра и других представителей, имеющих сейчас ареалы, уходящие далеко за пределы Азии – в Южную Америку, Новую Зеландию и т. д. Виды таких семейств как *Myrtaceae*, *Lauraceae*, *Palmae* обитают в бразильской гилее. Но вместе с тем по отпечаткам ли-

стве определены жёстколистные виды дуба (*Quercus*), характерные для аридного Средиземноморья. Это свидетельствует о том, что уже тогда при движении в глубь континента шло нарастание континентальности климата.

Западная Сибирь в это время испытала обширную трансгрессию и более чем наполовину была покрыта морем. Прибрежные заболоченные пространства были заняты влажными субтропическими лесами с заметным участием таксодиевых, крупных деревьев высотой до 45 м, до сих пор сохранившихся лишь в переувлажнённых субтропиках Северной Америки.

Ныне самая холодная часть – Северо-Восточная Сибирь – была занята также теплолюбивой, хотя несколько умеренной растительностью. Преобладающими здесь были сосновые леса с примесью таксодиума, но также с такими показательными элементами флоры, как магнолия, нисса и т. д.

Примечательно, что растительность самой южной части Северной Евразии (южное побережье Тетиса, территория современной Туркмении, Ирана) уже тогда носила ксерофитный характер. Это доказывается находением в палеоценовых отложениях Средней Азии (наряду с другими) пыльцы полыни, эфедры, различных видов семейства маревых. И сейчас концентрация видов этих растений приходится на самые аридные районы Средней и Центральной Азии. Поэтому можно отметить, что северная часть Северной Евразии была областью развития тропико-субтропических лесов в условиях тёплого и влажного климата (рис. 1.) с осадками до 1500–2000 мм и со среднегодовой температурой 25–27 °С. На крайнем юге формировались достаточно ксерофитные сообщества в условиях аридного и жаркого климата.

В Северном Забайкалье в раннем палеогене произрастали хвойно-широколиственные леса с примесью субтропических видов. В растительном покрове многообразно были представлены элементы пантропической группы родов, имеющих ныне ареалы, уходящие далеко в тропики и субтропики. Это *Palmae*, *Myrtaceae*, *Eucaliptus*, *Platanus*, *Pterocarya* и многие другие. Среди хвойных преобладал *Taxodium*, который ныне растёт только на тёплом юго-востоке Северной Америки и в Мексике по болотам и берегам рек на участках с избыточным увлажнением. Род *Podocarpus*, ископаемые следы которого найдены в палеоценовых отложениях Забайкалья, в настоящее время обитает в горных районах тропической и субтропической зон Австралии, Южной Америки, Азии, Африки. Тёплый и влажный климат доказывается находением здесь ископаемых представителей *Magnolia*, *Nyssa*, *Engelhardtia*, а также многочисленных споровых растений.

**Эоцен** (54,9–38,0 млн. лет назад). Из предыдущего изложения было видно, что палеоценовый этап – это очень тёплый отрезок времени. Но в эоцене интервалу 53–50 миллионов лет соответствуют ещё более тёплые условия. В раннем эоцене расширялись акватории тёплых вод Тетиса, через Западную Сибирь осуществлялась связь с Полярным бассейном (рис. 1). На юге Русской равнины были обычными пальмы, миртовые, лавровые и т. д. Даже на крайнем северо-востоке Азии, где сейчас преобладают арктические пустыни и тундры, доминирующими в растительном покрове были леса с каштаном, орехом, гикори, миртовыми, ниссой, ликвидамбаром и другими теплолюбивыми элементами

флоры. Годовая сумма осадков была равной 1000–1500 мм, среднегодовые температуры в Европейской части приближались к 23–24 °С, а на северо-востоке Азии лишь на 5–8 °С ниже.

На востоке континента, в Забайкалье, по сравнению с предшествующим этапом произошло заметное обеднение флоры, но в целом она оставалась теплолюбивой. В позднем эоцене здесь сохранились эвкалипты, протейные, гикори, но преобладающими стали умеренно-термофильные представители, такие, как каштан, орех, вяз, виды из семейства *Betulaceae*. Тропические элементы с узкой экологической амплитудой не смогли удержаться, вероятно, в связи с более холодными зимними условиями по сравнению с ранним палеогеном.

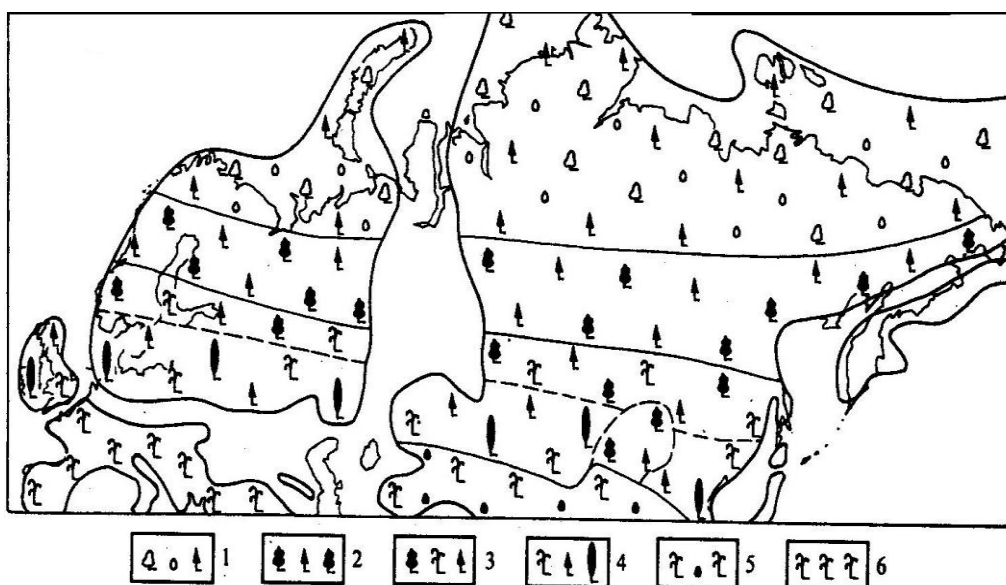


Рис. 1. Очертания суши и зональная растительность Северной Евразии в климатическом оптимуме эоцена

(по В. М. Сеницыну с дополнениями А. А. Величко):

- 1 – теплоумеренная с участием бореальных элементов, 2 – теплоумеренная, 3 – теплоумеренная с участием субтропических элементов, 4 – субтропическая, 5 – субтропическая с участием тропических элементов, 6 – пантропическая

Самый юг Средней Азии, по общему экологическому облику растительности, существенно отличался от остальной части Северной Евразии. Здесь была развита типично ксерофитная флора, отпечатки которой хорошо сохранились в эоценовых отложениях Бадхыза (рис. 2, 3). Е. П.Коровин выделяет здесь в целом для палеогена сухую туркменскую провинцию ксерофитных редколесий с участием *Myrtus*, *Rhus*, *Amygdalus*, *Ziziphus* и т. д. Но на северном берегу Тетиса располагалась влажная тургайская провинция субтропических мезофитных лесов (рис. 4).



Рис. 2. Реконструкция растительности эоцена юга Туркмении  
(по Е. П. Коровину)

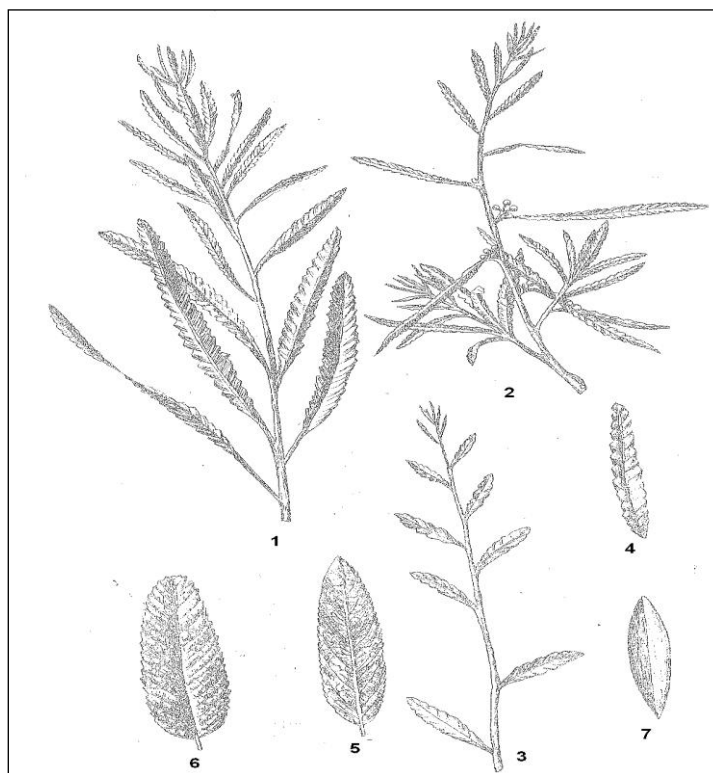


Рис. 3. Фрагмент эоценовой ксерофитной флоры Ёр-Ойлан-Дуза на юге Туркмении, 1–4 – виды *Palibinia* (*Proteaceae*), 5–*Maytenus*, 6 – *Rhus*, 7 – *Myrtus*



Рис. 4. Палеогеновые ботанико-географические провинции Казахстана и Средней Азии (по Е. П. Коровину)

Таким образом, в оптимум эоцена на всей территории Северной Евразии преобладающее развитие за весь кайнозой получили наиболее теплолюбивые растительные формации с явными чертами ксерофитности на южном побережье Тетиса. Но уже в это время наметилась чёткая широтно-зональная дифференциация. Она умещалась в эколого-климатическом диапазоне от теплоумеренных ландшафтов на севере до паратропических на юге Северной Евразии.

Вторая половина эоцена – начало олигоцена. С этого времени наметился существенный спад теплообеспеченности. На границе эоцена и олигоцена (38 млн л. н.) температура в высоких широтах понизилась на 10–12 °С. Произошла существенная перестройка общего облика растительности Северной Евразии. На юго-западе Восточно-Европейской равнины, где чувствовалось тепляющее влияние моря Тетис, сохранялись субтропические леса, но они имели уже несколько обеднённую флору. А в глубине равнины были распространены жёстколистные дубовые формации, подчёркивающие ксерофитность растительности и заметную континентальность климата.

В Западно-Сибирском секторе к концу эоцена – в олигоцене ещё большую роль стали играть формации с участием орешника, берёзы, ольхи, жёстколистных дубов и проч.

Наращение континентальности объясняется ослаблением связи Западно-сибирского морского бассейна с Тетисом и усилением влияния Полярного бассейна. Нарастание суши на юге Средней Азии (рис. 5) сопровождалось дальнейшим усилением аридности климата. В пределах Казахского мелкосопочника дубово-лавровые леса были преобладающими.



Рис. 5. Соотношение суши и моря и рельеф восточного участка области Древнего Средиземноморья в эоцене (А), олигоцене и миоцене (Б), плиоцене (В), плейстоцене (Г). (По В. М. Синицину, упрощено):  
 1 – морские и озёрные бассейны, 2 – суша возвышенная, 3 – суша равнинная,  
 4 – горное оледенение



На юге Туркмении обычными были мелколиственные лавровые, сумах, фисташка, другие ксерофитные кустарники и деревья. Некоторые из них (*Rhus*, *Pistacia*) сохранились здесь до настоящего времени. Всё это подчёркивает длительное существование жаркого аридного климата на юге Средней Азии, в Иране, на Ближнем Востоке.

На северо-востоке Евразии всё ещё сохранялись листопадные широколиственные и хвойно-широколиственные леса с участием сосны, ели, ореха, бука. На всём пространстве Северной Евразии ощущалось заметное снижение среднегодовых температур. В холодный сезон года, по сравнению с эоценом, они понизились на 10–12°C.

**Олигоцен** (38,0–24,6 млн. л. н.). Это время заметного снижения температуры. В юго-западном секторе Восточно-Европейской равнины оно не очень ощущалось из-за близости тёплых морских акваторий. Преобладающими были сосновые и листопадные широколиственные леса. Вечнозеленые элементы флоры постепенно снижают свою роль, а основной фон составляют граб (*Fagus*), берёза (*Betula*), вяз (*Ulmus*), ольха (*Alnus*), дуб (*Quercus*).

## 2. Неоген

**Миоцен** (24,6–5,1 млн. лет назад). В это время частота климатических колебаний и их амплитуда увеличиваются. Понижение температуры было в раннем, среднем и позднем миоцене. Между этими похолоданиями было два климатических оптимума. На юге Восточно-Европейской равнины в тёплые отрезки времени миоцена температура января составляла до 10°C, июля 23–24°C. После похолоданий возрождалась в обеднённом виде субтропическая растительность, в холодные отрезки времени усиливали свои позиции хвойные элементы флоры, прежде всего сосна. Но уже в конце миоцена возрастающая аридизация климата и снижение общего температурного фона создали обстановку, способствующую формированию нового ландшафтного компонента – степей. В районе Нижнего Дона и Нижнего Поволжья июльские температуры поднимались лишь до 14–15 °C, а январские впервые становились отрицательными и опускались до –5 °C. Сильно сократилась годовая сумма осадков – до 350–400 мм.

Аналогичный процесс трансформации растительности протекал и в Западной Сибири. Вечнозелёные элементы флоры исчезали, а преобладающими, особенно к концу олигоцена, стали теплоумеренные хвойно-широколиственные леса тургайского типа.

В Казахстане аридизация климата обеспечила широкое развитие древесно-кустарниковых формаций с участием мелколиственных лавров, восковниц, усилением травянистых ксерофитных сообществ.

На северо-востоке Евразии в конце олигоцена ведущими в растительности стали сосново-берёзовые леса, хотя ещё сохранялись местами смешанные листопадные леса с участием каштана (*Castanea*), лапины (*Pterocarya*), бука (*Fagus*), тсуги (*Tsuga*), секвойи (*Sequoia*). Сказывалось смягчающее влияние Тихого океана.

Чтобы представить облик этих лесов, напомним географию некоторых их элементов. Тсуга встречается в смешанных субтропических лесах Аппалачских гор в Северной Америке вместе с видами дуба, каштаном, тюльпановым деревом (*Liriodendron*) и т. д. Тсуга встречается также в горах Юго-Восточного Китая, в Японии. Секвойя сохранилась лишь в Калифорнии. Гикори растёт в богатых широколиственных лесах на юго-востоке Азии. Поэтому можно сказать, что понижение температуры в олигоцене ещё нельзя назвать похолоданием, а поэтому многие виды субтропических растений сохранялись даже в наиболее умеренных частях Северной Евразии. Заметим, однако, что в это время начали формироваться льды Антарктиды, но Полярный бассейн был свободен ото льда. В Западной Сибири постепенно преобладающими становились хвойные леса с большим участием мелколиственных пород, прежде всего берёзы и ольхи, а также с примесью дуба, бука, липы, лещины и проч.

К югу от лесной зоны начали формироваться лесостепи, а ближе к Казахстану – сухие злаково-полынные степные сообщества. Вместе со степями юга Русской равнины они впервые образовывали чётко выраженную степную зону.

Во внутренних частях Сибири в средне-позднемиоценовое время было заметное общее понижение температуры. Под влиянием похолодания в Забайкалье, в частности, состав лесов изменился благодаря широкому развитию формаций хвойного леса. Преобладающими лесообразующими породами были тсуга, древние виды ели, сосны. Но сохранялись элементы тургайской субтропической флоры, в том числе орех, граб, бук, виды дубов, что свидетельствует об относительно небольшом понижении температуры, которое нельзя квалифицировать как сильное похолодание. Можно отметить, что от позднего палеогена до позднего миоцена растительность Забайкалья прошла эволюционный путь от полидоминантных лесов тургайского типа до явно умеренных хвойно-широколиственных и хвойных лесных ландшафтов.

На северо-востоке Сибири в начале миоцена сохранялись ещё хвойно-широколиственные леса с сосной (*Pinus*), буком (*Fagus*), ильмом (*Ulmus*), падуком (*Ilex*). Но уже в среднем миоцене преобладающими становятся сосново-мелколиственные леса. Среднегодовая температура снижалась до 3°C, а зимние температуры были явно отрицательными. Предполагается, что именно в конце миоцена (Мессинский кризис, 6,6–5,1 млн л. н.) на северо-востоке, особенно в горных районах, начали появляться криофильные сообщества – прообраз тундры. По словам А. А. Величко, миоцен является важнейшим этапом, предопределившим начало формирования современной зональной структуры (облика) ландшафтной оболочки Северной Евразии.

**Плиоцен** (5,1–1,6 млн. лет назад). На территории Северной Евразии произошли значительные изменения климата, выразившиеся в чередовании похолоданий и потеплений. Сначала было умеренное похолодание, сменившееся потеплением (5,4–4,7 млн. л. н.). Сформировавшиеся лесостепные ландшафты на юге Русской равнины вновь уступили место сначала теплоумеренным широколиственным лесам, а в оптимум плиоцена – субтропическим лесам. Но в конце плиоцена в условиях нарастающего похолодания на юге Русской равнины сформировалась формация хвойно-мелколиственных лесов с кустарниковой бе-

рёзой. В бассейне Среднего Дона температуры января могли уже опускаться до  $-16^{\circ}\text{C}$ , (т.е. создавались условия для формирования зимой снежного покрова), а июля – лишь до  $15-16^{\circ}\text{C}$ . На юго-востоке Русской равнины снижение годовой суммы осадков и неуклонное импульсивное похолодание привело к широкому развитию полупустынных и пустынных ландшафтов.

В Западной Сибири на широте Омска ещё сохранялись на ограниченных участках хвойно-широколиственные леса с грабом, вязом, дубом, липой, но преобладающими были уже степные формации. Особенно это стало заметным в позднем плиоцене (3,1–1,8 мил л. н.), когда температуры января опускались до  $-16-18^{\circ}\text{C}$ , а степи и леса Западной Сибири заняли положение, близкое к современным широтам.

В плиоцене высоких широт на северо-востоке Сибири долго сохранялись, вплоть до морских побережий, хвойно-мелколиственные с берёзой леса. Здесь же в качестве редких реликтов ещё встречались тсуга (*Tsuga*), граб (*Carpinus*), восковник (*Myrica*). Но затем появились лиственнично-берёзовые леса, которые в эпохи наибольшего похолодания позднего плиоцена уступили место тундровой растительности. Появляется многолетняя мерзлота и горные ледники.

В целом для плиоцена Северной Евразии было характерно импульсивное похолодание и нарастание континентальности климата с запада на восток. Такая тенденция эволюции климата в плиоцене контролировала пространственное размещение растительности от широколиственных лесов Русской равнины к хвойно-мелколиственным и тундровым формациям на крайнем северо-востоке Северной Евразии.

В Забайкалье в плиоцене преобладающее развитие получили элементы бореальной флоры. Широко были развиты хвойные леса с большим участием берёзы, ольхи, лещины, сохранялся граб. Но в составе флоры появились берёзы из секции *Nanae*, а также *Selaginella sibirica*. Это уже явные признаки значительного похолодания. Это было связано и с нарастающим общим похолоданием, а также с тем, что именно в плиоцене произошло становление переменного повышенного барического поля монгольского (азиатского) максимума, делавшего зимы Забайкалья уже в плиоцене достаточно суровыми.

В южных территориях в условиях нарастающей аридизации климата формировались степи, полупустыни и пустыни. На юге Средней Азии, в субтропическом климатическом поясе, появился своеобразный тип растительности – ксерофитные редколесья с *Pistacia*, *Amygdalus*, *Crataegus* и другими ксерофитными кустарниками и деревьями на травянистом фоне субтропических степей или эфемеретума. Важно отметить, что рост гор на юге Сибири, в Тянь-Шане, Памиро-Алае, на Кавказе обеспечивал постепенное усложнение вертикальной растительно-климатической поясности. Уже в конце плиоцена в этих горах сформировалась устойчивая снеговая линия, проявилось первое горнодолинное оледенение, а значит, появилась растительность субальпийского и альпийского облика.

### 3. Четвертичный период (от 1,6 млн. л. н.)

В четвертичное время произошла существенная дифференциация растительности в связи с ростом гор, усложнением механизма движения воздушных масс, сменой холодных (ледниковых) и тёплых (межледниковых) условий климата и другими факторами. Поэтому, прежде чем говорить о характере и общей эволюционной линии развития растительности, необходимо остановиться на качественной характеристике четвертичного периода и на его отличительных чертах.

Четвертичный период – это ледниковый период, поскольку за последние 700 тыс. лет было по крайней мере пять или шесть ледниковых эпох, разделённых тёплыми межледниковыми эпохами. В ледниковые эпохи в континентальных районах Сибири возникла многолетняя мерзлота, которая полностью уже не исчезала, а лишь менялось положение её южной границы. В горах Кавказа, Памиро-Алая, Тянь-Шаня и Алтая сформировалась постоянная снеговая линия, которая могла менять своё положение в ледниковые и межледниковые эпохи, но так же, как многолетняя мерзлота Сибири, уже не исчезала совсем. Кроме того, возникла вертикальная дифференциация климата, повлекшая за собой становление вертикальной поясности растительности. Горы как экранирующие препятствия на пути движения воздушных масс корректировали их направление и способствовали выпадению осадков.

Для характеристики широтно-зональных ландшафтов в ледниковые и межледниковые эпохи А. А. Величко ввёл в обиход понятия – полизональная и гиперзональная структура растительности. Полизональная структура была свойственна межледниковым эпохам (от тундры, через лесную зону до степей и пустынной зоны), гиперзональная – ледниковым эпохам.

По определению А. А. Величко, гиперзона (криогиперзона) характеризуется чертами гомогенности (однородности) ландшафта. Она возникает в максимально холодные фазы ледниковых эпох на месте того же пространства, на котором в межледниковые эпохи размещались широтные зоны растительности. Основная черта криогиперзоны – широкое развитие к югу от Европейского ледникового покрова и на большей части Сибири криоксерофитных формаций – от арктических пустынь, тундры, лесотундры до своеобразных сообществ, названных условно тундростепью. Кроме того, эти сообщества в ледниковые эпохи обитали на многолетнемёрзлом грунте.

Чтобы понять механизм трансформации полизональной структуры растительности в гиперзональную, важно дать погодно-синоптическую характеристику холодного и тёплого сезонов года ледниковой эпохи на пространстве Северной Евразии. Она сводится к следующему. В каждую ледниковую эпоху, при нарастающем похолодании и формировании европейского ледникового покрова и обширной зоны многолетней мерзлоты *в зимнем отрезке времени*, над континентом Северной Евразии формировались области высокого атмосферного давления: монгольский, сибирский и арктический барические максимумы, а также область повышенного атмосферного давления над Европейским ледниковым покровом. Это обуславливало господство северо-восточного континентального антициклона, что делало зиму на пространстве Северной Евразии

крайне сухой и холодной. Происходила временная элиминация лесной зоны, хотя древесные формации сохранялись по долинам рек в особых экологических рефугиумах.

При летнем прогреве континента высокие барические поля Монголии и Сибири разрушались или, по крайней мере, сильно ослаблялись. Европейский барический максимум *сохранялся и летом*, так как был обусловлен наличием континентального ледникового покрова Европы. В результате этого происходило смещение к югу траектории движения воздушных атлантических масс (рис. 6). На юге Казахстана и в целом на Туранской равнине в тёплый сезон года формировалась сравнительно тёплая воздушная масса, создававшая барическую депрессию. Этот летне-сезонный барический минимум над ныне аридными районами юга Северной Евразии был свободен для вхождения западных (атлантических) воздушных масс, как бы засасывая их. Массораздельный полярный фронт летом делал изгиб к югу от Европейского ледникового покрова, но к востоку от него (за ним) мог уходить несколько севернее, формируя полосу летней активности циклонов. Основные трассы летних циклонов проходили через Средиземное море, по югу Восточно-Европейской равнины, Ближний Восток, достигали равнин и гор Средней Азии (рис. 6). Поэтому южные районы Восточно-Европейской равнины, Средняя Азия отличались повышенной увлажнённостью и довольно равномерным в течение года выпадением атмосферных осадков.

Исходя из всего сказанного, можно признать, что в межледниковые эпохи на пространстве Северной Евразии формировался полидоминантный широтный спектр растительности от тундры на севере до пустынь и субтропических степей (эфмеретума) на крайнем юге Средней Азии. В ледниковые эпохи севернее границы многолетней мерзлоты на месте современной лесной зоны господствовала сравнительно однообразная зона тундровых перигляциальных формаций (криогиперзона). Ближе к границе многолетней мерзлоты гиперзональные черты природы ослаблялись, постепенно (южнее границы многолетней мерзлоты) переходя в так называемый плювиальный (умеренно гумидный) пояс с более влаголюбивой растительностью. После этих предварительных замечаний можно проследить, по фактическим палеоботаническим данным, историю растительных ландшафтов Северной Евразии в четвертичное время.

**В эполейстоцене** на пространстве Русской равнины существовали две области с различным характером растительного покрова – область с господством формаций степного типа на крайнем юго-востоке и область с господством формаций лесных типов. Степная растительность была представлена дерновинно-злаковыми группировками с участием эфедры, а балки зарастали широколиственными породами, прежде всего, дубом, вязом, липой, клёном. Основная часть Русской равнины была занята лесами с тремя подзонами: подзона сосновых и сосново-широколиственных лесов, севернее – елово-сосновых с широколиственными породами лесов и берёзовых и сосново-еловых лесов. В составе лесов сохранялись плиоценовые реликты – *Tsuga*, *Juglans*, *Carya*, *Castanea*, *Pterocarya*, *Liriodendron* и др. Аналогичный процесс трансформации растительности протекал и в Западной Сибири. Вечнозелёные элементы исчезали,

а преобладающими, особенно к концу олигоцена, стали теплоумеренные хвойно-широколиственные леса тургайского типа.

В тёплые отрезки времени растительность Западной Сибири напоминала современную. В холодные отрезки времени расширялись травянистые разнотравно-злаковые сообщества, напоминающие современные степи.

На северо-востоке Евразии в бассейне Лены на формировавшихся многолетнемёрзлых грунтах развивалась растительность, близкая к южно-якутской: лиственничные леса, часто редкостойные с примесью берёзы и криофильных кустарников. В целом можно сказать, что в эоплейстоцене (1,6–0,7 млн. л. н.) частота смен климатических событий была меньшей, чем в плейстоцене (последние 0,7 мил. лет), но более частой, чем в плиоцене. По этому признаку эоплейстоцен занимает промежуточное положение между плиоценом и собственно плейстоценом.

Заштриховано – континентальные ледниковые покровы, стрелки – пути главных циклонов, пунсоны – находки мезофильной, в том числе бореальной, флоры в ныне пустынных областях

**Плейстоцен** отличается более частой сменой природных обстановок. В первой половине плейстоцена (700 – 400 тыс. л. н.) было четыре полных климатических цикла. В тёплые эпохи на большей части Восточно-Европейской равнины были хвойно-широколиственные леса (сосна, ель, пихта, тсуга) с участием таких широколиственных пород, как *Fagus*, *Juglans*, *Pterocarya*, *Zelkova*.

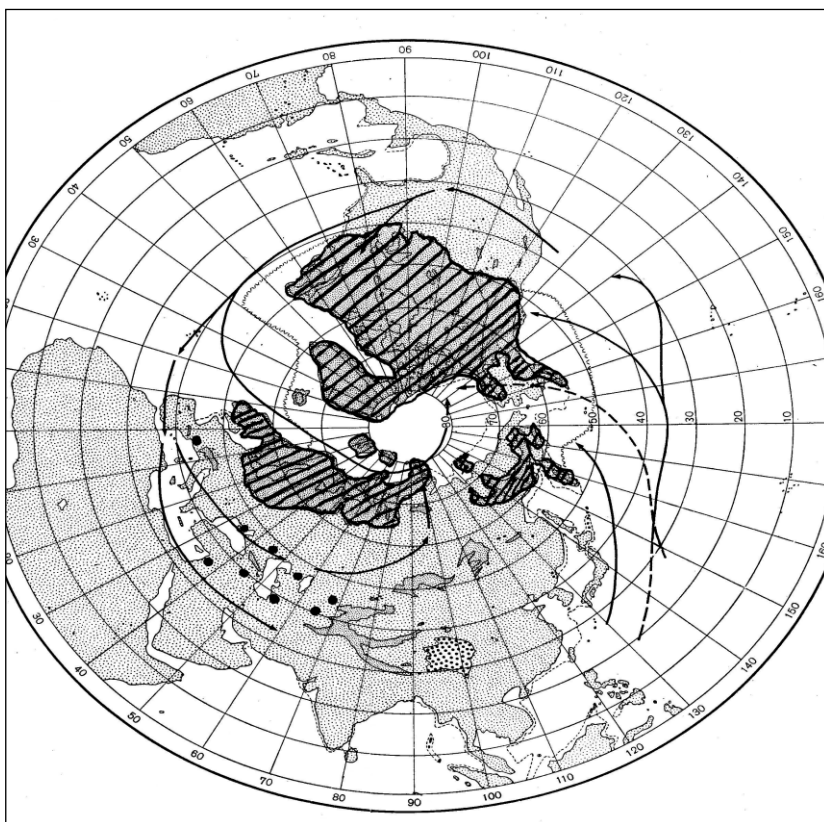


Рис. 6. Карта крупных ледников и путей циклонов во время максимума последнего оледенения в Северном Полушарии

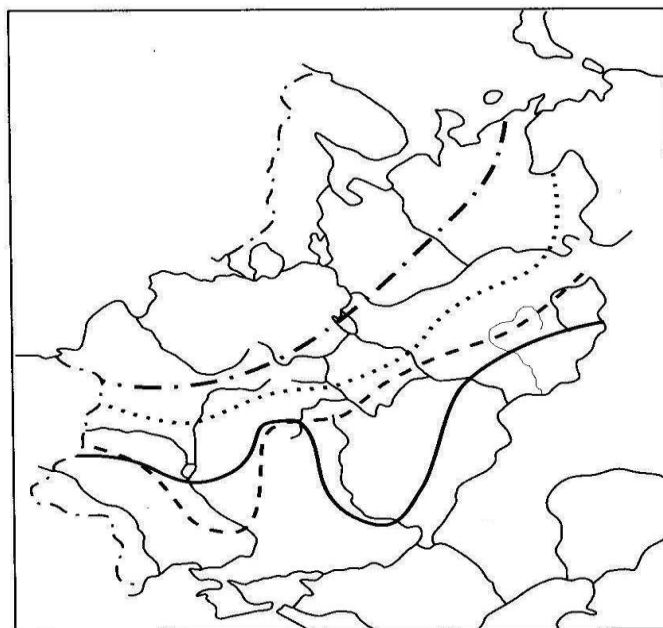
Северные районы (за 57–58° с.ш.) вплоть до побережий Баренцева моря были заняты берёзовыми и сосново-еловыми лесами с редкой примесью широколиственных пород (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*). Степи занимали юго-восточные районы Русской равнины и Причерноморье. На юге июльские температуры могли составлять +25 °С, январские – до +5 °С с суммой осадков 600–1000 мм (субтропический гидротермический фон). На севере они составляли соответственно +18÷20 °С и –3÷–4 °С.

В Западной Сибири климат был более континентальным. Здесь в тёплые отрезки времени первой половины плейстоцена зональность была близкой к современной, развивались среднетаёжные леса. Температура июля и января были равны соответственно +18 °С и –18÷–20 °С. На северо-востоке Сибири в условиях более холодного и резко континентального климата преобладающими были леса из лиственницы с примесью берёзы. Одним из феноменов первой половины плейстоцена было так называемое донское оледенение. Ледниковый покров в это время продвигался далеко на юг до 48–49° с.ш. (рис. 7).

*Вторая половина плейстоцена* начинается лихвинской межледниковой эпохой. Структура и содержание растительных зон при движении с запада (Русская равнина) на восток до Восточной Сибири ещё более дифференцируется. На Восточно-Европейской равнине чётко выделялись четыре зоны: степная зона (Причерноморье, Предкавказье, Прикаспий), формации полидоминантных хвойно-широколиственных лесов (до широты Москвы, нижнего течения Камы), формации олигодоминантных хвойных лесов с участием широколиственных пород (до верховьев Печоры, Северной Двины) и формации елово-сосновых с берёзой лесов (до побережий Баренцева моря) (рис. 8). В сложении хвойно-широколиственных лесов немалую роль играли *Castanea*, *Fagus*, *Juglans*, а также *Pterocarya*, *Zelkova*. Климатическая оценка этих зон позволяет считать что на юге, в хвойно-широколиственной зоне, температура июля могла составлять +18÷24 °С, январская – порядка +1 °С.

В Западной Сибири в это же время южнее 55° с. ш. была лесостепь и степь, в центральных районах – тайга южного типа изредка с примесью широколиственных пород, а далее, вплоть до побережий Карского моря – среднетаёжные сосново-еловые леса. Но температуры здесь были несравненно ниже, чем на Русской равнине. В центральной части Западной Сибири июльская температура составляла +18 °С, а январская опускалась до –11÷–13 °С. В восточных частях Сибири на этом этапе закрепились в ландшафте лесотундровые и лиственнично-берёзовые формации со средними июльскими температурами –2÷–3 °С.

*Поздний плейстоцен (140–10 тыс. л. н.)* начинается с микулинской межледниковой эпохи, оптимум которой приходится на дату 130 тыс. л. н. Характер растительности микулинского времени отражает климатические условия существенно более тёплые, чем в современную эпоху. Важно подчеркнуть, что повышение уровня Мирового океана в это время привело к значительным ингрессиям арктических морей на севере Евразии. Были расширены акватории Чёрного и Каспийского морей.



- · — · — Валдайское оледенение
- Московская стадия днепровского оледенения
- - - - - Днепровское оледенение
- Донское оледенение

Рис. 7. Границы плейстоценовых ледниковых покровов на Восточно-Европейской равнине в эпохи их максимального продвижения



Рис. 8. Карта растительности Русской равнины в фазу климатического оптимума лихвинского межледниковья (по В. П. Гричуку). I – степной тип растительности, II – формации лесного типа: II а – формации полидоминантных хвойно-широколиственных лесов, II б – формации олигодоминантных хвойных лесов с участием широколиственных пород, II с – формации елово-сосновых и берёзовых лесов



Обобщённая карта растительных зон (рис. 9) показывает, что тундра была распространена главным образом на севере Средней и Северо-Восточной Сибири. Тайга сдвинута существенно к северу. Обращает внимание, что зона хвойно-широколиственных лесов пересекала всю Северную Евразию – от Скандинавии до Дальнего Востока. Неморальные широколиственные леса были распространены от Восточно-Европейской равнины до Урала. Лесостепь почти сливалась с зоной широколиственных лесов. За Уралом это была берёзовая лесостепь. Степи и пустыни занимали крайне южное положение.

На Русской равнине формировалась не только северо-южная зональность, но и заметная западно-восточная дифференциация растительности. Западная Сибирь в микулинско-казанцевское время в центральной и северной части была занята таёжными формациями, на юге – с участием некоторых широколиственных пород, а на границе с Казахстаном были лесостепи и степи. В Якутии широкое распространение получили кедрово-лиственничные леса, а на северо-востоке Сибири, вплоть до низовьев Колымы, произрастали лиственнично-берёзовые северотаёжные леса.

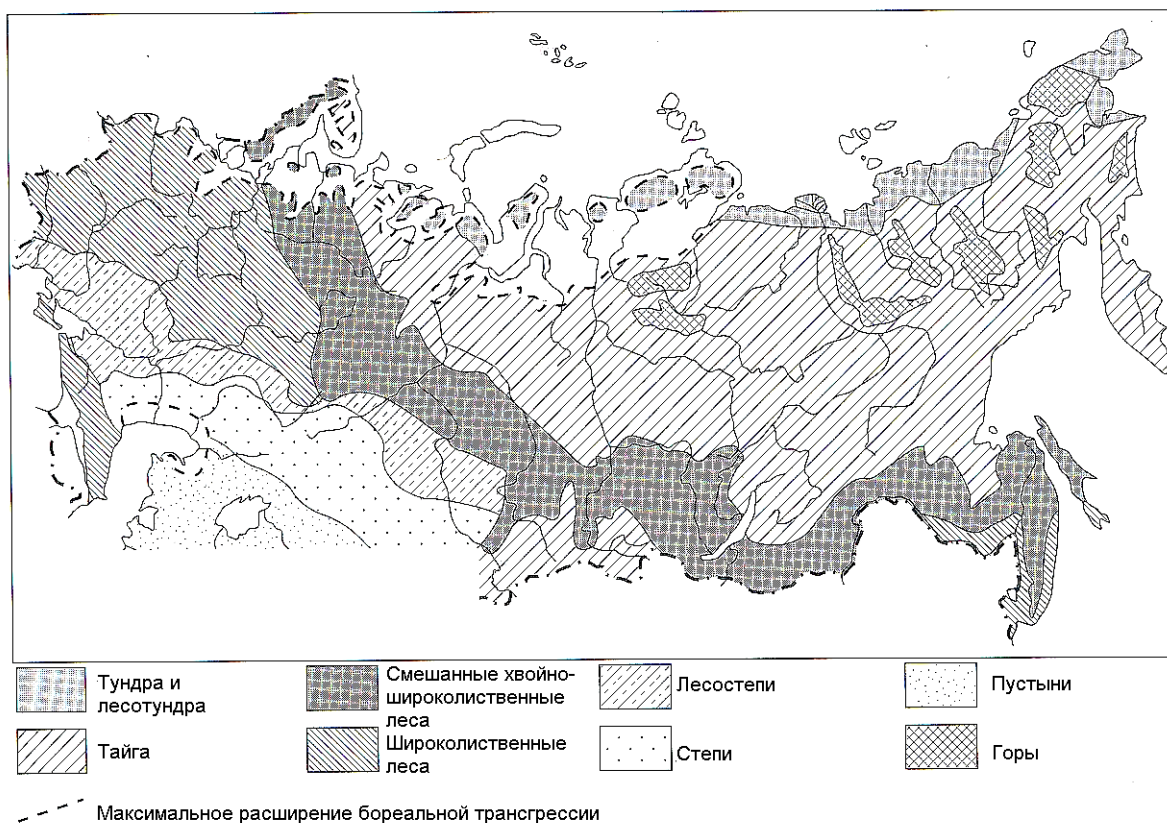


Рис. 9. Растительность Северной Евразии в климатическом оптимуме микулинского межледниковья (По А. А. Величко и И. И. Спасской)

Граница многолетней мерзлоты отодвигалась до побережья арктических морей. Юг Дальнего Востока был частью трансконтинентального пояса хвойно-широколиственных лесов. На самом юге, где климат был заметно гумиднее (муссонный тип климата), преобладали широколиственные полидоминантные леса, на родовом уровне напоминающие плиоценовые широколиственные леса Центральной Европы.

В Южном Казахстане и на Туранской равнине усиливалась аридизация климата и пустынизация растительности. Активно развивались дефляционные процессы.

После микулинского межледниковья наступило *валдайское оледенение* с двумя климатическими фазами: ранневалдайское (70–40 тыс. л. н.) и поздневалдайское похолодание (25–10 тыс. л. н.). Поздневалдайское похолодание было наиболее суровым. В это время на большей части Северной Евразии господствовали тундры, перигляциальные (приледниковые) сухие степи и полупустыни. Многолетняя мерзлота отодвигалась до Причерноморья и юга Казахского мелкосопочника (рис. 10). Шельфы арктических морей стали сушей, так как уровень Мирового океана опустился ниже современного на 110–120 м. Глубина промерзания грунта в самых суровых областях Сибири достигала сотен – тысячу метров. В таких условиях лесная зона как широтно-зональная структура исчезала. Но древесные формации в центре Русской равнины сохранялись даже в это суровое время, но по долинам рек. Мигрировавшие к югу формации лесной зоны Русской равнины соприкасались с лесами северного склона Большого Кавказа, испытывавшими снижение в предгорьях в связи с оледенением Кавказа.

Изменялись условия и в Средней Азии. В пустыне Сам в Приаралье, например, изучена молодая ископаемая почва, в которой определён богатый состав бореально-лесной с элементами субарктической флоры: *Picea*, *Pinus sylvestris*, *Betula*, *Alnus*, *Ericaceae*, *Polypodiaceae*, *Lycopodium clavatum*, *Selaginella selaginoides* и др. Всё это свидетельствует о том, что южнее многолетней мерзлоты, занимавшей тогда положение на 1600–1800 км южнее современного, на пространстве аридной зоны (степь, пустыня) в эпоху 18–20 тыс. л. н. устанавливались особые (плювиальные) условия климата. Атмосферные осадки выпадали не только в зимне-весеннее время (как сейчас), но и в летнее время при общей их сумме до 400–600 мм. Здесь создавались эколого-климатические условия для развития лесостепных сообществ бореального типа в сочетании с автохтонными элементами пустынной флоры. При этом надо подчеркнуть, что бореально-лесные формации и их травянистые и споровые спутники были здесь как эпизодические «гости». Но даже при незначительном потеплении и аридизации климата они подвергались быстрой элиминации, предоставляя пространства пустынь их флористическим «хозяевам». Лесные формации в качестве одного из элементов ландшафта проникали в это время также до Крыма, Предкавказья, Прикаспия. Таким образом, граница многолетней мерзлоты разделяла два разнокачественных по климату и растительности пояса. К северу от неё был пояс микротермных, тундростепных и лесотундровых растительных ландшафтов, к югу – пояс умеренно-влажных мезотермных сообществ разного флористического состава, но заметно более мезофильных, чем сейчас здесь же. Этот пояс простирался, конечно, за пределы Средней Азии и юга Русской равнины и охватывал пространство от Средиземноморья и далее на восток – до Центральной Азии. В межплювиальные эпохи в аридном поясе Азии восстанавливались условия, близкие к современным.

В период между 13–14 тыс. л. н., в связи с новой волной потепления, началась активная деградация европейского ледникового покрова, граница

многолетней мерзлоты быстро отодвигалась к северу. Наступил *голоценовый (последнический)* этап развития природной обстановки с климатическим оптимумом 6–5 тысяч лет назад (рис. 11).

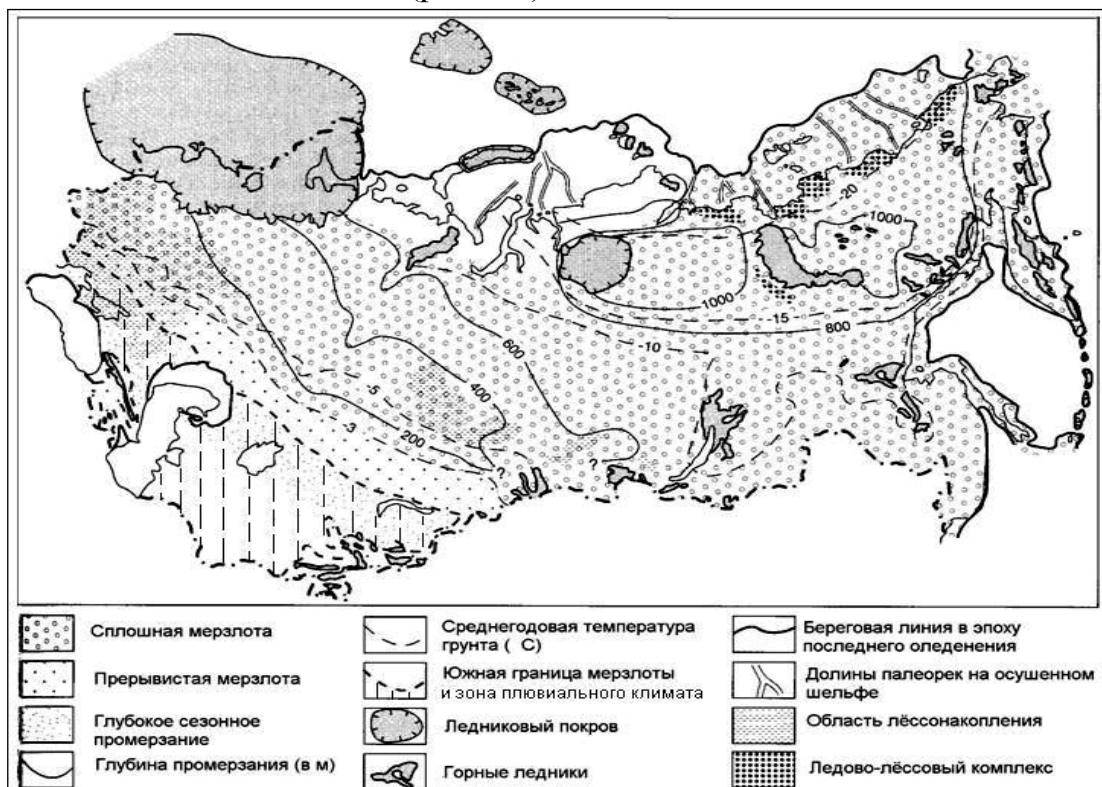


Рис. 10. Ледники и перигляциальные области в максимальную фазу позднеплейстоценового оледенения (20–18 тысяч лет), (по А. А. Величко и И. И. Спасской, с дополнением)

Ледники растаяли. Шельфы северных арктических морей вновь были покрыты водой. Сильно расширилась зона тайги. В Европейской части тайга выходила на побережье Баренцева моря. Тундра была характерна только для крайних северных районов Сибири. Зона хвойно-широколиственных лесов уходила за Урал, в пределы Западной Сибири. Степи, полупустыни и пустыни заняли весь аридный юг Северной Евразии.

Примерно 3–4 тысячи лет назад началось новое похолодание, главный тренд которого продолжается и в настоящее время. Результатом этого стало новое появление и расширение зоны тундры за счёт сдвига к югу северной границы зональных хвойных лесов.

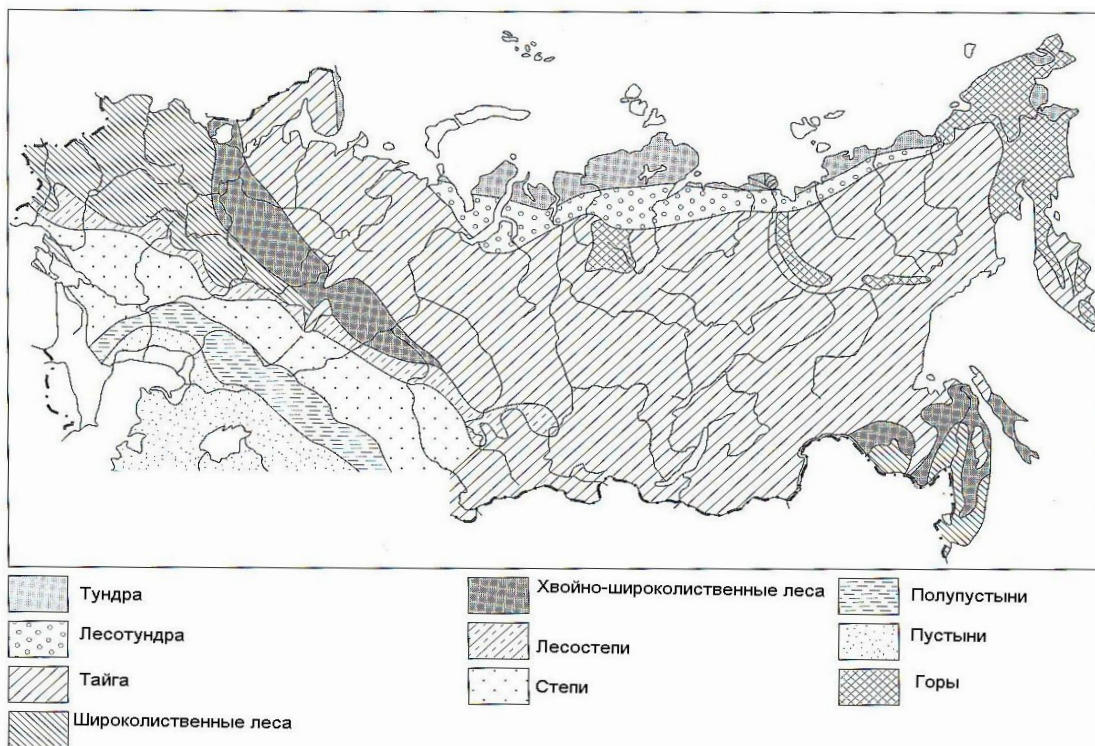


Рис. 11. Растительность в климатическом оптимуме голоцена (5–6 тыс. л. н.)  
(по А. А. Величко)

Всё вышеизложенное позволяет наметить главнейшие этапы становления климатической системы Северной Евразии. Самый тёплый период в кайнозое приходится на средний эоцен. Конец среднего эоцена – это рубеж, после которого наметился отчётливый тренд к понижению температуры. А. А. Величко отмечает, что с конца эоцена начался ледниковый этап в кайнозойской истории биосферы. В это время возникли первые ледники Антарктиды, а само понижение температуры фиксируется через температуру холодного времени года. Это понижение температуры было импульсивным и складывалось из колебаний то в сторону потепления, то в сторону похолодания. Важно подчеркнуть, что климатические колебания в конце эоцена – в плиоцене становятся более частыми (каждые 1–5 млн. лет), но вместе с тем, увеличиваются амплитуды среднегодовых температур от 5–6 до 8–10 °С. Существенный перелом в сторону похолодания происходит в конце миоцена. Этот холодный интервал получил название Мессинского кризиса (6–5,5 млн. л. н.), после которого похолодание продолжало нарастать. Во второй половине плиоцена (2,7–2,5 млн. л. н.) оно было настолько сильным, что на северо-западе Евразии (в Скандинавии) возникло на непродолжительное время покровное оледенение, а в Северо-Восточной Сибири впервые появилась многолетняя мерзлота. Именно в это время начали формироваться высокогорные ледники в уже достаточно поднявшихся горах Кавказа, Памира, Тянь-Шаня и Алтая.

Около 1 млн. л. н. климатические колебания приобрели явно выраженный циклический характер. Циклы складывались из чередований ледниковых и межледниковых эпох, каждый цикл продолжительностью 200–100 тысяч лет (рис. 12). Более поздние циклы сокращали свою продолжительность. При этом

важно отметить, что каждое последующее оледенение становилось более суровым, а каждое последующее межледниковье – менее тёплым. Максимально холодным было позднеплейстоценовое оледенение в заключительной стадии (18–20 тыс. л. н.). Таким образом, отмечает А. А. Величко, температурная кривая в масштабах мезозоя – кайнозоя отражает направленную смену колебаний от медленных (длинноволновых) колебаний в мезозое и начале кайнозоя к ритмически упорядоченным средневолновым колебаниям с возрастающей амплитудой в миоцене–плиоцене, сменявшимся в плиоцене–плейстоцене на быстрые (коротковолновые) колебания циклического характера.

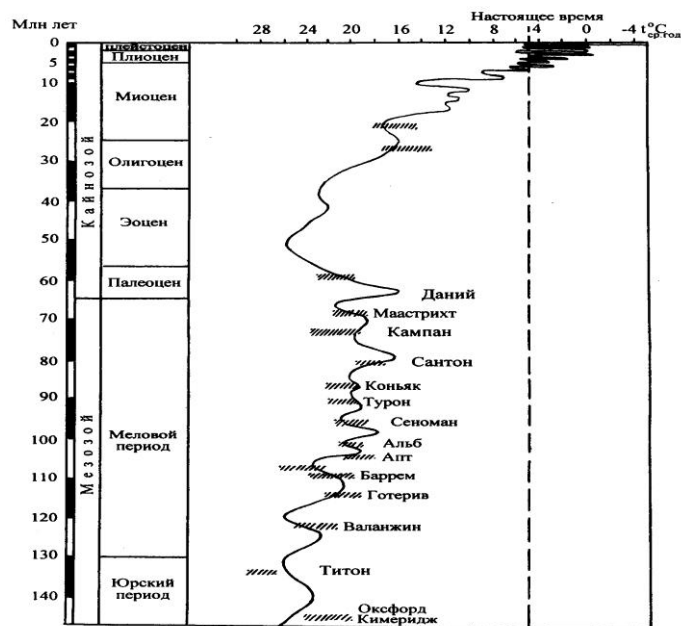


Рис. 12. Температурная кривая мезозоя–кайнозоя для южной половины Русской равнины (составили А. А. Величко и Н. А. Ясаманов)

В климатическом оптимуме эоцена температурный режим соответствовал тропическому климату, в олигоцене – плиоцене – субтропическому и теплоумеренному, в плейстоцене – умеренному и бореально-арктическому климату.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что современная ландшафтно-климатическая система Земли принадлежит гигантскому мезозойско-кайнозойскому циклу и соответствует её холодному этапу – позднекайнозойскому ледниковому периоду. Современный климат отвечает тёплой межледниковой фазе, хронологически расположенной между максимумом последнего оледенения (18–20 тыс. лет назад) и гипотетическим будущим оледенением. Эта межледниковая фаза началась 10300 лет назад, когда полностью исчезли континентальные покровные ледники. Термический максимум этой фазы приходится на 6–5,5 тыс. л. н., после чего началось новое похолодание. Современная ландшафтно-климатическая обстановка в рамках макроцикла приходится на вторую половину межледникового интервала, которая характеризуется тенденцией к похолоданию, связанному с приближением новой ледниковой фазы.

Обратимся ещё к одной проблеме развития климата Северной Евразии в кайнозое, связанной с формированием орографических барьеров. На северо-востоке Евразии уже во второй половине олигоцена – с середины миоцена

начали формироваться горные ландшафты, приспособленные к условиям усиливающегося похолодания и аридизации. Это было обусловлено большей высотой рельефа и блокированием западных влажных масс воздуха, а также охлаждением Полярного бассейна. Но, кроме того, возникшие горные системы Северо-Восточной Азии послужили областью формирования одного из важных центров общей глобальной системы атмосферной циркуляции – переменной области высокого давления Сибирского антициклона. В последние 15 мил. лет происходило становление Гималайско-Тибетской высокогорной страны. Над горными массивами Азии формировалась другая область высокого давления – центральноазиатский (монгольский) максимум – важнейший центр действия атмосферы глобального уровня. Области высокого давления (сибирская и монгольская) взаимодействовали с зоной западного воздушного переноса в субарктических широтах, с Алеутским минимумом (к востоку от Сибири), а также с муссонными областями на юго-востоке. При этом возникавшие горы Южной Сибири отгородили её от жаркой Центральной Азии, а поднимавшиеся горы Западных Гималаев и Гиндукуша отрезали пути движения к горам Средней Азии южного источника влаги – индийского муссона. Поэтому похолодания и смена режима выпадения атмосферных осадков в Северной Евразии, наряду с общими глобальными причинами, были также следствием роста её южных гор, а аридизация гор Средней Азии стала следствием активной новейшей тектоники Гиндукуш-Гималайского складчатого пояса. Всё это усложняло возникавшую новую систему циркуляции атмосферы над Северной Евразией.

Таким образом, в Северной Евразии в палеогене, при высокой глобальной теплообеспеченности и отсутствии резких контрастов в рельефе, ведущую роль играл широтный пояс западного воздушного переноса. В неоген-четвертичное время в условиях усиливавшегося похолодания и активизации горообразовательных процессов на востоке и юге Северной Евразии происходит радикальная перестройка системы атмосферной циркуляции. Эта система начала формироваться 15 млн. л. н., а в современном виде она утвердилась лишь в плейстоцене.

### **Библиографический список**

Андреичева Л. Н. Плейстоцен Европейского Северо-востока. Екатеринбург, 2002.

Болиховская Н. С. Эволюция лёссово-почвенной формации Северной Евразии. М.: Изд-во МГУ, 1995.

Величко А. А. Природный процесс в плейстоцене. М.: Наука, 1973.

Величко А. А., Шик С. М. (ред.). Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет. М.: ГЕОС, 1999.

Величко А. А. (ред.). Динамика ландшафтных компонентов и внутренних бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет. М.: ГЕОС, 2002.

Величко А. А., Шик С. М. (ред.). Оледенение среднего плейстоцена Восточной Европы. М.: ГЕОС, 2001.

Вронский В. А., Войткевич Г. В. Основы палеогеографии. Р-на-Д., М., 1997.

- Гричук В. П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М.: Наука, 1989.
- Лазуков Г. И. Плейстоцен территории СССР. М., 1989.
- Марков К. К. Палеогеография. М. Изд-во МГУ, 1960.
- Марков К. К. Лазуков Г. И., Николаев В. А., Величко А. А. Четвертичный период. М.: Изд-во МГУ. Т. 1–3, 1963–1967.
- Марков К. К. Избранные труды. Палеогеография и новейшие отложения. М.: Наука, 1986.
- Нейштадт М. И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М., 1957.
- Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. М.: Наука, 1982.
- Палеогеографическая основа современных ландшафтов. М.: Наука, 1994.
- Пахомов М. М. Палеогеография гор востока Средней Азии в позднем кайнозое и вопросы флороценогенеза: Автореф. дис.... д-ра. геогр. наук. М., 1982.
- Пахомов М. М. Новые данные к палеогеографии лёссово-почвенной серии Средней Азии. // Докл. АН СССР. 1983. Т. 270. № 4.
- Пахомов М. М. Ледниково-межледниковые циклы в аридных районах Северной Евразии. Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 3.
- Пахомов М. М., Ревердатто М. В., Риндзюнская Н. М. Основные этапы развития растительности Северного Прибайкалья в кайнозое. // Бюлл. КИЧП. № 52. М., 1983.
- Пахомов М. М., Пенькова А. М. Ископаемые флоры Памиро-Алая как показатели изменений климатических условий в кайнозое. // Изв. АН СССР. 1978. № 4.
- Пахомов М. М., Прокашев А. М., Пупышева С. А., Пахомова О. М. Последледниковая трансформация почвенного и растительного покрова Вятско-Камского региона. // Изв. РАН. сер. геогр. 2003. № 5.
- Свиточ А. А. Палеогеография плейстоцена. М.: Изд-во МГУ, 1987.
- Свиточ А. А. Морской плейстоцен побережий России. М.: ГЕОС, 2003.
- Серебряный Л. Р. Динамика покровного оледенения и гляциоэвстазия в позднечетвертичное время. М.: Наука, 1978.
- Флинт Р. Ледники и палеогеография плейстоцена. М.: ИЛ, 1963.
- Фэйбридж Р. У. (ред.). Солнечная активность и изменения климата. Л., 1966.
- Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1970.
- Цейнер Ф. Плейстоцен. М.: ИЛ, 1963.

# СМЕНИ ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК НА ПРОСТРАНСТВЕ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 130 ТЫСЯЧ ЛЕТ

*М. М. Пахомов*

*д.г.н., профессор кафедры географии,*

*Вятский государственный гуманитарный университет, mp1234@yandex.ru*

Приводится характеристика ландшафтно-экологических условий Северной Евразии в пределах крупного климатического макроцикла, охватывающего оптимум последнего межледникового (130 тыс. л. н.), климатического минимума валдайского оледенения (18–20 тыс. л. н.) и послеледникового (голоценового) потепления (последние 10 тыс. л.). Показано, что крупные глубокоамплитудные климатические ритмы ледниковых и межледниковых эпох всегда усложнялись ритмами второго, третьего и т.д. порядков. Начавшееся 10 тыс. л. назад потепление достигло максимума в эпоху атлантического периода, т. е. 5–6 тыс. л. назад. В субатлантическое время (3–2,5 тыс. л. назад) обозначилась тенденция к похолоданию, которое в ритме первого порядка сохраняется и сейчас, но осложнено непродолжительными фазами потепления, имеющими природную причину.

**Предварительные замечания.** Учёные-климатологи всего мира придают большое значение изучению истории климата Земли. Это объясняется таким свойством климата, как его непостоянством, неоднократными в геологическом прошлом климатическими колебаниями разной амплитуды и продолжительности. Знание истории климата позволяет понимать возможные его изменения в ближайшей или отдалённой перспективе. Климат определяет многие природные явления: интенсивность экзогенных процессов, появление и исчезновение континентальных ледниковых покровов, изменение уровня Мирового океана, увеличение и уменьшение площади суши или мировой акватории, динамику и трансформацию ландшафтных зон и многое другое. Именно поэтому история климата – одно из важнейших направлений в физической географии.

В современной научной, а особенно в массовой литературе, активно обсуждается проблема глобального потепления климата. Что такое потепление существует, спора нет. Спор идёт о причинах потепления. Ещё 20 лет тому назад по этому поводу было высказано мнение о том, что «колебания климата были всегда, они носили региональный характер и были связаны, главным образом, с колебаниями циркуляционных периодов. Это важно подчеркнуть потому, что в ряде работ последних лет сенсационно преувеличивается роль теплового эффекта CO<sub>2</sub> при оценке современных изменений климата. В истории климата голоцена периоды потеплений и похолоданий имели место всегда, а антропогенного воздействия не существовало» (Борисенков, Пасецкий, 1988).

Ещё более определённо об этом высказался В. В. Пятаков (2004). Он, в частности, пишет, что десятка два лет назад в геологических науках ещё не употреблялся термин «экология». Впервые прозвучавшие тогда слова «парниковый эффект», «глобальное потепление» вызывали некоторое недоумение. Се-



годня эти словосочетания приобрели вес приговора или закона, не подлежащего обсуждению: «парниковый эффект обеспечивают газы в результате антропогенной деятельности, как следствие – грядёт «глобальное потепление» и таяние ледниковых шапок на полюсах. В результате этого будет затоплена большая часть Европы и т. д. и т. п. И поэтому надо срочно закрывать фреоновые производства, переходить на покупку американских холодильников, срочно подписывать Киотский протокол и перепродавать свои квоты на загрязнение атмосферы.

В среде геологов-четвертичников странно было обсуждать эту тему с позиций техногенного влияния, поскольку давно установлено, что в истории нашей планеты не раз были оледенения (похолодания) и межледниковья (потепления). Эти продолжительные и глубокоамплитудные климатические ритмы усложнялись наложением на них колебаний климата второго, третьего порядков, не столь глубоких по амплитуде и более кратковременных.

Но противодействовать «парниковому эффекту» сейчас стало очень сложно, потому что «парниковый эффект» активно поддерживается средствами массовой информации. Часто такая информация явно тенденциозна. Средства массовой информации формируют общественное мнение. А общественное мнение учитывается властью, а власть создаёт законы, регламенты и предписания. Таково значение понятий «парниковый эффект», «глобальное потепление» и их влияние на образ мыслей и действий.

В связи с этим обратимся к климато-индикационным геологическим фактам, которые характеризуют эпоху последнего крупного климатического цикла (ритма), охватывающего время последних 130 тыс. л., и проанализируем тенденцию развития, эволюцию климата на уровне крупных и второстепенных климатических ритмов. Это очень важно для того, чтобы оценить «парниковый эффект» далёкого геологического прошлого, освобождённого от антропогенного воздействия.

Ландшафтно-климатические обстановки на территории Северной Евразии в течение кайнозойского времени менялись неоднократно. Этому посвящено большое количество публикаций, подытоженных в фундаментальном исследовании «Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет» (1999), а также в монографии «Динамика ландшафтных компонентов...» (2002) и др. В настоящее время специалисты уделяют особое внимание изучению явлений, относящихся к так называемому позднеплейстоценовому климатическому макроциклу, охватывающему отрезок времени от 140–130 тыс. л. н. до современности. Именно на этот отрезок геологического времени приходится миккулинская межледниковая эпоха с максимально тёплыми условиями, примерно, 125–130 тыс. л. н. За этим тёплым отрезком времени в результате начавшегося около 90 тыс. л. н. похолодания последовала длительная (от 70 до 10 тыс. л. н.) валдайская ледниковая эпоха с неустойчивым холодным климатом. В это время значительная часть Европы от Британии до Северного Урала была покрыта мощным, до 3 км толщины, ледниковым покровом. Наиболее холодные условия этой эпохи установились 18–20 тыс. л. н. (рис. 1). Но и в условиях ледниковой эпохи, на фоне крайне сурового климата, проявилось до девяти ритмов повы-

шения температуры. Впоследствии, в результате новой волны потепления, произошла быстрая деградация и исчезновение валдайского ледникового покрова. Уже ко времени 10 тыс. л. н. ледниковый покров Европы растаял полностью. Мы живём в современной межледниковой эпохе, т.к. учёные считают, что в очень отдалённом будущем на Земле неизбежно повторится новое оледенение (Котляров, 2002; Величко, 2002).

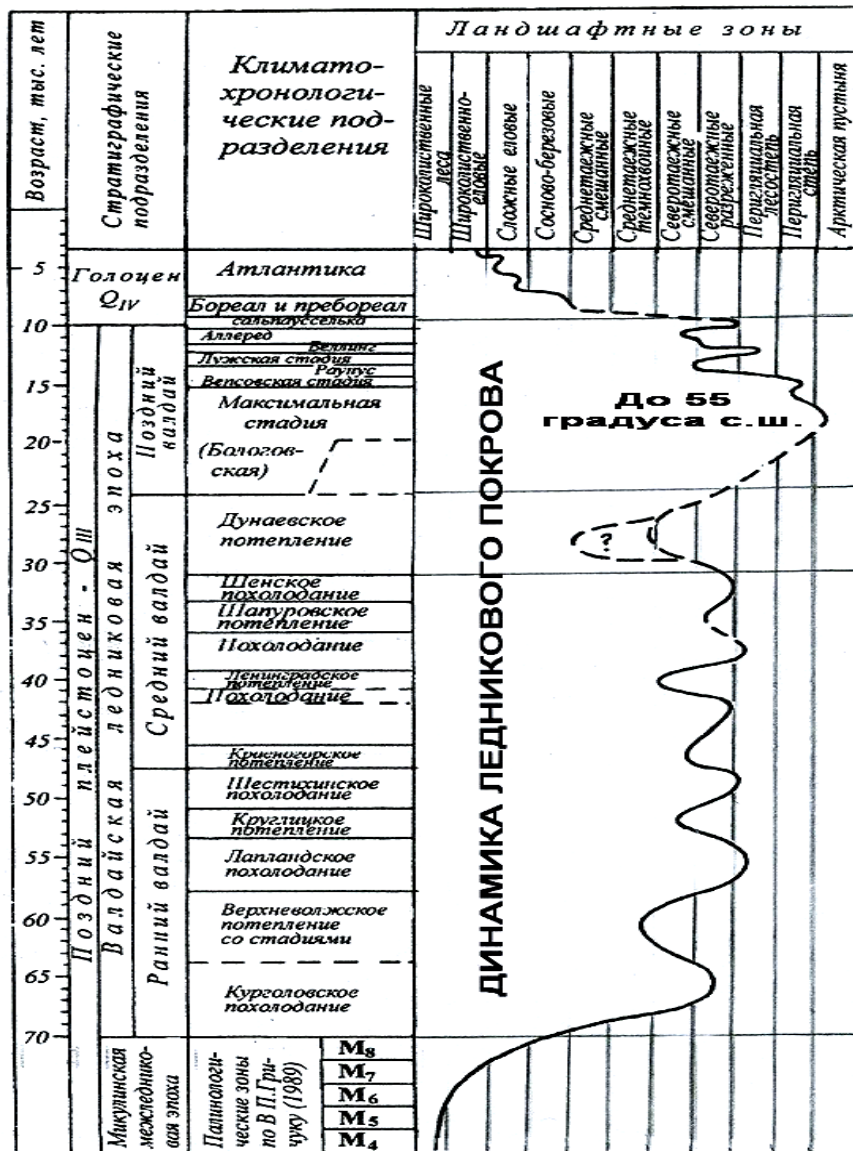


Рис. 1. Хронология событий и динамика ландшафтов на Русской равнине в позднем плейстоцене (Величко, 2002)

В настоящее время особенно детально изучается голоценовый период, охватывающий последние 10–12 тыс. л., т. е. время возникновения земной цивилизации. Такой интерес со стороны учёных объясняется тем, что знание структуры климатических изменений в прошлом и общей тенденции развития климата позволяют строить возможные сценарии развития природы, смен типов ландшафтов, изменения границы и площади многолетней мерзлоты и т. д. Иначе говоря, такие исследования вплотную соприкасаются с практическими делами человечества.

Какой же представляется нам природа Северной Евразии в геологически отдалённой ретроспективе? В этом плане рассмотрим состояние её природы в трёх главных, уже упоминавшихся, хронологических срезах, а именно: в эпоху максимального потепления микулинского межледниковья 125–130 тыс. л. н., во время валдайского оледенения в период от 70 до 10 тыс. л. н. и в голоценовую эпоху, т. е. за последние 10–12 тыс. л. н.

**Последовательность событий позднего плейстоцена. Микулинское межледниковье.** Сравнивая современные широтно-ландшафтные условия Северной Евразии с ландшафтами микулинской межледниковой эпохи, можно отметить их общее сходство и значительные частные отличия.

Характер растительности микулинского времени свидетельствует о климате существенно более тёплом, чем в современную эпоху (рис. 2). Согласно (Величко, 2002), для центра Русской равнины отличия от современного климата касаются, в основном, зимнего сезона: зима была значительно мягче, чем сейчас. В настоящее время средние температуры воздуха для января близки к  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то в оптимуме микулинского межледниковья они не опускались ниже  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а, возможно, были близки к  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков было выше современного, примерно, на 100 мм. Важно подчеркнуть, что повышение уровня Мирового океана в это время привело к значительным ингрессиям арктических морей на севере Евразии. Были расширены акватории Чёрного и Каспийского морей, затоплены большие площади на севере Западной Сибири, Северо-Сибирской низменности, в низовьях Печёры, Северной Двины. Белое море через Карельский перешеек соединялось с Балтийским морем.

Обобщённая карта растительных зон (рис. 2) показывает, что тундра была распространена, главным образом, на севере Средней и Северо-Восточной Сибири. Тайга была сдвинута существенно к северу и выходила на побережья арктических морей. Зона хвойно-широколиственных лесов, ныне отсутствующая в Сибири, пересекала всю Северную Евразию – от Скандинавии до Дальнего Востока. Неморальные широколиственные леса были характерны для Восточно-Европейской равнины – вплоть до Урала. Лесостепь почти сливалась с зоной широколиственных лесов. Степи и пустыни занимали крайне южное положение.

После микулинского межледниковья наступило **валдайское оледенение** с двумя климатическими стадиями похолодания: ранневалдайская (70–40 тыс. л. н.) и поздневалдайская (25–10 тыс. л. н.), которые были разделены относительно тёплым мегаинтерстадиалом в интервале 30–25 тыс. л. н., поздневалдайское похолодание было наиболее суровым.

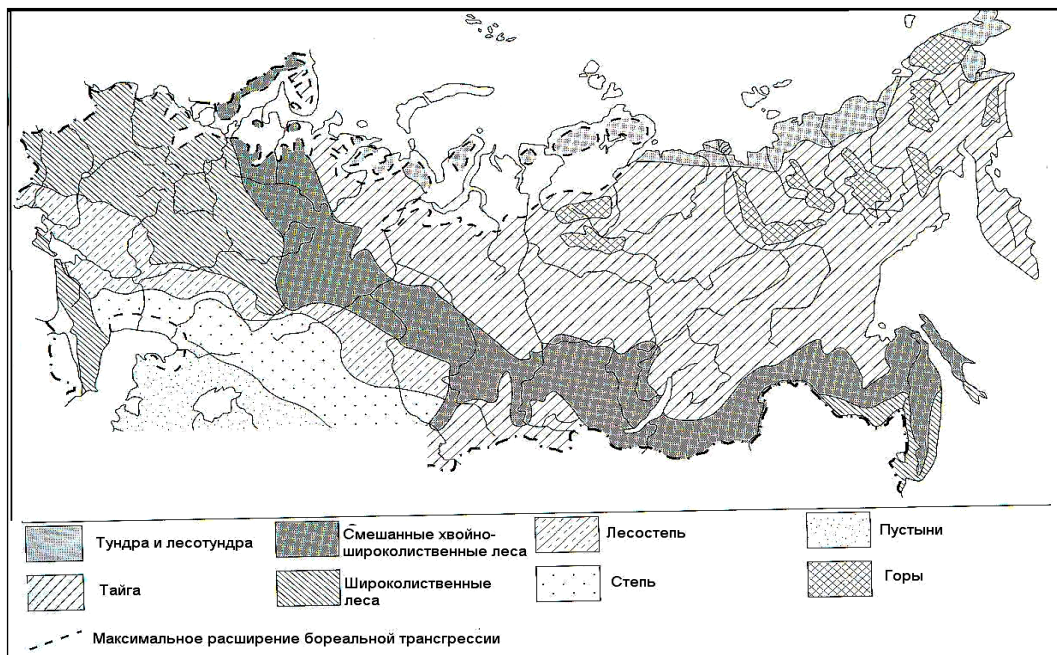


Рис. 2. Растительность Северной Евразии в климатическом оптимуме микулинского межледниковья (Velichko, Spasskaya, 2002)

Зимы становились особенно холодными. Это было обусловлено следующими обстоятельствами. Над Евросибирью (Вальтер, 1969–1975) в зимнее время формировались три устойчивые области повышенного атмосферного давления (холодные антициклоны): над Арктикой (арктический максимум), над Северо-Восточной Азией и горами Южной Сибири (азиатско-монгольский максимум) и над европейским ледниковым покровом. Эти антициклональные области создавали условия, при которых холодные, сухие, бесснежные воздушные массы в течение большей части года перекрывали почти всё пространство Северной Евразии, делая климат крайне суровым. Годовая сумма атмосферных осадков не превышала 200–300 мм. Поэтому в условиях криоксеротического климата на большей части Северной Евразии господствовала тундра, перигляциальные (приледниковые) тундростепи, лесотундровые формации и полупустыни. Многолетняя мерзлота отодвигалась до Причерноморья и юга Казахского мелкосопочника, т. е. на 1600–1800 км южнее её современной границы (рис. 3).

Шельфы арктических морей стали сушей, т.к. уровень Мирового океана опустился ниже современного на 110–120 м, ибо значительная часть воды в виде ледниковых покровов Северной Америки, Евразии и других областей переместилась из океанов на континенты. Чукотка соединилась с Аляской континентальным мостом. Крупные реки Сибири, Обь, Енисей, Лена, Колыма и другие, проделали себе новые русла в нижнем течении и протекали по осушенному шельфу. Глубина промерзания грунта в самых суровых областях Сибири достигала сотен – тысячу метров. В таких условиях лесная зона, как широтно-зональная структура, существовать не могла и она распалась. Но древесные формации в центре Русской равнины сохранялись даже в это суровое время, но – по долинам рек, оврагам и проч.

За многолетней мерзлотой, т. е. на пространстве аридной зоны (степь, пустыня), в эпоху 18–20 тыс. л. н. устанавливались особые (плювиальные) условия климата. Это было связано со смещением к югу траектории движения атлантических воздушных масс под действием арктико-сибирских и европейского антициклонов. Иначе говоря, происходило перераспределение атлантической влаги. Если сейчас над лесной зоной Северной Евразии выпадает до 600–700 мм осадков, то в ледниковое время оно сокращалось до 200–300 мм. Если сейчас над южными степями и пустынями выпадает 200–300 мм осадков, то в ледниковое (плювиальное) время оно могло составлять 400–500 мм.

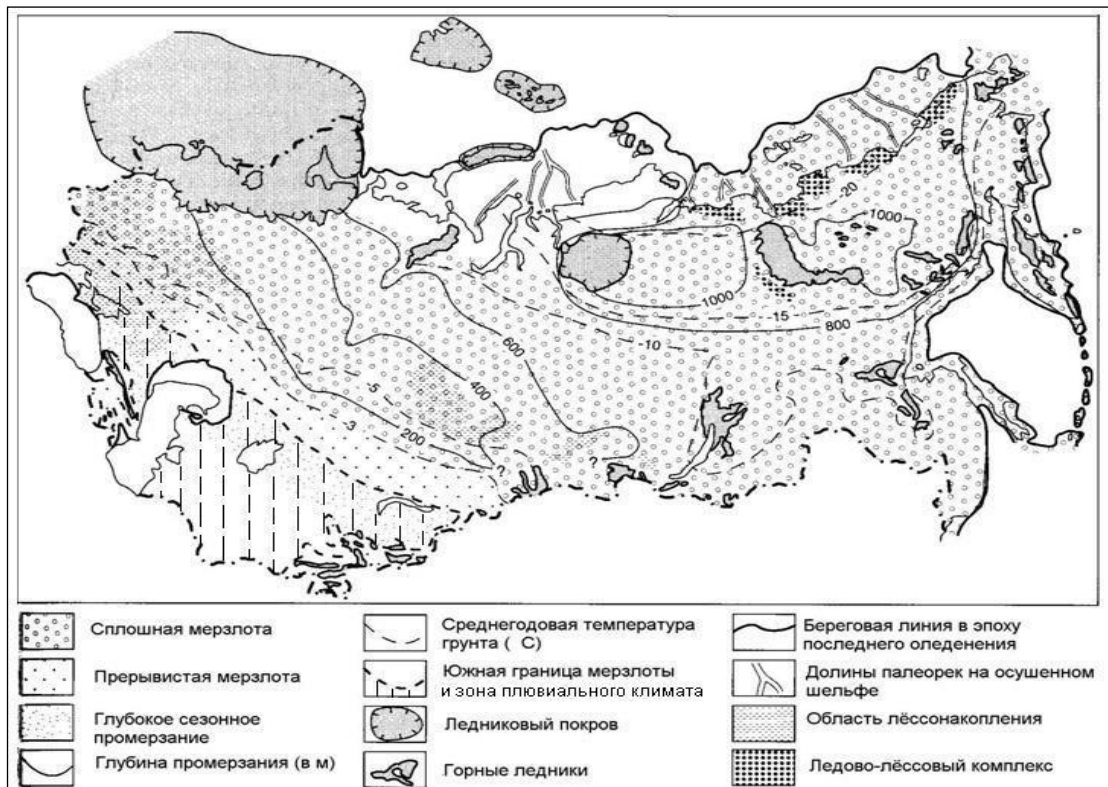
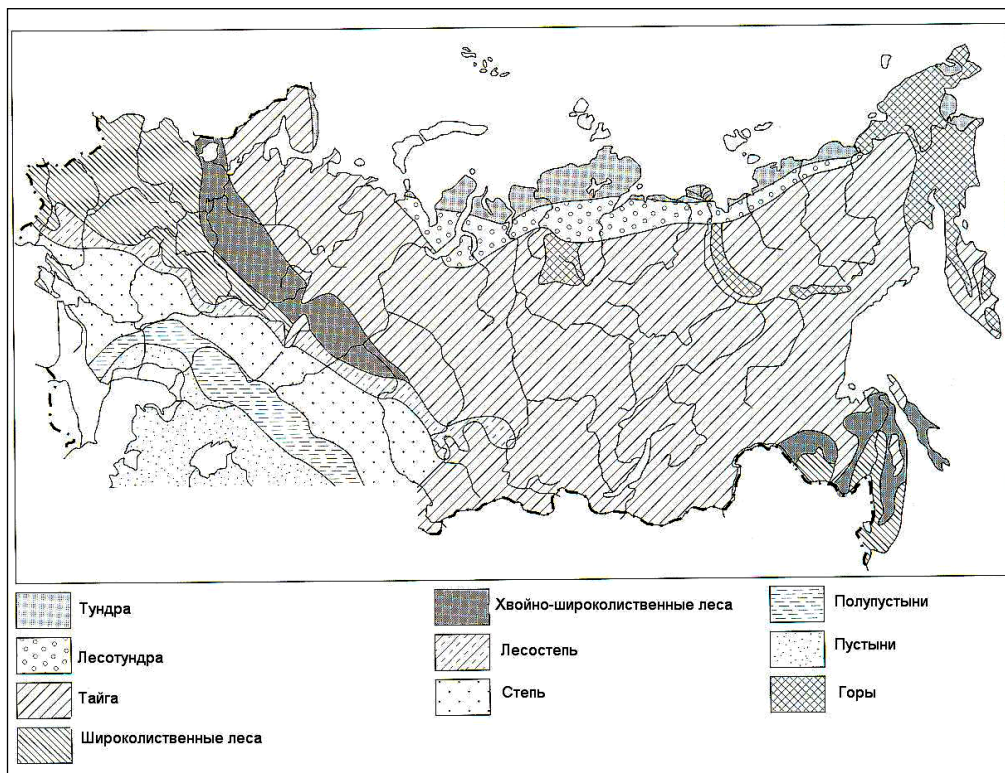


Рис. 3. Ледники и перигляциальные области в максимальную фазу позднеплейстоценового оледенения (20–18 тыс. л.), (Velichko, Spasskaya, 2002)

Таким образом, граница многолетней мерзлоты разделяла два разнокачественных по климату и растительности пояса. К северу от неё располагался обширный гиперзональный пояс микротермных тундростепных и лесотундровых растительных сообществ. К югу от границы многолетней мерзлоты в ледниковое время формировался пояс умеренно-влажных мезотермных сообществ разного флористического состава, но заметно более мезофильных, чем сейчас здесь же (Пахомов, 2006).

В период между 13–14 тыс. л. н. в связи с решительным потеплением климата началась быстрая деградация европейского ледникового покрова. Ледниковый покров, существовавший в течение 50–60 тыс. л., растаял практически полностью за 7–8 тыс. л. Граница многолетней мерзлоты быстро отодвигалась к северу. Наступил *голоценовый (последледниковый)* этап развития природной обстановки с климатическим оптимумом 5–6 тыс. л. н. Ледники растаяли и вер-

нули воды в Мировой океан. Шельфы северных арктических морей вновь были затоплены. Климат в умеренной полосе Северной Евразии стал заметно теплее. Восстановилась широтная траектория движения атлантических воздушных масс. Увлажнение и потепление климата привело к восстановлению лесных ландшафтов. В климатическом оптимуме голоцена сильно расширилась зона тайги. Степь и тундра восстановили своё обычное географическое положение и вновь были разделены обширной лесной зоной. Степи, полупустыни и пустыни заняли весь аридный юг Северной Евразии (рис. 4).



*Рис. 4.* Растительность в климатическом оптимуме голоцена (5–6 тыс. л. н.), (Velichko, Spasskoya, 2002)

Эти реконструкции общего течения климата в настоящее время существенно детализированы. В частности, согласно исследованиям (Хотинский, 1977) установлено, что за последние 10 тыс. л. климат неоднократно становился то более тёплым, то более холодным (рис. 5). Наиболее тёплое время за голоценовый отрезок времени приходится на так называемый атлантический (АТ) период (5–6 тыс. л. н.). Но с этого времени климат вновь приобрёл тенденцию к похолоданию.

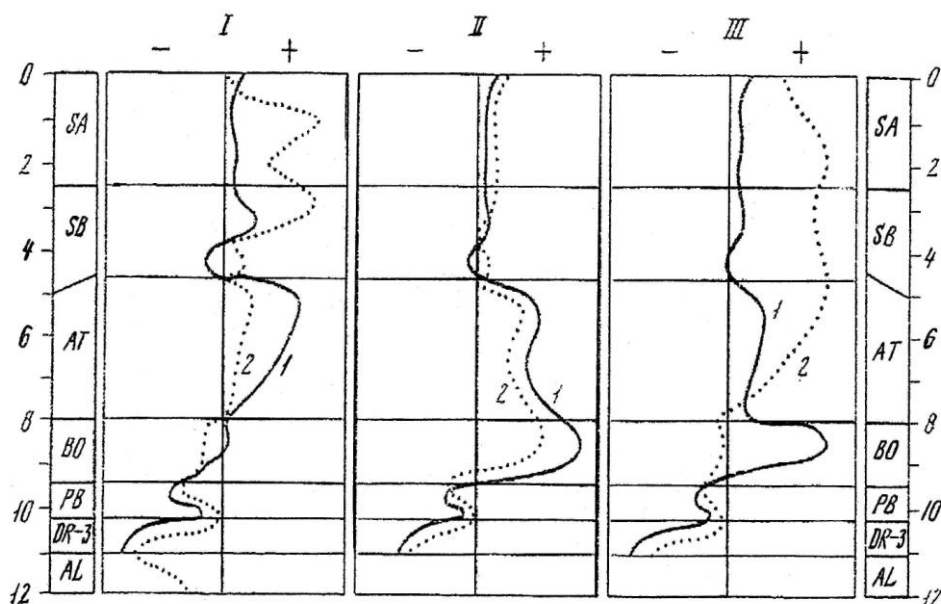


Рис. 5. Климатические колебания в голоцене (Хотинский, 1977)

I – Атлантический тип (Русская равнина); II – Континентальный тип (Сибирь);  
 III – Океанический тип (Камчатка, Сахалин)  
 1 – температура; 2 – увлажнённость. Вертикальные цифры – возраст (тыс. л.)

На основе информационно-статистического метода реконструкции климата (по палеоботаническим данным В. А. Климанова) была восстановлена более детальная последовательность смен климатических обстановок за последние 12 тысяч лет (рис. 6). Согласно этим данным (Климанов, 1999), на протяжении послеледниковья и голоцена во многих районах Северной Евразии отмечаются следующие экстремумы потеплений: около 12700, 11700, 11400, 9900, 8900, 8500, 8300, 7800, 7500, 7100, 6700, 6000, 5000, 4700, 3900, 3500, 3300, 2800, 2300, 2000, 1800, 1600, 1300, 1000, 600, 300, 150 лет назад. Все эти потепления чередовались с понижениями температуры. Колебания климата третьего порядка носили региональный характер. В атлантическом периоде голоцена (5–6 тыс. л. н.), самом тёплом за последние 10000 лет, температура наиболее сильно повышалась в полярной области. На северо-востоке Европы температура июля была выше современной примерно на 4 °С, над Скандинавией – на 2–3 °С. Средние температуры января в северной части Европы были выше на 2 °С и более. Отклонение среднегодовой температуры наиболее существенным было в полярной области. Среднегодовые температуры на севере Европы были выше современных более чем на 3 °С.

Примерно 3–4 тыс. л. н., в эпоху так называемого субатлантического периода, потепление сменилось похолоданием. Тренд к похолоданию продолжается и в настоящее время. Доказательством этого стало восстановление и расширение в субатлантическое время на Европейском севере зоны тундры за счёт обратного сдвига к югу границы многолетней мерзлоты и северной границы зональных хвойных лесов.

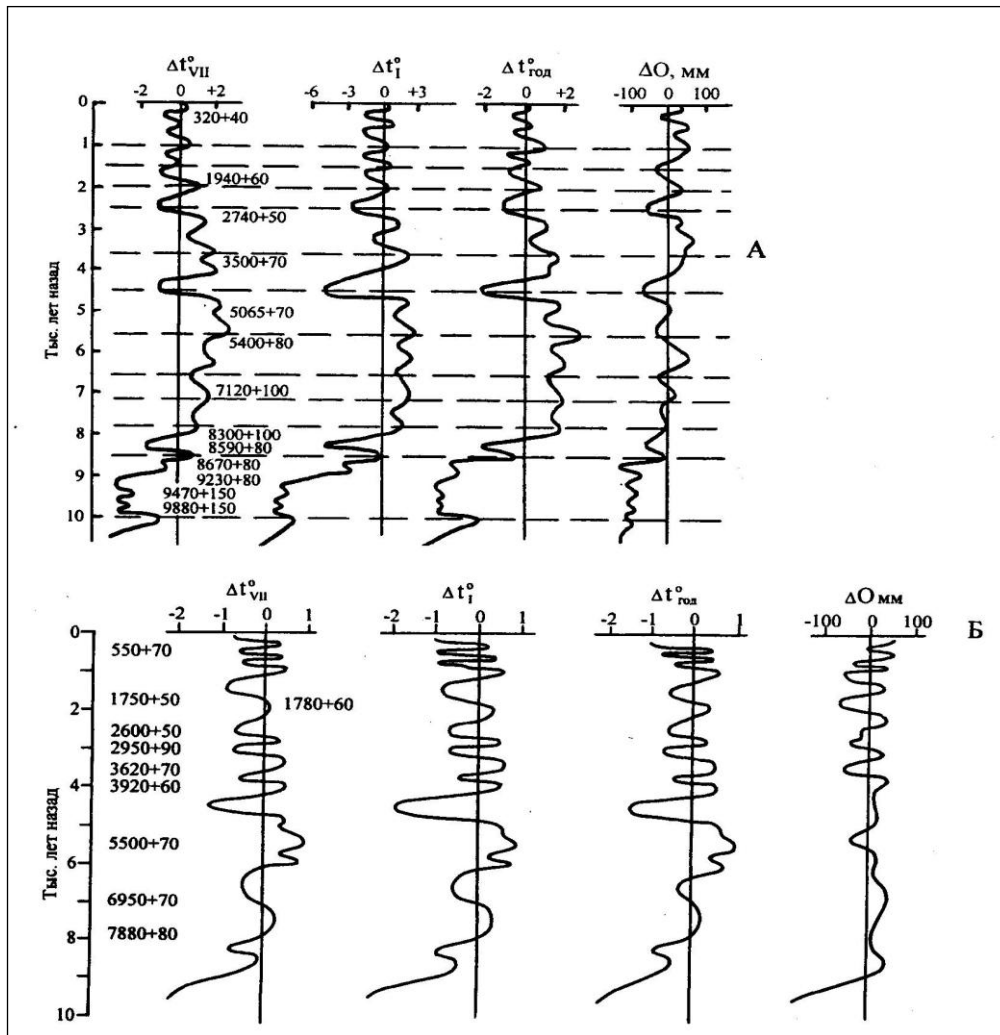


Рис. 6. Динамика климатических условий в разных регионах Русской равнины в голоцене – в отклонениях от современных значений. А – территория Карелии, Б – территория Молдавии (Климанов, 1999)

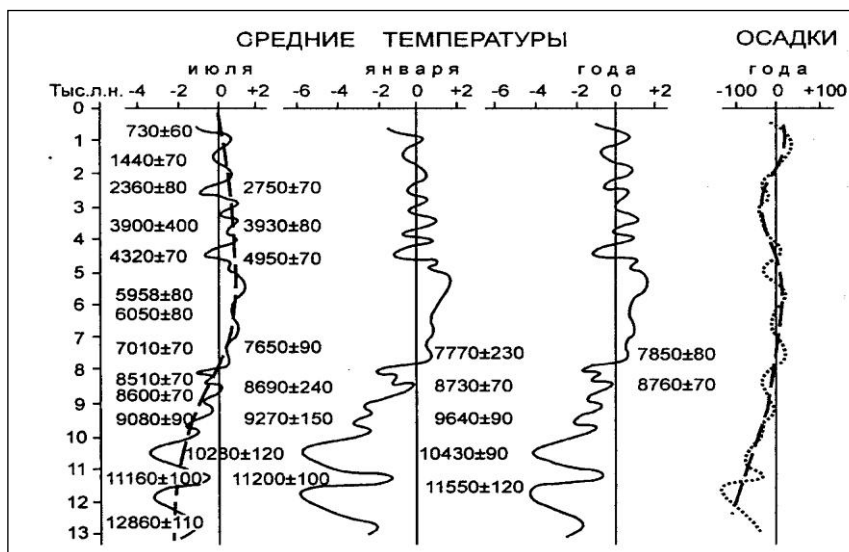


Рис. 7. Отклонение климатических характеристик в голоцене от современных значений в центре Белоруссии (Климанов, 2002)



Как видно из этих графиков, общая тенденция развития климата усложнялась многочисленными ритмами небольшой продолжительности, порядка первых сотен лет.

Теперь важно проследить, что же происходило с *уровнем Мирового океана* на фоне климатических колебаний последних 130 тысяч лет? Наиболее правдивую информацию об этом дают следы морской деятельности (реликтовые береговые линии, отложения морских террас) приконтинентальных морей. Притом самыми показательными могут оказаться данные для тектонически относительно стабильных берегов (Серебряный, 1978) приводит многочисленные данные о положении береговой линии океанов в различные климатические фазы. Он отмечает, что самая крупная регрессия мирового океана в позднем плейстоцене приходится на период 19 тыс. л. н. и составляет минус 123 м. Это время максимума похолодания последней ледниковой эпохи.

Для послеледникового времени хорошим примером, иллюстрирующим положение уровня океана, могут служить относительно устойчивые берега Дальнего Востока. Так установлено (Свиточ, 2003), что высота морских террас в среднем голоцене (5–6 тыс. л. н.) здесь составляла 4–5 м. В позднем голоцене (период начала понижения температуры, 4–1,5 тыс. л. н.) морские отложения приурочены к террасе высотой 2–3 м. Морские осадки с возрастом 1,5–0,2 тыс. л. н. сохранились на отмерших косах и пересыпях с высотой порядка 1–0,5 м. Таким образом, становится очевидным, что даже в наиболее тёплое время голоцена уровень Мирового океана был выше современного на 4–6 м, а затем из-за похолодания в субатлантическое время понижался до современных отметок.

Данные о понижении уровня мирового океана от атлантического периода к современности служат иллюстрацией продолжающегося большого цикла общего похолодания. Отмечаемое ныне потепление климата – это естественный, относительно кратковременный (в пределах 50–100–150 лет) ритм, за которым сохранится общая тенденция к геологически длительному похолоданию.

Отличительной особенностью климата *последнего тысячелетия* было наличие сравнительно тёплого периода, т.н. малого климатического оптимума в VIII–XIII веках, благоприятного для сельского хозяйства, и наступление вслед за ним очередного похолодания в XIII–XIV веках, которое с некоторыми флуктуациями продолжалось до середины XIX века. В период малого ледникового периода, когда температурные показатели были ниже современных на 2 °С и более, граница леса в горах Центральной Европы опустилась на 200 м, продолжительность вегетационного периода сократилась на три недели. Цены на зерно в Европе повысились (рис. 8). Участились процессы блокирования западно-восточного переноса атлантического тепла и влаги меридиональной циркуляцией. Все эти примеры говорят о том, что волны тепла и холода были обусловлены сменой типов циркуляционных процессов, которые, в свою очередь, зависят от количества тепла, посылаемого на поверхность Земли Солнцем.

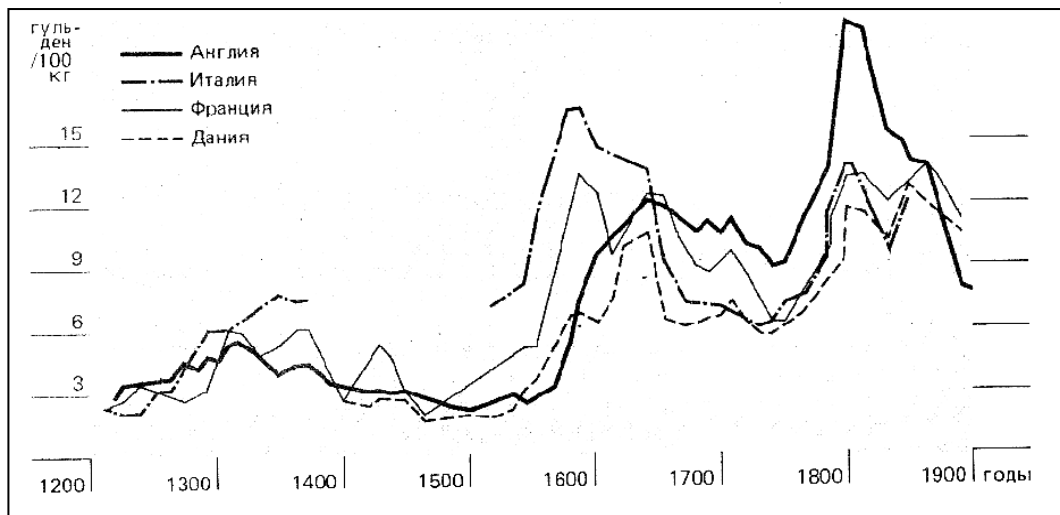


Рис. 8. Цены на зерно в Англии, Франции, Италии и Дании с 1200 по 1900 гг. (25-летние скользящие средние) (Борисенков, Пасецкий, 1988)

Вполне определённо обо всех изложенных фактах высказались известные отечественные палеогеографы и палеоклиматологи. В частности, Н. А. Хотинский (1977) отмечает, что «ледниковая ситуация в Европе окончательно перестала существовать около 8–9 тысяч лет назад. Русская равнина развивается в условиях, характерных для заключительных этапов межледниковых эпох, закономерно сменяющихся начальными стадиями ледникового времени. Отмеченный в настоящее время грандиозный рост антропогенного фактора порождает представление о всё возрастающей независимости человека от природы. Однако следует указать на одновременный рост обусловленных самим человеком экологических и эдафических кризисов, а также на мощные, *неподвластные человеку, ритмы общей направленности развития природы Земли, механизм действия которых определяется на биосферно-космических уровнях*. Изучение голоцена и плейстоцена позволяет говорить о том, что человеку в будущем, как и в прошлом, придётся столкнуться с изменениями природной среды гораздо более мощными, чем это известно для исторического времени». Что имел в виду в последней фразе Н. А. Хотинский? Ответ мы находим в одной из работ А. А. Величко (2002): «Современная ландшафтно-климатическая обстановка в рамках макроцикла приходится на вторую половину межледникового интервала, характеризующуюся тенденцией к похолоданию, связанному с приближением новой ледниковой эпохи».

Многочисленные новейшие научные факты показывают непостоянство климата в историческое время, независимые от человека колебания то в сторону потепления, то в сторону похолодания. Всё это заставляет осторожно подходить к утверждению об антропогенной причине современного потепления и связывать его *только* с парниковым эффектом. Уместно в заключение напомнить слова академика В. М. Котлякова (2002) о том, что «мы живём в преддверии новой ледниковой эпохи. Ещё наблюдается глобальное потепление, но в масштабе тысячелетий наша эпоха характеризуется похолоданием».

### Библиографический список

Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 523 с.

Вальтер Г. Растительность Земного шара, Т. 1–3 М., 1969. 1975.

Величко А. А. (отв. ред.). Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 тысяч лет. М.: ГЕОС, 2002. 231 с.

Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 тысяч лет. М.: ГЕОС, 2002. 231 с.

Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.

Климанов В. А. Изменение климата Северной Евразии в позднеледниковье и в голоцене и его естественное развитие. // Пути эволюционной географии (итоги и перспективы). М., 2002, С. 240–252.

Климанов В. А. Позднеледниковье и голоцен. // Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет. М.: ГЕОС, 1999. С. 76–83.

Котляков В. М. Географические открытия второй половины XX века в Антарктиде и их глобальное значение. Сб.: Состояние и развитие горных систем. Материалы научной конференции по монтологии. СПб., 2002. С. 41–47.

Пахомов М. М. Ледниково-межледниковые циклы в аридных районах Северной Евразии. Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 3.

Пятаков В. В. Экология – политика – экономика. // Экология антропогена и современности: природа и человек. СПб.: Гуманистика, 2004. С. 357–360.

Свиточ А. А. Морской плейстоцен побережий России. М.: ГЕОС, 2003. 361 с.

Серебряный Л. Р. Динамика покровного оледенения и гляциоэвстазия в позднечетвертичное время. М.: Наука, 1978. 269 с.

Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. С. 198.

Velichko A., Spasscaya I. Climatic Change and Development of Landscape. // The physical geographe of Northern Eurasia. Oxford University. 2002. P. 36–69.

## МЕТОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

*О. К. Борисова*

*д.г.н., ведущий научный сотрудник,  
Институт географии РАН, paleoigras@online.ru*

Пыльцевой анализ является одним из главных источников информации о растительности прошлых эпох. В основе его применения для реконструкций лежит связь между количеством пыльцы определенного вида растений в отложениях и количеством представителей этого вида в составе растительности, выявленная путем сопоставления результатов пыльцевого анализа современных осадков (поверхностных, или рецентных проб) с составом современной растительности. Такое сопоставление для последовательного ряда растительных зон впервые было проведено В.П. Гричуком (1950), показавшим, что в подавляющем большинстве случаев пыльцевые спектры закономерно отражают основные черты растительных сообществ, которые их образовали.

При реконструкциях растительности, основанных на количественном соотношении пыльцы и спор в осадках, т. е. на спорово-пыльцевых спектрах (СПС), наиболее часто употребляется комплексный подход, использующий наличие упомянутой связи между рецентными СПС и составом современной растительности. Ход рассуждений в этом случае следующий: если полученные из каких-либо отложений СПС близки по составу к спектрам поверхностных проб из определенного района, то и растительность времени формирования этих отложений была подобна современной растительности того же района. Для таких построений необходимы данные о составе СПС современных отложений разных генетических типов, собранные в различных географических областях, и их сопоставление с составом растительных сообществ в местах отбора проб. Поэтому практически каждое палинологическое исследование в новом регионе предваряется изучением состава поверхностных проб, собранных под разными растительными ассоциациями в различных климатических условиях. В настоящее время информация о составе рецентных пыльцевых проб аккумулируется в электронной форме в региональных и национальных банках данных.

Как в процессе формирования СПС (при продуцировании пыльцы растениями, при её рассеивании и переносе различными агентами, захоронении в разных фациальных условиях, постседиментационном избирательном разрушении и переотложении), так и в ходе собственно пыльцевого анализа и интерпретации палинологических данных неизбежны потери и искажение информации о составе растительности – продуцента пыльцы и спор (рис. 1). Частичная потеря информации о составе исходной растительности происходит уже на этапе выделения пыльцы из вмещающих отложений. Из-за высокой однородности или неустойчивости морфологических признаков пыльцы и спор, а также из-за недостаточной изученности ряда систематических групп растений, для многих древесных пород определение пыльцы возможно только до таксономического уровня рода, а для большинства травянистых растений – до уровня семейства.

Вследствие этого, многие компоненты СПС («пыльцевые таксоны») являются составными, то есть включают в себя растения с глубоко различной экологией, что затрудняет интерпретацию палинологических данных. При ландшафтно-климатических реконструкциях перечисленные «аналитические» факторы необходимо принимать во внимание наряду с особенностями (областью применения, точностью и ограничениями) используемых методов реконструкций.

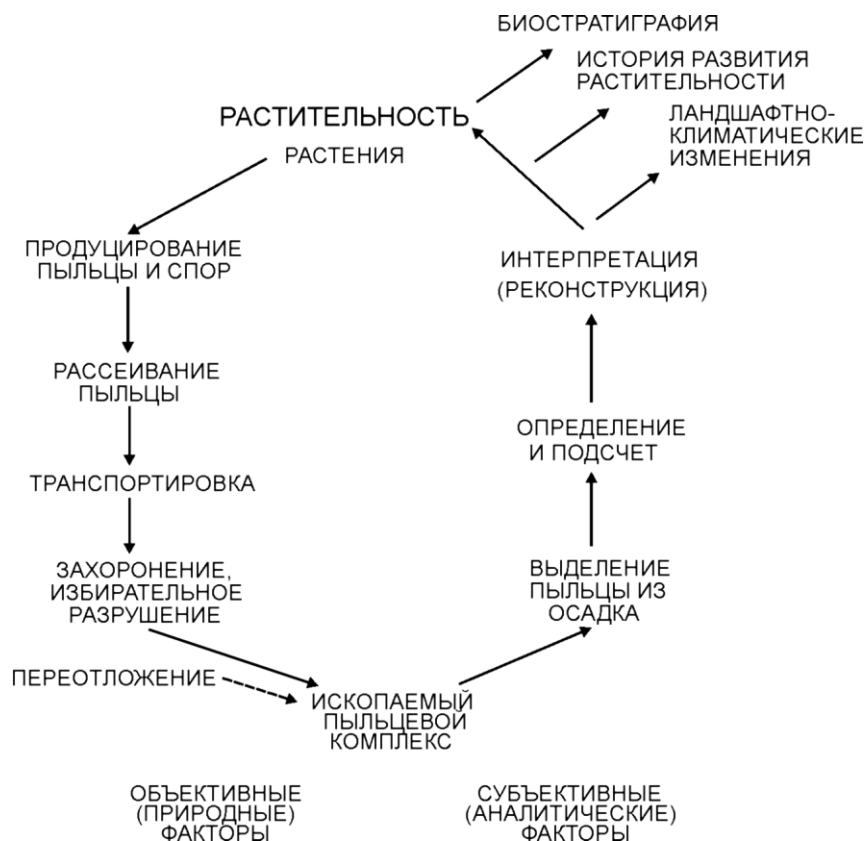


Рис. 1. Основные факторы, определяющие возникновение различий между исходной растительностью – продуцентом пыльцы и растительностью, реконструированной по данным пыльцевого анализа

**Статистические методы реконструкций.** Для количественной реконструкции климатических показателей по палинологическим данным применяется большая группа методов, использующих статистические связи между составом современных СПС и климатическими условиями их формирования. К этой группе относится ряд методов, разработанных отечественными исследователями (Климанов, 1976 и др.; Букреева и др., 1984; Пузаченко и др., 2006). В зарубежной литературе наибольшее распространение получили методы реконструкций климата, основанные на использовании функций трансформации (transfer functions) (Bartlein, Webb, 1985; Huntley, Prentice, 1988), "поверхностей соответствия" (response surfaces) (Bartlein et al., 1986; Prentice et al., 1991 и др.) и метод биоклиматических аналогов (Guiot et al., 1989; Cheddadi et al., 1998). За последние десятилетия были предприняты важные шаги на пути к созданию более объективных реконструкций растительности для крупных регионов, основанных на данных о составе СПС. Современные тенденции в развитии этого направления диктуются наличием крупных банков палинологических данных

по разрезам отложений плейстоцена и голоцена, обширных систематических баз данных о составе современных пыльцевых спектров и возросшими возможностями математической обработки этих данных при помощи компьютеров. Примером таких реконструкций может служить серия карт растительности для восточного региона Северной Америки за последние 18 тысяч лет, созданная при помощи численного метода современных аналогов (Overpeck et al., 1985 и др.).

В последнее время реконструкции растительности, основанные на данных о составе СПС, получили дальнейшее развитие в виде метода биомизации, т. е. реконструкций растительности на уровне биомов (Prentice et al., 1996). Необходимость разработки классификации растительности, не специфической для конкретных регионов с точки зрения состава флоры, возникла в связи с потребностью в глобальном моделировании палеоландшафтов. Под биомом понимается характерное для крупной области суши сочетание «функциональных типов растений» (ФТР). В свою очередь, под ФТР подразумеваются эколого-географические группы таксонов (например, бореальные хвойные породы, теплоумеренные листопадные породы, арктоальпийские кустарники и т. п.). Понятие ФТР используется в качестве промежуточной ступени для перехода от первичных палинологических данных к реконструкции биомов. Широта определенных ФТР позволяет до некоторой степени пренебречь региональными флористическими различиями и применить метод глобально. Метод позволяет осуществить реконструкции растительности на уровне групп формаций, растительных подзон или даже зон, поскольку термин «биом» не имеет строгого соответствия одной из ступеней в этой иерархии.

При помощи статистических методов получен большой массив реконструкций, позволяющих проследить изменения основных климатических показателей на протяжении плейстоцена и голоцена и характеризующих состояние климата для ключевых временных срезов, главным образом, в умеренных широтах Северного полушария (Guiot et al., 1989; Alfano et al., 2003). Статистические методы палеоклиматических реконструкций имеют ряд важных преимуществ. Эти методы применимы к огромному большинству палинологических данных и не требуют специальных трудоемких исследований, связанных с повышением таксономического разрешения при определении пыльцы и спор или поиском малых (редких) компонентов СПС. Они позволяют извлекать информацию, заключенную в количественных соотношениях ископаемых СПС, используя массовый характер палинологических данных, делающий их пригодными для статистической обработки. Сильной стороной всех методов, основанных на поиске современных аналогов по составу СПС, является также их комплексность.

Тем не менее, методы реконструкций ландшафтов и климата, основанные на использовании СПС, имеют и общие ограничения. Все они устанавливают статистическую связь между составом современных СПС и современными климатическими показателями, а затем сопоставляют содержания пыльцы различных таксонов в современных и фоссильных СПС, предлагая тот или иной алгоритм перехода от одного массива данных к другому. Использование такого

подхода подразумевает, что все изменения в составе ископаемых СПС определяются климатическими причинами. Однако, как показывает анализ процессов формирования СПС, на состав СПС влияют также эдафические условия, конкурентные взаимоотношения растений, сукцессии и другие факторы, напрямую не связанные с климатом (рис. 1).

При оценках климатических параметров по палинологическим данным приходится также учитывать неизбежное отставание развития растительности от складывания условий, пригодных для ее существования. Этот эффект запаздывания может возникать при быстром потеплении за счет ограничивающего воздействия характерных скоростей расселения растений, даже при наличии достаточного банка семян, то есть при близости вновь заселяемой растением территории к границе его ареала или к рефугиуму, где оно сохранялось в течение неблагоприятного периода. В то же время, в основе палеоклиматических реконструкций, базирующихся на изменениях СПС, лежит предполагаемое соответствие (равновесие) между составом растительности, отраженным в составе спектра, и климатическими условиями в момент его формирования. Такое соответствие реально может достигаться только при устойчивых в течение длительного времени условиях (например, в оптимальные фазы межледниковий) или же при достаточно медленных и постепенных потеплениях. Наконец, важная проблема использования данных о составе СПС для реконструкций климата заключается в возможном отсутствии аналогов растительных палеосообществ среди современных фитоценозов. Связанное с этим отсутствие аналогов ископаемых СПС среди современных спектров может приводить к неточным или даже неверным оценкам климатических условий прошлого.

**Палеофлористические методы реконструкций.** Принципиально иной подход к реконструкции климатических показателей по палинологическим данным основан на изучении состава ископаемых флор. В его основе лежит допущение неизменности экологических (и в том числе климатических) требований видов растений, по меньшей мере, на протяжении неоплейстоцена (принцип актуализма) и предположение о том, что современное географическое распространение растений ограничено главным образом климатическими условиями. На этой основе В. П. Гричук (1969) разработал методику реконструкций основных климатических показателей по палеофлористическим данным.

В. П. Гричук (1988) показал, что по палеоботаническим данным могут быть реконструированы климатические показатели, наиболее тесно функционально связанные с агроклиматическими характеристиками. Точность их реконструкции определяется тем, насколько тесна эта связь. Так, термические условия вегетационного периода наиболее полно характеризуются суммой температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ . Из соотношения этого показателя и средней температуры наиболее теплого месяца года (июля) следует, что последняя может быть определена по флористическим данным с погрешностью  $\pm 1^{\circ}$ . Условия перезимовки растений определяются средней величиной абсолютных минимумов температуры. Этот показатель довольно тесно связан со средней температурой наиболее холодного месяца (января), что дает возможность определять ее с погрешностью  $\pm 1,5^{\circ}$ . Географическое распространение растений в значительной мере

определяется числом дней с температурой выше 5 °С. Анализ тесноты связи этого показателя и продолжительности безморозного периода свидетельствует о том, что последняя может быть реконструирована по флористическим данным с точностью  $\pm 15$  дней. Годовая сумма осадков весьма неполно характеризует степень обеспеченности растений влагой. Из соотношения годовой суммы осадков и количества используемой растениями влаги, рассчитываемого по эмпирической формуле Г.Т. Селянинова для данной термической обстановки, следует, что для территорий с нормальным и слабо избыточным увлажнением годовую сумму осадков можно оценить с погрешностью  $\pm 50$  мм. На подобную точность можно рассчитывать и при проведении реконструкций основных климатических показателей на основе ископаемых флор при наличии в их составе достаточного количества видов, что подтверждается проверкой методики на основе современных флор (Гричук, 1969).

*Метод ареалограмм.* Исходя из того, что границы ареала растения определяются преимущественно его требованиями к тепло- и влагообеспеченности, можно заключить, что климатические условия в районе, где в настоящее время совместно произрастает большинство видов ископаемой флоры (так называемый район-аналог, или центр концентрации), должны соответствовать климатическим условиям места и времени формирования данной ископаемой флоры. Положение центра современной концентрации видов ископаемой флоры определяется путем картографического совмещения современных ареалов растений, составляющих эту флору (Гричук, 1969, 1985 и др.) (рис. 2).

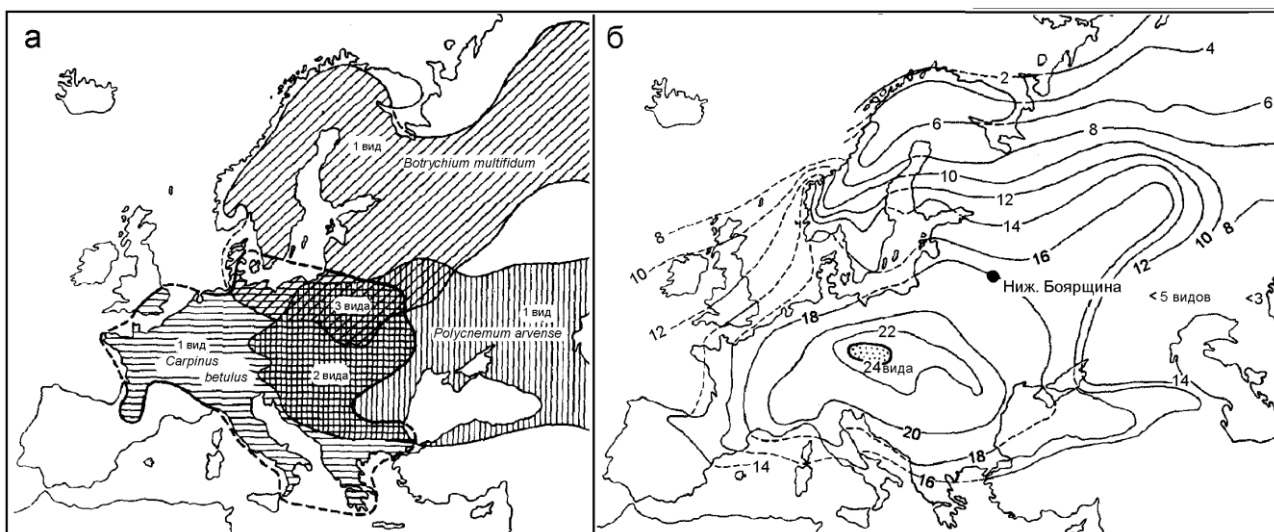


Рис. 2. Пример построения ареалограммы по ископаемой флоре (Гричук, 1985)

Растительность в центре концентрации наиболее близка к растительности исследуемой территории времени существования ископаемой флоры, поскольку облик растительности в целом определяется составом флоры, экологией её компонентов и совокупностью условий обитания растений. На рис. 3 приведен пример реконструкции главных этапов развития растительности на рубеже позднеледникового и голоцена, полученной при помощи метода ареалограмм по ископаемым флорам из разреза Понизовье. Климатические условия в пределах найденных центров концентрации ископаемых флор соответствуют условиям,



существовавшим во время формирования этих флор в районе разреза, то есть в верховьях р. Днепр (положение разреза отмечено на картах крестиком).

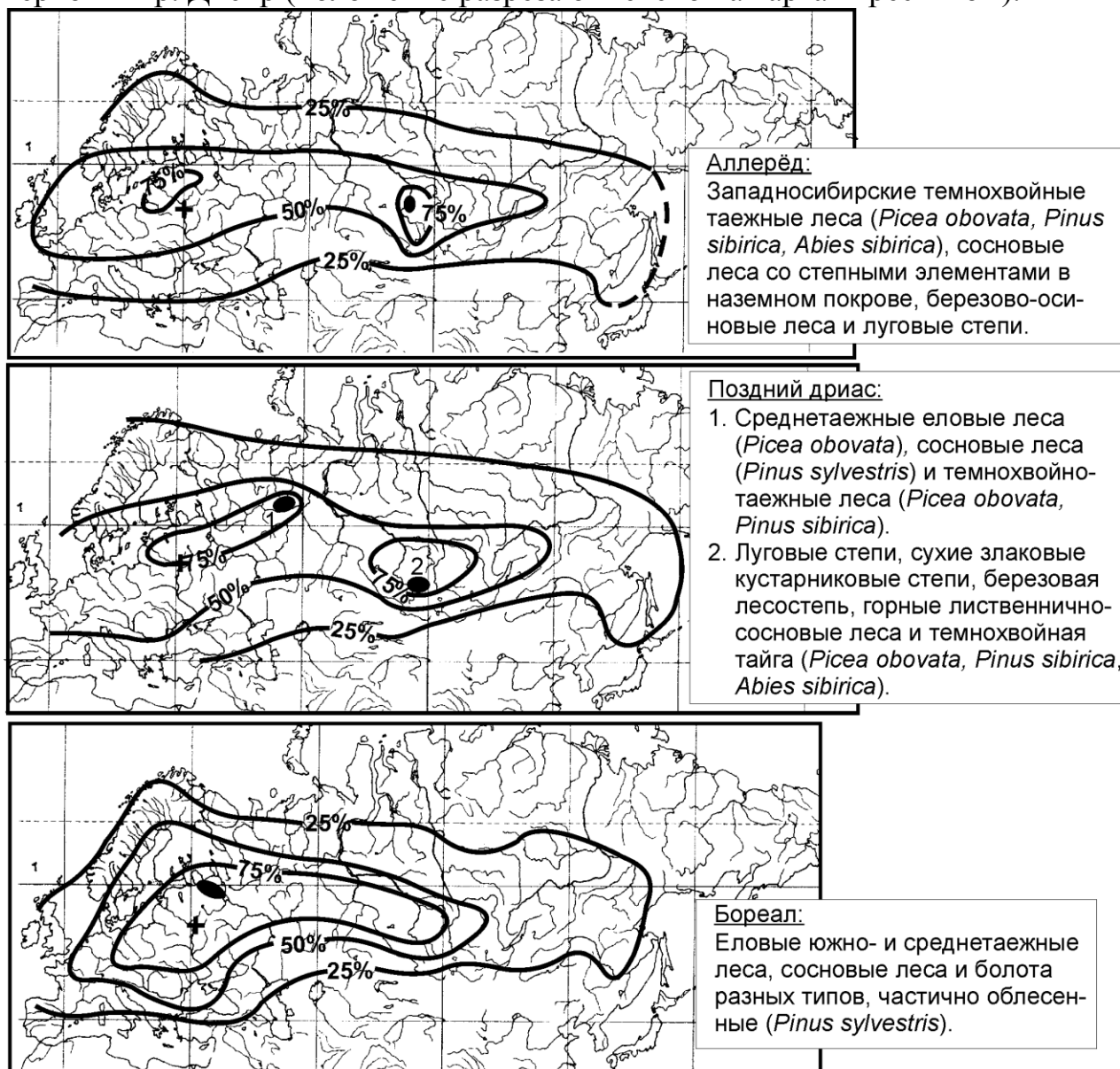


Рис. 3. Растительность в пределах центров современной концентрации видов ископаемых флор аллерёда, позднего дриаса и бореала из разреза Понизовье

Главной структурной единицей растительности является фитоценоз – совокупность совместно произрастающих растений с характерным видовым составом, строением и особенностями местообитания. Поскольку участие и роль данного вида в различных фитоценозах определяются преимущественно его экологической амплитудой, полагаемой неизменной на протяжении плейстоцена, то и фитоценотические связи растений, вероятно, не претерпели существенных изменений за позднечетвертичное время. При установлении типов фитоценозов, сочетавшихся в растительности данного интервала, принимаются во внимание фитоценотические связи видов не на всем пространстве их современных ареалов, а лишь на территории полученного для данной флоры центра концентрации, поскольку именно на этой территории современные условия соответствуют экологическим потребностям всей совокупности видов ископаемой

флоры. Из всех типов фитоценозов, свойственных современным центрам концентрации, существовавшими в исследуемый период считаются только те сообщества, компоненты которых представлены в ископаемой флоре. Так можно определить не только зональную принадлежность, но и фитоценотическую структуру растительности прошлого. Относительная роль различных фитоценозов в растительном покрове изучаемого интервала оценивается по обилию пыльцы доминантов этих фитоценозов в соответствующих СПС.

*Метод климатограмм.* Еще один способ реконструкций палеоклимата на основе флористических данных заключается в совмещении «климатических ареалов» растений – компонентов исследуемой ископаемой флоры (Гричук, 1969, 1985 и др.). С этой целью для каждого вида растений по данным метеостанций, расположенных в пределах его ареала, строятся специальные диаграммы, демонстрирующие те сочетания температур наиболее холодного и наиболее теплого месяцев года (января и июля) или годовой суммы осадков и продолжительности безморозного периода, при которых существует в настоящее время данный вид растения – так называемые климатограммы (рис. 4). Построение климатограмм по парным климатическим показателям наиболее рационально, так как этот путь значительно информативнее, чем использование индивидуальных признаков.

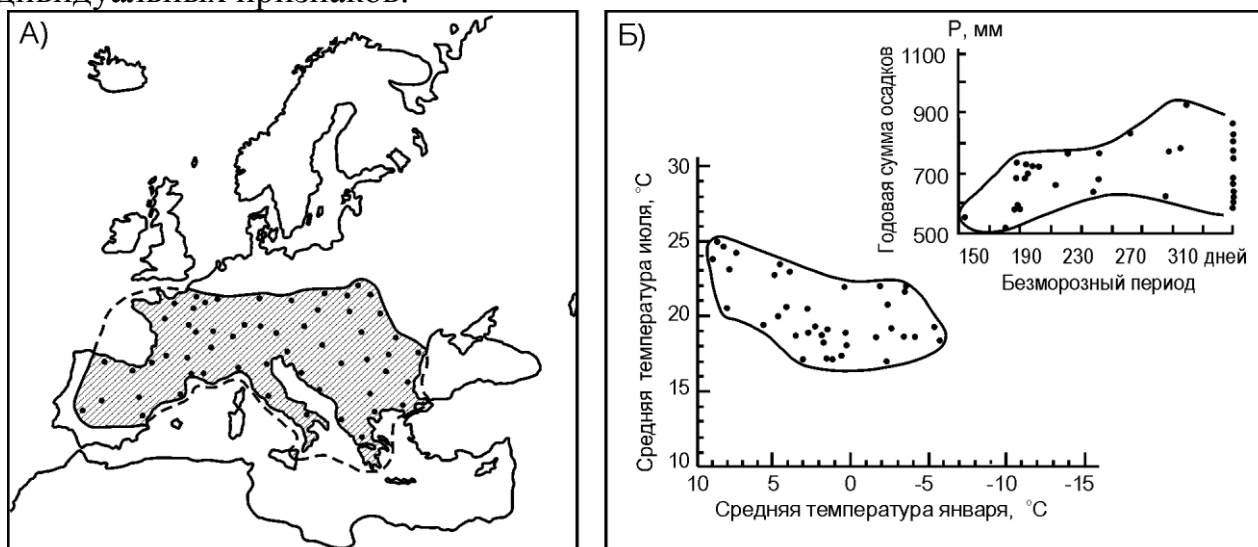


Рис. 4. Пример построения климатограмм по методу В. П. Гричука (1969):

А) современный ареал *Tilia platyphyllos* Scop.

(точками показано положение метеостанций);

Б) современные сочетания средних климатических показателей  
внутри ареала данного вида

Совмещая климатограммы всех видов растений, входящих в ископаемую флору, можно определить пределы вариаций климатических параметров, допускающие совместное существование всей совокупности видов ископаемой флоры. Для реконструкций основных климатических показателей по палеофлористическим данным в Лаборатории эволюционной географии Института географии РАН (г. Москва) была создана коллекция климатограмм, характеризующих распределение средних температур января и июля более чем для

300 видов растений, характерных для пыльцевых флор позднего плейстоцена и голоцена Евразии. При построении этих климатограмм были использованы карты средних температур января и июля из Физико-географического атласа мира (1964). В отличие от данных по метеостанциям, использование в достаточной степени генерализованной картографической информации позволяет избежать случайных отклонений, связанных с локальными условиями и неравномерностью размещения метеостанций. В дальнейшем полученные климатограммы были оцифрованы автором, что позволяет использовать при палеоклиматических реконструкциях компьютер, тем самым существенно сокращая затраты времени и повышая надежность результатов. Специальная компьютерная программа для операций с климатограммами была разработана А. А. Сидорчук. В качестве примера использования метода климатограмм приведем реконструкцию средних температур наиболее теплого и наиболее холодного месяцев для климатического оптимума микулинского межледниковья, полученную на основе палеофлористических данных по разрезу озерно-болотных отложений Бутовка (Борисова, 2008) (рис. 5).

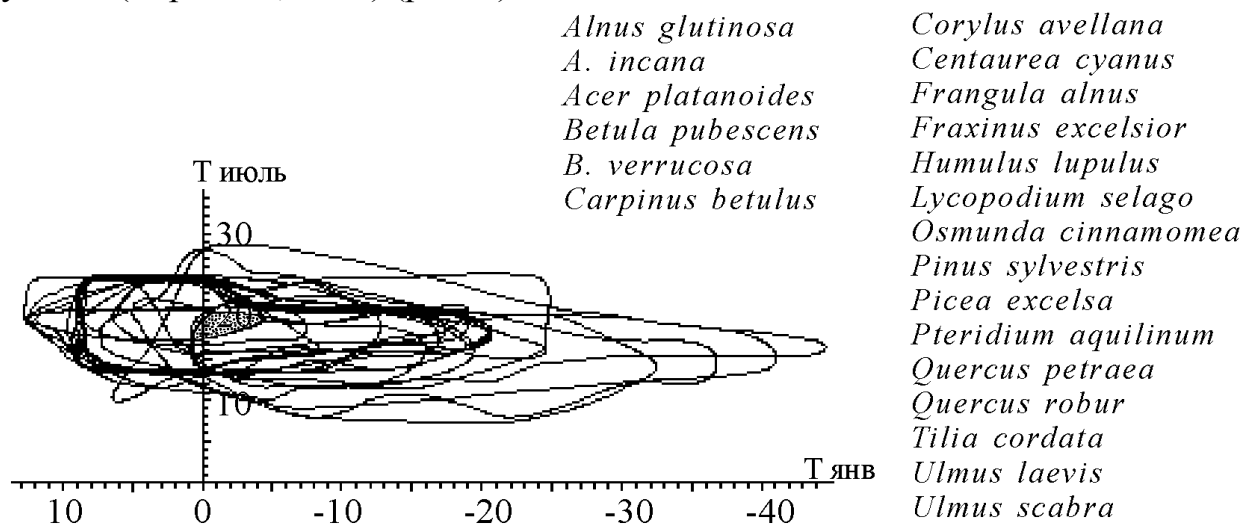


Рис. 5. Пример построения климатограммы (приведен список видов растений, составляющих данную ископаемую флору; область перекрытия их климатограмм затушевана)

Результаты климатических реконструкций, полученные по двум «встречным» палеофлористическим методам (ареалограмм и климатограмм), как правило, весьма близки. Взаимный контроль результатов обеспечивает большую достоверность реконструкций.

В отличие от методов реконструкций, основанных на изменениях процентных соотношений основных компонентов пыльцевых спектров, палеофлористические методы позволяют включить в рассмотрение при реконструкциях не только древесные породы, но и травянистые растения (как цветковые, так и споровые). Сравнительно высокие скорости реакции таких растений на изменения климатических условий, связанные как с быстрым оборотом поколений, так и с возможностями быстрого расселения некоторых из них на большие расстояния (например, водных и прибрежно-водных растений — за счет переноса се-

мян водоплавающими птицами), позволяют осуществить реконструкции относительно короткопериодных климатических колебаний.

Несмотря на более высокую разрешающую способность, упомянутое выше запаздывание в развитии растительности от установления климатических условий, пригодных для ее существования, имеет значение и при проведении реконструкций на основе палеофлористических данных. Тем не менее, интервал между потенциальной возможностью обитания некоторой древесной породы, достигнутой при благоприятном изменении климата, и ее действительным появлением на данной территории, обычно значительно короче, чем период становления растительной формации, включающей в себя эту породу. Отдельные экземпляры и группы деревьев, пережившие неблагоприятный период в наиболее защищенных местообитаниях, удаленных от основной части ареала или от крупных рефугиумов (нередко в угнетенной форме, при преобладании вегетативного возобновления), служат своеобразными форпостами для быстрого расселения вида при возникновении благоприятных условий. Так, например, для формирования еловых лесов на месте лиственничной лесотундры требуется значительно больше времени, чем для внедрения ели во флору региона при сложившихся в ходе потепления условиях, пригодных для роста ели.

Использование анализа состава ископаемых флор для реконструкций растительности позволяет во многом избежать ошибок, возникающих из-за отсутствия современных аналогов растительности прошлого, в том числе вызванного глубоким антропогенным преобразованием современной растительности. Применение палеофлористических методов не ограничивается только пыльцевой флорой, но дает возможность привлечения дополнительных палеоботанических данных (определений растительных макроостатков – плодов и семян, листьев, древесины и др.). Дополнительную информацию о фациальной обстановке и ландшафтно-климатических условиях осадконакопления дает изучение микрофоссилий растительного происхождения (фрагментов растительных тканей, отдельных специализированных клеток и т.п.), которые встречаются в препаратах совместно с пыльцой и спорами высших растений, что позволяет уточнить интерпретацию палинологических данных (Борисова, 2005). В последнее время широко применяется учет ископаемых устьиц хвойных пород (специфических прочных клеток эпидермиса хвои), сопутствующий спорово-пыльцевому анализу. Этот метод особенно полезен при реконструкциях сдвигов границы леса и тундры, поскольку находки устьиц служат надежным признаком локального присутствия деревьев, тогда как пыльца хвойных пород, снабженная воздушными мешками, может выноситься далеко за пределы их ареалов.

Наконец, значительное преимущество палеофлористических методов реконструкций растительности и климата состоит в их высокой устойчивости к искажениям состава ископаемых СПС по сравнению с составом исходной растительности, возникающим в процессе формирования спектров, от продуцирования пыльцы растениями до влияния тафономических факторов, особенно изменений в количественных соотношениях компонентов СПС (рис. 1). При использовании палеофлористических методов количественным соотношениям компонентов в ископаемых СПС отводится вспомогательная роль.

Принцип использования видов растений как индикаторов климата получил дальнейшее развитие в трудах зарубежных исследователей (Zagwijn, 1996; Kershaw, Nix, 1988; Thompson et al., 2000). Создание коллекций ареалов растений в цифровой форме для крупных регионов и появление компьютерных баз климатических данных дало новый импульс развитию палеофлористических методов реконструкций. Так, например, Р. Томпсон с соавторами (Thompson et al., 2000) провел подробный анализ связи географического распространения растений с современными климатическими параметрами на уровне присутствия/отсутствия таксона для деревьев и кустарников Северной Америки.

Н. Кюль с соавторами (Kühl et al., 2002; Kühl, Litt, 2003) предложили дополнить фитоиндикационный метод, близкий к методу климатограмм, статистической оценкой вероятности проявления тех или иных сочетаний средних температур наиболее теплого и наиболее холодного месяцев в пределах современных ареалов растений, а Й. Просс с соавторами (Pross et al., 2000) предприняли попытку уточнения реконструкций путем выявления статистически наиболее вероятной области общего климатического поля для данной ископаемой флоры. Важно отметить, что в основу предложенных способов уточнения реконструкций положены современные географические закономерности распределения степени континентальности климата на территории Европы. Необходимо с осторожностью использовать такой подход при проведении реконструкций для прошлых межледниковых эпох, когда эти закономерности, возможно, были иными. Для ледниковых же эпох, принципиально отличавшихся по климатическим условиям от современного межледниковья, по нашему мнению, целесообразно ограничиться собственно палеофлористическим методом реконструкции климатических показателей (Гричук, 1969, 1985).

### **Библиографический список**

Борисова О. К. Растительные микрофоссилии в пыльцевых препаратах как источник дополнительной палеоэкологической информации // Палинология: теория и практика. Матер. XI Всерос. палинологической конф. М.: ПИН РАН, 2005. С. 33–34.

Борисова О. К. Изменения растительности и климата при переходе от миккулинского межледниковья к раннему валдаю // Тр. XII Всероссийской палинологической конф. Т. II. СПб: ВНИГРИ, 2008. С. 82–87.

Букреева Г. Ф., Вотях М. Р., Бишаев А. А. Методика определения палеоклимата по информативным системам признаков спорово-пыльцевых спектров // Геология и геофизика. 1984. № 6. С. 16–28.

Гричук В. П. Растительность Русской равнины в нижне- и среднечетвертичное время // Тр. Ин-та географии АН СССР. 1950. Т. 46. С. 5–202.

Гричук В. П. Опыт реконструкции некоторых элементов климата Северного полушария в атлантический период голоцена // Голоцен. М.: Наука, 1969. С. 41–57.

Гричук В. П. Реконструкция скалярных климатических показателей по флористическим материалам и оценка ее точности // Методы реконструкций палеоклиматов. М.: Наука, 1985. С. 20–28.

Гричук В. П. Проблемы реконструкции климатических показателей по флористическим материалам // Палинология в СССР. Новосибирск: Наука СО, 1988. С. 43–48.

Климанов В. А. К методике восстановления количественных характеристик климата прошлого // Вестник МГУ. Серия геогр. 1976. № 2. С. 92–98.

Пузаченко Ю. Г., Кожаринов А. В., Новенко Е. Ю., Козлов Д. Н. Вклад климатических факторов и эндоценогенеза в эволюцию растительного покрова Восточной Европы в голоцене (опыт многомерного анализа) // Динамика современных экосистем в голоцене. Матер. Российской науч. конф. М.: ТНИ КМК, 2006. С. 192–199.

Физико-географический атлас мира. М.: ГУГК, 1964.

Alfano M. J., Barron E. J., Pollard D., Huntley B., Allen J. R. M. Comparison of climatic model results with European vegetation and permafrost during oxygen isotope stage three // Quaternary Research. 2003. № 59. P. 97–107.

Bartlein P. J., Anderson K. H., Anderson P. M., Edwards M. E., Mock C. J., Thompson R. S., Webb R. S., Webb III T., Whitlock C. Palaeoclimate simulations for North America over the past 21,000 years: Features of the simulated climate and comparisons with palaeoenvironmental data // Quaternary Science Reviews. 1998. № 17. P. 549–585.

Bartlein P. J., Webb III T. Mean July temperature estimates for 6,000 yr B.P. in eastern North America; Regression equations for estimates from fossil-pollen data // Climatic Change in Canada 5. Syllogeus 55. Ottawa: National Museums of Canada, 1985. P. 301–342.

Cheddadi R., Mamakowa K., Guiot J., de Beaulieu J.-L., Reille M., Andrieu V., Granoszewski W., Peyron O. Was the climate of the Eemian stable? A quantitative climate reconstruction from seven European pollen records // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1998. № 143. P. 73–85.

Guiot J., Pons A., de Beaulieu J.-L., Reille M. A 140,000 year climatic reconstruction from two European records // Nature. 1989. V. 338. P. 309–313.

Huntley B., Prentice I. C. July temperatures in Europe from pollen data, 6000 years before present // Science. 1988. V. 241. P. 687–690.

Kershaw A. P., Nix H. A. Quantitative palaeoclimatic estimates from pollen data using bioclimatic profiles of extant taxa // Journal of Biogeography. 1988. № 15. P. 589–602.

Kühl N., Gebhardt C., Litt T., Hense A. Probability density functions as botanical-climatological transfer functions for climate reconstruction // Quaternary Research. 2002. № 58. P. 381–392.

Kühl N., Litt T. Quantitative time series reconstruction of Eemian temperature at three European sites using pollen data // Vegetation History and Archaeobotany 2003. № 12. P. 205–214.

Overpeck J.T., Webb III T., Prentice I.C. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: Dissimilarity coefficients and the method of modern analogs // Quaternary Research. 1985. № 23. P. 87–108.

Prentice I. C., Bartlein P. J., Webb III T. Vegetation and climate change in eastern North America since the Last Glacial Maximum // *Ecology*. 1991. № 72. P. 2038–2056.

Prentice I. C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // *Climate Dynamics*. 1996. № 12. P. 185–194.

Pross J., Klotz S., Mosbrugger V. Reconstructing palaeotemperatures for the Early and Middle Pleistocene using the mutual climatic range method based on plant fossils // *Quaternary Science Reviews*. 2000. № 19. P. 1785–1799.

Thompson R. S., Anderson K. H., Bartlein P. J. Atlas of relations between Climatic parameters and distributions of important trees and shrubs in North America // *U.S. Geological Survey Professional Papers*. 2000. 1650-A. 269 p.; 1650-B. 423 p.

Zagwijn W. H. An analysis of Eemian climate in western and Central Europe // *Quaternary Science Reviews*. 1996. № 15. P. 451–469.

## ПОЧВЫ С ПОЛИГЕНЕТИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ КАК МАРКЕРЫ ИСТОРИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВЯТСКОГО ПРИКАМЬЯ

*А. М. Прокашев*

*д.с.х.н., профессор, зав. кафедрой географии,  
Вятский государственный гуманитарный университет,  
amprokashev@gmail.com*

### ***Понятие о реликтовых горизонтах почв Вятского Прикамья***

Изучение почв с эволюционно-генетических позиций имеет важное теоретическое и прикладное значение. Оно позволяет не только заглянуть в их далёкое прошлое, чтобы лучше понять современное состояние, но и предвидеть направление дальнейшего развития педосферы. Для палеогеографических реконструкций и воссоздания истории становления современного почвенного покрова бассейна Вятки весьма удобными объектами являются почвы и педолитоседименты с остаточными и погребёнными гумусовыми или торфяными горизонтами, именуемыми автором собирательным термином «почвы со сложным, полигенетическим, органопрофилем». Под *остаточными* гумусовыми горизонтами понимаются почвенные органоминеральные феномены, залегающие в пределах верхней, аккумулятивно-элювиальной или аккумулятивной, а также средней и отчасти нижней, текстурной, части профиля, ниже современных горизонтов А1 (АУ, АУ), А пах (РУ, РУ) и обязанные своим происхождением не существующим ныне, а более ранним, предшествующим им этапам педогенеза, как правило, более благоприятным для протекания процессов аккумулятивной природы (гумусообразование, гумусонакопление и т. п.). Их переход в новое реликтовое состояние является не следствием саморазвития или погребения почв, а обязан более или менее резкому изменению биоклиматических условий, тектонического или почвенно-гидрологического режима территории и смене аккумулятивного типа педогенеза аккумулятивно-элювиальным или собственно элювиальным. *Погребённые* гумусовые, гумусово-глеевые, торфяные горизонты, реже детрит, также некогда возникли в приповерхностных условиях на более ранних стадиях формирования почв. В отличие от горизонтов первого типа, их переход в реликтовое состояние вызван не эволюционными изменениями направленности почвообразования, а вмешательством естественных экзогенных геологических процессов местного характера (намыв и т. п.) и вызванным ими погребением под более поздними педоседиментами.

### ***Понятие о почвах со сложным органопрофилем Вятского Прикамья***

Почвы с остаточными – вторыми (АЕ1h, Е1h, АУh, АУВh) и третьими (Вh, Вth, Вt(са,г)h) – гумусовыми и с погребёнными гумусовыми ([А], [Аg], [АG]) или торфяными ([Т]) горизонтами и детритом выявлены и изучены автором в составе ряда типов и подтипов почв водораздельных автономных и подчинённых и долинных (пойменных) ландшафтов южной тайги и смешанных лесов Вятского Прикамья. Они принадлежат к следующим группам:



- автоморфные (дерново- (и агро)дерново-подзолистые, серые (и агро)серые лесные серо- и тёмногумусовые);
- полугидроморфные (дерновые оглеённые (тёмногумусово-глеевые), серые глееватые);
- азональные (аллювиальные дерновые);
- интразональные (дерново-карбонатные, рендзины, по классификации почв 1977 г.) группам (табл. 1).

Таблица 1

**Сводная схема строения водораздельных почв  
со сложным органомофилем Вятского Прикамья**

Группы почв	Композиция профиля
Автоморфные	Дерново-подзолистые почвы
	1. O+AY+AElh+EIBt+Bt1+Bt2+BC(ca)+C(ca)
	2. O+AY+AElh+Bh+Bt2+BC(ca)+C(ca)
	3. PY+(AElh)+(EIBt)+Bt1+Bt2+BC(ca)+C(ca)
	Серые серогумусовые почвы
	1. O+AY+AElh+(EIB)+Bt1+Bt2(ca)+BC(ca)+C(ca)
	2. PY+(AElh)+(EIB)+Bt1+Bt2(ca)+BC(ca)+C(ca)
	Серые тёмногумусовые почвы
	1. O+AU+AUBth+Bt1+Bt2(ca)+BC(ca)+C(ca)
2. PU+(AU)+AUBth+Bt1+Bt2(ca)+BC(ca)+C(ca)	
Гидроморфные и полугидроморфные	Дерновые оглеённые почвы
	1. O+AUg+AUhg(AUBhg)+Bt1g+Bt2g+BCg(ca)+C(ca)
	2. PUg+AUhg(AUBhg)+Btg1+Bt2g+BCg(ca)+Cg (ca)
	3. PUg+AUhg+Bhg+Bt2g+BC(ca)+C(ca)
	Серые оглеённые почвы
	1. O+AUg+AUBthg+Bt1g+Bt2g+BCg(ca)+Cg(ca)
2. PUg+(AUhg)+AUBthg+Bt1g+Bt2g+BCg(ca)+Cg (ca)	
Интразональные	Дерново-карбонатные почвы и рендзины
	1. PY(U)+AUh(AElh)+MCA+Bca+BCca+Cca

Примечание. O – органогенный; AY – серогумусовый; AU – тёмногумусовый; AElh – аккумулятивно-элювиальный (2-й гумусовый); AUBt – гумусово-переходный; Bt – текстурный (иллювиальный); Bth – 3-й гумусовый; BC – переходный к материнской породе; C – материнская порода; MCA – коренная известняковая порода; ca – карбонаты; g – оглеение.

Остаточные гумусовые горизонты различной степени сохранности мощностью от нескольких сантиметров до 50–100 см и более встречаются в пределах аккумулятивно-элювиальной и текстурной толщ профилей, в зависимости от типа почвообразования. При этом горизонты Ah-типа, приуроченные к аккумулятивно-элювиальной или аккумулятивной толщам, в целинных почвах имеют более или менее выдержанное положение в профиле – на уровне от 10–15 до 40–50 см и более, – хотя нередко выклиниваются на многих участках вследствие неравномерной степени развития в момент их формирования или по причине позднейшего дифференцированного наложения процессов элювиальной природы. В почвах сельскохозяйственных угодий эти горизонты сохранились в значительно меньшей степени из-за механической обработки и вовлече-

ния в пахотный слой, а также почвенной эрозии. В последние десятилетия идет прогрессирующее сокращение ареалов почв со сложным органопрофилем и трансформация их в так называемые почвы с выпаханymi реликтивными горизонтами (рис. 1).



*Рис. 1. Микроареал дерново-подзолистой почвы со сложным органопрофилем Вятского Прикамья с выпаханым на поверхность горизонтом АЕlh*

Остаточные горизонты Vh-типа, приуроченные к средней и нижней частям почвенных профилей на глубинах от 30–40 до 100 см и более, имеют спорадический характер распространения и обычно встречаются в почвах водоразделов невысокого гипсометрического уровня или в подчиненных геоморфологических позициях высоких междуречий и нередко несут следы переувлажнения (оглеение и т. п.).

### ***Субстантивные свойства почв с реликтивными гумусовыми горизонтами Вятского Прикамья***

Независимо от современного географического положения и типа почвообразования остаточные горизонты Ah-и Vh-типа характеризуются близким радиоуглеродным возрастом органического вещества (ОВ) – от 5,5 до 7,5 тыс. лет (реже более), соответствующим атлантическому оптимуму голоцена и, отчасти, более ранней, бореальной стадии послеледниковья. Для сравнения отметим, что у современных горизонтов А1 он равен среднему времени пребывания углерода в гумусе почв и, как правило, не превышает 800–1000 лет (табл. 2). Однако, у агропочв он может быть существенно выше ввиду частичной припашки и загрязнения ОВ реликтивными гуминовыми кислотами, используемыми для радиоуглеродного датирования. Они отличаются преимущественно меньшим содержанием ОВ и одновременно его гуматным составом, объясняющим их темную окраску, превосходя по данному показателю современные гумусово-аккумулятивные горизонты полигенетических почв (табл. 3, 4).

При этом горизонты Ah-типа неодинаковы по морфологии и субстантивными свойствам, как между собой, так и между современными, вышележающими, горизонтами. Это выражается в следующих, наиболее характерных формах варьирования признаков:

– различная мощность реликтовых горизонтов – от нескольких сантиметров до полуметра и более, – в зависимости от современной типовой и подтиповой принадлежности почв или степени сохранности, выпаханности горизонтов Ah и эродированности профиля;

– различная степень выраженности характерных углисто-серых или стаписто-серых, с белесоватым оттенком, тонов окраски;

– различный структурный облик – от зернистого или ореховато-зернистого до типично плитчатого и пластинчато-листоватого, – в зависимости от соотношения и интенсивности процессов аккумулятивной и элювиальной природы;

– различное количество присыпки кремнезёма – от почти полного отсутствия до её обильного содержания, – в зависимости от интенсивности проявления современных процессов элювиирования почв;

– различное содержание железо-марганцевых конкреций – ортштейнов – от 1–3 до 15–18% и более, – в зависимости от активности текущих поверхностно-глеевых процессов.

Таблица 2

**Сводные данные о возрасте органического вещества водораздельных почв со сложным органо профилем Вятского Прикамья**

Разрез, №	Горизонт, глубина, см	Лаб. номер	Фракция ГК	Возраст по С-14, лет	Календарный возраст, лет
Дерново-подзолистые почвы					
К-28	AY 5–13	ЛУ-4512	1	340 ±60	1485 ±635 н.э.
		ЛУ-4513	2	560 ±50	1307 ±425 н.э.
		ЛУ-4514	3	730 ±80	1215 ±387 н.э.
	AEIh 15–25	ЛУ-4511	1	6240 ±80	5301 ±5073 до н.э.
		ЛУ-4509	2	6660 ±70	5635 ±5487 до н.э.
		ЛУ-4510	3	6800 ±80	5741 ±5623 до н.э.
Я-1	AY 5–14	ЛУ-1502	1	600 ±90	1299 ±409 н.э.
		ЛУ-1501	2	1580 ±180	260 ±645 н.э.
		ЛУ-988	3	2590 ±140	895 ±430 н.э.
	AEIh 15–22	ЛУ-994	1	5580 ±140	4590 ±4250 до н.э.
		ЛУ-993	2	6600 ±430	5720 ±5325 до н.э.
		ЛУ-984	3	6740 ±300	5980 ±5375 до н.э.
	Bh 40–50	ЛУ-995	1	5530 ±160	4550 ±4110 до н.э.
		ЛУ-990	2	5630 ±230	-
		ЛУ-985	3	7630 ±390	6680 ±6230 до н.э.
		ЛУ-986	3	7150 ±280	6325 ±5730 до н.э.
С-8	AEIh 17–25	ЛУ-997	1	6230 ±100	5300 ±5055 до н.э.
		ЛУ-991	2	8360 ±370	7580 ±7085 до н.э.
		ЛУ-987	3	8900 ±390	8270 ±7755 до н.э.

Разрез, №	Горизонт, глубина, см	Лаб. номер	Фракция ГК	Возраст по С-14, лет	Календарный возраст, лет
Серые серогумусовые почвы					
В-18	AEIh 25–32	ЛУ-3880	3	6950 ±100	5970 -5730 до н.э.
У-27	AEIh 30–52	ЛУ-4636	2	5510 ± 60	4449 -4257 до н.э.
		ЛУ-4637	3	6440 ± 120	5515 -5295 до н.э.
Дерновые оглеённые почвы					
Я-3	PU 0–20	ЛУ-989	3	2570 ±200	895 -405 н.э.
	Bh 40–50	ЛУ-996	1	6650 ±400	5735 -5370 до н.э.
		ЛУ-992	2	7290 ±220	6385 -5925 до н.э.
Серые тёмногумусовые оглеённые почвы					
М-13	PU 0–26	ЛУ-4515	1	680 ±60	1279 -1389 н.э.
		ЛУ-3878	2	1260 ±50	685 -853 н.э.
		ЛУ-3879	3	1470 ±70	537 -653 н.э.
	AUg 26–36	ЛУ-3877	3	6650 ±150	5735 -5370 до н.э.
М-17	Bh 85–105	ЛУ-4623	3	7140 ±1500	6200 -5840 до н.э.
	AG 140–150	ЛУ-4622	3		11020 -10700 до н.э.
Дерново-карбонатные почвы и рендзины					
В-19	AUh 30–48	ЛУ-4508	3	7240 ±80	6335 -5875 до н.э.

Как правило, в ряду автоморфных почв степень оподзоливания и, соответственно, деградации горизонтов Ah-типа в типичном случае ослабевает в направлении от дерново-подзолистых почв к серым лесным серогумусовым и далее к серым тёмногумусовым почвам. У последних остаточные горизонты визуальнo часто мало отличимы от современных горизонтов А, хотя чётко диагностируются биохимически – по фракционно-групповому составу ОВ – и хронологически – по абсолютному возрасту ГК этих горизонтов.

Представленные материалы свидетельствуют также о том, что опасения, имеющие место среди некоторых учёных относительно корректности использования радиоуглеродного метода для определения возраста органического вещества почв ввиду вероятности омоложения гумуса в результате испытаний атомного оружия, явно преувеличены. В своё время это было показано рядом исследователей на образцах почв Канады (Campbell et al, 1967) и Франции (Nackhla, Delibrias, 1967) после серии испытаний ядерных вооружений. В обоих случаях было зарегистрировано отсутствие достоверного «бомбового эффекта» в отношении образцов ГК, уже начиная с глубины более 3 см. Как видим, радиоуглеродный метод может быть применим не только для реконструкции состояния почв и биогеоценозов в далёком прошлом, но и для решения вопроса о наличии агрокультурной фазы в истории почв, находящихся ныне в целинном, близком к климаксному состоянию, при условии наличия в их профиле реликтовых гумусовых горизонтов.

**Сводные данные о составе гумуса водораздельных почв  
со сложным органопрофилем Вятского Прикамья, % от общего углерода**

Разрез, №	Горизонт, глубина, см	С общ., %	ГК1	ГК2	ФК1а	ФК1	ФК2	НО	$\frac{С_{ГК}}{С_{ФК}}$
Дерново-подзолистые (и агродерново-подзолистые) почвы									
Я-1	AY 5-14	5,50	20,0	2,0	4,0	17,5	3,8	52,7	0,9
	Elh 14-24	1,09	28,4	–	11,9	12,8	1,9	45,0	1,1
	EIB 32-41	0,36	12,2	2,5	13,9	3,3	12,5	55,6	0,5
	Bt1 41-50	0,41	–	12,4	9,8	18,5	0,8	58,5	0,4
Я-2	PY 0-26	1,40	23,6	–	6,4	11,6	10,5	47,9	0,8
	AEIh 26-32	1,00	43,0	–	8,0	–	11,0	37,0	2,3
	EIB 26-32	0,35	–	20,0	20,0	8,6	–	51,4	0,7
	Bt1 32-42	0,34	–	10,0	19,1	15,0	3,0	52,9	0,3
Я-11	AY 2-9	5,71	16,8	4,6	4,0	11,7	0,4	62,5	1,3
	AEIh 9-26	1,20	25,0	15,0	5,0	0	11,7	43,3	2,4
	EIB 26-36	0,41	сл.	34,1	12,2	0	12,2	41,5	1,4
	Bt1 36-46	0,44	сл.	29,5	9,1	15,9	0	45,5	1,2
П-4	AY 2-10	2,76	18,1	1,8	5,4	5,8	5,1	63,8	1,2
	AY 10-19	1,38	27,5	0	7,2	0,7	8,7	55,9	1,6
	AEIh 19-28	1,01	39,6	0	7,9	5,0	0	47,5	3,1
	EIB 29-39	0,37	0	18,9	18,9	8,1	5,4	48,7	0,6
П-5	Bt1 40-50	0,31	0	10,6	19,4	7,7	7,5	54,8	0,3
	PY 0-23	1,95	10,8	18,9	4,6	2,6	7,7	55,4	2,0
	AEIh 23-32	0,94	10,6	34,1	6,4	0	10,6	38,3	3,6
	EIB 23-32	0,52	5,8	21,1	15,4	5,8	19,2	32,7	0,7
С-8	Bt1 35-45	0,42	0	19,0	11,9	11,9	9,6	47,6	0,6
	AY 5-17	1,42	23,2	0,7	8,5	10,6	7,7	49,3	0,9
	AEIh 17-25	0,93	25,8	17,2	3,2	–	10,8	43,0	3,1
	Bt1 25-35	0,38	–	15,8	13,2	15,8	5,2	50,0	0,5
С-9	PY 0-21	1,77	14,1	13,0	2,8	5,6	5,7	58,8	1,9
	AEIh 21-28	0,96	7,3	37,5	4,2	2,1	2,0	46,9	5,4
	Bt1 30-40	0,33	–	18,1	15,2	12,1	6,0	48,5	0,5
У-24	EIB 38-48	0,75	–	27,6	13,5	2,8	8,7	47,4	1,1
	PY 0-28	1,85	10,0	20,0	9,4	6,5	6,9	47,2	1,3
	AEIh 28-38	1,15	–	38,3	7,6	6,4	3,0	44,7	2,3
У-27	EIB 52-62	0,39	7,7	33,3	21,8	5,1	5,1	27,0	1,3
	PY 0-30	2,18	8,3	19,3	7,2	8,3	3,2	53,7	1,5
	AEIh 30-40	2,00	14,5	13,5	5,1	11,5	4,0	51,4	1,4
	AEIh 40-50	1,86	13,4	27,4	6,1	9,1	0,5	43,5	2,6
Серые (и агросерые) почвы									
МЭ-22	Bt1 45-55	0,33	–	14,2	11,3	12,3	10,6	51,6	0,4
	EIB 30-36	0,36	3,0	20,5	12,1	10,6	3,0	50,8	0,9
	AEIh 18-28	1,00	19,4	28,3	7,7	9,8	2,0	32,8	2,5
	AY 3-15	1,93	18,2	10,0	6,6	19,4	5,9	39,9	0,9
МЭ-23	PY 0-25	1,45	10,3	17,9	5,2	14,0	7,5	44,7	1,1
	AEIh 25-30	0,96	15,9	30,2	3,6	6,9	–	43,4	4,3
	EIB 30-38	0,40	–	22,5	12,4	13,6	–	51,5	0,9
	Bt1 48-58	0,28	–	18,3	8,8	17,5	4,0	51,4	0,6

Разрез, №	Горизонт, глубина, см	С общ., %	ГК1	ГК2	ФК1а	ФК1	ФК2	НО	$\frac{С_{ГК}}{С_{ФК}}$
РТ-25	PU 0–30	2,87	8,4	22,3	3,0	7,8	7,9	50,6	1,6
	AUh 30–35	2,10	4,0	34,4	5,6	4,5	5,3	46,2	2,5
	AUB 35–45	0,84	–	17,6	10,3	3,2	20,2	48,7	0,5
	Bt1 50–60	0,40	–	18,7	12,1	3,0	21,5	44,7	0,5
С-26	PU 0–30	2,77	6,5	27,6	3,0	7,5	9,6	45,8	1,7
	AUBh 30–35	1,06	–	36,9	7,6	5,4	5,4	44,7	2,0
Дерновые (и агродерновые) оглеённые (гумусово-глеевые) почвы									
Я-3	PU 0–22	2,84	15,8	14,5	3,5	6,7	6,7	52,8	1,8
	AEIh 22–26	1,37	4,4	36,5	4,8	3,9	3,0	47,4	3,5
	Bh 23–30	1,55	5,8	27,7	5,6	7,8	3,9	49,0	1,9
	Bh 32–42	2,13	5,6	29,6	3,8	3,8	7,0	50,2	2,4
	Bh 45–55	1,80	4,4	31,2	2,8	4,4	6,1	51,1	2,7
	Bh 55–65	1,91	3,7	28,2	3,7	3,2	9,4	51,8	2,0
	Bt1 22–32	0,45	–	17,8	16,2	3,8	13,3	48,9	0,5
П-6	PU 0–28	2,92	12,3	22,3	4,3	7,7	5,8	47,6	1,9
	AUB 28–38	0,83	сл.	31,3	14,4	–	9,7	44,6	1,5
	Bt1g 40–50	0,49	–	24,5	18,3	–	14,3	42,9	0,8
С-7	PUg 0–25	1,37	13,9	11,6	8,0	3,6	13,9	48,9	1,0
	Bhg 35–45	2,51	17,1	30,3	3,1	1,2	5,3	43,0	4,9
	Bhg 55–65	2,17	9,2	30,0	3,6	–	13,0	44,2	2,3
	Bt2g 55–65	0,23	–	26,1	21,7	13,1	–	39,1	0,8
Серые (и агросерые) оглеённые почвы									
М-16	AУ 0–17	1,21	0	25,6	5,0	5,8	7,4	56,2	1,4
	EIB 17–26	0,45	0	28,9	15,6	4,4	15,5	35,6	0,8
	Bt1 30–35	0,41	0	31,7	9,8	12,2	14,6	31,7	0,8
	[A] 40–50	0,95	0	34,7	5,3	3,1	9,5	47,4	1,9
	[A] 50–60	0,49	0	32,7	10,2	2,0	2,0	53,1	2,2
	Bt2 75–85	0,31	0	22,6	9,7	3,2	0	64,5	1,7
	BCca 113–123	0,16	0	25,0	0	18,8	0	56,2	1,3
	BCca 135–145	0,21	0	0	0	14,3	23,8	61,9	–
	[AG] 155–165	0,19	0	31,6	0	15,8	10,5	42,1	1,2
	Ccag 200–210	0,27	0	0	0	11,1	18,5	70,4	–
М-17	AU 0–30	2,79	2,1	28,0	2,9	6,5	10,0	50,5	1,5
	Bh 30–40	2,64	0	49,2	2,3	3,4	9,8	35,2	3,1
	Bh 50–60	2,19	0	46,5	2,7	2,7	6,5	41,6	3,9
	Bh 70–80	2,41	0	45,6	1,6	2,1	8,3	42,3	3,8
	Bh 100–110	2,15	0	38,1	2,3	0,5	20,0	39,1	1,6
	B2 85–95	0,24	–	–	–	–	–	–	–
	BCca 130–140	0,16	–	–	–	–	–	–	–
	[AG] 150–160	0,27	0	11,1	11,1	0	25,9	51,9	0,3
	Ccag 190–200	0,18	0	0	11,1	0	27,8	61,1	–
М-13	PU 0–26	5,67	5,1	17,8	3,9	4,2	14,3	54,7	1,0
	AUg 26–36	1,55	0	39,4	6,5	0	14,1	40,0	1,9
	Bt1g 40–50	0,42	0	19,0	19,0	0	7,2	54,8	0,7

Разрез, №	Горизонт, глубина, см	С общ., %	ГК1	ГК2	ФК1а	ФК1	ФК2	НО	$\frac{С_{ГК}}{С_{Фк}}$
Дерново-карбонатные (и агродерново-карбонатные) почвы и рендзины									
В-19	РУ 0–30	2,02	6,4	23,3	4,1	11,4	3,0	51,8	1,6
	AUh 30–40	1,53	3,9	39,2	6,0	2,6	3,9	44,4	3,4
	AUh 40–48	1,37	2,9	32,8	7,7	4,4	0	52,2	3,0
	VtCca 60–70	0,38	5,3	10,5	15,8	0	7,9	60,5	0,7

В составе ОВ горизонтов Ah-типа наблюдается преобладание гуминовых кислот (ГК), в 2–3 раза превосходящее этот показатель у современных гумусовых горизонтов. При этом среди ГК в большинстве типов полигенных почв доминируют чёрная фракция – гуматы кальция (ГК2), – характерная для почв степного ряда почвообразования. Однако в направлении более элювиированных типов почв, например, дерново-подзолистых наблюдается резкое снижение в остаточных горизонтах доли чёрных ГК и даже их полная трансформация в бурые гуминовые кислоты (фракция ГК1), связанные с железом и алюминием, обычные для почв бореального ряда. Как показывают наши исследования, смена осаждающего катиона обязана не столько образованию иного в биохимическом отношении ОВ, сколько замещению в составе ГК Ca на Fe и Al в новых, более кислых, почвенно-экологических условиях.

Аналогичные явления наблюдаются и среди почв полугидроморфного ряда различной степени элювиированности.

Профили почв с горизонтами Ah-типа обнаруживают и ряд других отличительных признаков в составе минеральной массы, новообразований и т. д. От верхних гумусовых горизонтов они отличаются характерным сталисто-серым или углисто-серым цветом, наличием присыпки кремнезема, хрупкой структурой, незначительным содержанием корней, малым, реже средним количеством ОВ, его гуматным составом и древним возрастом.

Горизонты Vh-типа характеризуются меньшей степенью вариативности морфолого-генетических признаков независимо от современной типовой принадлежности почв со сложным органопрофилем. В целом они отличаются более интенсивной углисто-чёрной окраской, зернисто-ореховатой структурой, слабой присыпкой кремнезёма, отсутствием или весьма малым содержанием ортштейнов. Однако, у дерново-подзолистых почв подобные феномены отличаются более резким осветлением при извлечении на поверхность и последующем просыхании. По качественному – гуматному составу и возрасту гуминовых кислот, соответствующему среднему – атлантическому – этапу голоцена они аналогичны с горизонтами Ah-типа.

Погребённые гумусовые и гумусово-глеевые горизонты в составе педолитоседиментов обнаружены на глубинах от 40–50 до 150–160 см, а в аллювиальных почвах – на удалении 5–6 м и более от поверхности. Их морфологический облик относительно стабилен, содержание ОВ незначительное – около 1–2%, реже более, а возраст ОВ в исследованных почвах подчинённых водораздельных позиций изменяется от нескольких тысяч лет до 11 тыс. лет и древнее. Погребённые торфяные горизонты и органический детрит выявлены, главным образом, в аллювиальных педо-литоседиментах рек Вятка, Чепца и их притоков

(Хлыновка, Б. Просница, Байса). Их радиоуглеродный возраст также варьируется в широких пределах – от первых тысяч до 10–11 тыс. лет и более и может быть использован для палеогеографических реконструкций, особенно в сочетании с палеоботаническими исследованиями.

Сопряжённое рассмотрение органической и минеральной фазы по ряду показателей, отражающих консервативные и актуальные свойства почв (почва-память, почва-жизнь, почва-момент) позволяет выделить серию процессов педогенеза, наложивших соответствующий отпечаток на внешний облик и внутренние свойства за длительный период становления и эволюции современных почв со сложным органопротилем рассматриваемого региона (табл. 5).

Таблица 4

**Среднее содержание гумуса в почвах со сложным органопротилем  
Вятского Прикамья**

Горизонт	Содержание гумуса (M±m), %				
	I	II	III	IV	КМГ
Дерново-подзолистые почвы					
AУ	$\frac{5,04}{7}$	–	–	–	–
PУ	$\frac{2,64}{32}$	–	–	–	–
AEIh	$\frac{1,76}{32}$	–	–	–	0,2
Серые серогумусовые почвы					
AУ	–	$\frac{5,7\pm 0,1}{23}$	–	–	–
PУ	$\frac{3,69\pm 0,30}{20}$	$\frac{4,2\pm 0,05}{233}$	$\frac{3,62\pm 0,27^{**}}{3,91\pm 0,42}$	$\frac{3,82\pm 0,06}{134}$	–
AEIh	$\frac{1,76\pm 0,30}{6}$	$\frac{2,0\pm 0,07}{31}$	–	–	0,16
Серые тёмногумусовые почвы					
AУ	–	$\frac{8,1\pm 0,21}{31}$	–	–	–
PУ	$\frac{6,95\pm 0,50}{20}$	$\frac{6,4\pm 0,09}{95}$	$\frac{6,77\pm 2,73^{**}}{6,92\pm 1,50}$	$\frac{6,38\pm 0,16}{47}$	–
AEIh	$\frac{2,64\pm 0,30}{15}$	$\frac{2,8\pm 0,08}{13}$	–	$\frac{2,71\pm 0,27}{9}$	–
Дерновые оглеённые почвы					
PУ	4,7 (6,04)	–	–	–	–
Bh	2,71–3,34	–	–	–	0,1 (0,2)
Серые серо- и тёмногумусовые оглеённые почвы					
PУ	1,72–9,78	–	–	–	–
Bh	3,77–4,55	–	–	–	<0,1

Примечания.

1) I – данные автора; II – по Т. В. Вологжаниной, 1984; III – по Н. Т. Рослякову, 1981; IV – по В. В. Тюлину, 1976;

2) цифра под чертой – массив выборки;

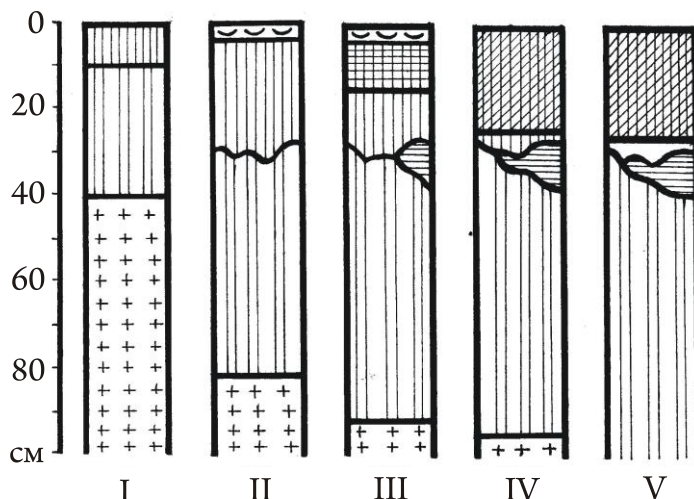
3) \* – по Т. В. Вологжаниной, 1984;



- 4) \*\* – цифра над чертой – липовые рамени, цифра под чертой – орешниковые рамени нижнего правобережья Вятки;  
 5) \*\*\* – по Л. А. Копысовой, 1987;  
 6) КМГ – коэффициент минерализации гумуса (% за 1000 лет).

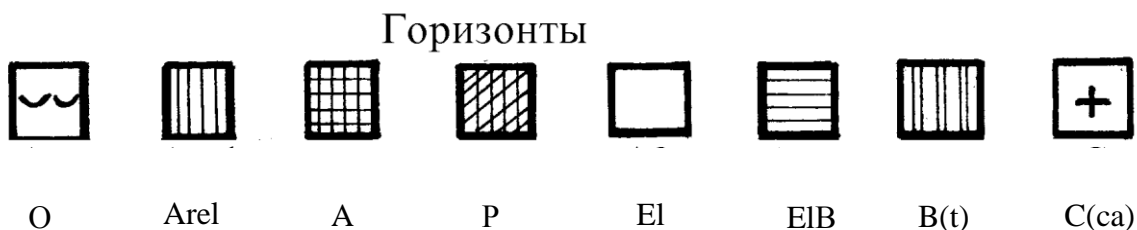
### ***Палеогеографическое значение почв со сложным органомофилем Вятского Прикамья***

Парагенетический морфологический анализ профилей почв со сложным органомофилем в сочетании с данными физических, химических биохимических, физико-химических и других видов исследований позволяет использовать их для палеогеографических реконструкций ландшафтно-биоклиматических условий с позиции неодокучаевской парадигмы: почвы зеркало и память ландшафта. В общем виде современный облик рассматриваемых почв – результат деградиционной эволюции палеотемноцветных почв, сформированных в первый – (бореально)атлантический – этап послеледниковья (9–5,5 тыс. лет назад) во второй половине голоцена, в его суббореально-субатлантический этап (5,5–0 тыс. лет назад). Схематически это представлено на рис. 2.



**Рис. 2. Стадии эволюции автоморфных почв со сложным органомофилем Вятского Прикамья**

- I – древнеголоценовая почва (аллерёд-предбореальное время, 11–9 тыс. л. н.); II – ранне-среднеголоценовая почва (бореально-атлантическое время, 9–5,5 тыс. л. н.); III – позднеголоценовая почва (суббореально-субатлантическое время, 5,5–0,2 тыс. лет назад);  
 IV – современная почва со сложным органомофилем;  
 V – почва со сложным органомофилем в будущем (через 1–2 тыс. л.).



**Процессы педогенеза в водораздельных почвах  
со сложным органомпрофилем Вятского Прикамья**

Почвы	Основные процессы трансформации													
	Минеральная фаза											Органическая фаза		
	В	ИК	Л	П	Ф	ЩГ	Г	О	КД	Э	С	ПО	ГО	ДГ
ПД	(+)		++	(+)	++					(++)	(++)	(+)	+	++
ЛС	(+)		++		+(+)					(++)	(++)	(+)	+	+(+)
ЛТ	(+)	(+)	+		(+)	(+)		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+
ДГ	(+)	(+)	+		+	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+
ЛСГ	(+)	(+)	+		(+)	(+)	+(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+
ЛТГ	(+)	(+)	+		(+)	(+)	+(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+
ДК	+	(+)	+		(+)	(+)			(+)	(+)	(+)	(+)	+	+

*Примечания.* 1. Индексы почв: ПД – дерново-подзолистые; ЛС – серые серогумусовые; ЛТ – серые тёмногумусовые; ДГ – дерновые оглеенные; ЛСГ – серые серогумусовые оглеенные; ЛТГ – серые тёмногумусовые оглеенные; ДК – дерново-карбонатные.

2. Процессы: В – выщелачивание; ИК – иллювиально-карбонатный; Л – лессиваж; П – подзолистый; Ф – ферролиз; ЩГ – щелочной гидролиз; О – оглеение; КД – кольматаж декарбонизации; Э – эрозия; С – слитизация; ПО – подстилкообразование; ГО – гумусообразование (и гумусонакопление); ДГ – деградация гумуса.

На основании собранных нами материалов в первом приближении допустимо выделить три основных, качественно различных этапа педогенеза:

1. *Протопедогенетический* – позднеледниковый с примитивным мерзлотным тундрово-степным типом почвообразования (начальная стадия становления и эволюции почвенного покрова; 12–9 тыс. л. н.).

2. *Педогенетический* – послеледниковый с интенсивным суббореально-лесным и лесостепным типами почвообразования (основной этап развития и эволюции почвенного покрова; 9–0,2 тыс. л. н.), подразделяющийся:

а) на ранне-среднеголоценовый (бореально–ранне-среднеатлантический;) эвтрофный аккумулятивный тип почвообразования (развивающаяся эволюция с элементами наследующей; 9–5,5 тыс. л. н.);

б) средне-позднеголоценовый (позднеатлантический–суббореально-субатлантический) мезо-олиготрофный аккумулятивно-элювиальный тип почвообразования (стирающая эволюция с элементами наследующей; 5,5–0,2 тыс. л. н.).

3. *Агротехногенный* (позднеатлантический) – деградационно-проградационная эволюция (0,2–0 тыс. л. н.).

### Библиографический список

Campbell C. A., Paul E. A. Rennie D. A., McCallum E. J. Factors affecting the accuracy of the carbon-dating method in soil humus studies // Soil Sci., 1967a, V. 104, № 2. P. 81–85.

Campbell C. A., Paul E. A. Rennie D. A., McCallum E. J. Applicability of the carbon-dating method of analysis to soil humus studies // *Soil Sci.*, 1967b. V. 104, № 3. P. 217–224.

Naclchla S. M., Delibrias G. Utilisation du  $^{14}\text{C}$  d'origine thermonucléaire pour l'étude de la dynamique du carbon dans ie sol // *Radioactive dating and methods of low level counting: Proc. symp. Monaco: IAEA, 1967. P. 169.*

## ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВЯТСКОГО ПРИКАМЬЯ В ПОСЛЕЛЕДНИКОВЬЕ

*А. М. Прокашев*

*д.с.х.н., профессор, зав. кафедрой географии,  
Вятский государственный гуманитарный университет,  
amprokashev@gmail.com*

### *Позднеледниковый этап: аллерёд – поздний дриас*

Динамика почвенного покрова Вятско-Камского региона были predeterminedены общим ходом эволюции природной среды и, прежде всего, климата, растительности и литогенной основы ландшафтов. Имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют в общих чертах проследить становление современного почвенного покрова Вятского Прикамья, начиная с позднеледникового времени (Александровский, 1983; Алифанов, 1985; Геннадиев, 1990; Коржинский, 1887; Память почв., 2008; Прокашев, 2009; Прокашев, Жуйкова, 2003; Тюлин, 1976; Чендев, 2004; и др.).

До этого времени в условиях ограниченных гидротермических и, по-видимому, биотических ресурсов в пределах бассейна рек Вятки и Камы господствовали процессы геологического, прежде всего, криогенного характера. Суровый климат поддерживал глубокое промораживание почвогрунтов, морозобойное пучение и выдавливание к поверхности обломочных известковых материалов, обычных в составе коренных пермских отложений Предуралья. Последнее усиливалось за счёт вторичного окарбоначивания почвообразующих пород в перигляциальных тундростепных и тундрово-лесостепных условиях позднеледниковья. В результате криогенеза был подготовлен благоприятный геохимический фон для становления впоследствии почв с развитыми тёмноцветными горизонтами. Однако при дефиците тепла и влаги, сильном охлаждающем воздействии мерзлоты и малоёмком биологическом круговороте здесь, вплоть до конца позднего плейстоцена, могли существовать только примитивные нейтрально-щелочные аркто-тундровые почвы со слабо развитыми дерновыми горизонтами мощностью не более 10–20 см. В депрессиях рельефа они, вероятно, имели признаки оглеения и формировались по мерзлотно-гидроморфному типу. По существу, на данном – криоксерофитном – этапе сложилась упрощенная структура почвенного покрова, с доминированием мало-мощных дерновых почв – на бескарбонатных породах – и карликовых рендзин – на карбонатных породах, которые в депрессиях рельефа сменялись их оглеёнными дериватами. Дальнейшее развитие педосферы связано с аллерёдом.

Судя по мощности и возрасту погребённых гумусовых горизонтов, вскрытых нами в серии разрезов серых гидроморфных почв, в *аллерёде* или на его рубеже с *поздним дриасом*, в Предуралье сложились более благоприятные условия для формирования почв с относительно развитыми гумусовыми профилями. В подчинённых геоморфологических позициях мощность горизонтов А или АГ достигала 20 см и более. По строению и характеру органоминеральной фазы их допустимо отнести к группе почв с аккумулятивным

неполноразвитым профилем. Его развитию благоприятствовали климатические и литогенные предпосылки: потепление климата и нейтрально-щелочная среда, подготовленная предыдущим этапом педогенеза. Близкое залегание реликтовых мёрзлых грунтов обеспечивало растительность необходимым количеством влаги. Сложившаяся на тот момент комбинация факторов почвообразования стимулировала аккумулятивные процессы: гумусообразование, гумусонакопление и др. Содержание гумуса в погребённых ныне горизонтах было на порядок больше его современных значений и составляло не менее 3–5%. При этом почвы имели фульватно-гуматный, а возможно, и гуматный состав органического вещества с отношением Сгк:Сфк до 1,5 и более. Они обладали нейтрально-щелочной реакцией, высокой ёмкостью поглощения и большим запасом питательных веществ. Однако их продуктивность лимитировалась ограниченными тепловыми ресурсами.

В *позднем дриасе* почвообразование вновь было в сильной степени заторможено ввиду очередного похолодания. Среднегодовые температуры на большей части Русской равнины, по оценкам палеоклиматологов, были на 4–10° ниже современных, а осадков на северо-востоке ЕТР выпадало на 250 мм меньше, чем сейчас. В условиях возврата перигляциальных ландшафтов активизировались геологические, в том числе криогенные процессы. Разреженный древесный, а возможно, и преимущественно травянистый покров в этих условиях не мог эффективно противостоять процессам дефляции и денудации почвогрунтов. Склоновые процессы способствовали погребению части почв депрессионных местоположений, обнаруженных автором под 1,5 м толщиной наносов в пределах Мари-Турекского плато.

При ограниченном гидротермическом потенциале почвообразования и мерзлотном водном режиме в новых условиях формировались слабодифференцированные маломощные почвы. По своему облику и свойствам они были близки к почвам современных мерзлотно-таёжных ландшафтов Восточной Сибири. Композицию их профиля можно представить следующим образом: ОА – А(АВ) – В(г) – С. Среди почвообразующих процессов в этих почвах преобладали деформация (криотурбация) органо-минеральной массы, образование гуматно-фульватного или фульватно-гуматного гумуса. Малая мощность деятельного слоя при близком залегании вечной мерзлоты в соответствующих местоположениях не исключала протекание оглеения. Процессы элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, столь характерные для почв современных таёжно-лесных ландшафтов, в дриасе оказались затруднены ввиду близости мёрзлых грунтов. На породах лёгкого гранулометрического состава могли формироваться скрытоподзолистые почвы с укороченным профилем типа: О – (А) – (Е) – Вi – С, как это имеет место в современном почвенном покрове севера и северо-запада Русской равнины.

Данный этап почвообразования в целом знаменовался слабой дифференциацией почвенного покрова из-за господства однотипных перигляциальных ландшафтов бассейна Вятки и Камы. Вероятно, с этим временем связано гипертрофированное количество пыльцы карликовой берёзы, впоследствии переотложенной речными потоками и захороненной совместно с детритом предборе-

ального возраста в толще руслового аллювия в пойме среднего течения р. Вятки.

Следующий важный этап в жизни вятских почв хронологически совпадает, главным образом, с голоценом.

### ***Древне- и раннеголоценовый этап: предбореальная и бореальная стадия***

На протяжении древне- и раннеголоценовой (предбореальной и бореальной) стадий в истории ландшафтов и почвенного покрова, вслед за колебательными, но направленными в сторону потепления, изменениями климата происходила соответствующая перестройка сущности педогенеза. В это время наметилась тенденция деградации многолетней мерзлоты, которая, по мнению некоторых исследователей (Величко, 1973), исчезла уже в предбореале. Собственно с этого момента, или даже несколько позднее, началось подлинное становление почвенного покрова Русской равнины и Вятско-Камского края. Следы данного цикла почвообразования в отдельных случаях сохранились в строении профилей современных почв.

Достоверных индикаторов *предбореальной* стадии почвообразования на исследуемой территории не зафиксировано. Судя по палеогеографическим данным, в ту пору наметился переход к лесному типу педогенеза. В период непродолжительного половецкого потепления могли проявляться процессы элювиально-иллювиальной текстурной дифференциации почв суглинисто-глинистого состава. Однако они не имели значительного размаха.

Наиболее заметные изменения в жизни раннеголоценовых почв произошли в *бореальное* время, вслед за потеплением климата и затуханием геологических процессов. В более засушливых, чем современные, условиях, под освещёнными травянистыми сосново-берёзовыми формациями лесостепного облика отсутствовали или в слабой степени проявлялись процессы элювиальной природы. Не исключено, что этому благоприятствовало более длительное, по сравнению с настоящим временем, сезонное промерзание профиля. На обширных пространствах востока европейской России процессы почвообразования протекали по однотипному сценарию. Нивелирующим фактором служило недостаточное увлажнение при непромывном, а на более ранних стадиях, возможно, и длительном сезонно-мерзлотном водном режимах в сочетании с высокой насыщенностью почвогрунтов основаниями, аккумулярованными на предшествующих этапах педогенеза.

Вследствие ослабленного промачивания профиля, при непромывном (или мерзлотно-непромывном) водном режимах, на богатых основаниями суглинисто-глинистых материнских породах (покровные карбонатные суглинки, мергели, известняки) активизировались процессы гумусообразования и накопления гуматно-кальциевого – мюллерового – гумуса в почвах. Их интенсивность в меньшей мере, чем сейчас, зависела от широтного положения почв. В местах избыточного увлажнения жёсткими грунтовыми водами гумусонакопление дополнялось процессами оглеения.

Результаты палеопочвенных исследований дают основание предполагать, что уже в бореальный цикл педогенеза интенсивность дернового процесса на значительной части территории Вятского Прикамья не только не уступала, но даже, вероятно, превосходила таковую в современных серых и других почвах подтаёжной зоны региона. Доказательством тому служит наличие в пределах ареала покровных суглинков южной и средней частей бассейна Вятки и Камы полигенетических почв, сохранивших в своём профиле реликтовые гумусовые горизонты, с возрастом органических веществ, достигающим 8900 лет, то есть отвечающим бореальному времени педогенеза. Реликтовые гумусовые горизонты, как излагалось выше, залегают в виде фрагментов в пределах верхней и, реже, средней частей профилей полигенетических почв на глубинах от 15–20 до 30–40 см, а местами до 100–120 см от поверхности. Они отличаются гуматным типом органического вещества, в составе которого нередко доминируют чёрные гуминовые кислоты. Это нижняя часть тёмноцветных горизонтов былых чернозёмовидных почв, верхняя часть которых трансформирована позднейшими процессами иного характера.

На более бедных суглинисто-глинистых бескарбонатных (моренные суглинки) и на песчаных породах (водно-ледниковые и древнеаллювиальные отложения) интенсивность гумусовой аккумуляции в почвах рассматриваемого периода значительно уступала кальцефильным обстановкам. Здесь в ту пору формировались умеренно- и малогумусные, близкие к нейтральным и слабокислые почвы с гуматно-фульватным типом органического вещества. Дерновому процессу в таких почвах могли сопутствовать элювиальные, подобно современным дерново-подзолистым почвам южнотаёжных и подтаёжных ландшафтов.

Анализируемый отрезок времени в целом представляется как развивающаяся эволюция (с элементами наследующей).

### ***Среднеголоценовый этап: атлантическая стадия***

В последующий – *атлантический* этап среднего голоцена, вслед за прогрессирующим нарастанием среднегодовых температур, характер почвообразования фактически оказался унаследованным от бореальной стадии развития почв. Под светлохвойными сосновыми или сосново-берёзовыми лесами с небольшой примесью широколиственных пород, скорее напоминавшими современные лесостепные ландшафты юга Западной Сибири, на богатых породах продолжилось формирование чернозёмовидных эвтрофных почв. Свидетельством тому гуматный состав и преимущественно атлантический возраст (от 5500 до 7000 лет) гуминовых кислот, выделенных из реликтовых тёмноцветных горизонтов, локально сохранившихся в верхней части профиля ряда типов почв: серые лесные автоморфные и полугидроморфные почвы зоны смешанных лесов, дерново-подзолистые и дерновые оглеённые почвы зоны южной тайги, рендзины, встречающиеся в южной и средней частях Вятского Прикамья.

В верхней 30–40-сантиметровой толще перечисленных типов почв в атлантический этап голоцена происходило интенсивное накопление гуматно-кальциевого гумуса, близкого по свойствам органическому веществу чернозём-

мов наших дней. Отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот (Сгк:Сфк) в реликтовых горизонтах в среднем равно 2,5, то есть аналогично почвам лесостепной и степной зон. Для сравнения заметим, что в современных зональных почвах исследуемой территории это отношение обычно около или меньше 1, соответствуя гуматно-фульватному или фульватно-гуматному типам гумусовых веществ.

Насыщенность почв атлантического времени основаниями при определенных условиях могла спровоцировать нисходящую миграцию гуминовых кислот в форме гуматов  $Ca$  и, возможно,  $Na$  или даже  $NH_4^+$  (в том числе, предположительно, за счёт уриновых продуктов метаболизма крупных диких животных) и их локальное иллювиирование в толщу горизонтов В. Вероятно, этим объясняется волнистый, иногда кармановидный характер нижней границы горизонтов-реликтов.

Процессы элювиально-иллювиальной дифференциации профиля в атлантический цикл педогенеза, как и на предыдущем этапе, были заторможены. Тем не менее, формирование тёмноцветных горизонтов чернозёмовидных почв в ряде случаев протекало в пределах уже несколько текстурно дифференцированной минеральной фазы профиля. Рассматриваемое время в целом можно характеризовать как наследующую эволюцию, в отдельных случаях с элементами развивающей.

Почвы на более бедных породах также формировались по сценарию, запрограммированному ходом процессов педогенеза в бореальную стадию развития ландшафтов Вятско-Камского края. Низменные участки местности в атлантический период были ареной проявления интенсивного торфяно-глеевого процесса почвообразования и формирования болотных низинных почв.

### ***Позднеголоценовый этап: суббореальная и субатлантическая стадии***

Качественные сдвиги в жизни почв произошли на рубеже атлантического и суббореального этапов голоцена, а возможно, и несколько ранее – на границе средней и поздней атлантики. Вслед за нарастанием гумидности климата, активизацией промывного водного режима и обратной миграцией растительных зон к югу началось резкое изменение сущности процессов почвообразования в сторону усиления их элювиальной составляющей. Дополнительный импульс указанному явлению могло придать возрастание степени контрастности рельефа вследствие оживления восходящих тектонических движений в зонах локальных поднятий: Верхнекамской возвышенности, Чепецко-Кильмезского плато, Вятских Увалов.

В изменившейся – *суббореальной* – обстановке на смену непромывному ранее типу водного режима пришел промывной на севере и в центре и периодически промывной на юге Вятского Прикамья. Под тёмнохвойными лесами (с примесью неморальных элементов), занявшими место светлохвойных формаций на севере, в центре и, в меньшей степени, на юге региона, усилились процессы оподзоливания. Интенсивность элювиирования зависела от географического положения, масштабов дренированности поверхности и исходной насы-



щенности основаниями почвогрунтов. Оподзоливание охватило, прежде всего, почвы автономной группы, а позднее, по мере усиления выщелоченности пород и расчленённости рельефа, и почвы полугидроморфного ряда. В автоморфных позициях оно протекало по схеме: выщелачивание (карбонатные породы) – лессиваж (суглинисто-глинистые бескарбонатные породы) – поверхностное оглеение (суглинисто-глинистые бескарбонатные породы). На более бедных породах севера элювиальная деградация почв в конечном итоге могла достигнуть стадии кислотного гидролиза. Интенсивность гумусообразования, напротив, ослабевала пропорционально степени элювирования. В подчинённых местоположениях активизировались процессы заболачивания. Результатом изменений стало резкое снижение масштабов гумусонакопления и изменение его характера в пределах Вятско-Камского бассейна. Опережающий по сравнению с центром ЕТР переход от аккумулятивного к аккумулятивно-элювиальному (юг) и собственно элювиальному (север) типу педогенеза на рассматриваемой территории, по нашему мнению, объясняется её нахождением в более высоких широтах. При этом предшествующий, гуматно-кальциевый тип педогенеза сменился иным, более кислым – гуматно-фульватным – с меньшей ёмкостью и скоростью биокруговорота.

Тенденции, чётко обозначившиеся в самом начале суббореального времени, сохранились и даже усилились в последующую – *субатлантическую* – эпоху голоцена и, в том числе, в современный период. Сказанное неизбежно сопровождалось трансформацией органической и минеральной массы, изменением актуальных свойств и морфологического облика почв. Стирающая эволюция с элементами наследующей во второй половине голоцена, в конечном счёте, привела к принципиальным изменениям классификационного положения и географии почв (табл. 1).

Наибольшие метаморфозы произошли в тёмноцветной толще профиля. Процессы аккумуляции кислого гумуса на суббореальном и последующем субатлантическом этапах ограничивались преимущественно только поверхностной частью толщи былых тёмноцветных горизонтов. Здесь продолжалось образование гумусовых веществ, но уже иной природы, более соответствующих гумидно-лесному типу педогенеза. Их нижняя половина, не получая необходимой подпитки свежим органическим материалом, превратилась в остаточное, реликтовое по природе образование. Мощность новообразованного (наложенного) гумусового горизонта существенно – в 1,5–2 раза – уменьшилась относительно исходного состояния. На юге Вятско-Камского бассейна, в подзонах лесостепи и подтайги, она сократилась в среднем до 20–30 см, в центре (смешанные леса, южная тайга) – до 10–15 см, на севере (средняя тайга) – до 5–10 см и менее. Содержание гумуса в этих неогоризонтах не подверглось существенным изменениям. Однако изменился его качественный состав в направлении от бывшего гуматного к фульватно-гуматному на юге, гуматно-фульватному в центре или даже к фульватному на севере. Одновременно в этом же направлении произошло закономерное замещение чёрных гуминовых кислот бурыми.

**Примерная схема эволюции почв со сложным органопрофилем  
Вятско-Камского Предуралья в позднеледниковье и голоцене**

Этап	Зона	Тип почвообразования	Почвы	Строение профиля
А1	Южная тайга и смешанные леса	Первичное аккумулятивное тундрово-степное	1. Дат(г) 2. Датг 3. Дкат(г)	A(g)+(AC) + C(ca) Ag + (ACg) + Ccag Aca(g) + ACca(g) + Cca
DR3	Южная тайга и смешанные леса	Криоксерофитное аркто-тундровое; склоновые процессы	1. Дат 2. Датд 3. Дкатд	Нарушенное дефляцией и солифлюкцией
PВ	Южная тайга и смешанные леса	Аккумулятивное малоинтенсивное тундрово-лесостепное	1. Д <sub>1</sub> мт 2. Д <sub>1</sub> мтг 3. Дк <sub>1</sub> мт	A + (AB) + BC(ca) + C(ca) Ag + (ABg) + BCg(ca) + C(ca) Aca + (ABca) + BCca + Cca
ВО	Южная тайга	Аккумулятивное умеренно интенсивное холодно-лесостепное	1. Д <sub>2</sub> (мт) 2. ДГ <sub>2</sub> (мт) 3. Дк <sub>2</sub> (мт)	A + AB + BC(ca) + C(ca) Ag + ABg + BCg(ca) + C(ca) Aca + ABca + BCca + Cca
	Смешанные леса		1. Д <sub>2</sub> 2. ДГ <sub>2</sub> (3) 3. Дк <sub>2</sub>	A + AB + (B) + BC(ca) + C(ca) Ag+ABg+(Bg)+BC(gca)+C(ca) Aca + ABca + (BCca) + Cca
АТ1 / АТ2	Южная тайга	Аккумулятивное интенсивное континентально-лесостепное	1. Д <sub>3</sub> 2. ДГ <sub>3</sub> 3. Дк <sub>3</sub>	A + AB + B + BC(ca) + C(ca) Ag + ABg + BCg(ca) + C(ca) Aca + ABca + BCca + Cca
	Смешанные леса		1. Д <sub>3</sub> 2. ДГ <sub>3</sub> 3. Дк <sub>3</sub>	A + AB + B + BC(ca) + C(ca) Ag + ABg + BC(gca) + C(ca) Aca + ABca + BC(ca) + Cca
АТ3 /SB	Южная тайга	Элювиально-аккумулятивное лесное	1. Д <sub>2</sub> <sup>(оп)</sup> 2. ДГ <sub>3</sub> <sup>(оп)</sup> 3. Дк <sub>3</sub>	A + AB(EIВ) + B + BC + C(ca) Ag+AB(EIВ)g +(B)+B+Cg+C(ca) A+ABca+(Bca)+BCca+Cca
	Смешанные леса	(Элювиально)-аккумулятивное лесное	1. Д <sub>2-3</sub> <sup>(оп)</sup> 2. ДГ <sub>3</sub> <sup>(оп)</sup> 3. Дк <sub>3</sub>	A+AB(EIВ)+B+BC(ca)+C(ca) Ag+AB(EIВ)g+BCg(ca)+C(ca) A+ABca+(Bca)+Bcca+C(ca)
SA	Южная тайга	Аккумулятивно-элювиальное лесное	1. ПД 2. ПД <sup>ВП</sup> 3. ДГ <sub>2</sub> <sup>ВОП</sup> 4. Дк <sub>2-3</sub> <sup>ВОП</sup>	A+EI+EIВ+Bt+BC+C A+AEIh+EIВ+Bt+BC+C+C(ca) Ag+AB(EIВh)g+Btg+BC+C(ca) A+AB(AEIh)+B(ca)+BCca+C(ca)
SA	Смешанные леса	Аккумулятивно-элювиальное лесное	1. ЛС 2. ЛТ(С)Г 3. Дк <sub>2</sub> <sup>(оп)</sup>	A+AEI(h)+Bt+BC+ C+C(ca) A+AB(AEI)+B(t)g+BCg(ca)+C(ca) A+AEI(h)+ B(ca)+ BCca+Cca
АТЭ	Южная тайга	Аккумулятивно-элювиальное (агротехногенное)	1. АПДвп 2. АДГ <sub>2</sub> (оп) 3. АДк <sub>2-3</sub> (оп)	P+(AEIh)+Bt+BC+C(ca) P+AB(EIh)g+Btg+BC(ca)+C(ca) P+AB(AEIh)+B(ca)+BCca+Cca
АТЭ	Смешанные леса	Аккумулятивно-элювиальное (агротехногенное)	1. АЛС 2. АЛТ(С)Г 3. АДк <sub>2</sub> <sup>(оп)</sup>	P+AEI(h)+Bt+BC+C(ca) P+AB(AEI)+B(t)g+BCg(ca) P+AEI(h)+B(ca)+BCca+Cca

*Этапы:*

*Al – аллерёд; DR3 – поздний дриас;*

*PB – предбореальный; BO – бореальный; AT – атлантический;*

*SB – суббореальный; SA – субатлантический; АТЭ – агротехногенный.*

*Индексы почв:*

Датг – дерновые аркто-тундровые глеевые;

Дкат – дерново-карбонатные аркто-тундровые;

Датд – дерновые аркто-тундровые деформированные;

Дкатд – дерново-карбонатные аркто-тундровые деформированные;

Д<sub>1</sub>мт – дерновые малогумусные мерзлотно-таёжные;

Д<sub>1</sub>мтг – дерновые мерзлотно-таёжные малогумусные глеевые;

Дк<sub>1</sub>мт – дерново-карбонатные мерзлотно-таёжные малогумусные;

Д<sub>2</sub>(мт) – дерновые (мерзлотно-таёжные) среднегумусные;

ДГ<sub>2</sub>(мт) – дерновые оглеённые (мерзлотно-таёжные) среднегумусные;

Дк<sub>2</sub>(мт) – дерново-карбонатные (мерзлотно-таёжные) среднегумусные;

Д<sub>2(3)</sub> – дерновые (лесные) средне(много)гумусные;

ДГ<sub>2(3)</sub> – дерновые оглеённые (лесные) средне(много)гумусные;

Дк<sub>2(3)</sub> – дерново-карбонатные (лесные) средне(много)гумусные;

Д<sub>2оп</sub> – дерновые (лесные) оподзоленные среднегумусные;

ДГ<sub>3оп</sub> – дерновые оглеённые (лесные) оподзоленные многогумусные;

ПД<sup>вп</sup> – дерново-вторично-подзолистые;

ДГ<sub>2</sub><sup>воп</sup> – дерновые оглеённые вторично-оподзоленные среднегумусные;

Дк<sup>воп</sup><sub>2-3</sub> – дерново-карбонатные с реликтовым (вторым) гумусовым горизонтом средне(много)гумусные;

ЛС – серые серогумусовые;

ЛТ(С)Г – серые тёмно(серо)гумусовые оглеённые;

АПД<sup>вп</sup> – агродерново-вторично-подзолистые;

АДГ<sub>2</sub><sup>(воп)</sup> – агродерновые оглеённые (вторично-оподзоленные) среднегумусные;

АДк<sup>(оп)</sup><sub>2-3</sub> – агродерново-карбонатные (оподзоленные) средне(много)гумусные;

АЛС – агросерые серогумусовые;

АЛТ(С)Г – агросерые тёмно(серо)гумусовые оглеённые.

В современных условиях остаточные гумусовые горизонты представлены двумя основными вариантами: аккумулятивно-элювиальные (AElh) и аккумулятивными (AUh, AUBh или Bh). Первые характерны для дерново-подзолистых и серых серогумусовых почв, вторые свойственны серым тёмногумусовым, в том числе глееватым, и дерново-карбонатным тёмногумусовым почвам с полигенетическим профилем. Горизонт Bh может встречаться во всех типах и подтипах.

Общим для почв бассейна Вятки и Камы является древний – бореально-атлантический возраст гумусовых веществ остаточных тёмноцветных горизонтов. Как правило, он не моложе 5,5 тыс. лет (фракция ГК1) и закономерно возрастает до 6,5–7,2 (ГК2) и даже почти 9 тыс. лет (ГК3). В то же время обычные

гумусовые горизонты этих почв имеют молодой возраст – от 500–600 лет (ГК1) до 800–1000 лет (ГК2), реже более 1 тыс. лет (ГК3). Последняя из цифр чаще характерна для пахотных горизонтов почв. Она превосходит показатель среднего времени пребывания углерода в составе гумуса почв, находящихся в сфере активного биологического круговорота, и косвенно свидетельствует о реликтовой природе фракции ГК3 в современных гумусовых горизонтах почв со сложным органопрофилем, поступившей в них за счёт припашки подстилающих остаточных тёмноцветных горизонтов.

На юге Вятского Прикамья, в местах распространения слабо выщелоченных пород, сформировались ареалы серых лесных (в том числе оглеённых) и дерново-карбонатных почв. В пределах нижней части их аккумулятивной либо аккумулятивно-элювиальной толщи до настоящего времени локально сохранились тёмноцветные горизонты AElh, AUBh, Bh. Это реликтовые образования бореально-атлантического этапа педогенеза, деградирующие на протяжении последующей суббореально-субатлантической эпохи голоцена, с древним возрастом остаточных гумусовых веществ.

Севернее, в переходной полосе от подтаёжных лесов к южной тайге и в пределах последней перечисленные выше типы почв постепенно замещаются дерново-подзолистыми и дерновыми оглеёнными почвами. Они также сохранили в своём профиле фрагменты остаточных, как правило более деградированных, чем на юге, тёмноцветных горизонтов AElh, Elh, иногда Bh. Абсолютный возраст гумусовых веществ этих почв варьируется в больших размерах и в зависимости от фракции гуминовых кислот составляет от 8900 до 5500 лет. Наибольшая из радиоуглеродных дат, на наш взгляд, может указывать на опережающие сроки «отключения» тёмноцветных горизонтов некоторых почв от подпитки новообразованными органическими веществами. Они раньше оказались охвачены элювиальными процессами и в случае более надёжной изоляции от атмосферного углеродного резервуара оказались относительно «старше».

В результате эволюции, вызванной климатическими и отчасти геоморфологическими и сопутствующими им факторами, произошли процессы трансформации органической и минеральной фазы исследуемых почв. Они привели к метаморфизму некогда чернозёмовидных эвтрофных почв в почвы аккумулятивно-элювиальной и элювиальной природы. При этом на уровне остаточных тёмноцветных горизонтов наметилось постепенное уменьшение содержания гумуса с преимущественным выносом наиболее лабильных – фульватных – компонентов. Во всех типах почв с реликтовыми горизонтами в течение второй половины голоцена наблюдалась постепенная трансформация гумусовых веществ по сходному сценарию. Во-первых, из-за большей устойчивости гуминовых кислот к разрушению и выщелачиванию возрастало отношение С<sub>гк</sub>:С<sub>фк</sub> вплоть до величин, равных 5, превышающих таковые в современных чернозёмных почвах лесостепи и степи. Во-вторых, ввиду выщелачивания оснований гуматы кальция эвтрофной стадии педогенеза постепенно трансформировались в гуминовые кислоты, связанные с железом и алюминием, как более отвечающие почвенным условиям под тёмнохвойными формациями.

На крайнем севере региона тёмноцветные почвы деградировали ещё сильнее – во вторично-подзолистые. Реликтовые феномены в их профиле встречаются исключительно редко, в виде единичных пятен, линз, клиньев (E1h), локально сохранившихся от минерализации в самой нижней части элювиальной и в верхней части иллювиальной толщи. Подобные случаи зафиксированы нами в северо-западной части Чепецко-Кильмезского междуречья. А. Л. Александровским (1983) аналогичный факт отмечен в профиле подзолистой почвы, сформированной на лессовидном суглинке в пределах палеоледниковой зоны водораздела рек Вятки и Великой.

В настоящее время среднее содержание гумуса в горизонтах AЕ1h дерново-подзолистых и серых серогумусовых почв составляет около 1,7%. В горизонтах AUh тёмногумусовых серых почв оно больше в 1,5–1,6 раза – около 2,6–2,8%. В Bh-карманах дерново-подзолистых почв количество гумуса находится на уровне 1,5%, то есть сопоставимо с горизонтами AЕ1h. В аналогичных гумусовых карманах дерновых оглеённых почв этот показатель возрастает до 2,6–4,3%, а в серых оглеённых почвах – до 3,7–4,5%.

Около 6–7 тыс. лет назад, в аккумулятивный этап педогенеза, горизонты AЕ1h теперешних дерново-подзолистых почв, вероятно, имели органическое вещество в количествах не меньших, чем в сходных с ними по положению горизонтах современных серых автоморфных тёмногумусовых почв или в их остаточных гумусовых карманах. Соответственно, с переходом около 5,5–5 тыс. лет назад от аккумулятивной к аккумулятивно-элювиальной стадии педогенеза они утратили, как минимум, 37% от первоначального содержания гумуса. Средняя скорость минерализации органического вещества бывших тёмноцветных почв за это время во вторых гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв, располагающихся на глубинах около 15–27 см от поверхности, составила величину около 0,2% за 1000 лет. Одновременно в горизонтах AЕ1h в ряде случаев в 1,5–2 раза возросла степень гуматности органического вещества за счёт устойчивых компонентов – ГК. При этом произошла трансформация большей части чёрных гуминовых кислот в бурые, возросли показатели оптической плотности, степени ароматизации и карбоксилирования гуминовых кислот.

Содержание гумуса на уровне нижней части вторых тёмноцветных горизонтов современных серых серогумусовых автоморфных почв, по-видимому, было не ниже, чем в реликтовых горизонтах Bh (не менее 2,7%). В горизонтах AЕ1h этих почв по усреднённым данным сейчас оно равно 1,9%. Иными словами, за 5 тыс. лет деградировало приблизительно 30% от первоначального количества органического вещества упомянутых почв. Коэффициент минерализации гумуса, таким образом, составил величину 0,16% за 1000 лет, что в 1,25 раза меньше, чем у дерново-подзолистых почв. За это время в серых почвах произошли и меньшие по размерам качественные изменения органической фазы в сторону частичной трансформации гуматов Са в гуматы, связанные с Fe и Al. Горизонты AЕ1h дерново-карбонатных почв и рендзин по масштабам преобразования их органических компонентов сопоставимы с серыми серогумусовыми (остаточно-карбонатными) почвами. Серые тёмногумусовые авто-

морфные и оглеённые почвы в незначительной степени подверглись деградационным изменениям органического вещества реликтовых горизонтов AElh, AUh(g) и т. п. При этом они почти сохранили первоначальный состав ГК.

Относительно высокие темпы деградации имели место и в гумусовых Bh-карманах дерново-подзолистых почв со сложным органопрофилем, совпадающих по положению с верхней частью иллювиально-текстурной толщи и подвергающихся достаточно энергичному элювиальному прессу в современных условиях. В отличие от горизонтов AElh здесь слабее проявилась трансформация фракции ГК2 в ГК1. В аналогичных гумусовых карманах полугидроморфных дерновых и серых лесных почв, залегающих на глубинах от 30 до 60–120 см от поверхности, процессы деградации проявились в значительно меньших размерах и составили не более 5–10% от первоначального содержания. Вместе с тем верхняя часть Bh-карманов оподзоленных дерновых оглеённых почв, подвергаясь сравнительно энергичному элювиальному воздействию, потеряла примерно 27% гумуса по сравнению со стартовым состоянием на рубеже средне-позднеатлантического времени. Темпы деградации органической фазы в этой зоне профиля, идентичной по положению горизонтам AElh, – около 25–35 см от поверхности, – составили сходную с дерново-подзолистыми почвами величину – 0,2% гумуса за 1000 лет.

В погребённых гумусовых (и гумусово-глеевых) горизонтах серых лесных почв гидроморфного ряда, выявленных на глубинах около 1,5 м и имеющих возраст гуминовых кислот около 11 тыс. лет, исходное содержание органического вещества к настоящему времени снизилось в 5–10 раз (до 0,5%), не обнаруживая достоверных изменений его качественного состава. Коэффициент минерализации гумуса в этом случае по предварительным расчётам оказался равным величине 0,4% за 1000 лет.

Верхние гумусовые горизонты исследуемых почв принципиально на порядок отличаются меньшим возрастом гумуса, свидетельствующим о более высокой скорости обновления углерода в составе органической фазы. При этом они остались на близком к исходному уровню по содержанию гумуса в данной толще профиля. Однако здесь произошло значительное изменение его качественного состава в направлении почв бореального ряда. Биохимическим преобразованиям в наибольшей степени вновь подверглись дерново-подзолистые и серые автоморфные почвы со сложным органопрофилем. За 5 тыс. лет в них существенно уменьшилась мощность гумусоаккумулятивной толщи и произошло 1,5–2-кратное снижение степени гуматности органической субстанции в целинных условиях. В пахотных горизонтах агродерново-подзолистых и серых серогумусовых почв индекс гуматности в ряде случаев не снизился вследствие припашки реликтовых горизонтов. По этой же причине здесь нередко фиксируется повышенный возраст гуминовых кислот, превосходящий показатель  $mrt$  для горизонтов, находящихся в сфере активного современного биокруговорота. Аналогичные случаи загрязнения реликтовым органическим веществом выявлены в горизонтах AU почв, пребывавших некогда в агрокультуре, а в настоящее время находящихся под вторичными лесами, близкими к климаксному состоянию.

Итак, изложенное выше позволяет судить о степени деградиционной трансформации органических веществ почв с реликтовыми феноменами различной типовой и подтиповой принадлежности в режиме позднеголоценовой аллоэволюции. Размах метаморфических преобразований оказался в тесной зависимости от множества внутренних и внешних факторов. В их числе: положение в профиле, способ и время образования реликтовых феноменов, географическое, геоморфологическое, классификационное положение почв и т. д. Трансформация органического вещества привела к уменьшению содержания гумуса, изменению его фракционно-группового состава, степени ароматизации, карбоксилирования и т. п. В настоящее время количество органического вещества находится в определённой зависимости от возраста и природы реликтовых гумусовых образований, глубины их залегания, современной зональной принадлежности почв и т. д. Наиболее глубоким преобразованиям подверглись остаточные горизонты АЕh дерново-подзолистых и серых автоморфных почв, совпадающие по положению с элювиальными толщами профилей. За суббореально-субатлантический этап в них существенно снизилось содержание гумуса и, в ряде случаев, изменился его фракционно-групповой состав. Глубже лежащие горизонты Bh, независимо от типовой принадлежности почв, за последние 5 тыс. лет голоцена оказались относительно слабее затронуты метаморфическими процессами. Автоморфные почвы в целом подверглись наибольшим трансформациям гумусовых профилей и свойств органической фазы во второй половине голоцена в ходе эволюции.

Преобразованиям органического вещества во многом предшествовали соответствующие изменения актуальных свойств в сторону подкисления жидкой и твердой фазы почв, выщелачивания питательных элементов и т. д. В совокупности они повлекли за собой глубокие метаморфозы минеральной части исследуемых и других типов почв бассейна Вятки и Камы в направлении развития профиля, текстурно дифференцированного по элювиально-иллювиальному или чисто элювиальному типу. В конце позднеледниковья материнские породы, на которых впоследствии сформировались почвы со сложным органопрофилем, скорее всего, имели достаточно однородный литологический состав. Этому способствовала продолжительная стадия их развития в специфических перигляциальных криоаридных условиях, благоприятствующих гомогенизации и окарбоначиванию почвогрунтов. Подобное состояние минерального субстрата, по-видимому, сохранялось длительное время, вплоть до середины голоцена.

Однако с переходом к стадии аккумулятивно-элювиального, а в более северных районах, и типично элювиального почвообразования активизировались процессы текстурной дифференциации почв, в особенности развивающихся на породах тяжёлого гранулометрического состава. В итоге профили исследуемых и некоторых других типов почв приобрели признаки глинистой дифференциации, степень которой зависела от зональных и геогенных факторов. В целом она возростала в направлении от современных лесостепных ландшафтов Вятского Прикамья к таёжным и ослабевала в направлении от автоморфных к гидроморфным местоположениям и от бескарбонатных или слабокарбонатных пород к карбонатным. Иллюстрацией сказанному могут служить данные табл. 2.

Они свидетельствуют, что наибольшие показатели текстурной дифференциации свойственны дерново-подзолистым и серым серогумусовым автоморфным почвам со сложным органопрофилем. У дерновых оглеённых и, особенно, у серых тёмногумусовых почв нормального и повышенного увлажнения параметры глинистой неоднородности закономерно уменьшаются, приближаясь в некоторых случаях к нулевым отметкам.

Таблица 2

**Особенности минеральной фазы почв со сложным органопрофилем  
Вятского Прикамья**

Горизонт	Ил, %	КД	S			КІ	Баланс ила, %
			Ил	Al	Fe		
Дерново-подзолистые почвы							
A (P)	8,5	4,0	5,0	1,6	2,1	1,45	-13
AEIh	10,0	—	—	—	—	—	—
Bt	33,7	—	—	—	—	—	—
Серые серогумусовые почвы							
A (P)	12,1	2,8	2,9	1,8	2,2	1,33	+14
AEIh	14,0	—	—	—	—	—	—
Bt	33,8	—	—	—	—	—	—
Серые тёмногумусовые почвы							
AU (PU)	12,7	2,6	1,9	1,4	1,4	1,07	+9
Bt	33,0	—	—	—	—	—	—
Дерновые оглеённые почвы							
Pg	13,7	2,14	2,89	1,25	1,25	1,07	+2(-6+8)
Btg	32,6	—	—	—	—	—	—
Серые тёмногумусовые оглеённые почвы							
Ag (Pg)	24,5	1,4	1,9	1,8	1,8	0,93	+5
AUhg	37,4	—	—	—	—	—	—
Btg	34,1	—	—	—	—	—	—
Дерново-карбонатные почвы							
A (P)	11,8	2,49	—	—	—	но	—
AUh	29,5	—	—	—	—	—	—
Btca	29,4	—	—	—	—	—	—

Структура почвенного покрова внутри ареала покровных суглинков Вятского Прикамья также претерпела большие изменения. Относительно однородная, слабоконтрастная СПП, характерная для близких к гиперзональным ландшафтов бореально-атлантического времени, сменилась менее однородной на суббореально-субатлантическом отрезке развития природной среды. Причиной этого стало усиление дифференцирующей роли климатического, орографического и геохимического факторов в новых условиях. Наряду с широко распространёнными ранее рендзинами, тёмногумусовыми и им подобными почвами появились современные серые серогумусовые и тёмногумусовые почвы со сложным органопрофилем, в том числе их оглеённые дериваты, дерново-подзолистые и гумусово-глеевые почвы со сложным органопрофилем. На более бедных породах обособились почвы аналогичной типовой принадлежности, но без реликтовых гумусовых горизонтов.



В почвах на маргинальных породах последствия элювиирования оказались ещё значительнее. Они привели к дальнейшему оподзоливанию и деградации трансформации некогда распространённых здесь мезотрофных и мезоолиготрофных почв. Дерновые и дерново-подзолистые таёжно-лесные почвы, особенно на севере Вятско-Камского края, начали эволюционировать в направлении собственно подзолистых почв и подзолов, а при избыточном увлажнении в их глее-подзолистые подтипы. На низменностях в почвах местами прогрессировал торфяно-глеевый процесс почвообразования, чему благоприятствовало общее усиление увлажнённости территории. Последнее привело, особенно на севере и в центре исследуемой территории, к увеличению площади болотных, в том числе верховых и низинных почв. Косвенным подтверждением сказанному могут, в частности, служить факты нахождения нами в лощинах, дренирующих правобережье Вятки около д. Чирки под г. Кировом, комбинированных наложенных – почвенных профилей. Их нижняя часть представлена дерново-подзолистыми глееватыми почвами на двучленных породах – водноледниковых песках и супесях, подстилаемых мергелем глинистым, на которых ныне формируются болотные низинные перегнойно-глеевые почвы.

### ***Современный этап: техногенная стадия***

В конце субатлантического периода в изложенный выше ход естественных процессов педогенеза сначала спорадически, а впоследствии всё более масштабно вмешивается новый – социальный – фактор. Начиная с XI и, особенно, с XVII–XVIII веков почвенный покров Вятского Прикамья вступает в антропогенную стадию развития, связанную с нарастающим хозяйственным и, прежде всего, земледельческим освоением региона. Это привело к существенным, в ряде случаев необратимым изменениям СПП, а также физических, химических, биохимических и иных свойств отдельных её компонентов. Результаты техногенной трансформации почв со сложным органомофилем носят неоднозначный, порой противоречивый характер.

Одни из них являются отчётливо деградационными по своей природе, другие не имеют очевидных негативных последствий для почв. Изложенное может быть проиллюстрировано на примере дерново-подзолистых почв со сложным органомофилем, относительно более полно представленных на исследуемой территории целинными и пахотными вариантами (табл. 3).

**Сравнительные показатели почв со сложным органомофилем  
Вятского Прикамья (дерново-подзолистые почвы)**

Показатели	Почвы		Достоверность различий
	Целинные	Пахотные	
Строение профиля	O+AY+AElh+EIB+ +Bt1+Bt2+BC(ca)+ +C(ca)	PY+(AElh)+(EIB)+ +Bt1+Bt2+BC(ca)+ +C(ca)	–
Мощность горизонтов, см:			
а) AY и PY;	11,3	23,3	–
б) AElh	10,5	7,4	–
Положение нижней границы горизонтов, см:			
а) AY и PY;	15,0	23,3	–
б) AElh	25,4	30,7	–
Объёмная масса горизонтов AY и PY, г/см <sup>3</sup>	1,0	1,2–1,3	–
Структура горизонтов AY и PY	Зернисто-комковатая	Глыбисто-пылевато-комковатая	–
Содержание агрегатов 0,25-10 мм в горизонтах AY и PY, %	76–82	67	–
Содержание гумуса в горизонтах AY и PY, %	5,04	2,64	1,97
Запасы в слое 1 м (т/га): а) гумуса;	143	158	–
б) азота	9,6	11,7	–
Сгк:Сфк в горизонтах AY и PY	0,9–1,2	0,8–2,0	–
pH КСІ в горизонтах AY и PY	4,5	5,6	4,15
Нг в горизонтах AY и PY, мг-экв/100 г	8,1	3,3	2,74
S в горизонтах AY и PY, мг-экв/100 г	15,0	14,8	0,07
E в горизонтах AY и PY, мг-экв/100 г	24	18	2,01
V в горизонтах AY и PY, %	66	82	2,41
N легкогидролизуемый в горизонтах AY и PY, мг/100 г	5,8	3,8	1,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в горизонтах AY и PY, мг/100 г	7,9	4,1	1,03
K <sub>2</sub> O в горизонтах AY и PY, мг/100 г	10,8	7,1	1,60
Ил в горизонтах AY и PY, %	8,4	8,6	0,23
Физическая глина в горизонтах AY и PY, %	37,0	37,4	0,23

Из этих данных видно, что наиболее важными видами физических, деграционных по сути преобразований служат упрощение композиции профиля за счёт глубокой механической обработки почв (в среднем около 25–30 см) и выпахивания реликтовых гумусовых горизонтов и нижележащих толщ профиля. Дополнительный импульс указанным процессам придают разрушение структуры, слитизация почвенной массы под воздействием сельскохозяйственной техники, которые усугубляются ускоренной агрогенной водной эрозией. Особенно тревожным является факт неуклонного сокращения площадей этих во всех отношениях уникальных почв в течение XX века. Наиболее кардинальные, неред-

ко необратимые изменения произошли во второй половине прошлого столетия в связи с массовым использованием тяжёлых тракторов и почвообрабатывающих орудий. По сравнению с 60–70 годами прошлого века площади агродерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом снизилась приблизительно на порядок – до 5–6%.

Параллельно с физической протекает и химическая (гумусовая) деградация, связанная, по-видимому, не столько с ускоренной минерализацией органического вещества и дегумификацией, сколько с разбавлением запасов гумуса в большей по мощности пахотной толще агропочв. Выпахивание на поверхность реликтовых тёмноцветных горизонтов с более высоким отношением Сгк:Сфк нередко сопровождается возрастанием степени гуматности и возраста органического вещества земледельческих почв.

Почвы, подвергнувшиеся в последние столетия агротехногенной трансформации, характеризуются достоверно меньшими показателями потенциальной кислотности, более высокой степенью насыщенности основаниями. Вместе с тем они заметно беднее доступными формами основных элементов минерального питания (NPK) и вследствие эффекта разбавления гумуса обнаруживают меньшую ёмкость поглощения. Судя по имеющимся данным, агрокультура не оказала существенного влияния на содержание ила и других тонких фракций мелкозёма в рассматриваемых почвах со сложным органопрофилем. Точно так же, на территории Вятского Прикамья они не несут следов существенного загрязнения тяжёлыми металлами. Аналогичные выводы с достаточной долей вероятности могут быть распространены и на другие компоненты почвенного покрова этого региона.

За счёт земледелия в последние столетия произошла перестройка композиции почвенного покрова: появились смытые разности почв, а также почвы, утратившие некогда присущие им реликтовые феномены в составе профиля. Судя по наметившимся во второй половине голоцена тенденциям, сложившаяся к настоящему времени СПП в пределах бассейна Вятки и Камы, особенно в его южнотаёжной и подтаёжной зонах, далека от равновесного состояния. В современный период наблюдается неуклонная трансформация её компонентов под воздействием деградационных процессов в сторону почв типично элювиального ряда. Иными словами, большинство из рассматриваемых нами почв со сложным органопрофилем (дерново-подзолистые, серые и др.), являющиеся памятью бореально-атлантических ландшафтов голоцена, фактически представляют собой «псевдозональные» образования востока Русской равнины.

В качестве примера можно указать на серые лесные почвы востока Русской равнины. Судя по палеогеографическим данным, они, возможно, никогда не формировались под типично широколиственными лесами. Более того, эти почвы, очевидно, не соответствуют современной ландшафтной обстановке своего ареала и по сути являются деградирующими педообразованиями. При сохранении наметившейся на рубеже атлантического и суббореального этапа и сохраняющейся до настоящего времени тенденции в ходе развития окружающей среды, через одну-две тысячи лет их ждёт практически полное стирание с почвенной карты Вятско-Камского бассейна. На сельскохозяйственных землях

их закат будет ещё короче – уже через несколько десятков, в лучшем случае, первой сотни лет – от руки человека, вернее, от тракторного плуга и эрозии.

Таким образом, в течение позднеледниковья и голоцена, вслед за направленными колебательными изменениями климата и, соответственно, растительного покрова и материнских пород, параллельно происходили и адекватные изменения свойств и классификационной принадлежности почв, структуры почвенного покрова и географии почв под воздействием естественных, а впоследствии и социальных факторов.

### **Библиографический список**

Александровский А. Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. М.: Наука, 1983. 152 с.

Алифанов В. М. Палеокриогенез и современное почвообразование. Пушкино, 1985. 318 с.

Геннадиев А. Н. Почвы и время: модели развития. М.: Изд-во МГУ, 1990. 229 с.

Коржинский С. И. Предварительный отчет о почвенных и геоботанических исследованиях 1886 года в губерниях Казанской, Самарской, Уфимской, Пермской и Вятской // Тр. Об-ва естествоиспыт. при Казанском ун-те. Казань, 1887. 72 с.

Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий / Отв. ред. В. О. Таргульян, С. В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 688 с.

Прокашев А. М. Генезис и эволюция почв бассейна Вятки и Камы. Киров, 2009. 386 с.

Прокашев А. М., Жуйкова И. А., Пахомов М. М. История развития почвенно-растительного покрова Вятско-Камского края в послеледниковье. Киров, 2003. 143 с.

Тюлин В. В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятск. кн. изд., 1976. 288 с.

Чендев Ю. Г. Естественная эволюция почв центральной лесостепи в голоцене. Белгород: Изд-во БГУ, 2004. 200 с.

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВЕННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

*Л. И. Домрачева*

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

*Вятская государственная сельскохозяйственная академия,  
nm-flora@rambler.ru*

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

Цианобактерии (цианопрокариоты, цианеи, синезелёные водоросли) – древнейшие фототрофные организмы планеты, которые выдающийся российский микробиолог Г. А. Заварзин назвал «колодцем в прошлое» (Заварзин, Крылов, 1983). История биосферы – это в подавляющей степени история микробов и того, как они создали биосферу, в которой появились более сложно организованные существа (Заварзин, 2003). Г. А. Заварзин историю биоты на Земле представляет в виде схемы аддитивной эволюции с этапами: I. Прокариоты; II. Прокариоты + протисты; III. Прокариоты + протисты + многоклеточные. Определяющими на каждом этапе являются первичные продуценты – кислородные фотоавтотрофы: 1) цианобактерии; 2) цианобактерии + водоросли; 3) цианобактерии + водоросли + высшие растения.

Таким образом, единственными организмами планеты, прошедшими через её историю в неизменном виде, остаются цианобактерии (ЦБ). Сам по себе факт их выживания и процветания в современной биосфере, резко отличной от той, в которой они зародились примерно 3,5 млрд. лет тому назад, априори свидетельствует об огромном адаптационном потенциале. В классической монографии Э. А. Штиной и М. М. Голлербаха «Экология почвенных водорослей» (Штина, Голлербах, 1976) обобщены все известные к тому времени факты выживания ЦБ в экстремальных условиях: способность длительное время сохранять жизнеспособность при засухе; выживать при очень низких и очень высо-

ких температурах; противостоять сильной инсоляции; выдерживать радиоактивное излучение; быть толерантными к высоким концентрациям солей; выносить действие токсикантов; вегетировать в анаэробных восстановительных условиях и т. д. В прошедшие с момента выпуска этой монографии годы появились новые сведения о специфике экотопов ЦБ, механизмах их адаптации, консортивных связях, физиологических и биохимических возможностях (Гусев, Никитина, 1979; Панкратова, 1987, 2001; Андреюк и др., 1990; Домрачева, 2005; Панкратова, Трефилова, 2007). Находит подтверждение гипотеза о том, что ЦБ первородно существовали в виде симбиоза, прежде всего с гетеротрофной микрофлорой, выполняющей роль редуцентов и стабилизирующей существование первичного ценоза. Показано, что ни одна группа микроорганизмов не использовала в таком объёме симбиотических отношений, как ЦБ. Именно эта группа прокариотных фототрофов обеспечивает самые массовые вспышки размножения в природе, обладая способностью до предела насыщать биотопы и давать продукцию, выходящую за пределы обычной для данного биотопа, создавая «лавину живого вещества». Такая специфическая особенность связана с древностью ЦБ и может рассматриваться как биологическая адаптация, вытекающая из высокой биогеохимической энергии размножения (Вернадский, 1965). Вступая в тесные взаимовыгодные симбиотические связи со своими консортами, ЦБ в то же время в борьбе за жизненное пространство выделяют химические соединения, подавляющие рост других микроорганизмов (Сиренко, Козицкая, 1988). При культивировании, в отличие от гетеротрофных микробов, ЦБ, являясь фотоавтотрофами, не требуют сред с органическими компонентами и не нуждаются в связанных соединениях азота. При этом выполняется одно из условий успешного биотехнологического производства – максимальная дешевизна питательных сред. ЦБ отвечают и второму важнейшему требованию микробной биотехнологии – высоким темпам размножения, что приводит к созданию максимальной продукции в предельно краткие сроки. Создание музейной коллекции ЦБ, с помощью которой возможен скрининг на выявление практически значимых штаммов, опирается на выделение ЦБ из природных сред. Для целей сельскохозяйственной биотехнологии наиболее удобно использовать такой природный феномен как «цветение» почвы, при котором интенсивность размножения ЦБ и микроводорослей на поверхности почвы приводит к формированию визуально заметных налётов, плёнок, корочек с плотностью клеток до 40 млн./см<sup>2</sup>. Очень часто в ходе сезонной сукцессии или вследствие определённых антропогенных воздействий происходит монофикация подобных разрастаний, вследствие которой на долю цианобактерий приходится до 90-98% численности фототрофных популяций. Именно ЦБ создают самые прочные монодоминантные сообщества. Среди них отмечены такие виды, как *Microcoleus vaginatus*, *Microcoleus sp.*, *Nostoc commune*, *Cylindrospermum licheniforme*, *Nostoc muscorum*. В многовидовых альго-цианобактериальных сообществах в роли доминантов особенно часто выступают виды родов *Nostoc*, *Cylindrospermum*, *Scytonema*, *Microcoleus*, *Phormidium*.

Сравнительное изучение списка доминантов показывает, что это нитчатые и колониальные формы, т. е. популяции, эволюционно приспособленные к

существованию в агрегированном состоянии. Это виды, которые обладают высоким коэффициентом размножения, способные быстро переходить от состояния покоя к вегетации и, наоборот, без промежуточных стадий привыкания. Так, например, возобновление азотфиксации и фотосинтеза происходит через 30 минут после реувлажнения сухих цианобактериальных корочек. К ускорению жизненного ритма отдельных популяций ЦБ приводит размножение сразу группами клеток: гормогониями, обрывками нитей, целыми нитями. У цилиндроспермума, например, они могут формироваться внутри спор (акинет) и содержат до 50 клеток. При неблагоприятных условиях размножение данной популяции происходит интенсивнее не гормогониями, отшнуровывающимися от основных трихомов, а быстрым их формированием внутри спор с толстыми оболочками, где среда более стабильна по сравнению с поверхностью почвы. Нити внутри спор формируются за двое – трое суток, после чего высвобождаются. Наличие двух механизмов размножения (непосредственного деления клеток и образования гормогониев, а также формирование нитей внутри спор) обеспечивает преимущество цилиндроспермума перед другими ЦБ, потенциальными доминантами в определённых биотопах.

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

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

*Цианобактерии – антагонисты фитопатогенов.* Агрессивность фитопатогенов, вызывающих массовые заболевания сельскохозяйственных, лесных и декоративных культур, не снижается, несмотря на широко применяемые химические средства защиты растений. Более того, круг фитопатогенов постоянно расширяется за счёт перехода многих сапротрофных микроорганизмов к факультативному или облигатному паразитизму (Монастырский, 1998). Этому способствует выведение высокопродуктивных сортов растений, требующих строгого соблюдения агротехники, которые на малейшее ухудшение условий питания, водоснабжения, освещения отвечают ослаблением иммунитета. Подрывается иммунитет растений и в результате загрязнения окружающей среды, что также открывает «ворота» инфекциям.

В настоящее время в защите растений большие надежды возлагают на использование биопрепаратов, содержащих микробы-антагонисты. Среди отселектированных штаммов, обладающих сверхсинтезом антибиотиков, известны микромицеты, грамотрицательные и грамположительные бактерии, включая особые мицелиальные формы – актиномицеты. Особенно успешно применение комплексных, искусственно сконструированных микробных консорциумов, в которых агрономически полезные свойства одних микробов дополняются антагонистической, ростстимулирующей, гидролитической активностью других микроорганизмов. Однако, по-прежнему наиболее остро стоят вопросы поиска среди антагонистических штаммов наиболее ранних колонизаторов ризопланы, которые бы становились первопоселенцами на корнях, опережая патогенов

(Кураков, 2003). В этом плане фототрофы практически не привлекают внимания разработчиков биопрепаратов. Одна из причин состоит в том, что в ризосфере культурных растений фототрофы и, в частности, ЦБ находятся в таком малом количестве, что не могут реально оказывать ингибирующий эффект на вредные микроорганизмы. Пик их размножения всегда приурочен к поверхности почвы в периоды «цветения», и территориально они удалены и от стеблей, и от корней растений. В то же время многочисленные лабораторные испытания показывают, что в ряду антагонистов они могут занять лидирующие позиции по сравнению с сапротрофами, выделяя активные бактерицидные и фунгицидные соединения. Более того, при воздействии на здоровое растение ЦБ оказывают стимулирующее влияние (Панкратова, 1981; Калинин, 1995; Панкратова и др., 2004; Домрачева, 2005). Именно ЦБ принадлежит особое место среди микроорганизмов, так они выделяют в окружающую среду широчайший спектр биологически активных веществ. В многокомпонентной системе этих соединений идентифицированы производные алифатических терпенов, терпеновые спирты, эфиры, эфирные масла, альдегиды, летучие кислоты, фенолы, ауксины, антибиотики, алкалоиды, сапонины, фитогормоны.

Наиболее последовательные и длительные исследования антагонистической активности почвенных ЦБ проводятся на кафедре ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э. А. Штиной Вятской государственной сельскохозяйственной академии. В частности, в сериях лабораторных, вегетационных и полевых опытов показано, что многие штаммы альгологически чистых культур ЦБ вызывают резкое угнетение популяций особо опасных фитопатогенных грибов рода *Fusarium*. Так, при культивировании на искусственных питательных средах происходит замедление роста, усыхание и лизис мицелия *Fusarium culmorum*, *F. nivale* и *F. oxysporum* (Домрачева и др., 2003). Столь же велика антифузариозная активность ЦБ при совместном развитии популяций в почве, лишенной высших растений, т.е. в период, когда фузарии находятся на стадии сапрофитного существования. Под влиянием *Nostoc paludosum*, *N. linckia* и *Microchaeta tenera* через неделю экспозиции в почве прекращается развитие мицелия гриба, хотя в контрольном варианте этот показатель превышает 5 м/см<sup>2</sup> почвы. Сильный фунгицидный эффект отмечен у ЦБ на фоне провокационного заражения семян злаков и бобовых культур при проведении вегетационных опытов (Калинин и др., 2002; Трефилова, 2008). Серия полевых испытаний убедительно доказала результативность цианобактериальной обработки семян хвойных в условиях лесопитомников (Третькова и др., 2002; Домрачева, трефилова, 2004; Домрачева и др., 2008).

В городских экосистемах особенно чувствительны к болезням цветочные культуры, так как происходит наложение патогенного фона на химическое загрязнение урбанозёмов. Пестицидная обработка семян и рассады в условиях города совершенно не желательна. Поэтому и в данном случае наиболее приемлемы биометоды защиты растений. Была проведена серия опытов с различными сортами астр, в ходе которых установили защитное действие чистых культур ЦБ и при выращивании рассады, и при высадке растений в открытый грунт (Ковина и др., 2008). При этом эффективность применения ЦБ *Nostoc palu-*



*dosum* была выше, чем таких сертифицированных препаратов, как Гамаир, Алирин Б, Байкал-ЭМ1.

Все описанные выше исследования проведены с альгологически чистыми культурами ЦБ, т. е. штаммы очищены от фототрофов (водорослей и других ЦБ), но в своих чехлах содержат бактерии-спутники. Их видовой состав и численность чрезвычайно разнообразны: аммонификаторы, олигонитрофилы, денитрификаторы, актиномицеты (Штина, Панкратова, 1974), меняются в зависимости от изменяющихся условий. Вероятно, клетки фототрофа «рекрутируют» в сообщество бактерии, помогающие ему выжить в конкретных условиях, ограничивая доступ других, то есть регулируют их состав (Панкратова, Трефилова, 2007). Партнёры циано-бактериальных комплексов взаимосвязаны так, что конечные продукты жизнедеятельности одного вида служат ресурсом для другого, а изъятие этих ресурсов – необходимое условие поддержания разницы концентраций субстрата и продукта. Разнообразие биохимических и физиологических реакций, осуществляемых ЦБ, приводит к неоднозначным последствиям для организмов, проживающих в совместных с ЦБ местообитаниях. Часть выделяемых соединений используется другими организмами для биосинтетических и энергетических нужд. Другие соединения могут выступать в качестве специфических химических раздражителей – биостимуляторов или биоцидов. Исследования, проведённые в последние годы, свидетельствуют о том, что при замене аборигенной микрофлоры бактерий-спутников ЦБ на агрономически полезные штаммы бактерий можно получить цианобактериальные консорциумы, обладающие высоким агробиотехнологическим потенциалом (Ковина, 2001; Панкратова и др., 2004; Зяблых, 2008). С этой целью из коллекции ЦБ выделяют наиболее эффективные по накоплению биомассы и технологичности культивирования штаммы; проверяют наличие у них антагонистического и ризогенного эффекта; разрабатывают систему получения аксеничных культур; «подсаживают» в слизь аксеничных культур определённые полезные штаммы азотфиксирующих бактерий или бактерий-антагонистов. Гомеостатическое состояние консорциума достигается при заражении ЦБ, находящихся в логарифмической стадии роста и при титре каждого бактериального партнёра не выше  $10^6$  кл./мл культуральной среды. При этом гетеротрофные партнёры занимают место естественных бактерий-спутников, капсулируясь в слизи ЦБ. Создание би- и трёхкомпонентных консорциумов ЦБ и хемотрофных бактерий (штаммы различных видов *Rhizobium*, *Agrobacterium radiobacter*, *Pseudomonas fluorescens*, *Arthrobacter mysorens*) показало, что искусственные консорциумы могут длительное время расти и сохраняться в течение нескольких лет на чисто минеральных безазотистых средах, при этом хемотрофные партнёры существуют за счёт прижизненных экссудатов ЦБ и веществ их слизи. ЦБ не элиминируют подсаживаемых бактериальных спутников, не отмечено антагонизма между ЦБ и «вселенцами». Защитная роль ЦБ для сапротрофных партнёров сохраняется и при их интродукции в почву. Введение в почву инокулюма через семена или путём поверхностной обработки почвы сопровождается изменением микробиологического статуса почвы в сторону, полезную для высших растений: увеличивается высота растений, количество листьев, содержание сухого

вещества, длина и объём корневой системы, урожайность, ингибируется развитие фитопатогенов. Таким образом, цианобактериальные консорциумы с программируемым составом (для них предлагается название агроциан) являются перспективными и действенными биопрепаратами на современном уровне развития сельского хозяйства.

*Детоксикационные возможности цианобактерий.* Второй, практически значимой способностью ЦБ, является их способность к обезвреживанию токсиантов. Перечень поллютантов, попадающих в почву в результате деятельности человека, чрезвычайно велик и включает вещества естественного происхождения и искусственно синтезированные. К числу приоритетных загрязнителей биосферы относятся нефть и нефтепродукты, соли тяжёлых металлов (ТМ), радионуклиды, пестициды. Степень их стойкости и скорость деградации различны и во многом определяются наличием организмов, способных их усваивать, детоксифицировать, гидролизовать, обезвреживать. Механизмы трансформации ксенобиотиков различны у разных организмов и могут быть обусловлены морфологическими и физиологическими особенностями (Фокина и др., 2008). В круге организмов-биоремедиаторов ЦБ выделяются многообразием путей обезвреживания поллютантов.

В первую очередь, адаптация ЦБ к неблагоприятным внешним воздействиям обусловлена интенсивным выделением внеклеточной слизи. Доля этих веществ в общем балансе клетки весьма существенна и составляет примерно 30% связываемого за сутки углерода или 40% чистой суточной продукции фотосинтеза (Fogg et al., 1965). При этом указанные объёмы могут значительно колебаться как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения в зависимости от вида, физиологического состояния и функциональной активности клеток и условий окружающей среды,

Образование гелеподобных слизистых частиц (полисахаридных или полипептидных) многофункционально. Для структурно-функциональной организации микробных популяций в виде биоплёнок межклеточный слизистый матрикс рассматривается как элемент структуры колоний, играющий роль интегрирующего компонента в обеспечении жизнеспособности и нормального функционирования популяций, представляющих собой полиморфные многоклеточные системы (Azam et al., 1999; Sutherland, 1996; Surette 2002). Биоплёнки являются одним из видов микробных консорциумов, играющих важнейшую роль в биосферных геохимических процессах. В их развитии чрезвычайно важна межклеточная коммуникация посредством ауторегуляторов, например, галогенофуранов (Николаев, Плакунов, 2007). Эти структурированные сообщества являются способом защиты клеток от стрессовых условий. Предполагается, что в случае биоплёнок затруднено проникновение действующего токсического начала в глубинные слои. Удалённые от поверхности клетки успевают перейти в устойчиво-адаптационное состояние, если для этого требуется меньше времени, чем проникновение и действие антимикробного агента. Например, установлено, что чувствительность ЦБ *Nostoc paludosum* к ионам свинца резко возрастает при разрушении биоплёнки этой ЦБ и снижении титра клеток, количество погибших клеток ностока повышается при этом в 8 раз (Домрачева и др., 2008).

Гликокаликс (выделяемая ЦБ слизь) может рассматриваться как иммобилизованная вода в матриксе полимера с очень высокой механической плотностью сообщества, соответствующей примерно 1–2% агаризованной среды. Экзополимеры в подобных сообществах удерживают организмы внутри локального пространства и обеспечивают макростабильность по отношению к физическим факторам (вымыванию), обеспечивают макроструктуру сообщества с оптимальными диффузными расстояниями, создают транспортные «колодцы» для проникновения питательных веществ, ограничивают проникновение вредных факторов как химической природы, так и мелких хищников – протист (Заварзин, 2003). Поэтому биоплёнки нельзя рассматривать только как простую сумму составляющих их клеток: они представляют собой качественно новый тип сообществ, которые можно рассматривать как «города микробов» (Watnick, Kolter, 2000). Способность к гиперсинтезу экзоцеллюлярных слизей у ЦБ нашла, в частности, практическое применение при мелиорировании почв. Разработаны методы и аппаратура для приготовления и рассеивания ЦБ инокулянтов по почвенной поверхности. После контакта с водой ЦБ переходят из состояния покоя в активную стадию и начинают связывать частички мелиорируемой почвы, образуя почвенные агрегаты и содействуя структурированию почвы (Riley et al., 2005). Скорость перехода из покоя к быстрой активации процессов жизнедеятельности (фотосинтез, азотфиксация, деление клеток) при регидратации у ЦБ очень высока и составляет 10–20 мин (Kazuhiko et al., 2002; Harel et al., 2004).

Экссудация слизи приводит к проявлению у ЦБ сорбционных способностей, способствующей внеклеточной детоксикации поллютантов (Шнюкова, 2005; Бреховских, 2006; Parker et al., 2000). Чем большее количество слизи выделяется, тем полнее связываются поллютанты из раствора. Связывание ТМ осуществляется как полисахаридами, так и липофильной фракцией клеток (Лябушева, 2004). Более того, возможна дистанционная детоксикация, при которой система защиты ЦБ от ТМ включает связывание металла не только клеточными структурами, слизистой оболочкой, но и экзополисахаридами в культуральной среде (Бекасова и др., 2002). Различные ЦБ обладают разной сорбционной способностью. Так, обнаружено, что поглощение свинца из жидкой среды составляет у *N. paludosum* около 80%, у *N. muscorum* – 91,3% от изначальной концентрации (Фокина, 2008). Сорбционная ёмкость различных штаммов ЦБ рода *Phormidium* колебалась (в мг металла/г сорбента) от 5 до 150 для меди, от 5 до 400 для свинца, от 5 до 340 для урана (Кузьякина, 2004). При этом биомасса ЦБ может многократно использоваться в циклах сорбции-десорбции металла без снижения эффективности его удаления, что уже применяется в специальных установках по очистке сточных вод (Papeří et al., 2006).

Существуют и другие адаптационные механизмы, позволяющие ЦБ выживать в условиях сильного загрязнения. В частности, экспериментально доказано, что внутри клетки большую роль в связывании ионов ТМ имеет глутатион и ферменты глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы, поддерживающие его окислительно-восстановительное состояние. Предполагают, что глутатионовая система может служить первой линией обороны в системе защиты клеток

от ТМ в период, предшествующий формированию такого важного инструмента защиты, как металлсвязывающие белки (Саванина и др., 2003). Образование внутри клеток нерастворимых сульфидов – также один из способов детоксикации ТМ, обнаруженный у *Nostoc muscorum* и *Plectonema boryanum* (Бекасова и др., 1999; Lengke et al., 2006). У ряда ЦБ в загрязнённых средах наблюдается увеличение числа гранул гликогена и образование полифосфатных гранул, которые захватывают ионы ТМ, находящиеся в избытке (Andrade et al., 2004). Предлагается использование в качестве биоремедиационного агента ЦБ *Phormidium valderianum*, которая активно разлагает фенол за счёт наличия ферментов полифенолоксидаза и лакказы (Shashirekha et al., 1997).

В детоксикации поллютантов важную роль играют гетеротрофные спутники ЦБ, биомасса которых в зависимости от фазы роста фоторофного партнёра составляет 3,36–12,26% по отношению к биомассе цианопрокариот (Тиберкевич, Сакевич, 2001). Например, гетеротрофные спутники участвуют в синтезе сульфидов ТМ в слизи ЦБ (Москвина и др., 2003).

Особенно детально изучены бактериальные консорциумы ЦБ, обитающих в нефтезагрязнённых почвах (Неганова и др., 1987; Киреева и др., 2003; Сопрунова, 2006). Установлено, что в чехлах ЦБ, способных расти в присутствии неочищенной нефти и разлагать её компоненты, живут бактерии, окисляющие углеводороды, относящиеся к альфа, бета и гамма подклассам *Proteobacteria*, а также группе *Cytophaga/Flavobacterium/Bacteroides*. Отмечено присутствие азотфиксаторов, близких к *Rhizobium* и *Agrobacterium*. Это означает, что, по крайней мере, некоторые бактерии консорциума осуществляют азотфиксацию и разложение углеводородов в чехле ЦБ, в то время, как ЦБ снабжают их «жилъём» и продуктами фотосинтеза – кислородом и органическим веществом. Цианобактериальный компонент данных консорциумов представлен такими видами, как *Nostoc commune*, *Microcoleus chthonoplastes*, *Phormidium tenuissimum*, *Synechocystis minuscula*, *Synechococcus elongates*, *Oscillatoria spp.* Выделенные из нефтезагрязнённых обитаний цианобактериальные сообщества способны не только адаптироваться к нефти, но и активизировать процесс очистки от нефти как водных, так и почвенных экосистем. Было обнаружено, что при внесении в загрязнённую почву наращенной биомассы осцилляториевого сообщества эффективность очистки почвы от нефтепродуктов за 30–90 дней доходила до 100% в зависимости от концентрации нефтепродукта. Активизация деятельности сообщества и интенсификация процессов деструкции загрязнителя зависела не от внесённой биомассы, а от числа внесённых отрезков нитей ЦБ, так как из любого отрезка образуется одна зона зарастания, распространение которой не зависит от изначальной биомассы (Шадрина, 2001).

Доказано снижение токсичности такого специфического загрязнителя, как метилфосфоновая кислота, в тех случаях, когда в среде выращивания семян пшеницы, пелюшки и горчицы присутствовали природные плёнки *Nostoc commune* (Огородникова и др., 2008), а также при внесении в почву суспензии *Nostoc paludosum* (Скугорева и др., 2008).

Таким образом, краткий обзор экологических возможностей ЦБ показывает, что эти организмы в виде монокультур, искусственно сконструированных

циано-бактериальных консорциумов или природных биоплёнок являются перспективными объектами для разработки новых методов и приёмов реабилитации почв, фитотоксичных вследствие химического или биологического (накопление фитопатогенов и фитотоксинов) загрязнения. При этом использование ЦБ позволяет решить одну из основных задач почвенной биотехнологии – повышение скорости восстановительных процессов при абсолютной экологической безопасности применяемых интродуцентов.

### Библиографический список

Андреюк Е. И., Коптева Ж. П., Занина В. В. Цианобактерии. Киев: Наукова думка, 1990. 200 с.

Бекасова О. Д., Бреховских А. А., Москвина М. И. О механизме детоксикации ионов кадмия цианобактерией *Nostoc muscorum* при участии её внеклеточных полисахаридов // Биофизика. 2002. № 3. С. 515–523.

Бекасова О. Д., Орлеанский В. К., Никандров В. В. Аккумуляция кадмия и алюминия цианобактерией *Nostoc muscorum* // Микробиология. 1999. Т. 68. С. 851–859.

Бреховских А. А. Защитные механизмы автотрофной цианобактерии *Nostoc muscorum* от токсического воздействия ионов кадмия: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. М. 2006. 26 с.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М.: Наука, 1965. 523 с.

Гусев М. В., Никитина К. А. Цианобактерии (физиология и метаболизм). М.: Наука, 1979. 228 с.

Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.

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

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

Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Ветлужских И. Л. Цианобактериальное ингибирование фузариозных инфекций // Вопросы экологии и природопользования в аграрном секторе. М.: АНК, 2003. С. 236–240.

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

Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.

Заварзин Г. А., Крылов Н. Н. Цианобактериальные сообщества – колодец в прошлое // Природа. 1983. № 3. С. 59–68.

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

Калинин А. А. Цианобактерии как возможные компоненты diaзотрофных микробных ассоциаций и их влияние на растения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва. 1995. 23 с.

Калинин А. А., Домрачева Л. И., Третьякова А. Н., Трефилова Л. В. Антагонистическое действие почвенных цианобактерий на фитопатогенный гриб *Fusarium culmorum* и перспективы их использования для биологической защиты растений от заболеваний // Здоровье – Питание – Биологические ресурсы: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 125-летию со дня рождения академика Н. В. Рудницкого. Киров. 2002. Т. 1. С. 377–383.

Киреева Н. А., Кузяхметов Г. Г., Мифтахова А. М., Водопьянов В. В. Фитотоксичность антропогенно загрязнённых почв. Уфа: Гилем, 2003. 266 с.

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

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

Кузякина Т. И. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов на активных вулканах и в гидротермах. Владивосток: Дальнаука, 2004. 251 с.

Кураков А. В. Грибы в круговороте азота в почвах: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. 2003. 50 с.

Лябушева О. А. Накопление элементов клетками цианобактерий: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. М.: МГУ, 2004. 21 с.

Монастырский О. А. Факторы эволюции высокотоксикогенных штаммов рода *Fusarium* в агроценозе // С.-х. биология. Сер. Биология растений. 1998. № 1. С. 28–34.

Москвина М. И., Бреховских А. А., Никандров В. В. Роль гетеротрофных спутников цианобактерии *Nostoc muscorum* в синтезе сульфида кадмия // Микробиология. 2003. Т. 72. № 2. С. 284–285.

Неганова Л. Б., Казакова Е. Н., Штина Э. А. Роль почвенных синезелёных водорослей в стимуляции углеводородокисляющих микроорганизмов // Актуальные проблемы современной альгологии. Тез. докл. 1 Всесоюзн. конф. Киев: Наукова думка, 1987. С. 171.

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

Огородникова С. Ю., Кондакова Л. В., Домрачева Л. И., Фокина А. И., Ашихмина Т. Я., Олькова А. С. Защитная роль *Nostoc commune* для семян сельскохозяйственных культур при действии токсикантов (модельные опыты) // Проблемы региональной экологии. 2008. № 2. С. 96–100.

Панкратова Е. М. Почвенные цианобактерии в прошлом Земли и их экологическая роль в настоящем и возможная в будущем // Экология и почвы. Пушкино. 2001. С. 84–104.

Панкратова Е.М. Участие цианобактерий в круговороте азота в почве и создании её плодородия // Успехи микробиологии. М.: Наука, 1987. Т. 21. С. 212–242.

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

Панкратова Е. М., Зяблых Р. Ю., Ковина А. Л., Трефилова Л. В., Устюжанин И. А. Исследование формирования и эффективность в агробиотехнологии цианобактериальных консорциумов // 60 лет высш. аграр. образ. Северо-Востока Нечерноземья: Матер. 1 Всерос. науч.-практ. конф. Киров. 2004. С. 161–163.

Панкратова Е. М., Трефилова Л. В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в естественных условиях и в конструируемых системах // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 4–14.

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

Саванина Я. В., Лебедева А. Ф., Барский Е. Л. Значение глутатионовой системы в накоплении и детоксикации тяжёлых металлов в клетках цианобактерий и микроводорослей // Вестн. МГУ. Сер. 16. 2003. № 3. С. 29–37.

Сиренко Л. А., Козицкая В. Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка, 1988. 256 с.

Скугорева С. Г., Огородникова С. Ю., Головкин Т. К., Ашихмина Т. Я. Фитотоксичность фосфорорганических соединений и ртути. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 152 с.

Сопрунова О. Б. Функционирование цианобактериальных сообществ в условиях техногенных экосистем // Вестн. МГУ. Сер. 16. 2006. № 2. С. 24–29.

Тиберкевич Н. Я., Сакевич А. И. Бактерии-спутники в культурах цианопрокариот т зелёных водорослей // Гидробиол. ж. 2001. Т. 37. № 1. С. 54–63.

Третьякова А. Н., Трефилова Л. В., Домрачева Л. И., Гребнева О. И. Потенциал цианобактерий в борьбе с патогенными грибами ели // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 80-летию ВНИИОЗ. Киров, 2002. С. 517–518.

Трефилова Л. В. Использование цианобактерий в агробиотехнологии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов. 2008. 25 с.

Фокина А. И. Влияние свинца на структуру фототрофных микробных комплексов почвы: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Сыктывкар. 2008. 23 с.

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

Шадрина О. И. Циано-бактериальные сообщества в практике рекультивации техногенных экосистем // Тез докл. 8 съезда Гидробиол. о-ва РАН. Т. 3. Калининград. 2001. С. 89–90.

Шнюкова Е. И. аккумуляция ионов металлов экзополисахаридами *Nostoc linckia* (Roth) Born. et Flach. (Cyanjphyta) // Альгология. 2005. Т. 15. № 2. С. 172–180.

Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

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

Andrade L., Keim C.N., Farina M., Pfeiffer W. C. Zinc detoxification by cyanobacterium from a metal contaminated by Brazil // Braz. Arch. Biol. and Technol. 2004. V. 47. № 1. P. 147–152.

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

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

Harel Y., Ohad I., Kaplan A. Activation of photosynthesis and resistance to photoinhibition in cyanobacteria within biological desert crust // Plant Physiol. 2004. V. 136. № 2. P. 3070–3079.

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

Lengke M. F., Ravel B., Fleet M. E., Wanyer G., Gordon R. A., Southam G. Mechanisms of gold bioaccumulation by filamentous cyanobacteria from gold (III) – chloride complex // Environ. Sci. and Technol. 2006. V. 40. № 20. P. 6304–6309.

Paperi R., Michaletti E., Phillippis R. Optimization of copper sorbing-desorbing cycles with confined cultures of the exopolysaccharide-producing cyanobacterium *Cyanospira capsulate* // J. Appl. Microbiol. 2006. V. 101. № 6. P. 1351–1356.

Parker D. L., Michalick J. E., Plude M. J., Clark T. P., Egan L., Flom J. J., Rauil L. C., Kumar H. D. Sorption of metals by extracellular polymers from the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa flos-aquae strain C 3-40* // J. Appl. Phycol. 2000. V. 12. № 3. P. 219–224.

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

Shashirekha S., Uma L., Subramaniam G. Phenol degradation by the marine cyanobacterium *Phormidium valderianum* // J. Ind. Microbiol. Biotechnol. – 1997. V. 19(2). P. 130–133.

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

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

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



## БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

*И. Г. Широких*

*д.б.н., зав. лабораторией генетики,*

*ГУ Зональный НИИ сельского хозяйства Северо-Востока РАСХН,*

*irgenal@mail.ru*

В настоящее время биотехнология растений всё в большей мере вовлекается в решение экологических проблем. К числу способствующих этому процессу факторов относятся неблагоприятные тенденции в изменении глобального климата и фантастически быстрая скорость трансформации условий обитания растений вследствие активной деградации биогеоценозов под воздействием техногенного давления человека. От того, насколько адаптируются зелёные растения на практически мгновенные с точки зрения эволюции изменения среды их обитания, во многом будет зависеть не только будущее флоры, но и всей современной цивилизации (Кузнецов, 2002). В этих условиях на первое место в стратегическом плане выходят новые биотехнологические методы улучшения сельскохозяйственных растений. Темпы и масштабы развития и применения биотехнологии в науке и производстве возрастают во всем мире. Современная фитобиотехнология охватывает широкий круг методов, отраслей объектов и задач, объединенных в несколько крупных блоков и направлений. Главным из них, составляющим стратегическое ядро, является генетическая инженерия, базирующаяся на достижениях современной молекулярной биологии. Но хронологически первыми являются методы культивирования изолированных клеток и ткани.

Развитие методов изолированной культуры ткани и клеток растений. Первые попытки культивирования растительных тканей были предприняты в прошлом столетии. Известный ботаник и физиолог растений Д. Габерландт в 1902 г. первым высказал мнение о возможности культивирования *in vitro* изолированных клеток растений. Однако прошло более трех десятилетий, прежде чем был достигнут прогресс в этой области.

Основоположниками метода культуры изолированных органов, тканей и клеток растений стали Ф. Уайт и Р. Готре. Они в 1932–1934 гг. установили, что изолированные ткани растений могут расти в культуре неопределенно долго, если их периодически переносить на свежую питательную среду. К 1955 г. *in vitro* успешно культивировали не только ткани, но и клетки растений. Были достигнуты успехи в области морфогенеза в культуре изолированных клеток и получении растений-регенерантов для многих видов двудольных растений. В результате проведенных работ было доказано, что практически каждая соматическая клетка обладает способностью к формированию целого растения, т.е. тотипотентна.

В 1960 г. английский исследователь Э. Кокинг предложил метод, основанный на разрушении клеточных оболочек с помощью пектинолитических и

целлюлитических ферментов. В настоящее время протопласты выделяют из тканей различных органов. Протопласты, высеянные на питательную среду, регенерируют клеточную стенку. Клетки переходят к делению, формируют каллус, из которого можно вырастить растения-регенеранты. Изолированные протопласты обладают способностью сливаться, в результате возникают соматические гибриды. Это явление лежит в основе клеточной инженерии высших растений. Таким образом, культивирование растительных клеток и тканей *in vitro* превратилось в разветвленную и многоплановую отрасль экспериментальной биологии и стало основой развития биотехнологии растений (Лутова, 2003).

Получение и культивирование каллуса. Регенерация растений. Каллусы на искусственных питательных средах, включающих фитогормоны, легко образуются на эксплантах из самых различных органов: из асептически прорастающих семян, отрезков стеблей и корней, изолированных фрагментов паренхимы, из листа, зародышей и др. Сущность получения каллуса заключается в том, что выделенный кусочек ткани (эксплант) стерилизуют и переносят на искусственную питательную среду, содержащую минеральные соли, органические вещества, фитогормоны. На такой питательной среде клетки начинают делиться. Различно дифференцированные клетки претерпевают *in vitro* дедифференциацию и переходят к делению, образуя первичный каллус (Бутенко, 1991). Возникший на эксплантах каллус через четыре-шесть недель переносят на свежую питательную среду (субкультивируют). Техника культивирования тканей позволяет получить длительную, пересадочную каллусную культуру из любых живых тканевых клеток интактного растения. Однако следует помнить, что длительное пассирование каллуса ведет к нежелательным эффектам: изменению ploидности культивируемых клеток, структурным перестройкам хромосом, накоплению генных мутаций, потере морфогенетического потенциала. Поэтому регенерация растений из каллуса нередко приводит к получению организмов с измененной морфологией, характеризующихся низкорослостью, неправильным жилкованием листьев, нарушением расположения листьев, пониженной жизнеспособностью (Шаяхметов, 1999). В связи с этим при использовании культуры каллуса, например, для микроразмножения, период неорганизованного роста должен быть сведен к минимуму.

Итак, каллус – это неорганизованная масса ткани, состоящая из дедифференцированных клеток. Способность каллусных клеток к морфогенезу определяется балансом в них фитогормонов группы ауксинов и цитокининов (Skoog, Mille, 1957), который зависит, во-первых, от уровня эндогенных фитогормонов, во-вторых, от уровня обеспечения тканей экзогенными регуляторами роста, в-третьих, от способности культивируемых клеток к рецепции и реакции на данные гормональные факторы (компетентности). Каллусные клетки, долго выращиваемые в условиях *in vitro*, теряют компетентность, что связано с накоплением генетических изменений, чаще всего цитогенетических (Журавлёв, Омелько, 2008).

Регенерация может осуществляться вследствие возникновения почек из существующих меристем или в результате редифференциации специализированных клеток, образования меристематических очагов с последующей диффе-

ренциацией стеблевых почек. Различие между этими процессами имеет важное значение, так как меристематическое происхождение растений обуславливает их генетическую идентичность родительским формам (Бутенко, 1991).

В целом, для любого типа регенерации *in vitro* можно выделить четыре группы факторов, определяющих ее успех: 1) генотип и состояние родительского растения; 2) состояние экспланта; 3) особенности введения экспланта в стерильную культуру; 4) условия культивирования. Разные виды растений *in vitro* способны к определенному типу регенерации.

Известно, что после регенерации растений из недифференцированной каллусной культуры или протопластов растения-регенеранты могут характеризоваться фенотипическими и генетическими изменениями со значимой частотой. Причина подобных изменений кроется в процессах, происходящих на стадии недифференцированного роста в культуре *in vitro*. Причины цитогенетической изменчивости (полиплоидизация, анеуплоидизация, хромосомные aberrации) культивируемых клеток разнообразны. Можно выделить ряд факторов, ответственных за генетическую изменчивость в культуре клеток: нарушение связи при выделении экспланта из растения; действие компонентов среды; влияние продуктов метаболизма, накапливающихся в среде; гетерогенность исходного материала и селекция клеток определенного типа. Таким образом, процесс культивирования клеток *in vitro* является богатым источником разного типа изменений. Наибольший интерес представляют наследственные изменения, которые являются источником новых форм растений - соматоклонов. Соматоклональная изменчивость нашла широкое применение в селекции и может быть использована для «улучшения» некоторых сортов и линий по отдельным признакам (Шаяхметов, 1999).

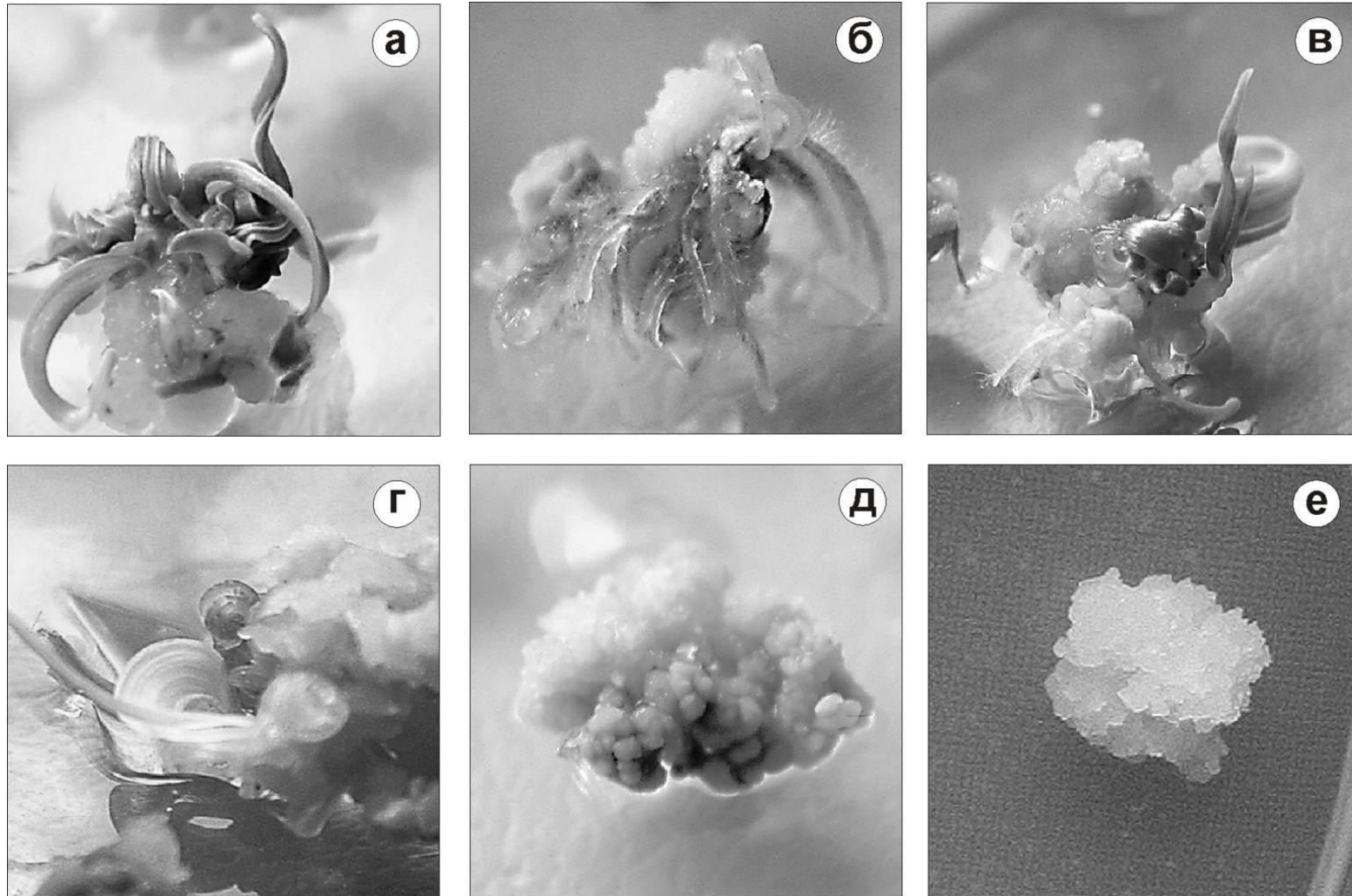
В качестве примера рассмотрим получение каллусной ткани ячменя с последующей регенерацией растений. Для введения растений в культуру *in vitro* используют в качестве эксплантов незрелые зародыши ячменя, изолированные на 12–16 день после опыления. Зерновки предварительно стерилизуют в течение 12 мин в свежеприготовленном 5% растворе хлорамина с последующим 3-кратным промыванием в стерильной бидистиллированной воде. Экспланты, извлеченные из зерновок в стерильных условиях, помещают щитком вверх (по 5–7 штук в пробирке) на поверхность скошенной агаризованной среды Мурасиге и Скуга с добавлением сахарозы (25 г/л), витаминов по Гамборгу и 2 мг/л дихлорфеноксиуксусной кислоты и культивируют при температуре 25–27 °С, освещенности 4 тыс. люкс и 16-ти часовом фотопериоде в течение 2–4 недель в зависимости от скорости развития культуры. При появлении корешков и проростков их периодически удаляют, чтобы стимулировать каллусообразование.

Для увеличения общей массы образующегося каллуса и подготовки условий для создания морфогенных очагов его пассируют на среду для пролиферации со сниженным до 1 мг/л содержанием дихлорфеноксиуксусной кислоты. В неорганизованной массе клеток появляются организованные структуры – морфогенные очаги, частота возникновения которых сильно варьирует в зависимости от генотипа донорного растения (Широких и др., 2009). Чаще всего это монополярные структуры, развивающиеся в последующих пассажах по типу стеб-

левого или корневого морфогенеза (рис. 1 а и б). Если в первом случае за стеблевым морфогенезом следует корневой, и формируются растения-регенеранты, то во втором случае получить растения-регенеранты, как правило, не удаётся. Реже в каллусной ткани наблюдается формирование биполярных зародышеподобных структур, из которых одновременно развиваются побеги и корни (рис. 1 в). Часть регенерантов, получаемых от различных исходных генотипов, представляет собой полностью или частично бесхлорофильные растения (рис. 1 г), которые, как сообщалось в литературе, появляются в культуре ткани злаков вследствие делеции части хлоропластной ДНК (Zhou, 1996) или ее инактивации транспозонами (Izawa et al., 1997). Вторичная дифференцировка каллусных клеток не всегда заканчивается морфогенезом и регенерацией растений. Иногда каллусная ткань претерпевает нормальный цикл развития, стареет и некротизируется без признаков морфогенеза (рис. 1 д). В отдельных случаях каллусная ткань сильно разрастается, увеличиваясь в объёме, но не переходит к вторичной дифференцировке, по-видимому, превращаясь в опухолевую (рис. 1 е).

Обычно культивируют каллусные растительные клетки, значительно реже – опухолевые клетки. По морфологии опухолевые клетки мало отличаются от каллусных, однако между ними существует значительное физиологическое различие – гормоннезависимый рост опухолевых клеток. Иначе говоря, опухолевые клетки могут расти на безгормональных средах. Кроме того, из опухолевых клеток практически невозможно получить нормальные растения-регенеранты.

**Клеточная селекция.** Одним из методов сельскохозяйственной биотехнологии является клеточная селекция, при которой отбор клеточных линий и растений с новыми наследственными признаками производится на уровне культивируемых *in vitro* клеток. Получение растений из отобранных в селективных условиях мутантных клеток возможно благодаря уникальному свойству растительной клетки – ее тотипотентности. Приемы культивирования растительных клеток и регенерации из них растений, разработанные для многих важных сельскохозяйственных культур, уже сейчас позволяют экспериментально реализовать возможности клеточной селекции, т.е. применять ее для создания новых сортов растений. Перечень мутантов с важными сельскохозяйственными признаками, селекция которых осуществима на клеточном уровне, довольно большой. К ним относятся мутанты устойчивости к стрессовым факторам, гербицидам, различным заболеваниям, сверхпродуценты незаменимых аминокислот (Бутенко, 1991).



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

В экспериментах по клеточной селекции растений на устойчивость к ионным стрессам используется метод прямой селекции, при котором в качестве селективного агента применяют токсические концентрации солей. Однако создание стрессовых селективных условий *in vitro*, идентичных таковым в природе, крайне затруднительно. В природных условиях помимо токсического действия ионов накладываются другие факторы, в частности, наличие различных веществ, кислые значения pH среды. Для селекции на клеточном уровне были предложены среды, которые хотя не полностью соответствовали естественным стрессовым условиям, все же обеспечивали экспрессию признака устойчивости и давали возможность отбирать нужные варианты. Создание таких специальных сред было необходимо, например, для селекции на устойчивость к алюминию. Для выделения устойчивых вариантов томатов была предпринята прямая селекция, при которой необработанные мутагеном суспензионные клетки переносили на Al-токсичную среду и через 123 дня производили отбор, или после 10-дневного культивирования клеток на селективной среде их высаживали на неселективные с последующей идентификацией устойчивых клонов. Устойчивые к алюминию клеточные линии, а также растения-регенеранты получены у сорго, сои и моркови.

В наших исследованиях путём селекции на кислых селективных средах с алюминием были получены устойчивые каллусные линии ячменя, овса и озимой ржи с последующей регенерацией из них растений (Широких, 2007). Семенное потомство растений-регенерантов передано в практическую селекцию и имеется в настоящее время на всех этапах селекционного процесса ячменя (рис. 2). В других лабораториях путем прямой селекции *in vitro* отобраны клеточные линии петунии, устойчивые к ртути; клеточные линии моркови, одновременно устойчивые к алюминию и марганцу; суспензионные клеточные культуры дурмана и томата, устойчивые к кадмию, которые отбирали на среде с  $CdCl_2$  (Биотехнология растений, 1990). При постоянном повышении в среде концентрации  $CdSO_4$  были выделены линии, устойчивые к 500-2000 мкМ кадмия. После 3 месяцев культивирования на обычных средах устойчивость к кадмию сохранялась, причем обнаруживалась перекрестная устойчивость к цинку и меди (Лутова, 2003). Следует, однако, отметить, что не всегда удается получить растения из устойчивых клонов, а среди полученных растений многие не обладают устойчивостью, свойственной клеточным линиям.

**Культура растительных протопластов. Соматическая гибридизация.** Этапным периодом для развития метода культуры клеток можно считать 70-е годы прошлого века, когда были сделаны успехи в разработке способа получения изолированных протопластов растений, а также открытие гибридизации соматических клеток. Изолированные протопласты высших растений стали объектом клеточного конструирования путем гибридизации или введения в них чужеродного генетического материала (клеточных органелл). Применение методов клеточного конструирования служит задачам получения растений с новыми свойствами (в силу тотипотентности растительной клетки).

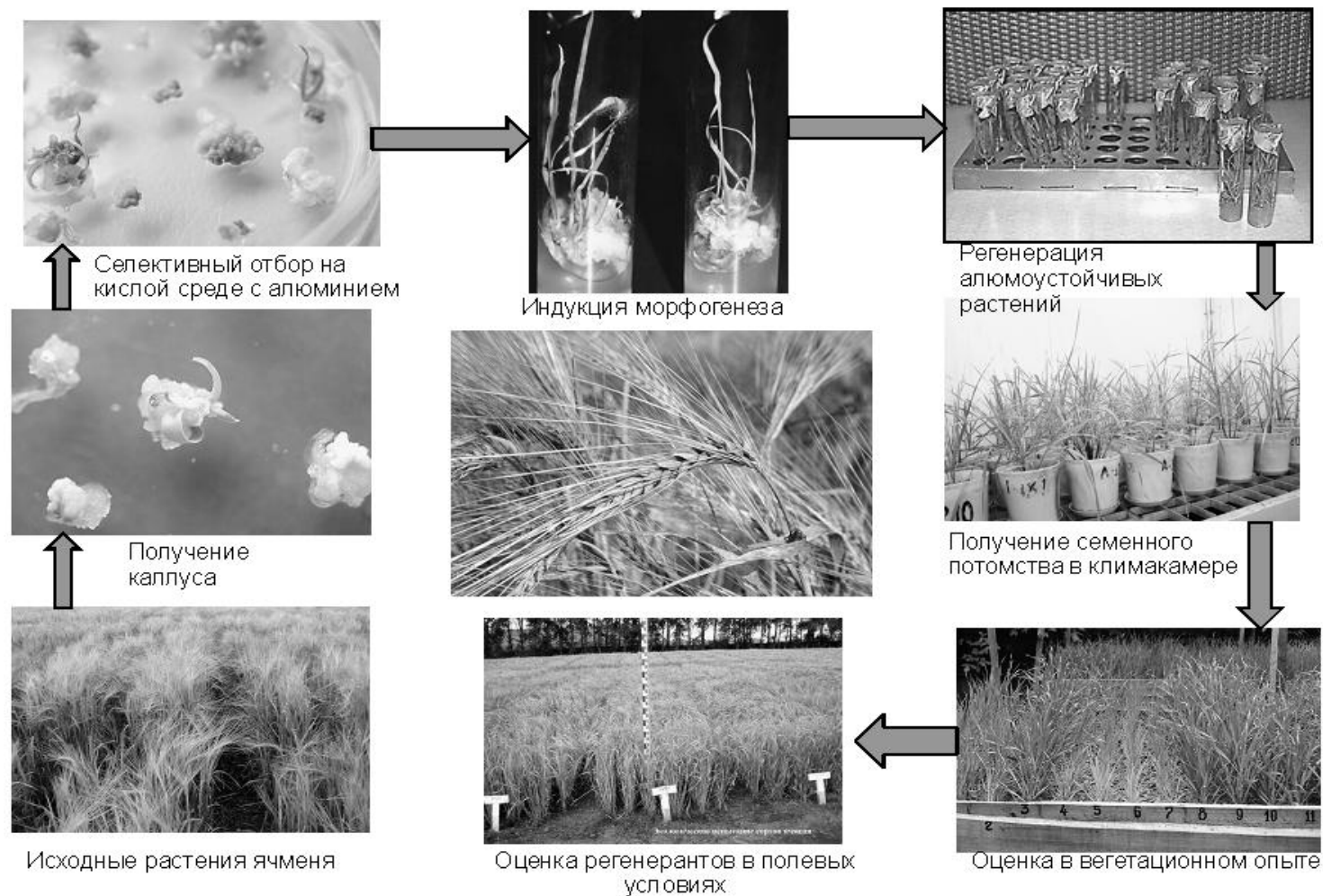


Рис. 2. Схема создания форм ячменя, устойчивых к токсичности алюминия на кислых почвах

Протопласт – это живое содержимое клетки, лишенное пектоцеллюлозной оболочки. Протопласты способны осуществлять активный метаболизм и выполнять биосинтезы. Впервые выделение протопласта было осуществлено механическим способом в связи с изучением плазмолиза Дж.Клеркером в 1892 г. (Лутова, 2003). Механическим способом можно выделить небольшое количество протопластов. Кроме того, этим методом трудно получить протопласты из меристематической или зрелой ткани. Другой метод получения изолированных протопластов – энзиматический. В этом случае для удаления клеточной стенки используют пектолитические и целлюлолитические ферменты. Осмотические стабилизаторы: Д-маннит, Д-сорбит, сахарозу и глюкозу, применяют для выравнивания давления внутри клетки и вне её. Концентрацию осмотических стабилизаторов подбирают для конкретного вида растения и его физиологического состояния. Изолированные протопласты выделяют из тканей различных органов высших растений: корней, листьев, цветков, плодов, опухолей различного происхождения. Для получения протопластов используют клеточные суспензии и каллусные культуры, в этом случае нет необходимости в стерилизации исходного материала. Сразу после удаления раствора фермента у протопластов начинается образование клеточной стенки. После регенерации клеточной стенки, образовавшиеся клетки могут начать деление. Через некоторое время они образуют микроколонии, состоящие из 20-40 клеток. Затем из микроколоний образуются нормальные, хорошо развитые пролиферирующие каллусные ткани. Из каллусов можно получить растения-регенеранты (Биотехнология растений, 1990). Сегодня выделение протопластов, их культивирование и регенерацию целых растений успешно осуществляют для видов семейства пасленовых. Несмотря на то, что выделение протопластов технически хорошо отработанная процедура, получить жизнеспособные протопласты непросто. Это зависит от многих факторов: состава ферментов, их качества, pH среды и выбора осмотического раствора и др. Большое значение имеет физиологическое состояние растительного материала, его возраст, условия выращивания.

Все работы по созданию новых, более совершенных растительных форм до последнего времени проводили лишь путем полового скрещивания растений и последующего отбора желаемых генотипов. Это накладывает ряд ограничений как на возможности комбинирования генов, так и на скорость селекционного процесса. Разработанная за последнее время технология соматической гибридизации высших растений путём слияния протопластов и регенерации продуктов слияния до целых растений позволяет обойти часть ограничений, свойственных половому процессу, и открывает заманчивые перспективы перед генетиками, физиологами, биохимиками растений и селекционерами (Бутенко, 1991).

Применение методов соматической гибридизации позволяет успешно преодолевать естественную нескрещиваемость филогенетически отдаленных видов растений и, кроме того, создавать дополнительные резервы наследственной изменчивости. К настоящему времени опубликовано более 1000 работ, где описаны результаты изучения различных соматических гибридов. Часть из них, несомненно, представляет практический интерес для селекционеров.



Слияние протопластов приводит к образованию либо гибрида, либо цибрида. Цибридная клетка содержит цитоплазму обоих партнеров, а ядро - одного. Это возможно, если после слияния протопластов не происходит слияния ядер, и одно ядро дегенерирует. Цибридизация позволяет ввести цитоплазматические гены, несущие признаки ЦМС, устойчивости к некоторым гербицидам и патогенам.

Этим методом получено большое количество межвидовых, межсемейственных и межтрибных гибридов. Однако в большинстве случаев гибридные растения, полученные таким путем, в той или иной степени ненормальны. Примером может служить соматический гибрид между арабидопсисом и турнепсом, который является растением-монстром. Возникающие аномалии являются результатом хромосомной несбалансированности (Биотехнология растений, 1990).

Путём слияния протопластов картофеля и томатов в 1978 г. Мельхерсом был получен гибрид (томофель, помато, кармате), объединяющий черты того и другого вида. Это растение даже экспонировалось на Всемирной выставке ЭКСПО в Японии. Однако, практической ценности этот безусловно выдающийся научный успех не имел: плоды гибрида оказались «вечно зелеными» и несъедобными как у картофеля, а подземные клубни слишком мелкими и содержали мало крахмала.

**Трансформация растений.** В конце XX века огромный размах получили работы по переносу генов, основанные на использовании техники рекомбинантной ДНК. Гены могут быть заимствованы из таких источников, как животные, бактерии, вирусы, а также растения и введены в культурные виды растений. Данная техника переноса ДНК позволяет использовать существующий природный генофонд и вновь синтезированные молекулы ДНК. Генетическая трансформация является одним из современных эффективных методов. Этот подход позволяет успешно решать целый ряд задач, связанных с повышением продуктивности, стрессоустойчивости растений, а также качества растительной продукции. У растений известны два пути естественной трансформации: с помощью вирусов или виридов, а также с помощью Ti- или Ri- плазмид агробактерий. На основе этих систем был осуществлен успешный перенос рекомбинантных ДНК в растительную клетку (Лутова, 2003).

**Основные принципы конструирования векторных систем.** Понятием «вектор» обозначают рекомбинантную молекулу ДНК (РНК), способную переносить встроенный в нее ген в клетку хозяина. Идеальный вектор должен содержать в себе элементы, обеспечивающие его автономную репликацию в клетке хозяина. Для этого обычно используют репликативные элементы, входящие в состав естественных плазмид соответствующего объекта. К сожалению, у растений такие плазмиды (не считая митохондриальных и хлоропластных) до сих пор не обнаружены. Поэтому растительные вектора предназначены либо для интеграции в хромосому (что осуществляется в естественных системах трансформации растений), либо для временной трансформации, когда введенная ДНК не реплицируется при делении трансформированной клетки, а потому довольно быстро утрачивается. Любой вектор должен нести генетические

маркеры, позволяющие легко обнаружить трансформированные клетки. В качестве таких маркеров обычно используют гены, обуславливающие устойчивость к антибиотикам. Кроме того, в составе вектора должен находиться полилинкер, служащий для встраивания гена. Часто перед полилинкером располагают последовательности, обеспечивающие экспрессию встроенного гена, которого, как правило, предварительно лишают собственного промотора. Наконец, необходимо, чтобы вектор содержал участки, обеспечивающие его удобное воспроизведение в бактериальных клетках: *ori*-локус, осуществляющий репликацию вектора в бактерии, а также соответствующий селективный маркер.

**Агробактериальная система трансформации.** Исследования почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens* привело к открытию естественной векторной системы, переносящей гены бактерии в растительный геном. При нанесении культуры агробактерий на раневую поверхность растения бактерии присоединяются к растительной клеточной стенке. Это присоединение определяется бактериальными генами, локализованными в нуклеоиде. Затем включаются гены, локализованные в *vir*-районе (*virulent area*) *Ti*-плазмиды (*tumor inducing*). В результате экспрессии этих генов другой участок *Ti*-плазмиды, *T*-ДНК (*transfer*), переносится в растительную клетку и случайно встраивается в хозяйскую хромосому. В составе ДНК переносятся гены биосинтеза ауксина и цитокинина, в результате трансформированная клетка приобретает опухольные свойства. Таким образом, при использовании агробактериальных векторов, содержащих бактериальные онкогены, резко ограничена возможность регенерации из трансформированных тканей полноценных растений. По этой причине используются, главным образом, обезоруженные плазмиды, т. е. плазмиды, лишённые онкогенов.

Кроме естественных способов трансформации используют ряд искусственных методов. Рассмотрим некоторые из них (Шевелуха, 2003).

**Электоропорация.** Одна из модификаций метода прямой трансформации протопластов. Клетки подвергают кратковременному (10-100 мкс) воздействию электромагнитного разряда, быстрая поляризация клеточных мембран приводит к их обратимому повреждению (образованию пор), что сопровождается повышением их проницаемости для макромолекул. В это время происходит эффективный перенос экзогенных молекул ДНК внутрь клеток, подвергнутых электрошоку. Так, с помощью электропорации в протопласты *Nicotiana tabacum* был перенесён ген САТ (хлорамфеникол ацетил-трансфераза), экспрессия которого наблюдалась в трансформанте. В настоящее время электропорация стала стандартным методом трансформации протопластов. Однако все попытки выполнить электропорацию клеток с клеточной стенкой не дали результата.

**Электрофорез.** Предполагали, что методом электрофореза можно осуществить перемещение ДНК внутрь клетки под длительным воздействием электрического поля. Однако, несмотря на некоторые первоначально обнадеживающие результаты электрофорез не обеспечивает проникновения ДНК через клеточную стенку. Таким образом, электрофорез и электропорацию можно использовать только для трансформации протопластов.

**Трансформация зародышей.** Как уже было отмечено, клеточная стенка служит непреодолимым барьером для ДНК. Поэтому при попытках разработать методы прямой трансформации интактных клеток особые надежды возлагали на прямую трансформацию зародышей, клеточные стенки которых очень тонкие. Действительно, инкубация зародыша (в первых экспериментах использовались зародыши злаков) в растворе ДНК, судя по многочисленным данным, приводит к успешной трансформации. Первоначально эти результаты истолковывали как успешный пример переноса ДНК через клеточную стенку. Однако в результате более полных исследований было установлено, что во время отделения зародыша от эндосперма происходят многочисленные повреждения клеточных стенок зародыша, с частичным обнажением мембран. Вероятно, именно через эти обнаженные участки плазмалеммы и происходит перенос ДНК внутрь клеток зародыша.

Повреждение более толстых клеточных стенок можно осуществлять с помощью микролазера. Фокусируя лазер на участке клетки, частично повреждают клеточную стенку и мембрану. При инкубации таких «перфорированных» клеток с ДНК последняя может проникать в цитоплазму. **Биобаллистика.** В основе этого метода лежит использование «пушки», стреляющей в растительные клетки микроснарядами-частицами металла с адгезированными на них молекулами ДНК. Движущиеся на большой скорости частицы пробивают клеточную стенку, проникают в клетку, и привносимая ДНК может встраиваться в геном хозяина. При этом растительная клетка не получает значительных повреждений и не теряет своей жизнеспособности.

Таким образом, новейшие достижения в области клеточной и генной инженерии во многом определяют возможности селекционного совершенствования культурных растений. Благодаря развитию методов культуры изолированных тканей и клеток стало возможным осуществление генетической трансформации и получение трансгенных растений. Интерес исследователей к генетической трансформации высших растений возрастает в связи с появлением клонированных генов бактериального и растительного происхождения, а также с расширением круга растений, доступных для манипуляции на клеточном уровне. Технологии клеточной и генной инженерии растений имеют огромные перспективы для растениеводства и селекционного процесса, особенно в условиях активной деградации биогеоценозов под воздействием техногенного давления человека и наметившихся неблагоприятных тенденций в изменении глобального климата.

### **Библиографический список**

Биотехнология растений. Клеточная селекция / под ред. Ю. Ю. Глеба. Киев: Наукова думка, 1990. 280 с.

Бутенко Р. Г. Биология культивируемых клеток и биотехнология растений. М.: Наука, 1991. 280 с.

Журавлёв Ю. Н., Омелько А. М. Морфогенез у растений *in vitro* // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 5. С. 643–664

Кузнецов В. В. Растение и стресс, или жизнь на грани жизни // Вестник РАН. 2002. Т. 72. № 7. С. 659–662.

Лутова Л. А. Биотехнология высших растений: Учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2003. 228 с.

Шаяхметов И. Ф. Соматический эмбриогенез и селекция злаковых культур. Уфа: Изд-во Башкирск. Ун-та, 1999. 166 с.

Шевелуха В. С. (Отв. ред.) Сельскохозяйственная биотехнология: Учеб. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2003. 421 с.

Широких И. Г. Клеточные и микробные технологии в повышении эффективности растениеводства (CD-ROM) // Биотехнология как научно-практический приоритет развития Кировской области. Сб. материалов международн. конф. 26–28 июня 2007 г. Киров в 2 томах. Т. 1., Киров: ВГУ, С. 62–68.

Широких И. Г., Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Получение *in vitro* форм ячменя, устойчивых к токсическому действию алюминия в кислых почвах // Биотехнология. 2009. № 3. С. 40–48.

Izawa T., Ohnishi T., Nakano T., Ishida N., Enoki H., Hashimoto H., Itoh K., Terada R, Wu C., Miyazaki C., Endo T., Iida S., Shimamoto K. Transposon Tagging in Rice // *Plant Mol. Biol.* 1997. V. 35. P. 219–229.

Skoog F., Miller C. Chemical Regulation of Growth and Organ Formiration in plant Tissues Cultured *in vitro*// *Sympos. Soc. Exper. Biol.* V.11. P. 118.

Zhou H. Green Plant Regeneration from Anther Culture in Cereals // *In Vitro Haploid Production in Higher Plants / Eds Jain S. M., Sopory S. K., Veilleux R. E.* Dordrecht: Kluwer, 1996. V. 2. P. 169–187.

## МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БИОМОНИТОРИНГА

*Т. К. Головки*

*д.б.н., профессор, зав. лабораторией экологической физиологии растений, Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, golovko@ib.komisc.ru*

**Растения и их значение.** Человечество не могло бы существовать без мира растений. Фитомасса составляет около 99% всех живущих на планете организмов. Уникальной функцией растений является фотосинтез – процесс, с помощью которого космическая энергия Солнца трансформируется в энергию химических связей органических соединений. Продукты фотосинтеза составляют основу для жизнедеятельности всех гетеротрофных организмов – от бактерий до человека. Растения обеспечивают нас пищей, лекарствами, одеждой, топливом, строительными материалами и др. Остатки растительных организмов сформировали грандиозные запасы горючего сырья (уголь, нефть, газ), которые являются основой современной энергетики и химической промышленности. Растения ежегодно поставляют в атмосферу Земли около 100 млрд. т кислорода и связывают 200 млрд. т CO<sub>2</sub>. Они защищают почву от эрозии, оказывают влияние на климат, участвуют в очистке природной среды от загрязнителей.

**Растения и среда.** Растения являются открытой системой, постоянно взаимодействуют со средой, обмениваясь с ней веществом и энергией. Под средой понимают комбинацию всех биотических и абиотических внешних условий, действующих на индивидуальные растительные организмы или сообщества в их местообитаниях. Фитосфера – это среда, непосредственно окружающая растения (Larcher, 2003). Факторы среды фитосферы контролируют процессы жизнедеятельности и обеспечивают условия для прохождения жизненного цикла растений. Здесь протекают функциональные, морфогенетические и эволюционные процессы, участвующие в отборе.

Фитосфера – это часть биосферы. Все живые организмы и их местообитания составляют биосферу Земли. Растения обитают в разных уголках земного шара: океанах, поверхностных водах, на суше и даже в таких крайне неблагоприятных условиях, как льды и пустыни. Растения постоянно взаимодействуют со средой, являются частью неорганической и органической среды. Экологические обратные связи между биосферой и абиотической средой включают потоки энергии, циклы веществ и взаимосвязи между экологическими системами. Все вместе они создают экосферу. Группы организмов, живущих в экосистемах пространственно и функционально определенной части экосферы (например, лес или луг), внутренне взаимосвязаны.

**Загрязнение окружающей среды – глобальная экологическая проблема.** Усиленные темпы потребления природных ресурсов, загрязнение окружающей среды отходами промышленного и сельскохозяйственного производства, коммунального хозяйства поставили человечество на грань экологической катастрофы. В результате хозяйственной деятельности ежегодно в атмосферу

поступает более 200 млн. т двуокиси углерода, около 146 млн. т диоксида серы, 53 млн. т оксидов азота и других химических соединений (Арустамов, 2004).

Особенно значительны выбросы поллютантов в атмосферу промышленно развитых стран. Так, на территории США в атмосферу ежегодно выбрасывается свыше 0,2 биллионов т загрязняющих веществ, которые наносят ущерб здоровью человека и негативно воздействуют на растения (Mason, Mattson, 1990; цит. по Ansari, 1999).

Воздух – смесь газов, в норме бесцветный, без запаха и вкуса. Основными компонентами являются азот (78%) и кислород (21%). В минорных количествах присутствуют аргон (Ar), диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), неон (Ne), гелий (He), метан (CH<sub>4</sub>), бром (Br), водород (H<sub>2</sub>), оксид углерода (CO), озон (O<sub>3</sub>), оксиды серы и азота, водяные пары. Этот состав воздуха сформировался в течение 4,5 биллионов лет эволюции и сделал нашу планету местом, пригодным для жизни. В истории Земли человек (*Homo sapiens*) появился значительно позже, но его деятельность привела к существенным изменениям в окружающей среде. Влияние человека на атмосферу стало особенно заметным в последние несколько десятилетий. Индустриализация привела к бурному развитию промышленности, интенсивному использованию энергоносителей, минеральных и биоресурсов, урбанизации, созданию ядерного и химического оружия, производству и использованию химических удобрений, новых материалов, росту населения в развивающихся странах. Результаты не замедлили сказаться и проявились в нарушении состава и загрязнении атмосферы.

Поллютанты могут переноситься на огромные расстояния от места их образования. Эмиссия диоксида серы, азота, оксида углерода и некоторых других веществ, приводит к выпадению «кислых» дождей, оказывающих сильное влияние на природную среду. Так, повышение кислотности воды в более чем 15000 озер Швеции вызвало снижение биоразнообразия водных экосистем, явилось основной причиной исчезновения чувствительных видов растений. Выпадение кислотных дождей приводит к снижению pH почвенного раствора. Закисление почв ограничивает выращивание многих сельскохозяйственных культур.

Увеличение масштабов сжигания угля, нефти, газа и других энергоносителей привело за последнее столетие к повышению уровня атмосферного CO<sub>2</sub> с 0.028 до 0.036% (Keeling et al., 1995). В ближайшие 50 лет предполагается удвоение его концентрации, что по прогнозам учёных вызовет усиление «парникового эффекта», приведет к потеплению и аридизации климата, нестабильности погоды. Отмечена также устойчивая тенденция к росту концентрации озона в нижнем слое атмосферы (тропосфера). В воздушной среде над промышленно развитыми районами концентрация озона на порядок выше, чем в незатронутых районах. Это является результатом накопления продуктов сгорания нефти, газа, угля. Под действием УФ-радиации CO, NO<sub>2</sub>, RH и др. продукты превращаются в озон (O<sub>3</sub>), который обладает высокой реакционной способностью. При взаимодействии с химическими компонентами клетки он продуцирует кислородные радикалы, повреждающие растения.

В литературе (Larcher, 2003) приводится множество примеров, свидетельствующих о том, что концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воз-

духе импактных районов может быть превышена в десятки и сотни раз. Средняя продолжительность пребывания в атмосфере молекул поллютантов сильно варьирует в зависимости от их типа: от нескольких дней ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) или месяцев ( $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ) до нескольких лет ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Источники загрязнения весьма разнообразны, и они поставляют в биосферу десятки и сотни химических веществ (Орлов и др., 2002). Прежде всего, это добыча минерально-сырьевых и энергетических ресурсов. Огромное количество разнообразных твердых, жидких и газообразных отходов образуется в металлургии, на химических производствах и нефтеперерабатывающих предприятиях, тепловых электростанциях. Значительное количество загрязняющих веществ приходится на долю транспорта. В составе выбросов автотранспорта обнаружено более 200 компонентов, включая монооксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, углеводороды, тяжелые металлы и др. Применение минеральных удобрений, пестицидов и гербицидов в сельском хозяйстве привело к их появлению в почвах и загрязнению продукции. Опасность для природной среды представляет и бытовые отходы.

Хозяйственная деятельность человека модифицирует природную среду, оказывает сильное влияние на сложившийся в ходе эволюции биогеохимический круговорот элементов. Так, по некоторым оценкам производство и применение азотных удобрений достигло масштабов природного круговорота азота. С добычей руд тяжелых металлов связано появление антропогенных биогеохимических аномалий. Сжигание топлива и вырубка лесов привели к повышению содержания  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе за последние 50 лет на 25%. Увеличение выбросов продуктов сгорания, хлора, фреонов, аэрозолей и растворителей считается одной из основных причин повышения содержания озона в тропосфере. Значительно изменился круговорот воды, вследствие чего усиливается аридизация и неустойчивость климата.

В условиях возрастающего антропогенного загрязнения окружающей среды все более актуальной становится проблема тяжелых металлов (ТМ). В большинстве случаев поллютанты содержат мышьяк, кадмий, кобальт, хром, медь, ртуть, свинец, никель, цинк, что является причиной их высокой фитотоксичности.

**Влияние поллютантов и тяжелых металлов на растения.** Реакция растений на присутствие в среде загрязняющих веществ зависит от множества факторов биотической и абиотической природы – устойчивости генотипа, его возраста, фазы развития, жизненной формы, климатических и эдафических условий, а также химической природы, концентрации и продолжительности действия поллютанта. Например, воздушные поллютанты наиболее опасны для растений в дневные часы, когда устьица обычно открыты полностью. Токсическое действие ТМ обусловлено их способностью взаимодействовать с функциональными группами биомолекул и, прежде всего, белков, влиять на их структуру и инактивировать. Это приводит к нарушению метаболизма и функций растительных клеток.

В естественных условиях эффект поллютантов на растения часто модифицируется другими одновременно действующими природными стресс-

факторами. Существует мнение, что растения импактных территорий более чувствительны к действию природных факторов биотической и абиотической природы. Они сильнее страдают при засухе, заморозках, повреждаются вредителями и болезнями. Однако это не всегда так. Например, на Кольском п-ове в условиях загрязнения среды выбросами медно-никелевого комбината (г. Мончегорск) состояние деревьев сосны обыкновенной было лучше, а их высота больше на участках с сильным загрязнением (Кайтера и др., 2001; Fedorkov et al., 2007). Это связано с ингибирующим действием поллютантов на развитие грибных болезней сосны. Сильное загрязнение тяжелыми металлами и кислыми поллютантами препятствует заражению, так как токсично для сумчатого гриба *Gremmeniella abietina* – возбудителя побегового рака хвойных.

Острые повреждения от поллютантов проявляются в нарушении целостности покровов листа, эрозии кутикулы, дехромации листьев, разрушении хлорофилла, возникновении некротических пятен, отмирании отдельных частей или всего растения. Хроническое повреждение вызывает снижение роста, продуктивности, плодоношения. У древесных отмечают подавление камбиального роста, изменение структуры древесины, уменьшение содержания запасных веществ, компонентов клеточной стенки (целлюлоза, лигнин и др.).

**Использование растений в целях биомониторинга и биоиндикации.** В качестве **биоиндикаторов** используют чувствительные к загрязнению организмы и их сообщества. Оценку можно проводить как по накоплению поллютантов в индикаторных организмах, так и по изменению процессов их жизнедеятельности. Индикаторные организмы реагируют снижением активности вплоть до исчезновения или, наоборот, усилением роста и репродукции. Хорошими индикаторами атмосферного загрязнения являются лишайники, обитающие на деревьях, камнях, стенах. По обилию и видовому составу сообщества можно идентифицировать импактную зону.

**Тестовые организмы** отличаются высокой чувствительностью к определенным поллютантам. В стандартных условиях на основе морфо-физиологических и/или биохимических критериев можно оценить не только присутствие, но и в некоторых случаях количество фитотоксичных веществ.

В **мониторинговых** работах обычно используют виды природной флоры, проявляющие специфические реакции на поллютанты. В этом отношении весьма полезны растения гипераккумуляторы, способные поглощать и накапливать поллютанты в больших количествах, например, грибы.

**Методы и подходы экологической физиологии растений.** Проблемы приспособления живых организмов к среде обитания давно привлекают внимание биологов и являются предметом исследований специалистов различных направлений: от эволюционистов и экологов до молекулярных биологов. Важное место в этом ряду принадлежит экофизиологам.

Экологическая физиология растений – наука о взаимодействии растений с окружающей средой, о реакциях процессов их жизнедеятельности на постоянно изменяющиеся условия, об адаптации и устойчивости к действию различных стрессоров (Головкин, 2005, 2007). Другими словами, экологическая физиология рассматривает, как растения взаимодействуют с физическими, химиче-



скими и биотическими условиями произрастания на функциональном уровне. Являясь частью общей физиологии растений, современная экофизиология успешно сочетает методы физико-химической, молекулярной и классической биологии. Это позволяет интегрировать знания о механизмах реализации функций растительного организма в различных условиях, углубляет понимание функционального значения определенных свойств растений в связи с географическим распространением и эволюционной историей видов.

В настоящее время в связи с обострением проблем региональной и глобальной экологии прослеживается тенденция расширения круга проблем современной экофизиологии. На ее основе формируется и интенсивно развивается более общая наука – физиологическая (функциональная) экология. По нашему мнению, эти генетически родственные науки отличаются по уровню сложности биологических систем, являющихся предметом их рассмотрения. Для экологической физиологии растений верхний уровень ограничивается преимущественно индивидуумом (целостным растительным организмом) и лишь в той или иной мере затрагивает уровни ответственности физиологической экологии (популяции, сообщества, экосистемы).

Методы и подходы, с помощью которых экофизиологи исследуют механизмы устойчивости и адаптации растений к биотическим и абиотическим факторам среды, представляют большой интерес для выявления и оценки антропогенных воздействий на растительные системы.

Отличительной особенностью и фундаментальным свойством растительного организма является способность к постоянному росту. Растения, в отличие от животных (которые растут только в периоды эмбриогенеза и молодости), растут практически до самой смерти. В верхушке побега и кончике корня в течение всей жизни функционируют апикальные меристемы, сформированные при развитии зародыша (Полевой, Саламатова, 1991). В апексах побега и корня постоянно образуются новые клетки. Благодаря специфическому для растений росту растяжением эти клетки затем увеличиваются в размере.

Рост – это новообразование органов, тканей, клеток, субклеточных структур. Качественные изменения в новообразовании элементов структуры, возникающие в процессе онтогенеза, называют развитием. В ходе роста и развития интегрируются все функции растительного организма, запасается энергия, формируется биомасса, реализуется жизненная стратегия видов. Рост является наиболее чувствительным к неблагоприятным воздействиям процессом. Торможение роста часто является наиболее очевидной реакцией на действие различных стресс-факторов, в том числе, антропогенных. Характеристика роста дополняет исследования механизмов влияния стресса на растения. Анализ роста является ключевым при изучении продуктивности растений.

Влияние поллютантов, тяжелых металлов и других видов загрязнения среды оценивают по изменению биомассы (лучше сухой) и/или линейных параметров растений. Изменения биомассы тест-объектов регистрируют взвешиванием в течение определенного отрезка времени. Весовые характеристики органов характеризуют распределение биомассы в целом растении. Часто органы, непосредственно контактирующие с фитотоксичными веществами, проявляют

наибольшее изменение в росте. Так, например, при загрязнении почвы тяжелыми металлами рост корней ингибируется сильнее, чем рост побегов (Титов и др., 2003; Скугорева и др., 2008), что приводит к изменению соотношения надземной и подземной биомассы. О нарушении в распределении биомассы по органам можно судить также по изменению линейных (длина корней, высота побегов, длина и ширина листьев, для рассеченных – верхушечной доли) и численных параметров растений (число боковых корней, листьев, побегов).

При анализе роста часто используют производный параметр – относительную скорость роста (RGR). Его величину рассчитывают по уравнению:

$$RGR = (dW/dt) \times (1/W) \quad (1)$$

где  $W$  – биомасса, г;  $t$  – время, сут.

На практике среднее значение RGR измеряют за какие-либо интервалы времени (от  $t_1$  до  $t_2$ ), обычно не менее суток, и рассчитывают по формуле:

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Относительная скорость роста – это наклон кривой  $\ln W$  относительно времени в каждый данный момент времени.

Помимо описанного выше классического подхода к изучению роста, при котором параметры роста вычисляются непосредственно по разнице биометрических показателей растений, существует и, так называемый, функциональный подход. Он предполагает применение ростовой функции к биометрическим данным и требует определения важного индикаторного параметра – площади листовой поверхности растения. Более подробную информацию можно найти в ряде руководств (Radford, 1967; Ламан и др., 1996).

В литературе приводится большое количество данных о влиянии на рост разного рода загрязняющих веществ и, особенно, тяжелых металлов (см. Скугорева и др., 2008). Показано, что подавление роста корня в присутствии ТМ обусловлено торможением клеточных делений и роста клеток растяжением. Торможение роста растяжением происходит вследствие усиления лигнификации и снижения упругости клеточных стенок.

В наших опытах высокие дозы кадмия в питательном растворе оказывали сильный эффект на процессы роста: относительная скорость роста ячменя снижалась в 2–3 раза (Гармаш, Головко, 2009). Пониженная температура усилила степень ингибирующего воздействия металла на рост растений в результате подавления процессов его иммобилизации и детоксикации.

В микрополевых опытах наиболее восприимчивыми к действию нитрата ртути были растения салата (Скугорева, Головко, 2007). При 10 ПДК накопление биомассы снизилось вдвое по сравнению с контролем, при 25 ПДК – растения погибали. При 25 ПДК ртути выявили снижение сухой массы редиса и кресс-салата до 70% от контрольной величины. Сравнительно устойчивой к действию ртути оказалась культура ячменя (Скугорева, Головко, 2008). Под действием ртути (Hg) у 25-дневных растений отмечали увеличение линейных размеров и накопления биомассы побегов. У 80-дневных растений (фаза молочной спелости) положительный эффект загрязнения Hg на рост сохранялся. Однако Hg оказывала ингибирующее действие на формирование репродуктивных органов. При дозах 25 и 50 ПДК биомасса и число колосьев снижались в

1.5-2.5 раза, а средняя масса колоса уменьшалась на 25% по сравнению с контролем.

Следует отметить, что одна и та же доза Hg (10 ПДК) на гидропонике тормозила рост, на почвенном субстрате – усиливала. Это обусловлено способностью почвы адсорбировать ионы ТМ и переводить их в труднодоступную форму. Почва обладает большой ёмкостью поглощения и высокой буферностью по отношению к физическим и химическим воздействиям. В процессах механической фильтрация, сорбции, минерализации органического вещества различные поллютанты эффективно связываются почвой. В результате уменьшается поступление токсичных соединений в грунтовые воды, снижается их поглощение растениями. Большую роль играют микоризы или микоризные ассоциации, которые защищают корневые системы от фитопатогенных организмов, ослабляют токсическую нагрузку на растения тяжелых металлов и других поллютантов, облегчают адаптацию к различным стрессорам (Jentschke, Godbold, 2000).

Хотя рост считается необратимым процессом, сопровождающимся увеличением биомассы, у стрессированных растений возможен отрицательный рост. Часто снижение биомассы обусловлено сбрасыванием листьев, веток, плодов, коры, отмиранием корней. Это можно рассматривать как адаптивный признак, позволяющий растениям избавляться от накопленных токсичных элементов.

Определение скорости роста по накоплению биомассы трудоемко и связано с уничтожением растений. Чтобы достоверно оценить различия между импактными и контрольными вариантами, для каждого последующего измерения приходится отбирать новые растения в большой биологической повторности.

Можно существенно ускорить и облегчить получение информации о росте, оценив запасание энергии растением. Это позволяет использование термодинамической модели, связывающей рост с дыханием и теплопродукцией (Хансен и др., 1996). В модели скорость роста дана как скорость запасания энергии, пропорциональная общей скорости продуцирования энергии в дыхании минус потери энергии при теплопродукции. Измерить оба параметра можно с помощью микрокалориметра (Бойко и др., 2008).

Мы использовали микрокалориметрию для изучения эффектов на растения метилфосфоновой кислоты (МФК) – весьма распространенного фосфорорганического ксенобиотика. Производные МФК входят в состав гербицидов и пестицидов. Могут попадать в среду в качестве конечного продукта переработки фосфорсодержащих отравляющих веществ. Даже в сравнительно низких концентрациях МФК вызывает окислительный стресс у растений (Огородникова и др., 2007).

Микрокалориметрическое изучение 6-суточных проростков ячменя сорта Новичок показало, что присутствие в среде выращивания МФК ( $5 \times 10^{-5}$  и 0,01 моль/л) вызывало активацию дыхания и усиление теплопродукции. При этом скорость роста побегов практически не изменялась, а рост корней подавлялся более высокой концентрацией МФК. Увеличение количества производимой и запасаемой проростками энергии было обусловлено дополнительными

затратами на поддержание целостности и функциональной активности клеток в условиях стресса.

Теплопродукция – показатель, характеризующий потерю внутренней энергии биологической системы. Поэтому тепловыделение можно использовать для характеристики изменения состояния растений и их органов под влиянием факторов среды. В литературе имеются примеры использования тепловыделения для раннего обнаружения устойчивости растений к гербицидам и патогенам. Так, при заражении растений *Hordeum vulgare* и *Festuca pratensis* грибом *Vipolaris sorokiniana* тепловыделение менее устойчивого к патогену ячменя возрастало, а дыхание снижалось сразу после заражения (Ptazek et al., 2000). У устойчивого вида овсяницы луговой аналогичные изменения наблюдались только спустя 48 ч после инокуляции.

Нередко в качестве тест-объекта используют водоросли. Показано, что осмотический стресс, вызванный NaCl, усиливал тепловыделение *Chlorella vulgaris* (Лосева и др., 2003). При засолении водоросли быстро теряли устойчивость к действию высоких температур. Повышение тепловыделения при действии стрессовых концентраций автор связывает с преобладанием катаболических процессов, приводящих к диссипации энергии.

Методы экологической физиологии растений позволяют выявить наличие токсикантов в среде обитания растений на самых ранних этапах, когда видимые симптомы повреждений еще отсутствуют. Состояние стресса у растений можно идентифицировать по изменению активности ферментов, появлению стресс-гормонов (абсцизовая кислота, этилен) и стресс-метаболитов (аскорбата, глутатиона), изменению дыхательной активности, подавлению фотосинтетической деятельности, нарушению минерального питания и др.

Большинство природных и антропогенных стресс-факторов вызывают у растений окислительный стресс, обусловленный повышенным образованием активных форм кислорода (АФК). АФК (супероксидрадикал, пероксид водорода, гидроксилрадикал и др.) образуются и в процессе нормальной жизнедеятельности растительной клетки (Мерзляк, 1999). Постоянное образование АФК происходит, главным образом, в хлоропластах, митохондриях и пероксисомах. Одновременно в клетке функционируют защитные системы (вещества и ферменты), ликвидирующие АФК. Избыточное образование АФК при стрессе приводит к повреждению важнейших биомолекул, является причиной усиления процессов липопероксидации. Накопление продуктов перекисного окисления липидов и, в частности, малонового диальдегида, служит одним из признаков стресса у растений (Лукаткин, 2002). Толерантность растений повышается при экспрессии синтеза антиоксидантных веществ и ферментов (пероксидаза, каталаза, глутатион, аскорбат, полиамины, токоферол, каротиноиды, супероксиддисмутаза, глутатионредуктаза, аскорбатпероксидаза и др.).

Обычно исследователи не ограничиваются определением только одного какого-либо показателя. Для точной оценки состояния растения требуется изучение нескольких показателей.

Дыхание является одним из надежных индикаторных показателей воздействия на растения стресса. Оно обеспечивает растения энергией и метаболита-

ми для роста, поддержания структурной и функциональной целостности (Головко, 1999). В большинстве случаев умеренные концентрации поллютантов и ТМ вызывают усиление дыхания растительных клеток. Такая реакция, по видимому, обусловлена активацией синтеза антистрессорных веществ, затратами дополнительной энергии на репарацию повреждений и детоксикацию. Вовлечение альтернативного пути дыхания при стрессе снижает опасность чрезмерного образования АФК. Сильный стресс тормозит дыхание вследствие прекращения роста.

Под действием поллютантов и ТМ нарушаются биосинтез пигментов, структура хлоропластов, снижается устьичная проводимость, что приводит к недостатку поступления  $\text{CO}_2$ . Многие металлы (Hg, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb) способны замещать магний в хлорофилле, что является первичным механизмом повреждения в растениях, испытывающих стресс ТМ.

По данным Т. К. Головко и др. (2008) в зависимости от концентрации металла содержание хлорофиллов в листьях под воздействием кадмия и ртути снижалось на 15–50%. Каротиноиды, обладающие антиокислительной способностью, более устойчивы к действию токсикантов.

Среди токсичных газов наибольшую опасность представляет  $\text{SO}_2$ . Как и  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  поступает в листья через открытые устьица и диффундирует в клетке. В клеточных стенках сульфит окисляется до сульфата с участием пероксидаз. Дальнейшие превращения связаны с восстановлением серы и включением ее в S-содержащие аминокислоты (цистеин и метионин). При значительном поглощении серы она запасается в форме глутатиона. Избыток SH-групп и сульфита может превращаться в сульфид и выделяться в форме  $\text{H}_2\text{S}$  при газообмене.

Однако возможности растений осуществлять реакции детоксикации серы неограничены. Избыточное поступление  $\text{SO}_2$  приводит к закислению цитоплазмы, накоплению сульфита в хлоропластах.  $\text{SO}_2$  занимает сайты связывания  $\text{CO}_2$  на основном фотосинтетическом ферменте рибулезобифосфаткарбоксилазе (Рубиско). Это модифицирует структуру фермента, подавляет реакцию карбоксилирования и нарушает фотосинтетический метаболизм углерода.

Фотоокисление сульфита в сульфат в хлоропластах сопровождается повышением уровня супероксидрадикала – одной из активных форм кислорода, разрушающих хлорофилл.

Показано, что растения с  $\text{C}_3$  –типом фотосинтетического метаболизма углерода более чувствительны к  $\text{SO}_2$ , по сравнению с  $\text{C}_4$ -видами, способными поддерживать фотосинтез при высоком устьичном сопротивлении (Winner, Mooney, 1980). Высокую чувствительность проявляют многие виды мхов и лишайников. Однако некоторые лишайники, например виды рода *Stereocaulon*, сравнительно устойчивы и их колонии обнаружены вблизи вулканов. У устойчивых к  $\text{SO}_2$  растений выше буферная способность цитоплазмы, стабильней функционируют ферменты, более эффективны механизмы детоксикации, интенсивней процессы метаболизации серы. У сосудистых растений снижению токсичности способствует закрывание устьиц.

В заключение следует сказать, что идентифицировать присутствие поллютантов в природе с помощью растений довольно сложная задача, так как рас-

тения взаимодействуют с множеством факторов среды и отличаются высоким адаптивным потенциалом. Экологическая физиология растений не только позволяет углубить и интегрировать знания о жизнедеятельности растений, их свойствах и экологической стратегии. Применение методов и подходов экофизиологии весьма перспективно для решения вопросов мониторинга и охраны биологического разнообразия, развития адаптивного растениеводства и интродукции растений, лесоводства, прогнозирования влияния ожидаемых изменений климата и антропогенных воздействий на поведение отдельных видов, динамику растительного покрова.

### Библиографический список

Арустамов Э. А. Природопользование. М., 2004. 312 с.

Бойко Б. Н., Малышев Р. В., Огородникова С. Ю., Соломина З. Ф. Дифференциальный микрокалориметр для исследования процессов метаболизма в живых структурах и его применение в физиологии растений // Научное приборостроение. 2009. Т. 19. № 1. С. 36–44.

Головко Т. К. Дыхание растений (физиологические аспекты). СПб: Наука, 1999. 204 с.

Головко Т. К. Актуальные вопросы экофизиологии растений // Структурно-функциональные особенности биосистем Севера (особи, популяции, сообщества). Матер. конф. Ч. I. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. С. 88–91.

Головко Т. К. О необходимости спецкурса «Экологическая физиология растений» для подготовки биологов-ботаников и физиологов растений в университетах // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: Матер. межд. конф. Ч. 3. Сыктывкар, 2007. С. 458–461.

Головко Т. К., Гармаш Е. В., Скугорева С. Г. Тяжелые металлы в окружающей среде и растительных организмах // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Матер. III Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола, Пущино, 2008. С. 17–19.

Гармаш Е. В., Головко Т. К. Влияние кадмия на рост и дыхание ячменя при двух температурных режимах выращивания // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 3. С. 382–387.

Кайтера Ю. А., Федорков А. Л., Яалканен Р. Е. Распространение побегового рака по градиенту загрязнения среды в российской и финской Лапландии // Лесной журнал. 1996. № 3. С. 27–31.

Ламан Н. А., Самсонов В. П., Прохоров В. Н. и др. Методическое руководство по исследованию смешанных агрофитоценозов. Минск: Наука и техника, 2006. 101 с.

Лосева И. Л., Кашина О. А., Рахимова Г. Г. Скорость выделения тепла как возможный показатель адаптивности растительной клетки к условиям окружающей среды // Физиология растений. 2003. № 3. С. 455–458.

Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордовск. ун-та, 2002. 208 с.

Мерзляк М. Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 9. С. 20–26.

Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.

Огородникова С. Ю., Головки Т. К., Ашихмина Т. Я. Реакция растений на действие метилфосфоновой кислоты // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 78–83.

Полевой В.В., Саламатова Т.С. Физиология роста и развития растений. Л., 1991. 239 с.

Скугорева С. Г., Головки Т. К. Влияние нитрата ртути на рост и метаболизм салата и редиса // Агрехимия. 2007. № 2. С. 66–71.

Скугорева С. Г., Головки Т. К. Аккумуляция ртути растениями ячменя при загрязнении почвы нитратом ртути (II) // Агрехимия. 2008. № 10. С. 55–61.

Скугорева С. Г., Огородникова С. Ю., Головки Т. К., Ашихмина Т. Я. Фитотоксичность фосфорорганических соединений и ртути. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 152 с.

Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.

Хансен Л. Д., Тейлор Д. С., Смит Б. Н., Кридл Р. С. Связь между ростом растения и дыханием: экологические аспекты и отбор лучших сортов культурных растений // Физиология растений. 1996. Т. 43. № 6. С. 805–812.

Ansari R., Alam S. M., Welware K. Flowers T. J. Effect of atmospheric pollution, with special reference to ozone, on plants under normal and saline conditions // Handbook of plant and crop stress. New York-Basel: Marcel Dekker, Inc., 1999. P. 599–612.

Fedorkov A., Kaitera J., Jalkanen R. Condition and growth of Scots pine seedlings under strong and weak pollution in Kola Peninsula // Baltic Forestry. 2007. V. 13. № 2. P. 179–183.

Jentschke G., Godbold D. L. Metal toxicity and ectomycorrhizae // Physiol. Plant. 2000. V.109. P. 107–116.

Larcher W. Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 513 p.

Keeling C. D., Whorf T. P., Whalen M., van der Plicht J. Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980 // Nature. 1995. № 375. P. 666–670.

Mason R. G., Mattson M. T. Atlas of United States: Environmental Issues. New-York: Macmillan, 1990.

Ptazek A, Rapacz M. The intensity of respiration and heat emission from seedlings of *Festuca pratensis* (Hud.) and *Hordeum vulgare* L. during pathogenesis caused by *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem // Physiol. Plant. 2000. Vol. 22. № 1. P. 25–30.

Winner F. E., Mooney H. A. Ecology of SO<sub>2</sub> resistance. III. Metabolic changes of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> Atriplex species due to SO<sub>2</sub> fumigations // Oecologia. 1980. V. 46. P. 49–54.

## ЭКОДИАГНОСТИКА ТЕРРИТОРИЙ

**Б. И. Кочуров**

*д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник,  
Институт географии РАН, inecol@mail.ru*

Комплексные геоэкологические исследования, проводившиеся в Институте Географии РАН за последние два десятилетия, объединившие усилия географии и экологии для решения острейших проблем взаимодействия общества и природной среды, завершились разработкой нового научного направления – экодиагностики территории (Антипова, Кочуров, 1999; Котляков, Кочуров, Коронкевич, Антипова, Денисова, 1990; Кочуров, 1997; 1999).

Экодиагностика – выявление и изучение признаков, характеризующих современное и ожидаемое состояние окружающей среды, экосистем и ландшафтов, а также разработка методов и средств обнаружения, предупреждения и ликвидации негативных экологических явлений и процессов.

Экодиагностика является составной частью геоэкологии – науки о пространственно-временных закономерностях взаимодействия сообществ с окружающей природной средой. Её основы заложены в трудах известных ученых Института географии РАН – акад. И. П. Герасимова (1985), В. С. Преображенского (1992), а также в работах акад. В. Б. Сочавы (1970) и А. Г. Исаченко (1990).

Геоэкология в наибольшей степени отражает системные представления мира, а также сложные и неоднозначные процессы интеграции синтеза природных и социальных явлений и процессов. В её появлении и формировании, безусловно, большую роль сыграли географический, ландшафтный и экологический подходы.

Первый – *междисциплинарный, общенаучный* ориентируется на рассмотрение разнородных объектов и явлений, территориально дифференцированных, организованных и развивающихся в пространстве.

Второй – *ландшафтный* занимается выявлением закономерностей формирования, строения функционирования, динамики и эволюции, территориальной дифференциации и интеграции природных комплексов - ландшафтов.

Для третьего – *экологического* важным представляется способ рассмотрения взаимоотношений, прежде всего, между человеком, социумом и окружающей средой.

Объектом исследования геоэкологии являются современные ландшафты - природно-антропогенные системы – *геоэкосоциосистемы*. Они представляют собой территориальные сочетания, охватывающие системы разной степени сложности: природные, природно-антропогенные, демо- и этноэкологические, социокультурные и характеризующиеся определенной иерархичностью и общностью: единством территории, тесным взаимодействием между собой и целостностью выполняемых функций.



Геосистемы управляемы со стороны человека, чем обеспечивается сохранение их структуры, поддержание режима функционирования и реализация целевых программ.

Изучение такого сложного объекта – геоэкосоциосистемы с целью системного синтеза данных и знаний предполагает использование целой совокупности географических, экологических и иных методов исследования. Среди них приоритетное значение имеют геосистемный (ландшафтный) анализ, получивший достаточно широкое распространение в комплексных географических и ландшафтных исследованиях, и эколого-географический анализ, завоевывающий все более устойчивые позиции в последние годы.

**Геосистемный анализ** – совокупность методов изучения природных и природно-антропогенных ландшафтов путем выявления взаимосвязей между элементами и компонентами ландшафтов и их связей с другими ландшафтами.

**Эколого-географический анализ** – совокупность методов изучения взаимодействия природных и природно-антропогенных ландшафтов с обществом. Включает следующие методы: сравнительно-географический, ландшафтный, картографический, дистанционный и др.

Геосистемный и эколого-географический анализ в экодиагностике направлены прежде всего на экологическую (геоэкологическую) оценку территории, т. е. определение степени пригодности природно-ландшафтных условий (в т. ч. измененных человеком) для проживания человека и какого-либо вида хозяйственной деятельности.

Экологическая оценка проводится строго по определенному алгоритму и включает:

- установление природно-ландшафтной дифференциации территории и определение состояния ландшафтов и их отдельных компонентов;
- установление антропогенных воздействий на ландшафт (в зависимости от цели и задач рассматриваются за определенный период и с разной степенью детальности, прежде всего, хозяйственное освоение и развитие технологии);
- выяснение потенциальных возможностей ландшафтов противостоять антропогенным нагрузкам;
- определение и классификация экологических проблем и ситуаций и оценка степени их остроты.

Экологическая оценка осуществляется по определенным критериям сообразно заданным целям. Согласно нашим представлениям (Кочуров, 1999; Кочуров, Жеребцова, Антипова, Быкова, 1997), экологические критерии – мера антропогенного воздействия на ландшафты, изменения свойств ландшафтов, а также вытекающих при этом последствий (социальных, экономических, политических и др.)

Такие экологические критерии разработаны и широко используются в стране и регионах при проведении геоэкологических исследований и мероприятий по улучшению экологической ситуации и уменьшению экологической опасности и риска.

В соответствии с этими критериями разработаны и внедрены в практику природоохранных работ категории остроты экологических проблем и ситуаций:

катастрофическая, кризисная критическая, напряженная, конфликтная, удовлетворительная. Это позволило проводить сравнение и сопоставление территории различных регионов по степени изменения природной среды и возникающим в связи с этим антропоэкологическим и социально-экологическим последствиям.

Проведение работ по экодиагностике и, в частности, по экологической оценке территории сопровождается разработкой и составлением ценой серии экологических карт разных масштабов. Экологическое картографирование в наибольшей степени ориентируется на информационное обеспечение государственных, региональных и местных программ и проектов освоения и развития территории. Экологическое картографирование связано с обобщением большого массива информации, с ее точной территориальной привязкой, в наиболее удобной для сопоставления и анализа форме. Высокая информационная емкость экологических карт, наглядность и доступность делают их незаменимыми в научных и прикладных исследованиях.

В соответствии с существующим разделением экологии как науки выделяются три крупных блока экологического картографирования:

- биоэкологическое (в центре рассмотрения растительность, животный мир, экосистемы);
- ландшафтно-экологическое (в центре внимания ландшафт и его компоненты: рельеф (эколого-геоморфологическое картографическое), почва (почвенно-экологическое) и др.;
- антропоэкологическое (в центре рассмотрения человек, общество)

Нами обосновано выделение четвертого блока – комплексное экологическое картографирование, интегрирующего и синтезирующего результаты всех предыдущих блоков с антропоцентрических позиций. Это картографирование экологических проблем и ситуаций. На основе составленных карт экологических ситуаций СССР, России и ее отдельных регионов проведено районирование территории России по степени экологической напряженности и экологической и социально-экономической ситуации. В 2000 г. впервые разработана и составлена интегральная карта «Комплексное районирование территории России по экологической и социально-экономической ситуации», масштаба 1:8 000 000, на которой выделены экологические районы (экорегions) по степени экологической напряженности с учётом природно-ландшафтных и антропогенных факторов, а в пределах границ субъектов РФ каждого экологического района дана характеристика социально-экономическим и медико-демографическим показателям.

Полученные нами материалы по оценке и картографированию состояния природной среды свидетельствуют о дальнейшем ухудшении экологической ситуации в России (Кочуров, 1997, 1999; Кочуров, Жеребцова, 1997). Всем становится ясно, что нужна приемлемая концепция выхода из создавшегося положения. Она могла бы стать стратегической задачей и геоэкологии, и географии в целом. Самыми распространенными на сегодняшний день являются идеи устойчивого развития, безопасности и приемлемого риска. Не вдаваясь в подробный анализ позитивных и негативных сторон этих идей, хотелось бы только отметить, что они малоприменимы для нашей страны с так называемой пе-

реходной, а на самом деле, мобилизационной и чрезвычайной экономикой. Необходимо разработать и предложить такую концепцию, реализация которой бы создала условия (рычаги, механизмы) для перехода страны и ее регионов и на устойчивое, и на экологически безопасное развитие.

Таковыми условиями являются:

1. Проведение организации, устройства и обустройства территории разного административного уровня на ландшафтно-экологической основе.

2. Сохранение и поддержание естественных и слабоизмененных ландшафтов, выполняющих важные средо- и ресурсоформирующие функции в полном объеме.

3. Рациональное использование и поддержание природного потенциала территории; разумное распределение природно-ресурсной ренты, прежде всего дохода от использования земли и других природных ресурсов.

4. Достижение приемлемого качества продукции (промышленной, сельскохозяйственной и др.). По своей сути это задача оказалась эколого-географической и потребовала прежде всего определения понятия «экологически чистая продукция».

5. Поддержание качества населения и здорового образа жизни.

6. Развитие инновационных процессов в связи с переходом на постиндустриальное развитие.

7. Управление, самоуправление и территориальная справедливость.

Все вышеперечисленные условия составляют основу **концепции сбалансированного эколого-хозяйственного развития**, базирующейся на эколого-хозяйственном балансе территории, т.е. сбалансированном соотношении различных видов использования территории и поддержании равновесного состояния потоков вещества, энергии и информации, что обеспечивает устойчивость ландшафтов и проживающих на них социумов. Основная суть сбалансированного эколого-хозяйственного развития видится в устройстве на территории различного хозяйствования, заключающегося в гармоничных отношениях людей между собой и окружающим миром, увеличении природного потенциала территории, управляемости, снижении болезней и повышении качества жизни, консолидации здоровых сил общества, предсказуемости и знания законов природы и общества (Кочуров, 1997, 1999).

Остановимся более подробно на первом и последнем условии сбалансированного эколого-хозяйственного развития.

**Организация, устройство и обустройство территории** страны в настоящее время находится в полном запущении. К ним не проявляют соответствующего интереса ни органы власти, ни научная общественность, считая эти важные вопросы второстепенными, малозначимыми. И это притом, что в стране появилось масса новых землепользователей (природопользователей) и землевладельцев и новые формы собственности. Вместе с тем, если подойти к вопросам землепользования и землеустройства как серьезной научной проблеме географии и геоэкологии, то в случае ее успешного решения это способствовало бы позитивным сдвигам в социально-экономическом развитии страны (Иванов, Лобковский, 2000; Иванов, Кочуров, 1999).

Вопросы землепользования и землеустройства, планирования территории в значительной степени решены в странах Запада, и не последнюю роль в этом сыграли географы и геоэкологии. Несмотря на очевидные успехи, проблемы организации и устройства территории проявляются и там в связи с совершенствованием структуры землепользования и социально-экономическими и экологическими задачами развития страны. Известный специалист по территориальной организации К. Арви так пишет (цитирую по О. А. Колобову, А. С. Макарычеву, 1999): «настоящая проблема нашего времени не материальная, а пространственная. Это – проблема масштабов, пропорций и размеров... Единственный способ решить ее – это сделать так, чтобы человек вновь мог восстановить контроль за пропорциями общества, в котором он живет».

В России существует несколько служб, осуществляющих организацию территории в ведомственных и местных интересах: землеустройство, лесоустройство, городские плановые организации и т. п. Между собой эти службы связаны слабо, как правило, на уровне согласования схем или проектов использования территории, что приводит к отсутствию системности в организации и обустройстве территории в целом.

Вопросы организации территории относятся в первую очередь к функции органов землеустройства как важнейшему механизму управления процессом землепользования. Однако комплексной организацией территории и ее обустройством эта служба из-за постоянных реорганизаций и отсутствия ясной концепции в настоящее время практически не занимается. Задача состоит в том, чтобы переориентировать службу землеустройства с вопросов механического отвода земель для различных нужд на внедрение в свою работу ландшафтных и эколого-географических принципов. Речь идет по существу о создании в регионах культурных ландшафтов: управляемых, устойчивых и эстетически привлекательных.

Устройство территории должно рассматриваться по отношению к человеку, населению, социуму, что обуславливает формирование системы «социум-территория». В такой системе территория служит базисом размещения всех элементов среды обитания человека, своеобразной системой жизнеобеспечения человека. Распределение и перераспределение антропогенных нагрузок по территории с целью избежания экологических проблем и улучшения качества среды – важнейшая задача эколого-хозяйственного устройства территории. Добиться этого можно путем эколого-хозяйственного баланса территории, т. е. достижения сбалансированного соотношения между природной средой и различными видами деятельности и интересами различных групп населения (Иванов, Кочуров, 1999; Кочуров, 2003).

Предложенный подход позволяет синтезировать природно-ландшафтную дифференциацию территории и социально-экономические различия и выделить природно-хозяйственные формирования (геоэкосоциосистемы) различного иерархического уровня. По сути дела это согласуется с положениями А. В. Чайнова (1989) об экономическом ландшафте, позволяющем формировать интегральные сбалансированные конструкции: урбанизированный, лесоаграр-

ный ландшафт, агроландшафт, техноэкополис и т. п. в сложной системе «социум-территория».

В настоящее время в мире большое внимание уделяется таким формам организации территории, которые обеспечивают опережающее научное и социально-экономическое развитие страны, региона. Наибольшее распространение получают научные городки (наукограды), экополисы, агро- и техноэкополисы и эколого-экономические зоны.

Проектирование экополиса или агроэкополиса – это не просто вписывание объектов в природу, а проектирование целостной природно-технической системы. Но проектироваться должны не только технический объект и природа, но и социо- и этнокультурная сфера. По сути дела, проектированию подлежат сложные системы – геоэкоосоциосистемы – комплекс их разных подсистем, объединенных в интересах выполнения единой социально-экономической, экологической и духовно-культурной задачи. Они могут быть связаны преимущественно единым технологическим циклом (агрополисы), природоохранным процессом (национальные парки, заповедники), рекреационным направлением (рекреационная зона) и т. п.

Так, в Белгородской области на базе горнопромышленных предприятий (ГОКов) КМА рациональным является создание техноэкополисов, где перспективными направлениями развития являются экологические технологии и инновации в области добычи, транспортировки и обогащения минерального сырья, рекультивация нарушенных земель и эколого-хозяйственное устройство и обустройство территории (в т.ч. планировка территории и использование техногенного рельефа). Такая структура в пространственном (территориальном) аспекте должна постоянно стремиться к своему минимуму с точки зрения сохранения здесь уникальных и плодородных российских черноземов степных ландшафтов.

Комплексная экологическая оценка территории показала, что в Белгородской области и, в частности, в Борисовском районе сохранился ещё потенциал ненарушенных и незагрязненных земель. На базе заповедника «Лес на Ворскле», санаторно-курортной зоны и сельскохозяйственных земель Борисовского района возможно создание эколого-экономической зоны «Эко-Ворскла». Основными функциями этой экологической структуры природопользования являются: 1) природоохранная (сохранение генофонда и уникальных природных комплексов), средо- и ресурсоформирующая; 2) оздоровительная и познавательная – санаторно-курортная и туристско-спортивная; 3) производство экологически чистой продукции (растительной, животной, лекарственной). Эколого-экономическая зона создаёт условия для социально-экономического роста и явится своеобразным «ядром», вокруг которого будут организовываться и обустраиваться соседние территории. Таким образом, произойдет объединение и интеграция локальных структур в единое эколого-хозяйственное «поле» Белгородской области всего региона ЦЧР. Это предусматривает стимулирование развития НИОКР, менеджмента, организационных, финансовых и экономических механизмов.

При эколого-хозяйственном устройстве необходимо учитывать четыре уровня управления территорией: федеральный, областной, районный, местный (волостной и окружной). В соответствии с этим и решаются на каждом уровне конкретные специфические задачи процесса природопользования (землепользования), а также возникающие экологические проблемы.

Главной задачей на **федеральном уровне** является создание экологического каркаса территории, то есть организация земель особо охраняемых территорий. На более низких уровнях управления этот экологический каркас усложняется и развивается по принципу «ветвящегося дерева». В безлесных районах с высокой сельскохозяйственной освоенностью земель и развитой овражной сетью есть возможность создания экологического каркаса, например, путем залеснения и превращения овражных территорий в зону активной средостабилизирующей деятельности. В отличие от этого в некоторых лесных районах остро стоит проблема сохранения естественного экологического каркаса.

На **областном уровне** осуществляются структурные усовершенствования территории, то есть оптимизируется структура использования земель как с точки зрения хозяйственных потребностей, так и сохранения природы. Так, например, оптимальная (сбалансированная) структура использования земель Московской области должна выглядеть следующим образом: земли сельскохозяйственного назначения с учетом земель сельских населенных пунктов – 22,5%, промышленности и транспорта – 2,5; городов – 5,0; лесного фонда, особо охраняемых природных территорий – 70. Однако, в настоящее время структура использования земель в Московской области далека от совершенства. Только земли сельскохозяйственного назначения занимают около 47%, а земли городов, населенных пунктов, промышленности, транспорта – более 13% территории.

На **районном уровне** производится эколого-хозяйственное устройство территории, важнейшей задачей которого является распределение и перераспределение антропогенных нагрузок по видам использования земель с целью улучшения качества природной среды и избежания возникновения экологических проблем. Этот подход требует баланса трех составляющих частей территории: естественных природных комплексов, экотонов (переходных участков) и земель, вовлеченных в хозяйственный оборот, причем, в такой пропорции, чтобы складывающийся уровень антропогенной нагрузки уравнивался и не превышал потенциальные природные возможности устойчивости территории. При достижении эколого-хозяйственного баланса территории возможна активная хозяйственная деятельность за счет использования имеющегося природно-ресурсного потенциала.

На **местном уровне** организуются в первую очередь угодья хозяйства (коллективного, частного и т. п.) и цели здесь преследуются прежде всего хозяйственные, то есть получение максимальной продукции при минимуме затрат с учетом экологических ограничений и требований.

Таким образом, многообразие экологических и хозяйственных условий и специфика каждой конкретной территории делают задачу эколого-хозяйственного устройства территории сложной и многоцелевой с различной

очередностью достижения хозяйственных или экологических целей. Взаимосвязи между качеством среды территории, потребностями ее населения и возможностями их удовлетворения могут быть в полной мере выявлены, определены и сбалансированы только при экодиагностике и корректной оценке имеющихся природных ресурсов, целесообразности и объеме их потребления и возможности компенсации потребляемой части природно-ресурсного потенциала.

**Управление, самоуправление и территориальная справедливость.** Управление землепользованием (природопользованием) в России включает как общие вопросы организации управления на государственном и региональном уровнях, так и проблемы муниципального землепользования, в частности, сельского муниципального образования, занимающего значительную часть территории страны, – сельского округа (волости).

С позиций системного подхода волость представляет собой сложное образование «социум-территория», где последняя не только служит основным местом приложения труда и капитала населения, но и базисом размещения основного средства производства – сельскохозяйственных угодий. При управлении таким землепользованием ставится цель получения реальных результатов от рационального использования всех природных ресурсов (земельных, водных, биологических и др.).

Децентрализация управления народным хозяйством страны и передача многих функций государственного управления местному самоуправлению означала по сути дела смену общественной формации. На нижние управленческие уровни передаются вопросы использования угодий для производства сельскохозяйственной продукции и централизованных заготовок. На местном уровне возрастает роль экологических вопросов, а также таких, которые не могут решаться на верхних уровнях управления, например, использования уникальных участков территории, представляющих интерес не только для местного населения.

**Местное самоуправление** – это система самостоятельной и под свою ответственность деятельности населения по обеспечению своей жизнедеятельности. Оно обеспечивает наибольшее приближение используемых ресурсов к их пользователям и, что важнее, связывает цели потребления с заботой о ресурсо-восстановлении и ресурсообновлении.

В России местное самоуправление известно давно, со средневековья, в его основе, как считает Н. П. Павлов-Сильванский (1988), лежит территориальная власть общества на землю, связывающая нескольких собственников в одно сплоченное целое и обуславливающее все их права и обязанности по отношению к общине.

После ликвидации сельсоветов и принятия Закона РФ «Об общих принципах местного самоуправления в Российской Федерации» (1995 г.) регулирование земельных отношений было передано на районный уровень, а государственная власть не обеспечила передачу управления новым муниципальным органам. Районные администрации, объявляя себя органами самоуправления, не передают право хозяйственного использования и охраны земель и право ве-

дения землями сельскохозяйственного назначения в руки местного самоуправления. На сегодняшний день нет практически ни одной волости, территория которой приведена к оптимальным размерам с выборными органами и собственным бюджетом. Таким образом, местное самоуправление, как важнейший механизм решения социальных и экологических проблем, попросту не работает, и местное население отстранено от решения важнейших задач своего жизнеобеспечения.

Для волостей обязательным является наличие в их составе земель сельскохозяйственного назначения, исходя из рассчитанной нормы оптимальной ресурсообеспеченности населения и оптимальной величины территории волости. Отсутствие в настоящее время в составе территории волости сельскохозяйственных земель, достаточных для приложения труда населением, таит в себе возможность территориального конфликта, точно так же, как и включение в территорию волости более одного (или нескольких) крупных поселений с самостоятельной социальной сферой и не связанных общностью производственных или других интересов.

В данном контексте территориальные конфликты по существу относятся к понятию **территориальной справедливости**. В первом приближении ее можно определить (Иванов, Лобковский, 2000; Кочуров, 2003) как возможность населения реализовывать свои права на использование природных ресурсов и благоприятной окружающей природной среды, занимаемой ими территории. Нарушение ими ограничения права субъекта является проявлением несправедливости и формирует конфликтную ситуацию. В приведенном определении с системных позиций население выступает как субъект системы «социум-территория», ресурсы территории – объект, а правила использования – системообразующий элемент. В решении вопросов территориальной справедливости важно придерживаться норм права, которые в настоящее время либо игнорируются, либо не разработаны в достаточной степени.

На территории волости могут находиться и неудобные для использования земли по болотам, пустошам и т.п. Эти земли, играющие важную средостабилизирующую роль, должны быть точно определены и закреплены за волостями под охрану, поскольку ни одна из государственных служб не в состоянии специально заниматься «неудобьями».

Исходя из выше сказанного, территория волости, как управляемая локальная геоэкосистема, должна характеризоваться следующими основными особенностями. Во-первых, соотношениям разных категорий и видов использования земель, которые должны фиксироваться в уставе волости. Во-вторых, формами собственности, с выделением основной муниципальной собственности. В-третьих, фискальными показателями – рентоносностью, налогооблагаемыми свойствами земель. Наконец, в-четвертых, необходимыми, в соответствии с особенностями хозяйственной специфики, средостабилизирующими и ресурсовосстановительными способностями.

Иногда ставится под сомнение не только потребность в местном самоуправлении, в частности, на селе, но и возможность его осуществления в условиях постсоветской России. Но нам известны сельские округа, в которых толь-



ко недостаточная квалификация специалистов волостной администрации сдерживает соответствующую постановку дела. Приходится учитывать во всех случаях воспитанную, к сожалению, за много лет централизованного руководства страной утрату **народной инициативы**. Только надежда на возрождение природного хозяйственного инстинкта у человека и крестьянского отношения к земле и дому, подтверждаемая при общении в деревнях с местным населением, заставит нас искать (и находить) утерянные за последние десятилетия примеры бережного подхода к природе и земле, способов оценки потенциальных возможностей земель, устройства территорий сельских местностей (Энгельгардта, 1987) в Смоленской губернии в надежде на то, что где-то опять возникнут уголки, подобные энгельгардтовскому Батищеву и окружающих их волостей.

Современное состояние земельных отношений в России таково, что их активизацию следует ожидать скорее в промышленных районах с неблагоприятной экологической ситуацией, чем в сельских экологически благополучных регионах. Земля становится объектом интереса населения только в том случае, если она в явном дефиците или представляет природоохранную ценность, необходимую для жизнеобеспечения населения. Многочисленные случаи территориальных конфликтов отмечаются в пригородных зонах крупных городов, когда сокращаются участки зеленых насаждений или мест отдыха, выполняющих важные средостабилизационные функции.

Таким образом, экодиагностика территории как самостоятельное научное направление нацеливает на совершенствование эколого-хозяйственного баланса территории, на безопасное и гармоничное развитие, содержанием которого является отказ от разрушительной потребительской и индустриальной идеологии и принятие стратегии развития, состоящей в кардинальном изменении системы приоритетов и ценностей, опирающихся на народный опыт и традиции.

Она является информационной основой для определения природоохранных и экологических проблем и правильного их решения, формирования системы охраны окружающей среды и управления природопользованием.

Оздоровление экологически неблагополучных районов и возрождение депрессивных территорий с помощью традиционных подходов современного индустриального общества предполагает большие организационные, материальные и финансовые усилия и не имеют перспективы на успех. Требуются принципиально новые подходы – инновации, направленные на организацию постиндустриального, экологически совместимого и безопасного общества. Среди них большие перспективы имеют новые управляемые пространственные формы природопользования – экологические структуры устойчивого развития: экополисы, техноэкополисы, эколого-экономические зоны и т.п., где техногенные образования встраиваются в природные системы и образуют устойчивый и сбалансированный симбиоз – геоэкосоциосистему. Предложенные подходы позволяют концептуальные принципы развития регионов перенести в конкретные приоритетные действия: программы и проекты.

### Библиографический список

Антипова А. В., Кочуров Б. И. Научная школа по оценке и картографированию экологических ситуаций // Проблемы региональной экологии. 1999. № 3. С. 60–75.

Герасимов И. П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. М.: Наука, 1985.

Иванов Ю. Г., Кочуров Б. И. Земельные отношения и использование земель на муниципальном уровне // Проблемы региональной экологии. 1999, № 3. С. 115–123.

Иванов Ю. Г., Лобковский В. А. Управление муниципальным землепользованием, его информационное обеспечение. М.: ИГРАН, НЦЭБП. 2000. 36 с.

Исаченко А. Г. Экологические проблемы и эколого-географическое картографирование СССР // Изв. ВГО. 1990. Т. 123. Вып. 4. С. 289.

Колобов О. А., Макарычев А. С. Регионализм в России: проблемы определения понятий // Регионология. 1999. № 2 (27). С. 140–172.

Котляков В. М., Кочуров Б. И., Коронкевич Н. Н., Антипова А. В., Денисова Т. Б. Подходы к составлению экологических карт СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1990. № 4. С. 67–70.

Кочуров Б. И. География экологических ситуаций (экодиагностика территорий). М.: ИГРАН, НЦЭБП, 1997. 132 с.

Кочуров Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск: СГУ, 1999. 154 с.

Кочуров Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: Учебное пособие. Москва-Смоленск, 2003. 384 с.

Кочуров Б. И., Жеребцова Н. А. Картографирование экологических ситуаций (состояние, методология и перспективы) // География и природные ресурсы. 1995, № 3.

Кочуров Б. И., Жеребцова Н. А., Антипова А. В., Быкова О. Ю. Карта «Состояние окружающей природной среды Российской Федерации» // Геодезия и картография. 1997. № 2. С. 44–50.

Кочуров Б. И., Иванов Ю. Г., Антипова А. В. Нормативные ландшафтно-экологические требования к структуре землепользования // Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: ВО Наука, 1993.

Павлов-Сильванский Н. П. Феодализм в России. М.: Наука, 1988. 200 с.

Преображенский В. С. Суть и формы проявления геоэкологических представлений в отечественной науке // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 4. С. 5–11.

Сочава В. Б. География и экология // Материалы V съезда ГО СССР. Л. 1970.

Чаянов А. В. Крестьянское хозяйство. М.: Экономика, 1989.

Энгельгардт А. Н. Из деревни: 12 писем 1872–1877 гг. М.: Мысль, 1987.

## ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО НА РЕГИОНАЛЬНОМ И МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЯХ

*Б. И. Кочуров*

*д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник,  
Институт географии РАН, inecol@mail.ru*

**Землеустройство и ландшафтоведение.** Земельный кодекс Российской Федерации ещё в 1989 г. впервые в законодательной практике страны связал понятия землеустройства и ландшафтоведения, определив задачей землеустройства «улучшение природных ландшафтов» и «поддержание устойчивых ландшафтов». Все это стало очевидным после тех негативных последствий «глубоких преобразований природы», когда игнорирование землеустройства и ландшафтоведения (и в том числе, ландшафтоведения в землеустройстве) привело к крайне нежелательным изменениям в окружающей среде и землепользовании. Землеустройство чаще всего рассматривалось как «техническое средство» широкомасштабных преобразовательных программ.

Постановка вопроса о связях землеустройства и ландшафтоведения вполне объективна и насущна не только в связи с решением проблем сельского хозяйства и окружающей среды. Просто две дисциплины логикой своих функций, связанных с организацией территории, обречены на совместное существование и развитие, что предопределяет взаимосвязи и взаимопроникновение и безотлагательную потребность разработки методических положений по действительно эффективным методам сохранения и поддержания средоформирующих и ресурсоформирующих функций ландшафтов (Кочуров, Иванов, 2002).

Слово «ландшафт» переводится, прежде всего, как «земля», «вид земли», и это напрямую объединяет землеустройство с ландшафтоведением, где роль землеустройства видится в устройстве, организации этой земли с точки зрения человека. Вместе с тем, земля является не только базисом размещения производства, но и входит в определенный природно-территориальный комплекс – сочетание компонентов или комплексов низшего ранга, образующих ландшафтную систему разных уровней, от географической оболочки до фации (Географический энциклопедический словарь, 1988).

Л. С. Берг (1925) дал следующее определение географического ландшафта: «...область, в которой характер рельефа, климата, растительного покрова, животного мира, населения и, наконец культура человека сливается в единое гармоничное целое». В этом определении присутствует человек, социум и сам ландшафт рассматривается как система, в которой взаимосвязаны как природные, так и антропогенные компоненты и элементы. Такой ландшафт еще называют антропогенным (природно-антропогенным) или современным, и он представляет наибольший интерес для землеустройства. С одной стороны приходится учитывать особенности природно-территориального комплекса, его свойства, распространение и сочетание с другими комплексами, с другой – организация территории с любыми ландшафтами без человека и его хозяйственной и иной деятельности не осуществляется.

Определение Л. С. Берга наиболее отвечает современным реалиям, так как естественных ландшафтов практически на земле не осталось.

Развитие ландшафтоведения привело к появлению ландшафтного подхода как междисциплинарного (общенаучного), свидетельствующем о высоком уровне его состояния, и так называемого «ландшафтного планирования» и «проектирования». То есть, ландшафтоведению придаются несвойственные ему функции планирования и проектирования, что присуще прежде всего землеустройству (с его службой), а также лесоустройству, районной планировке, градостроительству.

Субъектом в землеустройстве как системе знаний выступают органы управления земельными ресурсами территории со всей их законодательной базой, объектом – территориальные единицы управления и предприятия (объекты собственности), а целью (аспектом) – рациональное использование земель, определяемое субъектом управления. В отличие от этого, основной целью ландшафтоведения является изучение ландшафтной оболочки земли, а не придание ему функций проектирования.

Таким образом, перевод природной или природно-антропогенной системы в другое состояние, более благоприятное для выполнения его социально-экономических функций, а также и геоэкологические основы проектирования (Геоэкологические подходы..., 1985) возможны только в системе землеустройства, имеющей на это все основания.

Землеустройство еще сравнительно недавно вошло в постсоциалистический период своего развития, который характеризуется определенной стагнацией, и когда стало очевидным, что теоретические положения «социалистического землеустройства» отброшены логикой эволюции цивилизованного землепользования, а новые основы теории землеустройства еще не созданы (Кочуров, Иванов, 1998). В это же время ландшафтоведение уже готово заняться планированием и проектированием территории в пределах выделенных ландшафтов (Дроздов 1997; Руководство по ландшафтному планированию..., 2000). Таким образом, стартовые позиции двух рассматриваемых научных дисциплин в теоретическом плане находятся в неодинаковом положении.

Обязано ли землеустройство после этого выполнять свои задачи собственными силами или должно использовать принципы ландшафтного подхода для решения своих задач? Ответ может быть только один. *Ландшафтный подход необходимо привлекать к решению проблем землеустройства.* И весь вопрос состоит только в определении объектов приложения методов исследования и проектирования в ландшафтоведении и землеустройстве.

По нашему мнению, речь должна идти о принципах организации объекта – в одном случае ландшафта, в другом – территории административной единицы (сложной системы – геоэкосоциосистемы). Выше мы, однако, отмечали, что ландшафт – это не только природно-территориальный комплекс, но и вмещающий его социум. Поэтому организация территории административной единицы или сельскохозяйственного предприятия – это, по большому счету, организация и всей хозяйственной деятельности социума и в том числе входящих в него ландшафтов. Административная единица или предприятие являются управляе-

мыми, а способность ландшафта как «единого географического целого» (по Л. С. Бергу) быть объектом управления представляется весьма проблематичной. А если эта способность всё же имеется, то при каком уровне административной иерархии это «единое гармоничное целое» – ландшафт должен управляться. Поэтому «ландшафтное планирование» как самостоятельный вид проектирования не обладает соответствующим организационно-техническим потенциалом, способным вывести его в сферу проектирования на уровень районной планировки, землеустройства и др.

Вместе с тем, и в землеустройстве как научной дисциплины не все обстоит благополучно. Произошел ничем не оправданный разрыв с географией и с другими науками географического цикла, что в конечном счете повлияло на уровень и качество организации территории в России. Еще в 1927 г. Е. С. Полюта счел возможным утверждать, что «Состояние разработок по проблеме землеустройства требует поставить вопрос не о сущности землеустройства, а о сущности знания о нем, о классификации этого знания и об отношении его ко всем остальным отраслям научного знания».

Важным при использовании ландшафтного подхода в землеустройстве является определение связи объектов – таксономических единиц классификации природных территориальных комплексов и видов землеустройства (табл. 1).

Предложенная схема соотношения видов землеустройства и таксономических единиц ландшафтов в значительной степени решает проблему объектов проектирования с учетом уровня ландшафта, но должна уточняться при определении цели и задач землеустройства.

Принцип проектирования «от общего к частному» предопределяет разработку, в первую очередь, генеральных схем области, края, республики, т.е. тех уровней управления территориальными ресурсами, где следует добиваться эколого-хозяйственного баланса территории – объекта управления, имея ввиду, что землеустройство является механизмом подготовки и реализации управленческих решений.

Таблица 1

**Соотношение видов землеустройства и ландшафтных единиц – объектов проектирования**

Виды землеустроительного проектирования	Ландшафтные единицы
Генеральная схема землеустройства области, края, республики	Ландшафт, типы ландшафтов
Схема землеустройства административного района	Местность
Схема землеустройства территорий сельских округов, волостей	Урочище
Проект внутрихозяйственного землеустройства – агроландшафтная система земледелия	Фация

На верхних уровнях управления, на значительных по площади территориях организуются земли особо охраняемых территорий (ООПТ) – земли с наиболее высокими средостабилизационными функциями. Эти земли должны быть экологическим каркасом территории. По мере перехода к более низким

иерархическим единицам экологический каркас должен детализироваться и развиваться по принципу «ветвящегося дерева».

В схемах землеустройства административного района и сельского округа большое значение придается выделению более низких природных территориальных единиц. Их раздельное рассмотрение и затем ландшафтное зонирование необходимы для выбора разных подходов к их организации, в отдельных случаях могут возникнуть предложения по пересмотру границ административных единиц с целью их приближения к природным рубежам.

Следует вспомнить, что до 1936 г. в Московской области было около 200 волостей – административных единиц, наиболее приближенных к местностям и урочищам и наиболее пригодных к организации их как объектов землеустроительных действий.

Сельские округа (волости) являются муниципальным уровнем управления. В ближайшее время в связи с формированием территориальных основ органов местного самоуправления муниципальное землеустройство затребуется проведения ландшафтных исследований на уровне урочищ и фаций. Возникает необходимость в географо-картографической интерпретации ландшафтов в масштабе 1:10 000 и крупнее, а также в характеристике природных комплексов (в т.ч. в метрических единицах) для земельного кадастра и мониторинга земель.

На муниципальном уровне организуются, в первую очередь, уголья хозяйств (коллективных, частных и т.п.) и цели здесь преследуются прежде всего хозяйственные, то есть получение максимальной продукции при минимуме затрат с учетом экологических требований и ограничений.

**Агроландшафтные системы земледелия.** Организация угодий хозяйства ранее относилась к сфере внутрихозяйственного землеустроительного проектирования. В настоящее время, в связи с использованием ландшафтного подхода, широкое распространение в разных регионах страны (Воронежская, Белгородская, Курская области, Краснодарский край и др.) начинают получать агроландшафтные системы земледелия (Каштанов, Лисецкий, Швевс, 1994; Каштанов и др., 1999; Кирюшин, 2000; Лопырев, 2001). На отдельные хозяйства разработаны и внедрены проекты агроландшафтной системы земледелия.

Наибольших успехов по разработке и внедрению агроландшафтных систем земледелия добился профессор М. И. Лопырев в Воронежском государственном аграрном университете им. К. Д. Глинки. За 25 лет им была создана воронежская школа агроландшафтного земледелия, а с 1996 г. в Воронежской области развернута крупномасштабная работа по внедрению этой системы на сельскохозяйственных предприятиях (Лопырев, 2001).

Все это можно считать своеобразным продолжением работ В. В. Докучаева в Каменной степи, где был заложен эксперимент мирового значения.

По мнению М. И. Лопырева: «Ландшафтное земледелие – система мероприятий, где экологически сбалансировано функционирование природных и антропогенных компонентов ландшафта и хозяйственной деятельности человека по производству с.-х. продукции. Применяется для мобилизации полного и

рационального использования потенциала природных ресурсов и биосферы в целом на основе экологических законов» (Лопырев, 2004).

В Воронежской области определены базовые хозяйства по внедрению эколого-ландшафтной (агроландшафтной) системы земледелия. Для всех хозяйств разработаны проекты эколого-ландшафтных систем земледелия вместе со сметами для создания защитных лесонасаждений и строительства противоэрозионных гидротехнических сооружений. На первом этапе освоения этих систем земледелия большое внимание уделяется остановке роста оврагов за счет строительства водозадерживающих валов, дамб-перемычек, водонаправляющих сооружений.

**Регулирование использования земель (управление процессом землепользования).** Развитие землеустройства с целью эффективного использования земель предполагает осуществление территориального, экономического и административно-правового регулирования использования земель.

*Территориальное регулирование* земельных отношений включает в себя планирование использования земельных ресурсов и разработку специальных программ развития территории. При планировании использования земель проводится зонирование территории для решения различных задач управления и организация работ по ведению государственного земельного кадастра. В целом территориальные отношения включают разработку мероприятий, регламентирующих землепользование и обеспечивающих сбалансированное и экологически безопасное развитие территорий.

В систему *экономического регулирования* входят экономическая оценка земель, определение и дифференциация системы платежей и налогов на землю, финансирование и материально-техническое обеспечение программ и мероприятий, заключение договоров и получение лицензий.

В круг задач *административно-правового* регулирования входят разработка нормативно-правовой базы с правовым обеспечением решения конфликтных ситуаций, земельный менеджмент и маркетинг как совокупность принципов, методов, форм и средств организации и эффективного управления землепользованием, земельный аудит и контроль за использованием земель, мониторинг процесса землепользования и управление им.

В системе планирования и проектирования территории выделяются четыре уровня: федеральный, областной, районный, муниципальный (табл. 2).

**Управляемая территориальная иерархическая схема планирования  
и проектирования землепользования**

Территория, уровень управления	Основные цели и задачи	Подчиненные выделы
1. Регион, экономический район, федеральный округ	Стратегическое планирование по обеспечению экологической безопасности и сохранности земельно-ресурсного потенциала на федеральном уровне; создание регионального экологического каркаса. Схема эколого-хозяйственного состояния территории региона.	Административная область (край, республика), группа областей.
2. Область	Схемы землеустройства областей для реализации земельной реформы. Схемы структурного совершенствования территории области.	Административный район, группа сельских округов.
3. Район	Эколого-хозяйственная организация территории района. Схема землеустройства административного района.	Сельский округ, муниципальное образование (первичная единица самоуправления).
4. Сельский округ, муниципальное образование	Проект внутривладельческого устройства территории, проект агроландшафтной системы земледелия отдельного хозяйства.	Селение — территория, хозяйство.

Важнейшей задачей землепользования на *федеральном (региональном)* уровне является разработка стратегии по обеспечению экологической безопасности и сохранности земельно-ресурсного потенциала, а также создание регионального экологического каркаса, т. е. организации земель особо охраняемых территорий.

На более низких уровнях планирования и проектирования этот экологический каркас усложняется и развивается по принципу ветвящегося дерева. В безлесных районах с высокой сельскохозяйственной освоенностью земель и развитой овражной сетью есть возможность создания экологического каркаса, например, путем залесения и превращения эрозионных овражных территорий в зоны активной средостабилизирующей деятельности. В отличие от этого в лесных районах остро стоит проблема сохранения естественного экологического каркаса.

Поскольку в государственном учете земель отсутствуют с достаточной полнотой сведения о площади охраняемых территорий: заказниках, охранных зонах рек, лесах соответствующих групп и назначения, то земли экологического каркаса выявляются с помощью различных тематических карт, аэрокосмоснимков и соответствующих описаний (геоботанических, лесоустроительных, ландшафтных и др.).

На *областном уровне* осуществляются структурные усовершенствования территории, то есть оптимизируется структура использования земель с точки зрения как хозяйственных потребностей, так и сохранения природы. Важней-



шим на этом уровне представляется создание регионального экологического каркаса. Целесообразным также является среднесрочное перспективное планирование развития территории и использования земельных ресурсов и экологическое регулирование рынка земли.

*На районном уровне* планирования и проектирования производится эколого-хозяйственная организация территории, важнейшей задачей которой является распределение и перераспределение земель с целью улучшения качества природной среды и избежания возникновения экологических проблем. Добиться этого можно путем совершенствования структуры землепользования на основе эколого-хозяйственного баланса территории. Этот подход требует баланса трех составляющих частей территории: природных комплексов, экотонов (переходных участков) и земель, вовлеченных в хозяйственный оборот, причем, в такой пропорции, чтобы складывающийся уровень антропогенной нагрузки уравнивал и не превышал природные потенциальные возможности устойчивости территории.

*На муниципальном уровне* (сельский округ, волость) организуются в первую очередь угодыя хозяйства (коллективного, частного и т. п.) и цели здесь преследуются прежде всего хозяйственные, то есть получение максимальной продукции при минимуме затрат, экологические ограничения хозяйственной деятельности устанавливаются вышестоящими органами управления (федеральными и местными).

Система «селение – прилегающая территория», где достигнут эколого-хозяйственный баланс, являются экологическими структурами устойчивого развития. Такие структуры имеют либо единый технологический цикл (агросистемы, лесопромышленные или горнопромышленные системы), либо связаны природоохранным процессом (национальный парк, заповедник) или информационным потоком (технополис). Налаживание технологических цепочек и информационных каналов, а также создание устойчивых пропорций экологических структур должно распространяться на соседние территориальные структуры. Таким образом, происходит объединение и интеграция локальных структур в единое эколого-хозяйственное «поле» района, области, региона, страны (Кочуров, 2003).

**Муниципальное землепользование и землеустройство.** Очевидно, центр тяжести в организации землеустройства, его содержании и финансировании должен переместиться на региональный и муниципальный уровень, с тем чтобы приблизить его к интересам и особенностям местного социума. Соответственно процедура землеустройства должна предваряться разработкой социального заказа на организацию территорий в форме задания на проектирование и регулироваться местным законодательным органом.

Местное землеустройство, в отличие от государственного, имеет своей функцией подготовку управленческих решений по организации территории органам местного самоуправления. Оно рассматривается как механизм управления процессом землепользования в местном образовании, без которого невозможно рациональное использование территориальных ресурсов. Все стадии

землеустроительного комплекса имеют четкую направленность, они последовательны и взаимосвязаны.

С позиций местного социума муниципальное землеустройство включает следующие позиции:

- формирование исходной информации для оценки сложившегося эколого-хозяйственного состояния (ЭХС) территории;
- анализ сложившегося состояния земель по экологическим, экономическим, социальным и другим критериям;
- разработку вариантов рациональной организации территории муниципального района;
- ведение базы данных о землях муниципального района в муниципальной автоматизированной информационной системе - МАИС.

Технология муниципального землеустройства может быть представлена следующим образом:



где 1-ИН – инвентаризация информации – сбор данных о территории муниципального образования; 2-МФ - составление моделей факта – моделей территории в различных аспектах; 3-А – анализ и оценка состояния территории по данным моделей факта; 4-ПР – проектирование и составление модели целеполагания в параметрах модели факта; 5-ОФ – оформление результатов проекта в формах заказа; 6-К – установление порядка контроля за принятым проектом.

Кроме того, в функции местного землеустройства входят реализация принятого муниципальной думой проекта и контроль за параметрами организации территории, а также все текущие дела по связям с государственным землеустройством по земельно-кадастровой отчетности и т. п.

Представленный на схеме порядок выполнения технологических действий, методика их выполнения составляет методическое обеспечение землеустроительного проектирования.

Основное содержание института муниципального **землеустройства** заключается в следующем:

1) муниципальное землеустройство осуществляет все, без исключения, землеустроительные работы на территории местного самоуправления, начиная с определения её границ, состава земель и оформлении соответствующих земельно-учётных, регистрационных и других кадастровых документов;

2) муниципальную землеустроительную службу представляет специалист - землеустроитель; правовая регламентация его должности и статус определяются уставом местного образования;

3) землеустройство включает: ведение блока данных "Земли муниципального образования" в составе информационной службы местного образования; анализ состояния территории и ежегодную оценку по всем принятым параметрам при отчёте об использовании земель; разработку прогнозных и плановых направлений совершенствования состояния территории; реализацию управленческих решений по процессу землепользования;

4) муниципальное землеустройство осуществляется при методической и правовой поддержке объединения (ассоциации) землестроителей местных образований.

Информационное обеспечение управления процессом землепользования осуществляется созданием и ведением местного земельного кадастра и локального (местного) мониторинга земель, объединяемых с регистрацией землевладельцев в блок данных «Земли местного образования (МО)» в муниципальной автоматизированной информационной системе («МАИС») (Иванов, Лобковский, 2000).

Правовое обеспечение «МАИС» и блока «Земли муниципального образования» разрабатываются на основании Федерального закона «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» и «Постановления Правительства РФ от 1993 г. о мерах по дальнейшему развитию государственного земельного кадастра и локального мониторинга». По этим законодательным актам администрации местных образований вправе создавать собственную землеустроительную службу, действие которой регламентируются соответствующими положениями, составляемыми и принимаемыми законодательными органами власти.

Правовой институт местного землеустройства должен исходить из принципа: организация территории муниципального образования – это организация использования ее территориальных ресурсов – главного жизненного ресурса социума (Иванов, Шевелёва, 1998).

Муниципальная служба землеустройства устанавливает очередность проектирования и виды проектов. Разработка предложений по перспективному планированию землепользования местного образования должна представляться органам местного образования именно землеустроительной службой и только после разработки вариантов развития территории местные органы должны принимать соответствующие решения.

Важнейшим становится правовое обеспечение территориальной организации муниципальных образований. Особое значение здесь имеют правовые нормы, связанные с владением, использованием и распоряжением землёй. Они являются гарантией возможности населения реализовать законные права на использование земельных ресурсов.

В муниципальных образованиях земли сельскохозяйственного назначения рассматриваются как средство производства, обеспечивающее жизнедеятельность населения, то есть как неотторжимая, органически связанная с поселением часть территории. Принцип «нет земель вне границ местного образования» должен составлять суть территориальных основ местного самоуправления и закрепляться нормой, исключающей иное толкование, независимо от форм собственности и целевого назначения земель.

Кроме классификации земель внутри категории основного назначения по признаку принадлежности к той или иной форме собственности, земли должны разделяться по уровню их использования, поскольку и сейчас и ранее (до 1990 г.) часть земель выпадала из хозяйственного оборота. В настоящее время площадь неиспользуемых (невозребованных) земель составляет, по нашим

оценкам, до 30% от общей площади земель, числящейся по официальным земельно-учетным документам. Такие угодья, а также неудобные для обработки земли, должны четко отражаться в документах муниципальных образований и, конечно, иметь конкретные наименования. Их правовой режим необходимо зафиксировать в регистрационной части земельного кадастра, а до этого – в актах муниципального земельного права.

В связи с обострением экологической ситуации следует также выделить земли средостабилизационного и средозащитного назначения. Такое предложение может реализоваться в уставах отдельных местных образований.

Организация землепользования всего местного образования включает следующее:

- оценка эколого-хозяйственного состояния (ЭХС) территории;
- эколого-хозяйственное зонирование территории с выделением экологического каркаса и зон с разной специализацией, уровнем антропогенной нагрузки и экологических ограничений ( в т.ч. консервации угодий);
- проектирование в выделенных зонах систем рационального землепользования и агроландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) с разработкой правового режима земель и порядка пользования ими.

Задача размещения отраслей земледелия в муниципальном образовании решается после установления целесообразной специализации растениеводства и объёмов животноводства. Определяются необходимые площади пашни под разные культуры и пастбищные участки. Частные и коллективные производители по согласованию с органами местного самоуправления определяют необходимые им земельные массивы, обосновывая развитие того или иного вида продукции, исходя из наличия трудовых и иных ресурсов производства.

Наиболее сложным в условиях переходного времени является статут земель сельскохозяйственного назначения (СХН), поскольку находящиеся в собственности государства (сложные по структуре) земли СХН должны быть переклассифицированы органом местного самоуправления, получившим право ведения ими на основе Закона.

Из земель СХН сформировались земли АО, фермерских хозяйств и массивы не востребуемых земель. Несмотря на распределение их по нескольким формам собственности (коллективно-долевой, частной, муниципальной и пр.), все земли СХН не должны выйти из права ведения (владения и пользования, и, конечно, контроля) местного самоуправления. Роль его по каждой группе земель СХН должна быть прописана в уставе, причем, право его территориальной власти должно быть бесспорным. Нормы, определяющие право контроля за распоряжением землями любых форм собственности, не должны допускать многозначных толкований.

Все вышеперечисленные работы по организации территории выполняются муниципальной землеустроительной службой или сторонними организациями (юридическими лицами) по муниципальному заказу в соответствии с Законом «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации».

Научно-методическое обеспечение проведения местного землеустройства должно осуществляться учреждениями РАСХН, РАН и ВИСХАГИ, землеустроительными и географическими факультетами аграрных и классических университетов. Так как агроландшафтная система земледелия разрабатывается для каждого региона, то это предусматривает формирование сети зональных (региональных) центров по разработке методик АЛСЗ применительно к региональным и местным особенностям и потребностям.

### **Библиографический список**

Берг Л. С. География и ее положение в ряду других наук // Вопросы страноведения. М.-Л., 1925.

Географический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1988.

Геоэкологические подходы к проектированию природно-техногенных геосистем. М.: ИГАН, 1985.

Дроздов А. В. Ландшафтное планирование и его перспективы в России // Изв. РАН, Сер. геогр., 1996. № 1.

Иванов Ю. Г., Лобковский В. А. Управление муниципальным землепользованием, его информационное обеспечение. М.: ИГРАН, НЦЭБП, 2000. 36 с.

Иванов Ю. Г., Шевелёва Т. И. Муниципальное земельное право – М.: НЦЭБП, ИГРАН. 1998. 47 с.

Каштанов А. Н., Володин В. М. и др. Концепция формирования гибких агротехнологий в ландшафтном земледелии. Курск, 1999.

Каштанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швец Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос, 1994. 127 с.

Кирюшин В. Н. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. 473 с.

Кочуров Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.-Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.

Кочуров Б. И., Иванов Ю. Г. Землеустройство и ландшафтоведение: взаимосвязи, цели и задачи // Экологические системы и приборы. № 7 2002. С. 28–31.

Кочуров Б. И., Иванов Ю. Г. Подходы к теории землеустройства // Проблемы региональной экологии. 1998. № 3. С. 114–121.

Лопырев М. Н. Агроландшафты и земледелие. Учеб. пособие. Воронеж: Изд-во ВГАУ, 2001. 169 с.

Лопырев М. Н. Экологизация земледелия на ландшафтной основе. Воронеж: Полиарит, 2004. 128 с.

Полюта В. С. Землеустроительные науки и классификация наук. Воронеж: Воронежский СХИ, 1927.

Руководство по ландшафтному планированию. Т. 1. Принципы ландшафтного планирования и концепция его развития в России. М.: ГЦЭП, 2000. 136 с.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

*Б. И. Кочуров*

*д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник,  
Институт географии РАН, inecol@mail.ru*

Основная цель человеческой деятельности – эффективное природопользование на территории, когда ценность результатов такой общественно-производственной активности превышает ценность потребляемых при этом природных ресурсов. В современном мире сформировалось два направления эффективного природопользования: деятельность, необходимая для обеспечения жизни и направленная на личное обогащение. По какому направлению природопользования идёт развитие России?

Невзгоды исторического развития поставили Россию перед диспропорцией в системе «население – территория – ресурсы – экономика». В нашей стране в начале второго тысячелетия на 14% территории Земли проживало 2% населения земного шара, Российская Федерация имела 30% всех природных ресурсов и создавала 1,5% мирового экономического продукта. Такая диспропорция иногда вызывает в мире необоснованные стремления добиться права на использование этих природных ресурсов.

Мировое соотношение «население – территория – природные ресурсы – экономика» – это один из параметров жизни на Земле. Вспомним высказывание А. Тойнби (1995): «Каждая цивилизация получает Божественный призыв в виде географической среды, исторических условий, наследственности и т. д. Если она, в среднем, даёт правильный ответ, она развивается и процветает; если она даёт неправильный ответ, она начинает разлагаться и разрушаться. И это зависит от духовного климата всего социума». На наш взгляд, для того, чтобы современная Россия дала правильный ответ на максимум Тойнби, необходимо выполнить ряд условий.

Путь снижения груза российской диспропорции один – создание современных наукоёмких средств труда и соответствующего этим средствам потенциала живого квалифицированного труда. И то и другое – важная и ответственная задача общества. Но её реализация возможна лишь на базе высоких ментальных качеств живого квалифицированного труда – добродетелей народа и креативной активности населения. Таким образом, имеют место три фактора, обеспечивающие высокую эффективность природопользования и полноценное развитие в направлении смягчения упомянутой российской диспропорции: развитие креативной активности населения, развитие добродетелей народа и на этой базе создание наукоёмкого потенциала трудовых средств и соответствующего им потенциала живого квалифицированного труда.

Большую роль при этом должна сыграть географическая наука, изучающая территориальную организацию общественного производства – природопользования и пространственных процессов и форм организации жизни людей (Ишмуратов, 1979; Рунова, 1998; Территориальная структура... 1995).

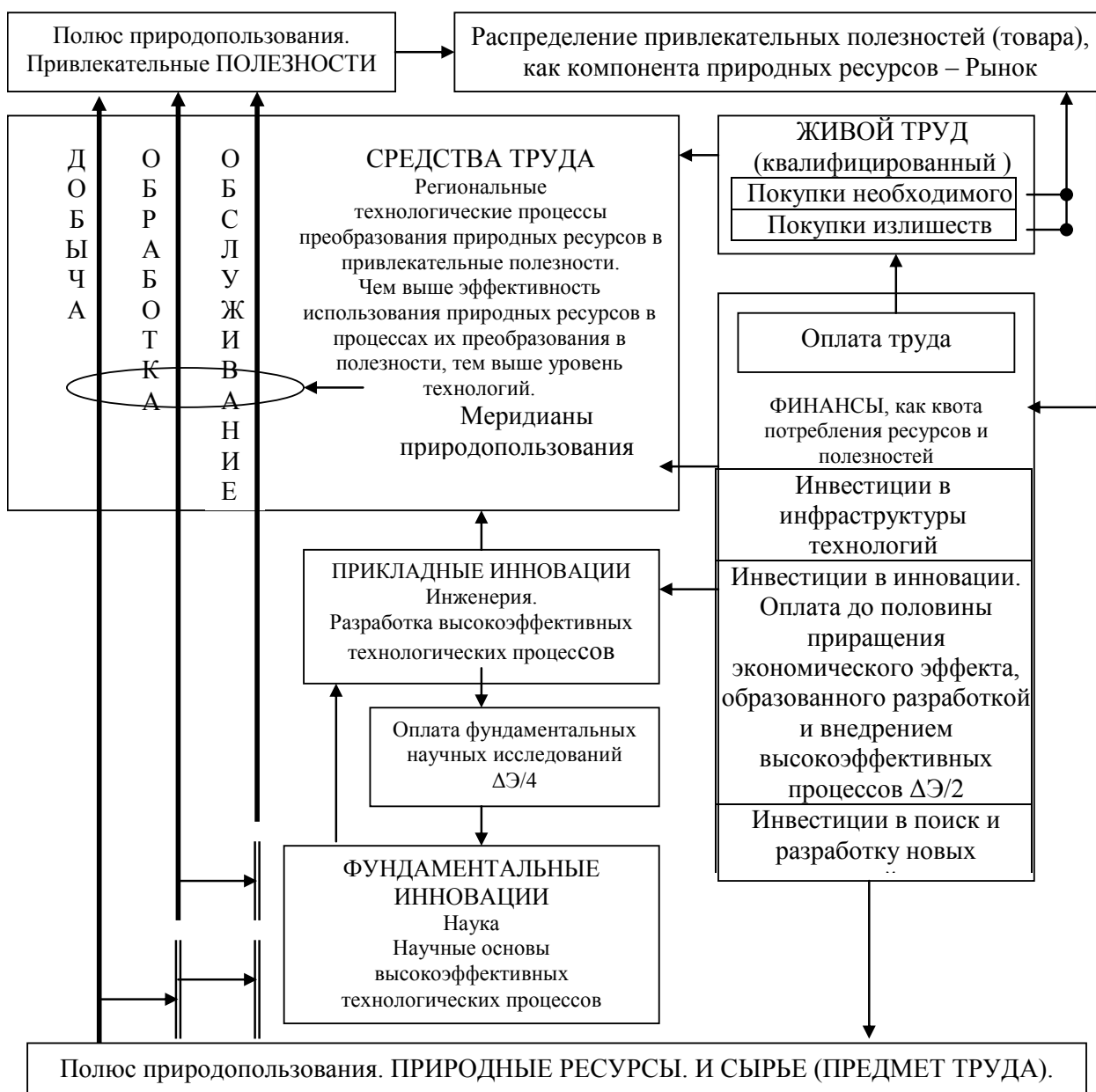
Начиная с 90-х годов прошлого столетия территориальная организация природопользования в России формируется без ясных целей, хаотично и стихийно. Хозяйственные структуры функционируют иначе, чем в условиях плановой экономики. Происходят мощные перемены в природопользовании, приводящие к неоднозначным результатам: и позитивным, и негативным. Быстрота и глубина этих перемен задают новые исследовательские цели и задачи, прежде всего в географии, формируют новые подходы к разработке путей решения возникающих проблем. Необходимо, опираясь на фундаментальные достижения географии и смежных наук, провести системный анализ современного природопользования с позиции его эффективности как основного результата общественно-производственной деятельности.

Эффективность природопользования создаётся трудом на территории данного региона, путём переработки региональных запасов природных ресурсов и сырья в экономически значимые привлекательные полезности или рыночный товар. Структура природопользования приведена на рис. 1. Природопользование представлено в виде двух полюсов, отражающих этимологию термина: «природа» (природные ресурсы) и «полезность». Ресурсы связаны производственными меридианами регионального природопользования: добыча ресурсов, обработка природных ресурсов и сырья, торговля и услуги. В производственных процессах, расположенных на этих меридианах, природные полезности поступают на рынок, где преобразуются в финансовые потоки, которые питают процессы природопользования.

Эффективность природопользования  $E$  определяется как соотношение результатов деятельности  $P$  и затрат на их достижение  $Z$ , выраженных в сопоставимых единицах:

$$E = P/Z.$$

Следовательно, эффективность есть безразмерная величина, т.е. число, показывающее, во сколько раз увеличится отдача единицы затрат ресурсов вследствие их рационального использования.



**Примечания:**

*Меридианы природопользования (МП)* - воображаемые линии, соединяющие два полюса природопользования – (1) природные ресурсы и (2) экстрагированные из них привлекательные полезности.

*Три меридиана природопользования* (добыча ресурсов, обработка ресурсов и сырья, торговля и обслуживание), в разных комбинациях региональных отраслевых предпочтений, соединяют региональные технологические процессы, преобразующие природные ресурсы в привлекательные полезности, которые поступают на рынок как товар.

*Двойная линия, продолжающая меридиан «обработка»* символизирует тот факт, что база отрасли обработка основана на отраслях добычи природных ресурсов и сырья.

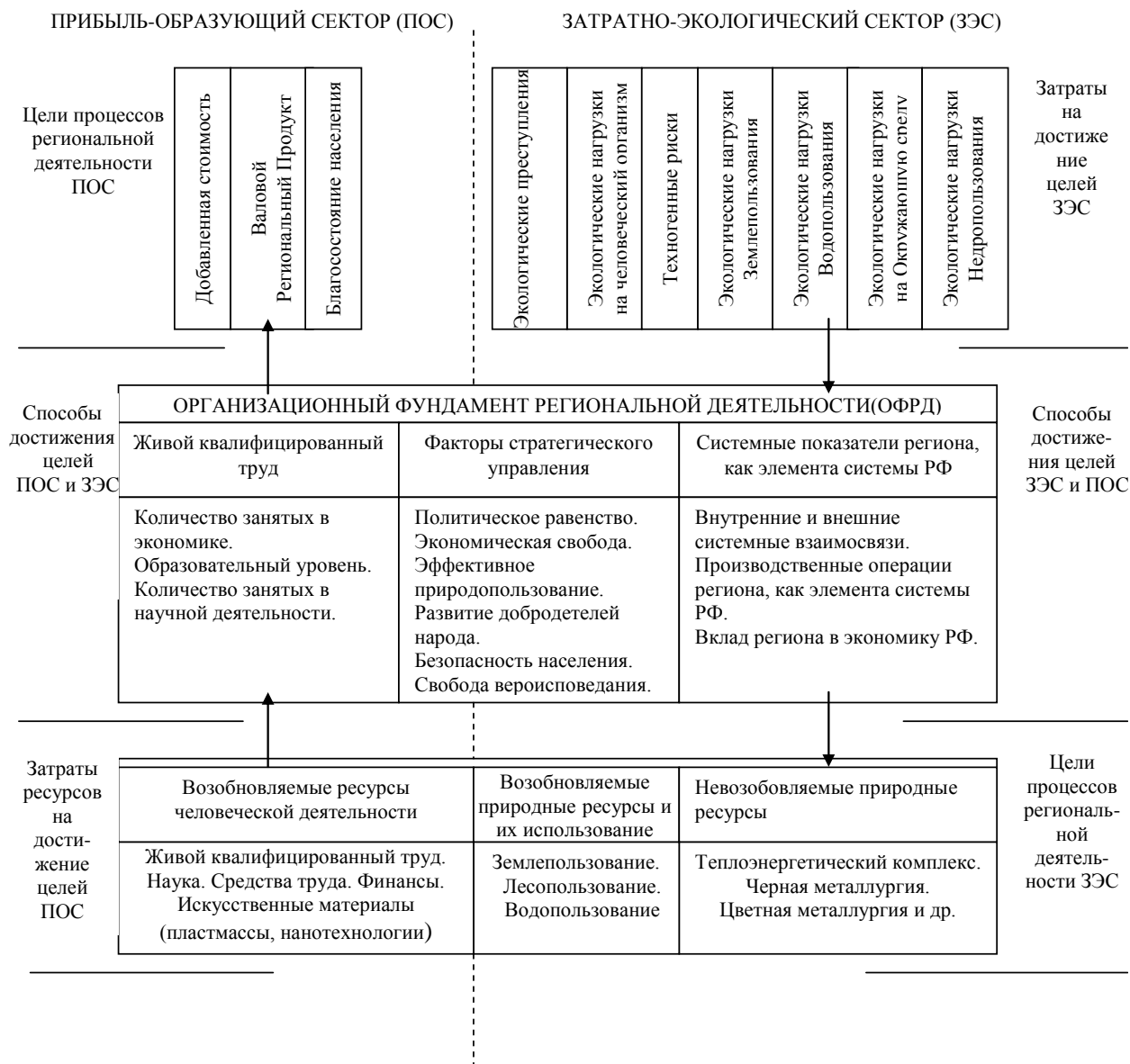
*Две двойные линии, продолжающие меридиан «обслуживание»* символизируют тот факт, что отрасли обслуживания могут существовать только на базе использования природных ресурсов и сырья добывающей отрасли, а также готовой продукции обрабатывающих отраслей.

**Рис. 1.** Структура природопользования

Эффективность возникает в процессах деятельности, характеризующейся своими основными показателями: целями постановки процесса, способами достижения целей, затратами ресурсов на реализацию целей (рис. 2).



## РЕГИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ.



*Рис. 2. Цели, способы достижения и затраты ресурсов регионального природопользования*

По традиционному монетарному подходу, под эффективностью использования природных ресурсов понимают отношение доходов от потребления и расходов на потребление природных ресурсов и сырья. При этом способы преобразования расходов в доходы рассматриваются как «чёрный ящик» с расходами на его входе и доходами на его выходе. Однако использование для оценки эффективности региональной деятельности только денежного, монетарного подхода маскирует значение источников денежных потоков. В условиях рыночной экономики денежные потоки и их источники взаимосвязаны и обуславливают друг друга, как предполагается, справедливыми соотношениями. В нынешних же российских условиях несвободного рынка эти соотношения считать справедливыми наивно. Поэтому для оптимизации управления российскими соотношениями «деньги и их источники» необходимо сопоставлять традиционный монетарный и предлагаемый нами натуральный подходы расчётов эффективности

природопользования. Наш натуральный подход ориентирован на использование в расчётах эффективности природопользования, главным образом, натуральных, не денежных показателей региональной деятельности. Вместе с тем, мы предлагаем раскрыть «чёрный ящик» и представить его как процесс – целенаправленную последовательность действий, ограниченную привлечёнными ресурсами. Здесь затраты привлечённых ресурсов (предмет труда) поступают на вход «чёрного ящика», содержание «чёрного ящика» – это живой труд и средства труда, а цель, т. е. продукция поступает на выход «чёрного ящика».

Исходя из этого и строятся предложенные нами (Кочуров, Смирнов, 2006; 2007; Кочуров и др., 2007) процедуры оценки эффективности регионального природопользования. Сравниваются показатели региональных процессов, однотипных по производственным доминантам: добывающим, обрабатывающим, добывающим и обрабатывающим, а также торговли и услуг. В ходе сравнения из массива исходных количественно выраженных показателей процессов или вербальных оценок свойств целей, способов и затрат формируется массив расчётных данных – количественно выраженных преимуществ в разгах по целям, способам и затратам, относительно минимальной оценки данного свойства показателя из всего множества однотипных процессов. Показатели оцениваемых процессов всегда сравниваются с одними и теми же одноимёнными показателями минимального уровня. Эти показатели сравнения считаются базовыми.

Процессы региональной деятельности, как известно (Гранберг, 2001), представлены тремя производственными отраслями: добывающей, обрабатывающей (готовая продукция) и отраслями торговли и услуг, включая банковские. Отраслевые предпочтения развития региональной деятельности определяются, во-первых, историко-географическими условиями соотношения «население – территория – ресурсы – экономика» и, во-вторых, требованиями экономического развития страны. В каждом регионе соответственно имеют место производственные процессы всех трёх отраслей.

Результаты расчётов эффективности природопользования всех субъектов Российской Федерации за 2000–2006 гг. определили несколько групп регионов. Например, по расчётным данным за 2005 г. в соответствии с доминирующими отраслями мы выделили семь групп регионов: 1) с отраслевой доминантой «обработка (готовая продукция)» – 23 региона; 2) с отраслевыми доминантами «добыча природных ресурсов и производство сырья, обработка (готовая продукция)» – 10; 3) с отраслевыми доминантами «обработка (готовая продукция)», «торговля и услуги (включая банковские)» – 8; 4) с отраслевыми доминантами «добыча природных ресурсов и производство сырья, обработка (готовая продукция), «торговля и услуги (включая банковские)» – 11; 5) с отраслевыми доминантами «добыча природных ресурсов и производство сырья» – 11; 6) с отраслевыми доминантами «добыча природных ресурсов и производство сырья», «торговля и услуги (включая банковские)» – 16; 7) с отраслевыми доминантами «торговля и услуги (включая банковские)» – 7.

С учётом использования возобновляемых и не возобновляемых ресурсов регионы России уже распределяются по девяти ресурсно-отраслевым группам: А – обрабатывающие отрасли и отрасли торговли и услуг, использующие воз-

обновляемые и не возобновляемые ресурсы; Б – обрабатывающие отрасли, использующие возобновляемые и не возобновляемые ресурсы; В – отрасли торговли и услуг, использующие возобновляемые и не возобновляемые ресурсы; Г – обрабатывающие отрасли и отрасли торговли и услуг, использующие возобновляемые ресурсы; Д – обрабатывающие отрасли, использующие возобновляемые ресурсы; Е – отрасли торговли и услуг, использующие возобновляемые ресурсы; Ж – обрабатывающие отрасли и отрасли торговли и услуг, использующие невозобновляемые ресурсы; И – обрабатывающие отрасли, использующие не возобновляемые ресурсы; К – отрасли торговли и услуг, использующие не возобновляемые ресурсы.

Анализ данных за 2000–2006 гг. обнаружил отраслевую миграцию регионов в направлении наибольших предпочтений (Кочуров и др., 2007). Недавно ушедший из жизни, русский философ и политолог А. С. Панарин (2002), исследуя вопросы трудовых отношений в постсоветской России, указал на феномен «дезертирства труда» из отраслей с тяжёлыми и низкооплачиваемыми производственными условиями (добывающие и обрабатывающие отрасли с низкоэффективными сырьевыми технологиями) в более комфортные и высокооплачиваемые отрасли (торговля и услуги, в том числе финансовые). Приведённые примеры отраслевой миграции регионов в основном подтверждают наблюдения А. С. Панарина.

Перечень основных критериев региональной деятельности в соответствии с принятым подходом и структурой природопользования включает следующее: обобщённые показатели эффективности регионального природопользования, экологическую преступность в регионах, соотношение «население – территория – ресурсы – экономика», добродетели народа, производственные характеристики регионов, креативную активность населения, ментальные характеристики. Безусловно, важнейшими показателями регионального природопользования служат образующий прибыль результат и экологически затратных последствия, сопровождающие производство и потребление продукта.

Показатели образующего прибыль результата предлагается рассматривать, исходя из позиций основных субъектов региональной деятельности: с позиции работника: цель – повышение благосостояния населения; с позиции администрации: цель – производство валового регионального продукта; с позиции предпринимателя: цель – производство добавленной стоимости. Единым показателем затрат на достижение целевых показателей всех трёх позиций образующего прибыль сектора служат объёмы добычи и обработки природных ресурсов и сырья.

Показатели экологически затратных последствий предлагается рассматривать, исходя из следующих трех позиций: 1) с позиции эффективного использования техногенных рисков – снижение факторов техногенных рисков в региональных процессах добычи и обработки природных ресурсов и сырья; 2) с позиции эффективного использования ресурсов окружающей среды – снижение потребления экологических ресурсов окружающей среды в региональных процессах добычи и обработки природных ресурсов и сырья; 3) с позиции эффективного использования ресурсов человеческого потенциала – снижение потреб-

ления таких ресурсов в региональных процессах добычи и обработки природных ресурсов и сырья.

Результаты расчётов региональных соотношений «население – территория – природные ресурсы – экономика» по Российской Федерации представлены в графах 5–8 табл. 1. Из представленных данных видно, что ряд регионов имеют диспропорцию такого соотношения. По регионам торговли и услуг это Самарская, Ростовская и Нижегородская области; по обрабатывающим регионам Республика Карачаево-Черкесия, Республика Чувашия; по регионам добывающих, обрабатывающих отраслей и отраслей торговли и услуг – Архангельская область; по добывающим регионам Эвенкийский и Таймырский автономные округа.

Можно выявить ряд признаков (табл. 1), обусловленных влиянием на труд ментальных характеристик населения регионов: креативной активности населения общенационального направления (ОКАН); креативной активности населения индивидуального направления (ИКАН) и показателей добродетелей народа.

По торговым регионам выявляются две группы регионов: 1 – группа преимущественной торговли собственными ресурсами (высокие показатели региональных объёмов ресурсов и сравнительно низкие показатели ОКАН) или сравнительно низкие потенциалы ОКАН (для Нижегородской и Ростовской областей), усиленные высокими объёмами региональных ресурсов: Республика Татарстан, Самарская, Нижегородская, Ростовская области, Краснодарский край; 2 – группа торговли собственной готовой продукцией (низкие показатели региональных объёмов ресурсов и сравнительно высокие показатели ОКАН) или высокие возможности ОКАН при скудных объёмах собственных ресурсов: Москва, Санкт-Петербург.

По обрабатывающим и торговым регионам можно составить две группы регионов. 1 – это группа преимущественной торговли собственной готовой продукцией (низкие показатели региональных объёмов ресурсов и высокие показатели ИКАН) или высокие возможности ИКАН, при сравнительно небольших объёмах собственных ресурсов: Калининградская, Ульяновская, Ярославская и Воронежская области; 2 – группа торговли собственной готовой продукцией: высокие показатели региональных объёмов ресурсов и высокие показатели ОКАН (Московская, Белгородская, Тульская области) или высокие возможности ОКАН, усиленные высокими объёмами собственных ресурсов.

По обрабатывающим регионам можно выделить шесть групп регионов: 1 – низкие показатели объёмов региональных ресурсов и высокие показатели ИКАН или высокие, несмотря на ограниченность ресурсов, возможности населения в достижении личного благосостояния: Республика Карачаево-Черкесия, Республика Адыгея; 2 – средние и высокие показатели объёмов региональных ресурсов и высокие показатели ИКАН или высокие, обеспеченные объёмами региональных ресурсов, возможности населения в достижении личного благосостояния: Еврейская автономная область, Республика Северная Осетия; 3 – высокие показатели объёмов региональных ресурсов и относительно высокие показатели добродетелей народа или высокие, обеспеченные объёмами регио-

нальных ресурсов, возможности населения в достижении общенационального и личного благосостояния: Республика Алтай; 4 – средние и высокие показатели объёмов региональных ресурсов и высокие показатели ОКАН или высокие, обеспеченные объёмами региональных ресурсов, возможности населения в достижении общенационального благосостояния: Курганская, Орловская, Псковская, Новгородская области; Республика Кабардино-Балкария, Республика Марий-Эл; 5 – низкие показатели объёмов региональных ресурсов и высокие показатели ОКАН или высокие, несмотря на скудность региональных ресурсов, потенции населения в достижении общенационального благосостояния: Республика Мордовия, Ивановская, Тамбовская, Калужская и Брянская области и Республика Чувашия; 6 – высокие и средние показатели объёмов региональных ресурсов и высокие показатели добродетелей народа или высокие, обеспеченные объёмами региональных ресурсов, возможности населения в достижении общенационального и личного благосостояния: Пензенская, Владимирская и Кировская области.

По добывающим и обрабатывающим регионам низкие объёмы ресурсов для Республики Калмыкия, Рязанской и Курской областей могут указывать на истощение их запасов или высокую стоимость их разработки и на значительную вероятность миграции этих регионов в группу обрабатывающих регионов.

На эффективность регионального природопользования существенное влияние оказывает креативная активность и добродетели населения. В целом можно говорить о двух основных направлениях креативной активности населения: 1) общенациональное направление, определяемое соотношением регионального вклада в экономику Российской Федерации к числу занятых в экономике; 2) индивидуальное направление, косвенно определяемое величиной коэффициента фондов (отношением дохода 10% высоко доходных слоёв населения к 10% низко доходных), в расчёте на одного занятого в экономике региона.

Очень важен тип соотношений показателей креативной активности населения общенационального и индивидуального направлений. Превосходство показателей креативной активности населения общенационального направления над индивидуальным нужно рассматривать как положительный фактор организации креативной активности. В этом случае креативный региональный вклад в обеспечение роста экономики страны и общего благосостояния населения выше, чем для личного обогащения. Это обеспечивает рост благосостояния страны.

Равенство показателей креативной активности населения общенационального и индивидуального направлений нужно рассматривать как явно отрицательный фактор организации креативной активности населения. В этом случае рост общего благосостояния населения снижается из-за того, что креативная активность переориентируется на личное обогащение. Это приводит к застою развития региона и даже всей страны.

Таблица 1

**Эффективность регионального природопользования в системе  
«население – территория – ресурсы, экономика» (на 2006 г.)**

Номера и наименования регионов	Обобщённые показатели эффективности регионального природопользования			Экологическая преступность в регионах			Региональные соотношения «население–территория–ресурсы–экономика»				Добродетели народа			Производственные характеристики регионов					Креативная активность населения			Ментальные характеристики		Сравнительная характеристика	
	Организационный фундамент региональной деятельности	Прибыль-образующий сектор (ПОС)	Запратно экологический сектор (ЗЭС)	Количество экологических преступлений (ЭП).	Количество ЭП в расчете на единицу производственных показателей	Нормированный уровень количества ЭП в расчете на единицу производительности.	Нормированная среднегодовая численность занятых в экономике	Нормированная оценки размеров территории региона	Нормированная оценка природных ресурсов и сырья региона	Нормированная оценка вклада региона в достижение целей РФ	«От разума». Справедливость. Мудрость. Крепость	«От сердца». Кротость. Вера. Служение Отечеству	Обобщенные показатели добродетелей народа: от разума и от сердца	Средняя арифметическая по отраслям «Торговля и услуги»	Средняя арифметическая по отраслям «Обработка»	Средняя арифметическая по отраслям «Добыча»	Обобщенные производственные показатели региона.	Нормированные обобщенные производственные показатели региона	Нормированные показатели ОКАН	Нормированные показатели ИКАН	Нормированное преимущество, отношение ОКАН/ИКАН	Обобщенные показатели ОКАН/ИКАН и добродетелей населения	Временная эффективность регионального природопользования	Монетарная эффективность	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
<b>Регионы с обрабатывающей отраслевой доминантой</b>																									
21. Р. Чувашия	ОВ	С	ОВ	1,7	0,2	1	9	4	3	10	ОВ	В	9	2,3	5,0	1,5	2,9	8	В	Н	В	9		С	
32. Брянская обл.	В	Н	С	5,5	0,7	5	9	5	3	10	В	В	6	2,4	5,1	1,3	2,9	8	В	С	В	5	В	В	
33. Владимирская обл.	В	В	Н	7	0,8	5,5	10	5	5	10	ОВ	ОВ	10	2,7	4,5	1,9	3,0	9	В	Н	В	10	В	В	
40. Калужская обл.	В	В	С	5	0,6	4	7	5	3	10	В	В	7,5	2,8	4,4	1,4	2,9	8	В	Н	В	8	С	Н	
43. Кировская обл.	В	Н	В	8	0,8	5,5	10	10	8	10	ОВ	ОВ	10	2,9	4,6	2,9	3,5	10	С	ОН	В	8		В	
58. Пензенская обл.	В	Н	В	4,3	0,5	3	5	6	5	9	В	В	8	2,5	4,6	1,9	3,0	9	С	Н	В	7,5	В	В	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1. Р. Адыгья	С	В	С	2,5	0,6	4	2	1	1	4	В	Н	4	1,7	4,6	1,1	2,5	4	С	В	Н	4		Н
7. Р. Кабардино-Балкария	С	С	В	1	0,3	2	5	4	4	8	В	С	5,5	1,9	3,8	1,7	2,5	4	В	С	В	2,5		С
12. Р. Марий-Эл	С	В	Н	9	1,5	7	5	4	4	7	С	С	4,7	1,8	4,5	1,8	2,7	6	С	В	Н	4,7		С
13. Р. Мордовия	С	В	С	4,3	0,7	5	6	5	1	9	В	В	6	1,9	5,0	1,2	2,7	6	В	С	В	5,5	В	Н
37. Ивановская обл.	С	Н	Н	7,5	1,5	7	7	4	3	8	В	В	7	2,0	4,3	1,5	2,6	5	В	Н	В	7		ОВ
45. Курганская обл.	С	Н	Н	10	2,5	10	7	7	4	8	Н	Н	2,5	2,1	3,6	1,8	2,5	4	С	С	С	2		В
53. Новгородская обл.	С	ОН	Н	5	0,8	5,5	5	6	6	9	С	В	5	1,9	5,0	2,1	2,7	6	В	С	В	4,3	С	С
57. Орловская обл.	С	В	Н	3	0,3	2	6	4	5	10	С	С	4,3	2,0	5,1	1,9	3,0	9	В	С	В	6		В
60. Псковская обл.	С	ОН	Н	7	0,9	6	5	6	5	8	В	С	5,5	1,9	4,8	2,0	2,9	8	С	Н	В	5		С
68. Тамбовская обл.	С	В	С	2	0,3	2	4	5	1	10	С	С	4,3	2,2	5,0	1,2	2,8	7	В	С	В	4	В	В
3. Р. Алтай	Н	ОН	В	4	0,8	5,5	1	8	6	4	В	С	5	1,4	4,2	2,3	2,6	5	С	Н	В	2,5		Н
9. Р. Карачаево-Черкессия	Н	ОВ	Н	1,7	0,6	4	2	4	1	6	С	Н	3	1,7	4,3	1,2	2,4	3	С	В	Н	4		С
15. Р. Северная Осетия	Н	С	В	1,3	0,4	2,5	3	2	10	7	С	С	3	1,9	3,3	2,0	2,4	3	С	В	Н	3		С
79. Еврейская авт. обл.	Н	Н	Н	2,5	0,6	4	1	5	5	3	Н	Н	2	1,1	3,4	1,9	2,5	4	Н	В	Н	1,7	Н	Н
81. Коми-Пермяцкий окр.	Н	ОН	Н	4,7	2,4	9	1	5	1	1	ОН	ОН	1	0,9	3,8	1,0	1,9	2	ОН	В	Н	1		Н

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
85. Усть-Ордынский окр.	Н	Н	Н	6	2,4	9	1	4	3	2	Н	ОН	1,3	0,8	4,8	1,4	2,3	2,5	Н	В	Н	1,3		С
80. Агинский Бурятский ок.	ОН	В	ОН	2	2	8	-	4	3	2	Н	Н	1,7	0,7	3,1	1,3	1,7	1	Н	О В	Н	2		ОН
Регионы с добывающей и обрабатывающей отраслевыми доминантами																								
69. Тверская обл.	ОВ	В	С	8	0,9	4	9	7	6	7	ОВ	ОВ	10	3,0	4,4	3,3	3,6	9	В	Н	В	4	С	С
46. Курская обл.	В	В	В	1	0,1	1	8	1	3	7	В	В	7	2,4	3,9	2,8	3,0	7	В	В	С	5	В	В
47. Ленинградская обл.	В	С	В	9	0,9	4	10	6	10	10	В	ОВ	9	3,1	4,0	4,9	4,0	10	ОВ	ОН	ОВ	2		Н
62. Рязанская обл.	В	ОВ	Н	3	0,4	2	7	1	3	7	В	В	8	2,7	4,0	2,9	3,2	8	В	В	С	4	С	ОВ
10. Р. Карелия	С	В	ОН	4	1,3	6	4	8	4	3	В	В	6	2,0	2,8	3,1	2,6	3	С	С	С	5	Н	В
28. Амурская обл.	С	С	В	5	1	5	6	10	8	5	С	С	5	2,0	3,0	3,6	2,9	5	С	С	С	6		Н
4. Р. Бурятия	Н	ОН	В	10	2,5	8	5	10	6	5	ОН	Н	3	2,1	2,9	3,3	2,8	4	С	В	Н	7	С	С
8. Р. Калмыкия	Н	Н	ОВ	7	7	10	1	4	1	2	Н	Н	3	1,4	2,3	2,1	1,9	1	Н	В	Н	3		В
44. Костромская обл.	Н	Н	ОН	6	0,9	4	4	4	6	3	С	С	4	1,9	3,7	3,3	3,0	7	С	В	Н	10	С	В
17. Р.Тыва	ОН	В	Н	2	0,7	3	1	8	6	1	ОН	ОН	1	1,3	3,1	3,3	2,6	3	ОН	В	Н	1		ОН
Регионы с обрабатывающей и торговой отраслевыми доминантами																								
26. Ставропольский кр.	ОВ	Н	ОВ	1	0,1	1	8	10	8	5	ОВ	ОВ	10	4,8	4,0	3,3	4,0	7	Н	Н	С	9		Н
36. Воронежская обл.	В	В	В	7	1,8	6	8	9	3	6	С	Н	3	4,0	4,4	2,3	3,6	4	С	В	Н	4		В
50. Московская обл.	В	В	В	10	1	4	10	8	10	10	В	В	7	6,9	4,9	4,0	5,3	10	ОВ	В	В	10		С



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
76. Ярославская обл.	С	С	Н	9	1,8	6	4	5	3	3	Н	С	4	4,2	4,7	2,2	3,7	5	С	В	Н	3		ОВ
31. Белгородская обл.	Н	Н	Н	6	6	10	4	5	4	5	С	С	4	3,0	3,7	2,4	3,0	1	В	С	В	5		В
71. Тульская обл.	Н	Н	С	3	0,8	3	6	5	5	3	В	В	8	3,5	4,4	2,9	3,6	4	Н	ОН	В	8		В
39. Калининградская обл.	ОН	ОВ	ОН	8	4	8	1	1	2	4	В	Н	5	3,7	3,5	2,0	3,1	2	В	ОВ	Н	7		ОН
73. Ульяновская обл.	ОН	Н	С	5	5	9	3	5	1	1	ОН	ОН	1	3,0	4,2	1,7	3,0	1	ОН	ОВ	ОН	1		ОВ
Регионы с добывающей, обрабатывающей и торговой отраслевыми доминантами																								
64. Саратовская обл.	ОВ	С	В	2	0,3	1	10	5	8	9	ОВ	ОВ	10	5,0	3,5	3,8	4,1	8	В	Н	В	9		В
25. Приморский кр.	В	В	В	8	1,3	5	8	8	6	8	В	В	8	4,7	3,4	3,3	3,8	6	С	Н	В	10		В
27. Хабаровский кр.	В	Н	ОВ	9	1,8	10	5	10	9	6	Н	ОН	1	3,7	3,1	4,2	3,7	5	В	В	Н	1		Н
54. Новосибирская обл.	В	В	В	10	1	3	10	8	9	10	В	В	7	5,3	4,6	4,1	4,7	10	В	С	В	7		В
55. Омская обл.	В	ОВ	В	5	1,7	9	7	6	5	7	С	С	4	4,5	4,3	3,2	4,0	7	С	ОВ	Н	6		С
18. Р. Удмуртия	С	С	Н	4	1,3	5	6	3	5	5	В	В	6	3,6	3,0	3,2	3,3	3	В	ОН	В	8		ОВ
67. Смоленская обл.	С	С	ОН	3	1,5	7	2	4	3	3	В	Н	5	2,4	3,3	2,5	2,7	2	В	В	Н	5		В
22. Алтайский кр.	Н	Н	С	7	1	3	9	8	7	7	ОН	С	3	4,2	4,3	3,5	4,0	7	С	В	Н	4		С
29. Архангельская обл.	Н	ОН	В	2,5	1,4	6	4	9	10	3	Н	Н	2	3,9	3,1	4,4	3,8	6	Н	Н	С	1		В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
35. Вологодская обл.	Н	ОН	Н	6	1,5	7	3	7	8	6	Н	Н	1	3,6	2,9	4,0	3,5	4	В	В	С	2		С
6. Р. Ингушетия	ОН	В	С	1	1	3	1	1	1	1	С	ОН	3	1,2	1,4	1,6	1,4	1	Н	В	Н	3		ОН
Регионы с добывающей и торговой отраслевыми доминантами																								
66. Свердловская обл.	ОВ	ОВ	С	7,5	0,8	3	10	5,5	5,5	8	В	ОВ	10	7,5	2,7	5,6	5,3	10	В	С	В	8		В
2. Р. Башкортостан	В	В	В	3	0,5	2	8	5	5	7,5	В	В	8	5,6	2,9	4,4	4,3	6	Н	С	Н	7,5		С
34. Волгоградская обл.	В	В	В	9	1,8	6	5,5	4	3	4	ОВ	В	10	4,6	3,1	4,6	4,1	5	С	ОН	В	10		В
59. Пермская об.	В	Н	В	7	1,9	7	6	5	5	5,5	В	С	7	5,1	3,4	4,9	4,5	8	С	В	Н	5		В
72. Тюменская обл.	В	Н	В	4	0,4	1	9	9	9	10	С	В	7,5	7,6	0,8	6,4	4,9	9	Н	С	Н	7		С
74. Челябинская обл.	В	В	Н	4,3	0,8	3	7,5	2,5	2,5	6	В	В	9	5,6	2,1	4,8	4,2	5,5	В	Н	В	9		ОВ
24. Красноярский кр.	С	Н	ОВ	6	0,9	4	7	10	10	7	С	В	5,5	5,1	1,6	6,6	4,4	7	С	Н	В	5,5		В
38. Иркутская обл.	С	Н	В	8	1	5	5	8	8	4,7	Н	Н	3	4,8	3,0	5,6	4,5	8	Н	В	Н	1,7		ОВ
42. Кемеровская обл.	С	Н	С	1,7	0,4	1	5,5	3	3	5	С	С	6	5,1	1,4	5,4	4,0	4	С	С	Н	6		В
86. Ханты-Мансийский авт. округ	С	ОН	В	5,5	1,8	6	4	7,5	7,5	9	Н	Н	2,5	4,8	0,2	5,3	3,4	3	ОВ	В	В	3		В
5. Р. Дагестан	Н	С	С	5	2	8	3	2	2	2	В	Н	7	4,1	2,8	2,9	3,3	2,5	Н	Н	В	5,5		Н
11. Р. Коми	Н	ОН	С	2	0,7	2,5	2,5	7	7	2,5	ОН	ОН	1	3,6	2,2	4,4	3,4	3	С	С	В	1		В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
30. Астраханская обл.	Н	С	С	10	10	10	2	2	2	1	В	С	5	2,2	1,9	2,9	2,3	1	Н	В	Н	2,5		Н
65. Сахалинская обл.	Н	В	Н	4,7	4,7	9	1	2,5	2,5	1	Н	Н	2	2,3	1,9	2,8	2,3	1	Н	ОВ	Н	1,3		ОН
70. Томская обл.	Н	Н	Н	2,5	1,3	5,5	2	6	6	2	С	С	4	2,9	2,4	4,1	3,1	2	Н	С	Н	2		В
48. Липецкая обл.	ОН	С	ОН	1	1	1	2,5	1	1	3	Н	Н	3	2,5	1,8	2,7	2,3	1	С	В	Н	4		В
Регионы с торговой отраслевой доминантой																								
78. г. Санкт-Петербург	ОВ	ОВ	Н	1	0,2	1	8	1	1	7	ОВ	ОВ	10	8,5	3,9	2,7	5,0	5	В	В	В	9		ОВ
23. Краснодарский кр.	В	С	ОВ	8	1,1	6	6	6	8	4	В	В	8	6,9	4,6	3,6	5,1	7	С	С	С	7		ОН
61. Ростовская обл.	В	ОН	В	10	1,4	8	4	10	10	2	В	В	6	6,9	4,4	4,0	5,1	7	Н	Н	С	10		С
77. г. Москва	В	В	В	4	0,4	3	10	1	3	10	С	В	6	9,6	4,0	3,1	5,6	10	ОВ	В	В	4		С
52. Нижегородская обл.	С	Н	С	5	1,3	7	2	8	10	1	В	Н	5	5,9	3,8	3,8	4,5	4	ОН	ОН	С	3		Н
63. Самарская обл.	Н	Н	Н	3	0,8	5	1	4	8	3	ОН	ОН	1	6,8	3,1	3,7	4,5	4	С	В	Н	1		В
16. Р. Татарстан	ОН	Н	ОН	6	6	10	2	6	5	5	Н	С	3	6,1	2,9	3,4	4,1	1	С	В	Н	6		В
Регионы с добывающей отраслевой доминантой																								
56. Оренбургская обл.	ОВ	С	С	7,5	0,8	4	10	2,5	9	9	ОВ	ОВ	10	3,7	1,8	5,4	3,6	10	В	Н	В	3	В	В
14. Р. Саха Якутия	В	В	В	4	0,4	1	7	10	10	8	В	В	6	3,6	0,6	5,8	3,3	9	С	С	С	8	С	В
19. Р. Хакассия	В	В	Н	8	1,3	7	4	2	7	6	В	В	9	1,7	2,0	4,1	2,6	6	С	С	С	7	В	В
41. Камчатская обл.	В	ОВ	Н	9	1,3	7	3	6	4	5	В	В	5	2,1	3,0	3,3	2,8	7	С	Н	В	4		С

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
49. Магаданская обл.	В	С	Н	5	1	5	2	5,5	5	4	С	С	7,5	1,9	0,9	3,6	2,1	5	Н	С	Н	10	В	В
51. Мурманская обл.	В	В	С	7	0,8	4	7	3	8	8	С	В	7	3,0	2,5	4,4	3,3	9	В	С	В	5		В
75. Читинская обл.	В	В	В	10	1,3	7	7	5	8	7	В	В	8	2,4	1,9	4,6	3,0	8	С	Н	В	6	В	ОН
89. Ямало-Ненецкий округ	В	Н	В	6	1,1	6	5	7,5	7	10	Н	С	4	2,7	0,1	4,1	2,3	5,5	ОВ	В	В	2	С	С
84. Таймырский округ	С	ОН	ОВ	1,7	0,6	3	-	9	3	5	В	В	6	1,1	1,1	2,9	1,7	3	Н	Н	С	2		Н
87. Чукотский окр.	С	Н	С	3	0,8	4	1	7	5	5	Н	Н	3	1,2	0,9	3,6	1,9	4	С	В	Н	3	В	ОВ
82. Корякский округ	Н	ОН	ОН	2,5	0,6	3	-	4,7	4	1	В	С	5,5	1,0	1,3	3,4	1,9	4	Н	С	Н	9		С
83. Ненецкий окр.	Н	В	Н	1	0,5	2	-	4	3	5	Н	Н	2	0,9	0,1	2,8	1,3	2	С	В	Н	1	Н	Н
88. Эвенкийский округ	ОН	ОН	Н	2	0,8	4	-	8	4	2	Н	Н	2,5	0,6	0,6	3,3	1,5	2,5	Н	В	Н	1	Н	ОН
20. Р. Чечня	Н	ОН	В	5,5	5,5	10	-	1	1	3	ОН		1	0,2	0	1,0	0,4	1				-		

Занижение показателей креативной активности населения общенационального направления относительно индивидуального нужно рассматривать как крайне недостаточный фактор организации креативной активности населения. В этом случае рост экономики страны и общего благосостояния населения прекращается из-за того, что креативная активность в основном переориентирована на личное обогащение. Это приводит к ухудшению благосостояния страны.

На характер соотношений креативной активности общенационального и индивидуального направлений оказывает влияние организационный фундамент региональной деятельности. Это важный показатель управления природопользования. Он определяет качество региональных технологий (способов достижения целей) и инвестиционную привлекательность региона. Очень важно, чтобы креативная активность и организационный фундамент, обогащая друг друга, совместно возрастали. В обеспечении такого взаимно обуславливающего роста креативной активности и организационного фундамента и состоит задача управления регионом. Организационный фундамент должен раскрепощать креативную активность и, в свою очередь, креативная активность должна стимулировать рост организационного фундамента. В регионах, где они в наибольшей степени поддерживают друг друга, должен наблюдаться подъём региональной деятельности.

Существует ещё один ряд важных факторов, входящих в состав организационного фундамента региональной деятельности и определяющих принципы стратегического управления регионом. Это добродетели населения. Мы предлагаем следующие показатели добродетелей населения: справедливость, мудрость, крепость, свобода вероисповедания, служение отечеству.

**Заключение.** Предложенный поход к оценке эффективности природопользования, в отличие от традиционного монетарного, во-первых, оперирует натуральными единицами: вес, объём, площадь, время, количество, рубли. Во-вторых, региональная деятельность рассматривается как процесс, который включает целенаправленную последовательность действий, ограниченную привлечёнными ресурсами, и характеризуется целями и способами действий, а также затратами ресурсов на достижение целей. Впервые исследовался важнейший фактор управления региональной деятельностью – влияние ментальных показателей региональной деятельности (креативной активности и добродетелей населения) на эффективность природопользования. Вспомним высказывание Р. У. Эмерсона: «Истинный показатель цивилизации – не уровень богатства и образования, не величие городов, не обилие урожая, а облик человека, воспитываемого страной» (Панарин, 2002). При исследовании причин, определяющих эффективность регионального природопользования, нас интересуют в этом обличье главным образом те аспекты, которые формируют рачительного хозяина России, вкладывающего свой талант в становление её экономического могущества, в повышение эффективности природопользования России.

Результаты региональной деятельности в каждом регионе различаются по эффективности природопользования – главному показателю рачительности или

расточительности хозяйствования. Они в значительной степени зависят от ментальных характеристик населения региона.

Сложившаяся ситуация не совсем отвечает стратегическим направлениям развития экономики России. Вначале ставилась задача наращивания ВВП. Наиболее простой путь решения этой задачи – торговля сырьевыми ресурсами страны. В соответствии с этой стратегией отраслевая иерархия региональной деятельности строилась от наиболее значимых торговых, через добывающие, к наименее значимым обрабатывающим отраслям. Такая стратегия привела к разрушению наиболее технологичных, наукоёмких обрабатывающих отраслей и к гипертрофированному развитию торговых и добывающих отраслей. Нынешняя стратегия развития страны должна быть ориентирована на восстановление потенциала обрабатывающих отраслей. Отраслевая иерархия региональной деятельности переворачивается в соответствии с новой аксиоматикой отраслей: от наиболее значимых сегодня обрабатывающих через добывающие к торговым и обслуживающим отраслям.

Дальнейшее развитие работ по эффективности регионального природопользования связано прежде всего с постановкой ежегодного мониторинга этой эффективности. Очень важно привлекать специалистов из регионов к сбору и анализу показателей эффективности регионального природопользования, креативной активности и добродетелей населения. Это позволит, во-первых, получать исходные данные на 1,5–2 года раньше, т. е. давать оценки эффективности регионального природопользования оперативно, в «реальном масштабе времени». Во-вторых, государственная задача повышения эффективности природопользования обретёт общенациональное значение.

### **Библиографический список**

Гранберг А. Г. Основы региональной экономики. М.: ГУВШЭ, 2001.

Ишмуратов Б. М. Региональные системы производительных сил. Методические основы географического анализа. Новосибирск: Наука, 1979. 237 с.

Кочуров Б., Смирнов А. Эффективность регионального природопользования. Региональные соотношения «население – территория – ресурсы – экономика». Креативная активность населения. Добродетели народа // Экономические стратегии. № 3 (53). 2007. С. 32–44.

Кочуров Б. А., Смирнов А. Я. Опыт разработки экспресс мониторинга эффективности регионального природопользования // Юг России: экология и развитие. 2006, № 4. С. 6–19.

Кочуров Б. И., Смирнов А. Я., Лобковский В. А., Лобковская Л. Г. Оценка и мониторинг эффективности регионального природопользования // Научное наследие Петра Петровича Семенова-Тян-Шанского и его роль в развитии современной науки. Материалы Всеросс. науч.-практич. конференции, посвящ. 100-летию со дня рождения П. П. Семенова-Тян-Шанского. Липецк, 2007. С. 101–122.

Панарин А. С. Православная цивилизация в глобальном мире. М.: Алгоритм, 2002. 493 с.

Регионы России. Социально-экономические показатели. Официальное издание. Федеральная служба государственной статистики. М., 2006.

Рунова Т. П. Природопользование на современном этапе и географические подходы к его изучению и оценке // Оценка и прогноз природопользования в развитии регионов. М.: Ин-т географии АН СССР, 1998. С. 10–20.

Территориальная структура хозяйства староосвоенных регионов. М.: Наука, 1995. 181 с.

Тойнби А. Цивилизация перед лицом истории. СПб., 1995.

Научное издание

Материалы  
всероссийской научной школы для молодежи  
**«Инновационные методы и подходы в изучении  
естественной и антропогенной динамики окружающей среды»**

Лекции

Часть 1

*Верстка: Е. М. Кардакова*

Допечатная подготовка: ООО «Лобань»

Подписано к печати 9.11.09. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная  
Усл. п. 13,9 л. Тираж 300 экз. Заказ 490.

Вятский государственный гуманитарный университет,  
610002, г. Киров, ул. Красноармейская, 26.

Отпечатано в типографии «Лобань», г. Киров, ул. Большевиков, 50.