

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Челябинский государственный университет»

**А. Р. Сибиркина, С. Ф. Лихачев**

**ПРОГРАММА И МЕТОДИКА  
БИОГЕОЦЕНОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Курс лекций*

Челябинск  
Издательство Челябинского государственного университета  
2024

УДК 574.4(075.8)  
ББК Е080.5я7  
С341

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Челябинского государственного университета

Рецензенты:  
кафедра геоэкологии и природопользования  
Тюменского государственного университета;  
А. В. Синдирева, доктор биологических наук, доцент

**Сибиркина, А. Р.**

С341 Программа и методика биогеоценологических исследований : курс лекций / А. Р. Сибиркина, С. Ф. Лихачев. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2024. — 126 с.  
ISBN 978-5-7271-1953-2  
doi 10.47475/9785727119532

Рассматриваются программные и методические вопросы полезных биогеоценологических исследований. Сообщается методика и программа изучения связей между биогеоценозами, их структурно-функциональная организация как целостных систем. Курс лекций знакомит с основными понятиями, концепциями и проблемами биогеоценологии, изучающей связи и взаимодействия в элементарных ячейках поверхностной оболочки Земли — биогеоценозах. Рассматривается системный характер биогеоценозов и их компонентный состав, функциональный, пространственный и временной аспекты их организации. Анализируются вопросы устойчивости и динамики биогеоценологических систем, межбиогеоценологические связи, их механизмы и изучение.

Курс лекций предназначен для аспирантов, обучающихся по специальности «1.5. Биологические науки» направления подготовки «Экология».

УДК 574.4(075.8)  
ББК Е080.59я73-2

ISBN 978-5-7271-1953-2 © Сибиркина А. Р., Лихачев С. Ф., 2024  
© Челябинский государственный университет, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Тема 1. Представление о биогеоценозах и общее направление изучения их структурно-функциональной организации. . . . .</b>	<b>5</b>
1.1. Понятия, объекты и методы изучения . . . . .	5
1.2. Изучение атмосферы, воды и почвы как компонентов биогеоценозов . . . . .	18
1.3. Изучение атмосферы, воды и почв как компонентов биогеоценозов . . . . .	57
1.4. Изучение растительности как компонента биогеоценоза . . . . .	58
1.5. Изучение простейших, грибов и микроорганизмов как компонентов биогеоценоза . . . . .	61
1.6. Изучение животного населения как компонента биогеоценоза . . . . .	67
1.7. Полевое изучение разнотипных сообществ. . . . .	70
Вопросы и задания для самоконтроля . . . . .	78
<b>Тема 2. Особенности изучения агробиогеоценозов и урбосистем . . . . .</b>	<b>79</b>
2.1. Агробиогеоценозы . . . . .	79
2.2. Агроэкологические методы и их применение. . . . .	83
2.3. Роль полевого опыта и предъявляемые к нему требования . . . . .	84
Вопросы и задания для самоконтроля . . . . .	88
<b>Тема 3. Методы биоиндикации и биотестирования . . . . .</b>	<b>89</b>
3.1. Основные понятия . . . . .	89
3.2. Оценка почв методами биотестирования . . . . .	90
3.2.1. Оценка кислотности почв с использованием растений-индикаторов . . . . .	90
3.2.2. Оценка токсичности почвы с использованием инфузории-туфельки как тест-объекта . . . . .	92
3.2.3. Оценка загрязнения почвы грибной микрофлорой . . . . .	94
Вопросы и задания для самоконтроля . . . . .	95
<b>Тема 4. Урбанистические системы . . . . .</b>	<b>96</b>
4.1. Основные понятия . . . . .	96
4.2. Методы социальной экологии . . . . .	101
Вопросы и задания для самоконтроля . . . . .	103

<b>Тема 5. Основные методы количественного анализа и статистической обработки данных</b> .....	104
5.1. Методы математической статистики .....	104
5.2. Статистический анализ данных .....	107
5.3. Статистическая обработка данных .....	110
5.3.1. Меры центральной тенденции .....	110
5.3.2. Меры разброса данных .....	112
5.4. Межбиогеоценотические связи, их механизмы и изучение	115
Вопросы и задания для самоконтроля .....	124
<b>Список литературы</b> .....	125

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О БИОГЕОЦЕНОЗАХ И ОБЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ИХ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

- 1.1. Понятия, объекты и методы изучения.
- 1.2. Изучение атмосферы, воды и почвы как компонентов биогеоценозов.
- 1.3. Изучение атмосферы, воды и почв как компонентов биогеоценозов.
- 1.4. Изучение растительности как компонента биогеоценоза.
- 1.5. Изучение простейших, грибов и микроорганизмов как компонентов биогеоценоза.
- 1.6. Изучение животного населения как компонента биогеоценоза.
- 1.7. Полевое изучение разнотипных сообществ.

### 1.1. Понятия, объекты и методы изучения

**Биогеоценоз** — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществ и энергией: между собой и с другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое единство, находящееся в постоянном движении и развитии.

Природное сообщество, или **биогеоценоз** — это совокупность живых организмов (растений, животных, бактерий, грибов) и условий абиотической среды на определенной территории. Важным признаком биогеоценоза является осуществление круговорота веществ.

**Биогеоценоз** — это вся совокупность видов и вся совокупность факторов среды, определяющих существование данной экосистемы с учетом неизбежного антропогенного воздействия. Существенной частью биогеоценозов является биоценоз.

**Биоценоз** — совокупность совместно обитающих популяций разных видов микроорганизмов, грибов, растений и животных. Термин «биоценоз» впервые применил Мёбиус (1877), изучая группу организмов устричной банки, то есть с самого начала это сообщество организмов было ограничено неким «географическим» пространством, в данном случае границами отмели. В дальнейшем это пространство было названо **биотоп** или условия окружающей среды на определенной территории (воздух, вода, почвы и подстилающие их горные породы), которое более привычно называть **экотоп** — окружающая среда, в которой существуют растительность, грибы, животный мир и микроорганизмы, составляющие биоценоз.

Компоненты биотопа находятся в активном взаимодействии между собой, создавая определенную биологическую систему — **биогеоценоз**, как называл ее В. Н. Сукачев, подчеркивая, что в этой системе совокупность абиотических и биотических компонентов имеет «...свою, особую специфику взаимодействий» и «определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы (Сукачев, 1972). Исходя из идеи В. В. Докучаева о взаимодействии мертвой и живой природы и концепции Г. Ф. Морозова о лесе как сложном природном явлении, в 1940-х гг. В. Н. Сукачев предложил понятие «биогеоценоз», связавшее в динамическом единстве земную поверхность с ее обитателями и абиотическими факторами среды. Представления Сукачёва о биоценозе в дальнейшем легли в основу **биогеоценологии** — целого научного направления в биологии, занимающегося проблемами взаимодействия живых организмов между собой и с окружающей их абиотической средой.

Ранее, в 1935 г. английский ботаник А. Тенсли предложил термин «экосистема». Согласно определению А. Тенсли, под экосистемой следует понимать **комплекс организмов и одновременно среду их существования со всеми взаимосвязями и взаимодействием между ними**. Этим термином он обозначил совокупность организмов, обитающих в данном экотопе (биотопе), которая, по его мнению, яв-

ляется именно системой, с ее составными элементами, единой историей и со способностью к согласованному развитию. В своих работах Ю. Одум писал, что термины «биогеоценоз» и «экосистема» являются синонимами [13; 14], указывая на то, что названиями «биогеоценоз» и «экосистема» характеризуют одно и то же природное явление — **совокупность живых организмов и условий абиотической среды**, но с разных позиций. Биогеоценоз отличается от экосистемы территориальной ограниченностью, и его границы определяются фитоценозом. Об изменении условий в биотопе и о границе с соседним биогеоценозом, например, о границе между лесным и луговым биогеоценозами, можно судить по переходу растительности — от древесной к травянистой.

Биоценозы складываются на протяжении длительного времени, характеризуется стабильностью и достаточно устоявшейся структурной организацией входящих в него организмов, в природе существует биоценозы с группировками из многих видов.

**Биоценозы характеризуются** способностью к саморегуляции и самовоспроизводимости через продуцирование живого вещества. Биотоп (экотоп), то есть величина территории с однородными абиотическими свойствами, определяет размеры биоценоза.

Рассмотрим понятие «**экотоп**». Обычно понятие экотоп определяется как местообитание организмов, характеризующееся определенным сочетанием экологических условий — почв, грунтов, микроклимата и др., и тогда оно по смыслу близко к понятию климатоп (**климатоп** — сочетание физических характеристик среды — воздушной или водной, существенных для населяющих эту среду организмов и их сообществ [20]).

В отличие от биотопа под экотопом понимается **определенная территория или акватория со всем набором и особенностями почв, грунтов, микроклимата и других факторов в неизменном организмах виде**. По Сукачёву, **экотоп** — «совокупность всех составных элементов биотопа» (Сукачев, 1961).

Биогенной составляющей биогеоценоза является почва, поскольку ее происхождение напрямую связано с живым веществом, а органическое вещество в почве — это продукт жизнедеятельности биоценоза на разных стадиях трансформации.

Сообщество организмов ограничено биотопом, биоценоз и биотоп функционируют в непрерывном единстве.

**Биогеоценология** — наука о биогеоценозах, занимается проблемами взаимодействия живых организмов между собой и с окружающей их абиотической средой.

**Фитоценозы**, как часть биогеоценоза, являются:

- 1) основными артериями для поступления энергии Солнца;
- 2) главные производители первичной продукции в биогеоценозе;
- 3) зеркало процессов и явлений, протекающих в биогеоценозе;
- 4) доступными для изучения процессов непосредственно в природе;
- 5) эффективными для применения полевых методов исследований и методов камеральной обработки фактических материалов.

**Биогеоценоз** — это организованная и упорядоченная биокосная система, проявляющаяся «в виде определенного порядка в размещении и группировке взаимосвязанных своей работой масс живых и косных тел» и приводящая к обеспечению нормального и бесперебойного функционирования как их составных элементов разного ранга, так и системы в целом.

Под структурой биологических и биокосных систем в биологической литературе понимается «пространственно-временная организация целостных систем, выражающая закономерные связи морфологических и функциональных элементов...». Различают три направления в трактовке понятия «структура ценоза»:

- 1) структура рассматривается как популяционно-видовой, экобиоморфный и ценотический состав ценоза;
- 2) структура рассматривается как эколого-ценотическое пространственное расчленение ценоза на структурные части в вертикальном и горизонтальном отношении к поверхности Земли;
- 3) структура рассматривается как совокупность связей (трофических и прочих) между ценопопуляциями и компонентами ценоза, обеспечивающих обмен веществ и энергии в нем.

Также различаются три аспекта структуры биогеоценологических систем:

- 1) **структурно-физический аспект** — это характеристика пространственной группировки и размещения биогенных и абиогенных компонентов в пределах биогеоценоза;

2) **функциональный аспект** — это отражение взаимоотношений и работы этих биогенных и абиогенных компонентов в процессе функционирования биогеоценоза как целостной системы;

3) **временной аспект** — это отражение динамики функционирования биогеоценоза и его компонентов в определенный отрезок времени (сутки, вегетационный период, год, несколько лет).

Составные элементы биогеоценоза — **экобиоморфы**, или совокупность видов, имеющих сходные морфологические черты, биологические ритмы, эколого-физиологические, в том числе средообразующие особенности и играющие сходную роль в сообществах, например, планктонные, бентосные, нейстонные гидробионты, почвенные водоросли, некоторые насекомые и черви, злаковые, произрастающие в различных степях мира и др. Термин «**экобиоморфы**» предложил Е. М. Лавренко (1965) вместо понятий «**жизненная форма**» и «**биоморфа**», понимая под этим определенный тип приспособительной структуры растений и связанных с ней физиологических особенностей, характеризующих группу растений, обычно обитающих в сходных условиях среды), и **биоцено типы** высших живых существ — растений и животных.

Структурные части морфологической (пространственной) структуры биогеоценоза — **биогеогео горизонты** (понятие «биогеоценологический горизонт (**биогеогео горизонт**)» выделил Ю. П. Бяллович (1960) — это вертикально обособленная и далее по вертикали нерасчлененная структура биогеоценоза, сверху донизу однородная по составу биогеоценологических компонентов, по взаимосвязям и происходящим в нем превращениям веществ и энергии. В большинстве случаев биогеогео горизонты совпадают с ярусами, то есть это подразделение в значительной степени условно) и **парцеллы** (структурные части горизонтального расчленения сообщества, обособленные друг от друга на всю вертикальную толщу сообщества, то есть включающие не только растения, но и животных, почвы особенности нанорельефа и вариации микроклимата (Дылис, Уткин и Успенская, 1964)). От морфологической структуры биогеоценоза следует отличать его функциональную организацию — **пищевые (кормовые) цепи (сети)** и так называемые **консорции** (структурные единицы биоценоза, объединяющие автотрофные и гетеротрофные организмы на основе пространственных

(топических) и пищевых (трофических) связей). Примером консорции может служить система популяций «лось—паразит», где лось — это ядро консорции, а паразиты — консорты 1-го порядка.

К основным свойствам живой материи относится обмен веществ и энергии с неорганической природой и составных элементов ее между собой. Первый этап обмена — питание — связующее звено для организмов. Количество и качество пищи оказывает влияние на плодовитость, продолжительность жизни, развитие и смерть животных. В основе многообразных морфологических, физиологических и экологических приспособлений организмов лежит разнообразие пищевых рационов, например, размеры жертвы определяют количество съедаемой пищи хищными видами; качество и количество пищи насекомых отражается на числе откладываемых ими яиц; при достаточном количестве пищи развитие животных идет гораздо быстрее.

В отношениях живых существ **возникают трофические (пищевые) связи** и образуются автотрофные, биотрофные (обмен веществ и энергии между организмами путем потребления и переработки органических веществ), сапротрофные межвидовые взаимоотношения на почве совместного обитания.

Межвидовые взаимоотношения в растительном мире сложились и складываются в несколько иные формы, что нашло отражение в их соответствующей группировке и классификации. Выделяют следующие формы межвидовых взаимоотношений в растительных сообществах:

**1) механические взаимоотношения** — возможны при достаточно близком произрастании растений, например охлестывание крон хвойных растений ветвями соседних растений лиственных пород, срастание стволов или корней растений, лианами и растениями, служащими им опорой;

**2) взаимоотношения между лианами и растениями-опорами, эпифитами и их «хозяевами»,** пример симбиоза — полезные для лиан и эпифитов и в основном безвредные для их «хозяев»;

**3) физиологические взаимоотношения сросшихся корнями** или стволами особой разных видов растений, заключающиеся в обмене пластическими веществами между ними;

**4) биохимические взаимоотношения (аллелопатия)** — влияние специфических прижизненных выделений (метаболитов) одного вида

растений на особи другого. Например, вблизи сирени или пихты плохо развиваются яблони и груши, малина не любит смородину — это примеры биологической конкуренции растений;

**5) симбиотические взаимоотношения растительных видов,** включая мутуализм с взаимной пользой для обоих симбионтов;

**6) паразитические взаимоотношения,** например заразиха бледноцветковая паразитирует на сложноцветных, является вредителем сельскохозяйственных культур. Размножается только семенами, но для прорастания семян необходимо близкое расположение корней растения-хозяина. Семена очень мелкие, пылевидные, но их образуется до полмиллиона в одном плоде;

**7) полупаразитические взаимоотношения** некоторых видов зеленых растений, которые частично используют минеральные и другие питательные вещества растений-хозяев и тем самым наносят им некоторый ущерб, например мытник скипетровидный является полупаразитом, так как ворует воду с минеральными солями у других растений за счет присосок на боковых ответвлениях корней;

**8) хищнические взаимоотношения** — это взаимоотношения хищника (насекомоядного растения, растительноядного или плотоядного животного) и жертвы, которая используется им в пищу в качестве источника энергии. Например, *росянка английская* относится к числу ярчайших представителей болотных хищных растений. У росянки ловчий аппарат для заманивания, удерживания и переваривания насекомых — листья, на них образуется липкая жидкость, которая содержит вещество, парализующее насекомых — муравьев, комаров, мух. Насекомые садятся на лист росянки, приклеиваются, лист закрывается, и насекомое переваривается в капельках сока; так росянка получает дополнительное питание;

**9) конкурентные взаимоотношения** растительных видов из-за «средств жизни» (питательные вещества, свет, влага и т. п.) в условиях их недостатка. Очень красочно конкуренцию среди деревьев описал М. М. Пришвин в своей сказке «Кладовая солнца»: «Лет двести тому назад ветер-сеятель принес два семечка в Блудово болото: семя сосны и семя ели. Оба семечка легли в одну ямку возле большого плоского камня... Их корни с малолетства сплелись, их стволы тянулись вверх рядом к свету, стараясь обогнать друг друга. Деревья разных

пород ужасно боролись между собой корнями за питание, сучьями — за воздух и свет...»;

**10) средообразующие взаимоотношения** разных видов растений через изменение абиотических факторов среды обитания, оказывающих влияние на процессы их жизнедеятельности. Например, в еловом лесу практически не развит подлесок, так как светолюбивые травы страдают от сильного затемнения, в то время как сами травы никак не влияют на ели.

Перечисленные формы межвидовых взаимоотношений растительных видов, входящих в состав биоценозов, объединяются и классифицируются на разных основаниях.

Межвидовым взаимоотношениям представителей всех живых компонентов издавна придается большое значение в составе, строении и опосредованно через соответствующие биологические группы и ценотические сочетания и в функциональной организации биоценозов и биокосных систем в целом.

Межвидовые взаимоотношения живых существ по своей природе являются большей частью антагонистическими, в особенности развиты хищничество и пищевая конкуренция.

Взаимоотношение между хищником и добычей (жертвой) представляет собой главную форму межвидовых взаимосвязей в животном мире. Характерно, что как у хищников, так и у их жертв развиваются общие (сходные) для представителей разных систематических групп приспособления, обеспечивающие наиболее успешное выполнение соответствующих функций теми и другими. Приведем примеры. 1. Глаза хищных зверей расположены в передней части головы, что обеспечивает им широкий угол зрения по вертикали, ведь во время охоты они чаще смотрят вперед. Зрачки хищника имеют форму щелей, которые суживаются и расширяются. Глаза жертв хищников расположены по сторонам головы. Это дает им широкий угол зрения по горизонтали и помогает увидеть опасность вокруг себя. Зрачки у жертвы — круглые. 2. Хищники имеют острые когти и клыки (клювы), которые помогают им захватывать и удерживать свою добычу. Клыки используются для проникновения в тело жертвы, а когти — для удержания и разрыва ее тканей, что позволяет хищникам эффективно убивать и потреблять свою добычу. У растительноядных нет острых

зубов, все плоские. 3. Конечности хищных зверей всегда изогнуты, обладают очень мягкими ступнями с кожаными подушечками, что позволяет хищникам передвигаться бесшумно и заставить добычу врасплох. Ноги у одних травоядных (жертвы хищников) прямые — это позволяет долго ходить и стоять не уставая. У других, например зайцев, очень хорошо развиты задние лапы — это помогает быстро убежать, спасаясь от преследователя. У жертв выработались способы защиты, например рога, панцирь, развитие органов для ухода от хищника (быстрый бег, плавание или полет), выделение ядов, защитная окраска, способность к маскировке. Мастером маскировки является, например, *веретеница ломкая*, внесена в Красную книгу Челябинской области, статус III категория — редкий вид.

Хищничество может привести к исчезновению на данной территории вида, используемого хищником, но чаще происходит только уменьшение численности особей вида-жертвы. Жертвы оказываются защищенными от полного истребления самим фактом уменьшения их численности (улучшаются условия жизни и пропитания), а также оставшиеся особи приобретают способность сопротивляться полному истреблению благодаря иммунологическим процессам и, следовательно, давать жизнеспособное потомство.

В межвидовой конкуренции животных из-за условий жизни напряженность повышается между видами схожих экологических ниш. В сложившихся биоценозах острота конкуренции экологически близких видов заметно снижается, так как вследствие длительной конкуренции происходит всё более узкая специализация и разобщение их потребностей.

Волк, лисица и медведь — хищники, охотящиеся на одной территории, значит, они конкурируют за ресурсы, охотятся за одной и той же добычей, и это может привести к уменьшению добычи для всех. В результате подвижные животные со сходными потребностями обычно избегают конкуренции между собой путем миграции в другие места или путем дележа занимаемой территории на зоны охоты. Следовательно, межвидовая конкуренция — важный фактор, оказывающий влияние на ареал видов, на распределение видов по местообитаниям и станциям внутри ареала и даже на состав и эволюцию сообществ (ценозов).

Разного рода межвидовые взаимоотношения и взаимодействия живых существ лежат в основе подбора и формирования популяционно-видового состава биокосных систем и их соподчиненных ценологических образований. Они оказывают влияние на сосуществование различных видов в составе живых компонентов или в составе отдельных трофических уровней, так называемых цепей и циклов (сетей) питания.

В межвидовой конкуренции и в формировании видового состава живых компонентов биогеоценоза важен режим поступления элементов питания:

1) при межвидовой конкуренции в фитоценозе за взаимонезаменяемые ресурсы, такие как свет, влага, элементы минерального питания, и ценопопуляций гетеротрофного компонента за взаимозаменяемые ресурсы, такие как источники углерода и энергии, число видов не должно превышать числа элементов питания;

2) качественный видовой состав компонентов биогеоценоза определяется пищевыми предпочтениями конкурирующих видовых популяций и относительной скоростью поступления всех элементов питания;

3) изменение скорости поступления материальных ресурсов ведет к перестройке видового состава ценоза; при этом устанавливается такой состав, который обеспечивает наименьшую сумму потерь всех этих ресурсов.

**Вывод:** разнообразие ресурсов питания в биотопе служит основой межвидовой конкуренции как механизм поддержания видового разнообразия на трофическом уровне.

Ценопопуляции биотрофного ценокомплекса оказывают воздействие на популяционно-видовой состав последующего трофического уровня и испытывают обратное влияние потребителей на разнообразие и интенсивность воспроизводства их пищевых ресурсов в следующем:

1) хищники уменьшают конкуренцию организмов-жертв, ограничивая их численность, и способствуют сосуществованию нескольких конкурирующих видов на одном трофическом уровне;

2) хищники способствуют уменьшению плотности организмов-жертв за счёт выедания наиболее изобилующей жертвы.

**Вывод:** межвидовая взаимосвязь живых существ в форме хищничества также значима для возрастания видового разнообразия на тро-

фическом уровне ценоза, как и разнообразие ресурсов питания и взаимодействие популяций через метаболиты.

Основная, решающая роль в функциональной организации биогеоценозов принадлежит **трофическим (пищевым) взаимосвязям**, осуществляющимся на уровне живых компонентов, соответствующих ценопопуляций.

Пищевые цепи и сети — это функциональные структурные единицы организации биогеоценоза, образующие **трофические уровни**:

- автотрофы — начальное звено каждой цепи питания;
- фитофаги (растительоядные);
- плотоядные — зоофаги (хищники 1-го порядка);
- хищники 2-го порядка, обычно более крупные хищники — конечное звено каждой цепи питания;
- мусорщики (позвоночные и беспозвоночные животные, питающиеся отбросами и трупами животных).

Нарушения трофических связей в одном звене между живыми организмами неизбежно приведёт к изменениям их пищевых взаимоотношений во всём биогеоценозе.

Очень редко встречается ситуация, при которой данный вид является участником только одной пищевой цепи. Чаще он входит в несколько пищевых цепей, часто занимая в них различное положение. Животные того или иного трофического уровня одной цепи питания, используя, временно или постоянно, в качестве источника энергии биомассу живых существ соответствующего трофического уровня другой цепи питания данного биогеоценоза, образуют сложные сочетания видовых популяций, **пищевые сети**, или **циклы** питания. Наличие пищевых сетей обеспечивает большую устойчивость экосистем. Так, если в результате изменения условий какой-либо вид продуцентов резко снизит свою численность, питающиеся им консументы первого порядка перейдут на другие источники питания, лишь незначительно снизив свою численность, а консументы второго порядка вообще могут на это не отреагировать, поскольку их пищевая база почти не изменится.

Ю. П. Одум [13] выделяет два типа пищевых цепей:

**I. Пастбищная цепь** представлена следующими компонентами: 1) продуценты — зеленые растения; 2) первичные консументы —



растительноядные животные; 3) вторичные консументы — хищные животные; 4) третичные консументы — вторичные хищники.

**II. Детритная цепь** представлена следующими компонентами: 1) мертвое органическое вещество; 2) микроорганизмы, питающиеся мертвой органикой; 3) детритофаги — потребители детрита; 4) хищники, питающиеся детритофагами.

Для существования экосистем необходима энергия, которая поступает благодаря деятельности продуцентов. В основном это энергия света. Обычно продуценты-автотрофы используют около 1 % падающей световой энергии. С каждого трофического уровня на следующий переходит около 10 % энергии. Это значит, что последнее звено пятичленной пищевой цепи получит только 0,01 % энергии, запасенной продуцентами. В связи с этим пищевые цепи имеют ограниченную длину: в наземных биоценозах обычно встречаются 3–5-звенные цепи. В цепочке хищников животное, питающееся растениями, съедается животным, питающимся плотью. В цепочке паразитов меньший организм потребляет часть более крупного хозяина и сам может быть паразитирован еще более мелкими организмами. В сапрофитной цепочке микроорганизмы живут на мертвом органическом веществе.

**Вывод:** пищевая цепь, или цепь питания, — это ряд организмов, связанных друг с другом пищевыми отношениями. Пищевая цепь показывает последовательность переноса веществ и энергии от одного организма к другому.

Пищевые цепочки показывают сложные взаимосвязи в экосистемах, в них каждый организм в экосистеме заполняет определенную нишу и помогает ей оставаться сбалансированной, так как выживание каждого организма зависит от кого-то другого. Растения являются основой всех экосистем, а фотосинтез является не только началом пищевой цепочки, но и для многих животных обеспечивает среду обитания. Кроме того, пищевые сети помогают понимать механизм естественного отбора, показывая иерархию видов, с плотоядными, всеядными животными на вершине всех пищевых цепочек, описывает, как энергия, питательные вещества и органические соединения перемещаются по экосистеме. Растения находятся в основе экосистемы — они производят энергию; затем идут организмы более высокого уровня, такие как травоядные животные. После этого, когда хищники

поедают травоядных, энергия передается от одного к другому. В зависимости от пищевой цепи организм можно рассматривать как находящийся на более чем одном трофическом уровне. Например, тюленей можно считать высшими хищниками там, где они питаются рыбой; однако в других сообществах, где тюлени становятся добычей акул, их можно считать находящимися на более низком трофическом уровне. Это физическая и поведенческая адаптация растений и животных, представляет собой модель потребления, основанную на естественных свойствах выживания и инстинктах.

При анализе состава и строения цепей питания выявлен ряд закономерностей, называемых **правилами**:

**1. Правило величины особей** — заключается в том, что цепи питания, как правило, идут от более мелких форм к более крупным. Однако, поскольку размеры животных не могут увеличиваться беспрестанно, число звеньев цепи не может превышать пяти-шести. Правда, из этого правила имеются исключения, приведенные Р. Дажо (1975), например, нападение волков на более крупных животных, чем сами, благодаря охоте сообща или умерщвление змеями крупных животных посредством выделяемого яда и прочее.

**2. Правило пирамиды чисел**, когда общее число особей, участвующих в пищевых цепях, с каждым звеном уменьшается. Это связано с тем, что хищники крупнее объектов своего питания и для поддержания жизни одного хищника нужно несколько жертв. Из этого правила есть исключения — те случаи, когда более мелкие хищники, например волки, живут за счет групповой охоты на более крупных животных, например лосей.

**3. Правило пирамиды биомассы** четко указывает на количество всего живого вещества на данном трофическом уровне. В наземных экосистемах действует следующее правило пирамиды биомасс: суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а их масса превышает всю биомассу хищников.

**4. Правило пирамиды энергии** — пирамида имеет вид треугольника с вершиной, обращенной вверх, в связи с потерей энергии при переходе от одного трофического уровня к другому. На каждом предыдущем трофическом уровне количество биомассы, создаваемой за единицу времени (или энергии), больше, чем на последующем.

Элементарные функциональные единицы биогеоценоза — это **видовые популяции**, интегрированное единство которых и составляет биогеоценоз.

Формирование биогеоценоза и его функциональной организации — многоступенчатый процесс, который совершается при непосредственном участии различных по типу питания и использованию источников энергии видовых ценопопуляций, объединенных в соответствующие ценокомплексы, в совокупности образующие биоту.

## 1.2. Изучение атмосферы, воды и почвы как компонентов биогеоценозов

Атмосфера представляет собою надземную газовую (воздушную) оболочку Земли, связанную с ней силой земного притяжения (гравитацией). Верхняя граница атмосферы прослеживается до 1 100 км над поверхностью Земли, но простирается она предположительно до 20 тыс. км, постепенно переходя в межпланетное пространство. Нижний слой атмосферы мощностью до 16–18 км у экватора и до 6–8 км у полюсов называется **тропосферой**. Это наиболее плотная часть атмосферы, в ней сосредоточено около 80 % всей ее массы. Здесь происходит образование облаков и осадков, движения воздушных масс и других связанных с погодой атмосферных явлений.

Современная земная атмосфера, являющаяся физической смесью газов, кислородно-азотная по своему составу: азота по объему в ней содержится 78,08 %, кислорода — 20,95 %; из других газов в ее состав входит инертный газ аргон — 0,94 %, а также углекислый газ, гелий и прочие — 0,03 %. Такой состав атмосферы сформировался около 2 млрд лет назад с появлением свободного кислорода, продуцируемого зелеными растениями, особенно морским фитопланктоном. Под действием кислорода коренным образом изменился состав первичной атмосферы Земли (протоатмосферы), состоящей в основном из метана, аммиака и водорода с парами воды. При этом произошло окисление метана и аммиака до углекислого газа и свободного азота, водород же улетучился в космическое пространство. Так сформиро-

валась вторичная современная атмосфера, состав которой остается с тех пор относительно постоянным на всей поверхности нашей планеты до высоты 400–600 км.

Для атмосферы характерны следующие черты, по крайней мере ее нижних слоев:

- а) преобладание в ее составе азота, кислорода и наличие других газов;
- б) колебание температуры в пределах от +50 до –50 °С;
- в) величина атмосферного давления около 1 атм с незначительными отклонениями от этого среднего показателя в ту или другую сторону;
- г) непрерывный поток световых, тепловых и других излучений из космоса;
- д) наличие постоянной циркуляции воздушных масс на земной поверхности, в особенности в системе «суша — Мировой океан».

В биогеоценозическом отношении наиболее важное значение имеет самый нижний слой атмосферы, точнее, тропосферы мощностью в 30–50 (до 150) м. Этот приземной слой атмосферы, названный А. И. Воейковым (1904) **деятельным слоем**, рассматривался им как обусловленная радиационным режимом особая зона теплооборота, находящаяся в зависимости от подстилающей поверхности, в частности от характера растительного покрова. Верхняя граница деятельного слоя определяется высотой растительного покрова данного биогеоценоза, нижняя — либо глубиной распространения в почве корневой системы доминирующих растений — 1–2 (до 10) м и более, либо глубиной затухания температурной волны в почве.

Деятельный слой атмосферы (тропосферы) обладает рядом важных особенностей:

- а) наибольшей плотностью биогенных и прочих газов (кислорода, углекислого газа и др.);
- б) высокой динамичностью всех атмосферных явлений (температуры, осадков, ветра и т. п.);
- в) наиболее тесным контактом его с другими компонентами биогеоценоза (растительностью, животным населением, горными породами, почвой и пр.).

В границах биогеоценоза деятельный слой подразделяется на два подслоя:

- а) растительный подслон (полог растительности);
- б) почвенный подслон (верхние охваченные обменными процессами горизонты почвы).

Составными элементами или факторами атмосферы, в частности ее деятельного слоя, являются:

- а) солнечная радиация — источник лучистой энергии света и тепла;
- б) атмосферные осадки, несущие живительную влагу на поверхность земли;
- в) газовый состав воздуха, обеспечивающий газовый обмен живых существ;
- г) общая циркуляция атмосферы, формирующая климат и погодные условия в отдельных пунктах земного шара.

Солнечная радиация представляет собою непрерывный поток лучистой энергии Солнца на Землю через атмосферу. Мощность потока лучистой энергии называется **интенсивностью радиации**, которая оценивается в калориях на  $1 \text{ см}^2$  в минуту.

Интенсивность радиации составляет  $1,98\text{--}2 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$ . Количество поступающей на подстилающую поверхность Земли солнечной радиации находится в зависимости от ряда факторов: от географической широты местности вследствие шарообразной формы Земли, от толщины и плотности атмосферы, от облачности и содержания водяных паров в атмосфере, от времени суток и рельефа местности. Из поступающей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации поверхности земного шара достигает менее половины ее, а именно 44 % в виде прямого излучения и 4 % — рассеянного, ибо 14 % поступающей радиации поглощается атмосферой, до 33 % ее отражается от облаков и 5 % диффундирует в космическое пространство. В результате на поверхность Земли поступает солнечной энергии в среднем  $5\text{--}10^{20}$  ккал/год, в том числе на континенты —  $1,4 \times 10^{20}$ , на Мировой океан —  $3,6 \times 10^{20}$  ккал/год.

Поступающая из космоса на земную поверхность солнечная радиация имеет огромное значение в природе, ибо это основной источник энергии на Земле. Другие источники энергии (гравитационные приливы, обусловленные вращением Земли, энергия, поступающая с магнитно-гидродинамическими волнами из ближайшего космоса и пр.) ничтожно малы. Солнечная радиация оказывает то или иное

воздействие на все процессы, протекающие на земной поверхности и в ее воздушном окружении. Прежде всего она определяет световой и тепловой режимы местности, а путем воздействия на движение воздушных масс, следовательно, влияет и на выпадение осадков; она определяет режим увлажнения, или, иначе говоря, водный, гидрологический режим местности. Солнечная радиация прямо или косвенно воздействует на многие химические реакции и физические явления, в частности, путем нагревания поверхности суши и водных пространств влияет на физическое испарение влаги и, следовательно, на круговорот воды на Земле. Ею определяются и многие биологические процессы, и в первую очередь такие жизненно важные, как фотосинтез и транспирация растений и пр.

В процессе фотосинтеза зелеными автотрофными растениями органических веществ из неорганических используется далеко не вся поступающая на их листья солнечная энергия, а лишь только физиологически активная ее часть, называемая **фотосинтетически активной радиацией** (ФАР). Она составляет в прямых солнечных лучах около 35 % от поступающей энергии, в рассеянных — 50–60 %. Коэффициент использования фототрофными растениями лучистой энергии Солнца на процессы фотосинтеза очень низок: в среднем 1 % от полной радиации и около 3 % от ФАР. При этом важно иметь в виду, что поскольку различные лучи солнечного спектра обладают разными свойствами, то, будучи поглощенными растениями, они оказывают неодинаковое воздействие на них. Так, оранжево-красные лучи спектра наибольшую активность проявляют в процессах фотосинтеза органических веществ зелеными растениями, сине-фиолетовые лучи участвуют в синтезе белков и затормаживают переход растений в фазу цветения, ультрафиолетовые лучи предотвращают вытягивание стеблей растений, а самые короткие из них губительны для растений, длинноволновые инфракрасные лучи положительно влияют на тепловой режим растений.

Световая энергия солнечной радиации необходима и для существования животного населения биогеоценозов. Немногие животные, как известно, могут жить в отсутствие света — это обитатели пещер, морских глубин, почвообитающие животные. У них развиваются органы свечения или наблюдается усложнение глаз для улавливания

слабых количеств лучистой энергии, а то и просто органы зрения за ненадобностью полностью атрофируются; у других животных развиваются компенсационные органы (слух, осязание, обоняние). Интенсивность освещения некоторыми животными воспринимается как сигнальный фактор, побуждающий к активной деятельности утром птиц и дневных насекомых, вечером — ночных и т. п.

Источником света и тепла служит солнечная радиация, причем за счет теплового излучения нагретой солнечными лучами поверхности суши или воды. Лишь часть солнечной радиации в виде тепла расходуется на испарение воды, основное ее количество идет на нагрев земной поверхности и излучение тепла в атмосферу. Также происходит турбулентный (беспорядочный) теплообмен в самой атмосфере, который приводит к повышению температуры воздуха.

Нагрев воздуха атмосферы происходит за счет как прямой, так и рассеянной радиации Солнца. В различных частях земного шара степень притока тепла на поверхность Земли и нагревания воздуха неодинакова, что зависит от многих причин. Во-первых, от преобладания прямой или рассеянной радиации; во-вторых, от высоты стояния Солнца над горизонтом и интенсивности солнечной радиации; в-третьих, имеет значение ход циркуляции атмосферы и ее прозрачность; в-четвертых, господствующие формы рельефа в данной местности и экспозиция склонов при изрезанном рельефе и т. п. Тепловой режим в различных районах Земли, за исключением тропиков, неравномерен в течение года, варьирует по временам года с чередованием теплого периода года с холодным.

В странах умеренного пояса с резкими колебаниями и значительной амплитудой колебаний температуры по временам года периодичность в смене времен года проявляется очень четко. В таких местах достаточно хорошо выражена неравномерность теплового режима по годам, с характерным чередованием многолетнего периода с преобладанием теплого режима в течение большей части года и многолетнего периода с преобладанием холодного режима с учетом общей суммы годовых температур.

Тепловой режим атмосферы важен для жизни как живых существ, так и функционирования биогеоценоза и биосферы в целом, которые с ним связаны и находятся в зависимости от него. Такие жизнен-

ные функции, как фотосинтез, дыхание, транспирация и минеральное питание растений, в высокой степени зависят от теплового режима. Следовательно, именно тепловой режим определяет широтную зональность и вертикальную поясность растительного покрова, пределы распространения ценозообразующих растений и фитоценозов. Резкая смена весной заморозков оттепелями и обратно негативно сказывается на состоянии жизнедеятельности и продуктивности как отдельных растений, так и растительных сообществ. Весенние перепады температуры приводят к образованию морозобойных трещин на стволах деревьев и кустарников, обмерзанию молодых побегов и цветочных почек, к снижению продуктивности фитомассы и плодоношения, а иногда и к гибели некоторых травянистых растений, например, озимых зерновых из-за образования кристалликов льда в клетках и их последующего разрыва.

Животное население биогеоценозов также находится в зависимости от теплового режима, который влияет на состояние, размножение и развитие животных, их численность и распространение в природе. Температура воздуха оказывает на животных непосредственное воздействие за счет поглощения тепла телом и отдачей его во внешнюю среду и регулируется с помощью рефлекторной деятельности нервной системы. У животных существует два типа теплообмена:

1) **холоднокровность (пойкилотермность)**: неустойчивый уровень обмена, непостоянство температуры тела, мало отличающейся от температуры окружающей среды, характерны для беспозвоночных, рыб, земноводных, пресмыкающихся и др. Это так называемые **эктотермные** животные, которые больше зависят от внешнего источника энергии, чем от собственного метаболизма;

2) **теплокровность (гомойотермность)**: высокий, устойчивый и регулируемый уровень обмена, относительное постоянство температуры тела животных — птицы и млекопитающие, или **эндотермные животные**, которые существуют за счет высокого уровня метаболизма и мало зависят от внешних источников тепла;

3) **промежуточная** по характеру теплообмена группа животных — неблагоприятные для жизни периоды, например, зимние морозы и летняя засуха, впадают в длительную спячку или в относительно короткий, но глубокий сон. В условиях зимнего снижения температуры

и ухудшения условий питания различают следующие состояния скрытой жизни животных:

1) **зимний покой**, характерен для некоторых млекопитающих — медведи, барсуки, белки в норах, логовах, и для холоднокровных — пчелы в ульях;

2) настоящая **зимняя спячка**, характерна для млекопитающих и сопровождается понижением температуры тела и общим оочечением;

3) **зимнее оочечение**, характерно для холоднокровных позвоночных и беспозвоночных животных с возможным переохлаждением тела и весьма слабым обменом веществ.

Наряду с этим известны и другие способы переживания неблагоприятного сезона года:

а) в стадии яйца, куколки (насекомые и др.);

б) сезонные миграции, кочевки в области с более благоприятными условиями тепла, влаги, корма (некоторые млекопитающие, птицы);

в) постройка убежищ (гнезд в дуплах деревьев, нор и т. п.).

Известны и летние спячки животных в жарких засушливых областях земли — в пустынях, саваннах и т. п.

Растения также обладают своим внутренним тепловым и водным режимом.

Таким образом, с наступлением зимнего холодного или жаркого сухого неблагоприятного для жизни периода года понижается жизнедеятельность всех живых организмов — растений, животных, микроорганизмов; замедляются многие физические процессы и химические реакции в природе; нарушаются или затормаживаются обменные процессы в биокосных системах разного уровня. На состояние живых, косных компонентов биогеоценозов и биокосных систем сказываются и периодические колебания в тепловом режиме — суточные, сезонные, многогодовые.

**Атмосферные осадки** — важный компонент атмосферы, их образование происходит из водяных паров как за счет местного испарения влаги, так и за счет влаги, принесенной с воздушными массами из океанических водных пространств, окружающих материки. К атмосферным осадкам относят дождь, снег, град, росу, иней, изморозь и т. п. Из транспортируемой воздушными массами влаги от их общего коли-

чества выпадает немногим 37 % осадков, что в конечном итоге в три раза больше, чем за счет влаги местного испарения. Общее количество атмосферных осадков, выпадающих в различных областях земного шара, варьирует пределах от 0 до 5 000–10 000–12 000 мм в год. В России общее количество атмосферных осадков — от 50 до 150 мм в пустынях и сухих степях Заволжья, до 2 000–2 600 мм — на Черноморском побережье Кавказа, в средней полосе европейской части — 500–600 мм в год, а в азиатской части — от 400–500 мм в Западной Сибири и до 150–300 мм в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке годовая сумма осадков достигает 800–1 000 мм.

Для атмосферных осадков характерна неравномерность по сезонам вегетационного периода и года, например, для тропических областей характерны два периода дождей (в разгар лета, и два сухих периода между ними). В областях на широте близ 35-й параллели обоих полушарий типичны зимние дожди и сухое лето. В местностях севернее 50-й параллели осадки выпадают во все сезоны года, но наибольшее количество их внутри материков выпадает летом, в океанах — зимой, а на побережьях, преимущественно западных, — осенью. На большей части территории России основная часть годового количества осадков приходится на вторую половину лета и осень, весна и первая половина лета отличаются недостатком атмосферных осадков.

Поступающая на Землю в виде жидких и твердых осадков вода обладает весьма важными свойствами. Прежде всего вода находится в природе, как известно, в трех физических состояниях — твердом, жидком и газообразном — и обладает способностью переходить из одного состояния в другое; она обладает большой подвижностью, особенно в жидком и газообразном состояниях; вода является универсальным растворителем разнообразных веществ, что повышает их транспортабельность и химическую реактивность; она способна переносить различные вещества в растворенном и взмученном состояниях на большое расстояние.

Вода, как известно, также совершает в биосфере круговорот (лагооборот), охватывающий нижнюю часть атмосферы (тропосферу), литосферу (земную кору с почвенным и растительным покровом) и гидросферу (Мировой океан). Он является частью так называемого большого геологического круговорота веществ.

**Влагооборот** складывается из следующих звеньев:

а) выпадение атмосферных осадков в твердом и жидком состояниях на земную поверхность;

б) задержка влаги растениями всех ярусов фитоценоза, а также подстилкой, войлоком, испарение ее с поверхности древостоя (травостоя) и подстилки, сток влаги по стволам (стеблям) растений;

в) проникновение влаги до поверхности почвы и физическое испарение ее, а также сток воды в низины, ложбины и в долины рек (поверхностный и русловой сток);

г) просачивание влаги в почву и использование ее растениями, животными, микроорганизмами на процессы жизнедеятельности, а растениями в том числе и на транспирацию;

д) инфильтрация влаги из почвы в грунт до водоупорного горизонта, внутрпочвенный и грунтовый сток ее и выход в подножии склонов на дневную поверхность в виде ключей или накопление в подземных резервуарах в виде грунтовых и артезианских вод.

Количественные показатели перечисленных путей передвижения (транспортировки) воды в биосфере сильно варьируют в зависимости от количества и интенсивности атмосферных осадков, температуры и движения воздуха (ветра), рельефа местности и физических свойств почвы, состава и структуры растительного покрова.

Наличие воды в том или ином физическом состоянии в биосфере имеет исключительно большое значение как в жизни организмов, так и в состоянии и функционировании биогеоценозов и биогеоценотического покрова земли.

Эта разносторонняя и важнейшая роль воды в природе определяется теми свойствами, которыми она обладает, а также глобальной циркуляцией ее в биосфере в виде влагооборота, состоящего из ряда взаимосвязанных звеньев. Вода в состоянии водяных паров в атмосфере определяет **влажность воздуха** — абсолютную, относительную и так называемый **дефицит влажности** (разность между упругостью насыщения и фактической упругостью водяного пара в воздухе при данной температуре и давлении). Влажность воздуха оказывает влияние на все компоненты биогеоценозов, но особенно тесно связана с растительностью и почвой, оказывая сильное воздействие на влагообмен их с атмосферой. Особенно большое значение в природе имеет

дефицит влажности, который оказывает прямое влияние на физическое испарение воды, на транспирацию влаги растениями, а при сочетании с высокой температурой может вызвать увядание и гибель растений. Но у растений, произрастающих в сухих и жарких областях, выработался в процессе эволюции ряд морфологических приспособлений (толстая кутикула, войлочное опушение, восковой налет на листьях, свертывание и складывание листьев, развитие механической ткани, суккулентность некоторых растений), а также физиологических (высокое осмотическое давление клеточного сока, мощность корневой системы и способность корней быстро и полно улавливать воду, интенсивная транспирация влаги при известной обеспеченности ею и пр.).

На животный мир недостаточная влажность воздушной среды оказывает неблагоприятное воздействие. Но у животных, как и у растений, также имеются разного рода приспособления, обеспечивающие выживание их в условиях сухого и жаркого климата: развитие малопроницаемых покровов (ороговение эпителия, хитиновый панцирь, раковины, перья, чешуи и т. п.), а также развитие внутренних органов дыхания (легкие, легочные мешки, трахеи), образование специальных органов выделения влаги и пр.

Вода, выпадающая на поверхность Земли в виде атмосферных осадков, прежде всего оказывает непосредственное воздействие на все живые компоненты биогеоценозов, обеспечивая их влагой, которая жизненно необходима им, тем более что тело их на 50–98 % состоит из воды. Во-вторых, атмосферные осадки оказывают воздействие на почвенный покров, а следовательно, и на органический мир путем растворения различных минеральных веществ в почве, перемещения их в вертикальном и горизонтальном направлениях, обогащения почвы органическими и минеральными веществами, принесенными с водой из атмосферы или смытыми с поверхности растений, путем изменения температурного режима почвы и ее аэрации. В-третьих, количеством, интенсивностью и продолжительностью атмосферных осадков, а также физическим испарением воды и транспирацией ее растениями определяется гидрологический (водный) режим поверхностных и грунтовых вод местности в пределах водосборного бассейна.

Рассмотрим третий составной элемент атмосферы — **газовый состав**. До начала бурного развития всех отраслей производства газовый состав атмосферы действительно был неизменным (азота — 78,08 %, кислорода — 20,95 %, аргона — 0,94 %, углекислоты и пр. — 0,03 %). Постоянство его в указанном по объему соотношении всех составных компонентов обеспечивалось тем, что поглощение организмами кислорода и углекислого газа при осуществлении разнообразных жизненных процессов компенсировалось выделением их в ходе других процессов (фотосинтеза, дыхания и т. п.).

Однако за последнее столетие содержание в составе атмосферы биогенных газов и их процентное соотношение в той или иной мере изменились. Это обусловлено следующими обстоятельствами. Количество свободного кислорода в атмосфере в настоящее время составляет  $1,5 \times 10^{15}$  т. За всё время существования человечества на сжигание топлива израсходовано кислорода (по заниженным расчетам) 273 млрд т, из которых 246 млрд т — за последние 50 лет; за счет частичного использования кислорода за последние полвека образовалось углекислого газа 288 млрд т, что увеличило содержание его в воздухе на 12 %. Следует принять во внимание и то, что в начале 1970-х гг. расход кислорода на сжигание топлива во всём мире ежегодно составлял 10 млрд т, а углекислого газа выделялось в атмосферу 14 млрд т. В дальнейшем мировое потребление кислорода возрастало в среднем на 10 % ежегодно. Увеличивается и образование углекислого газа, что, очевидно, приведет к дальнейшему изменению газового состава атмосферы.

Различные по своим природным свойствам и процентному соотношению в составе атмосферы биогенные газы оказывают различное воздействие на живые компоненты и почвенный покров биогеоценозов и играют неодинаковую роль в функционировании биокосных систем. Роль газообразного **азота**, несмотря на высокую долю содержания его в воздухе, в жизни организмов и протекающих в биогеоценозе процессах невелика, так как непосредственно он усваивается лишь азотфиксирующими бактериями. В почву же азота, преимущественно в виде аммиака, поступает чрезвычайно мало — несколько кг/га в год.

Гораздо большее значение в жизни организмов и обменных процессах биогеоценозов по сравнению с газообразным азотом имеют

кислород и углекислый газ. Кислород используется, как известно, всеми живыми существами на дыхание во всех средах жизни — воздушной, почвенной, водной; он вступает во множество химических реакций в живой природе, участвует в минерализации органических веществ в биогеоценозах и биосфере. Особенно сильно ощущается нужда в кислороде для дыхания животными, ибо не многие из них могут некоторое время пребывать в анаэробных условиях (черви в иле, некоторые моллюски в грунте водоемов, личинки комаров в воде). Кислород в теле животных обеспечивает окислительные процессы с освобождением энергии, используемой ими на процессы своей жизнедеятельности. Разные животные по-разному реагируют на содержание кислорода в среде обитания: более стойки к недостатку кислорода птицы, особенно перелетные, а также подземные и водные млекопитающие. У некоторых животных развиваются специальные приспособления к обитанию в анаэробных условиях: у китов высокое содержание гемоглобина в крови, альвеолы легких запираются специальными мускулами для удержания воздуха в них на глубине, у кашалота образуется запасной воздушный мешок и т. п. К обитанию в замкнутых убежищах (в почве, ходах под корой и древесине) приспособились и беспозвоночные животные. Однако потребляется кислород организмами и расходуется в различных процессах неживой природы необратимо, лишь зеленые растения способны не только поглощать его при дыхании, но и выделять при фотосинтезе.

Из сказанного следует, что главным источником углекислого газа в атмосфере является дыхание животных, растений и гниение их органических остатков и отходов, а также так называемое почвенное «дыхание», то есть выделение углекислоты в процессе разложения органических веществ в почве микроорганизмами. Используется же углекислый газ как источник углерода только зелеными автотрофными растениями на процессы фотосинтеза органических веществ. Количество углекислого газа в атмосфере, несмотря на низкий процент содержания его, в общем достаточно для обеспечения потребностей в нем. Но в связи с неравномерностью потребления углекислоты растениями в течение суток и по сезонам в отдельные периоды имеет место ее недостаток, что ведет к снижению интенсивности фотосинтеза растений.

Углекислый газ выполняет также весьма важную планетарную функцию в биосфере, а именно регулирует температуру воздуха на поверхности Земли, пропуская тепловые лучи из космоса на Землю, но задерживая тепло на ее поверхности, препятствуя рассеиванию его в космическом пространстве.

Атмосферный воздух, окружающий сплошным мощным слоем поверхность нашей планеты, далеко не везде и не всегда находится в первоначально чистом состоянии. Обычно он бывает в той или иной мере загрязнен мельчайшими твердыми частицами различного происхождения (вулканического, транспортного, промышленного, бытового) либо газами, большей частью вредными, также различного происхождения (окисью углерода, сернистым газом, сернистым ангидридом, хлором и пр.).

Как твердые, так и газообразные примеси или включения в состав естественной воздушной оболочки Земли оказывают, как правило, неблагоприятные воздействия на живые компоненты биогеоценозов, в особенности на растительный покров. Они отрицательно влияют на содержание хлорофилла в вегетативных органах растений, вызывают увядание растений или задерживают их рост, задерживают распускание почек и развитие листьев у деревьев, уменьшают прирост древесных пород, вызывают повреждения и даже их гибель. Особенно сильно страдают от различных вредных газов хвойные природные и искусственные лесные насаждения. Однако растительность, в особенности лесная, содействует очищению воздуха от пыли и газов, правда за счет нарушения своего нормального состояния, снижения жизненности и продуктивности.

Четвертый и последний составной элемент воздушной оболочки Земли — это **общая циркуляция атмосферы**, представляющая собою систему или совокупность крупномасштабных воздушных течений над поверхностью земного шара. Она включает перемещение воздушных масс в горизонтальном направлении (ветер) и в вертикальном (конвекция). Основная причина циркуляции воздушных масс по лику Земли и на ограниченных участках ее поверхности — это неравномерность нагревания атмосферы за счет теплового излучения солнечной радиации, а также разность атмосферного давления на разных широтах земного шара, с одной стороны, на материках

и в океанах — с другой. Обычно различаются следующие типы воздушных течений:

а) основные зональные переносы воздуха, например западный перенос в тропосфере и стратосфере умеренных широт и восточные ветры в нижней части тропосферы тропических широт;

б) возмущения зональных переносов, вызываемые влиянием суши и моря;

в) крупные атмосферные вихри (циклоны и антициклоны).

Общая циркуляция атмосферы меняется в годовом цикле — по сезонам и в многолетнем — от года к году (по годам).

Наряду с общей циркуляцией атмосферы известны также местные циркуляции ее, охватывающие сравнительно небольшие участки территории или акватории, например бризы, горно-долинные ветры и т. п. Они обусловлены специфическими особенностями самих этих участков (резким контрастом температуры, некоторыми особенностями рельефа и т. п.).

На основе закономерностей общей циркуляции атмосферы в Северном и Южном полушариях формируется система широтно-зональных типов воздушных масс:

а) арктический воздух;

б) полярный (умеренный) воздух;

в) тропический воздух;

г) экваториальный воздух (общий для обоих полушарий).

Названные типы воздушных масс разделяются неширокими (в несколько десятков километров) пограничными полосами, получившими название климатические фронты.

Таким образом, **общая циркуляция атмосферы** — явление общепланетарного порядка. Отсюда и воздействие ее на природные процессы также носит общепланетарный характер. Так, общая циркуляция атмосферы:

а) играет решающую роль в формировании климатов земного шара;

б) определяет погоду и ее суточные и сезонные изменения;

в) смягчает контрасты тепла и холода;

г) выравнивает газовый состав воздуха и т. п.

Тем не менее местные циркуляции воздуха, обусловленные местными же особенностями территории, оказывают влияние на ход тех или



иных процессов в пределах не только более или менее крупных биогеоценологических массивов, но и отдельных биогеоценозов. Так, ветер в лесном биогеоценозе усиливает физическое испарение и транспирацию влаги растениями, способствует внутреннему и внешнему газообмену; влияет на развитие корней и стволов; иногда обнажает корни растений, повреждает всходы и молодые посадки, вызывает буреломы и ветровалы; зимой способствует накоплению снега на лесных опушках, полянах, в понижениях рельефа; участвует в опылении некоторых растений и распространении семян и плодов и пр.

После рассмотрения всех элементов воздушной оболочки Земли — атмосферы и воздействия каждого из них на компоненты и те или иные стороны биогеоценозов и биогеосферы следует подытожить роль атмосферы в целом в жизни и функционировании биокосных систем.

Роль атмосферы в жизни и деятельности биогеоценозов и биогеосферы проявляется в трех направлениях.

Во-первых, атмосфера участвует во всех превращениях веществ и энергии на нашей планете, оказывая влияние на все звенья биогеоценологического процесса на земной поверхности, на его масштабы, направление, ритм и его конечный результат.

Во-вторых, атмосфера воздействует на все компоненты биогеоценозов, в особенности на растительность, являющуюся экраном, воспринимающим вещества и энергию из атмосферы и ближайшего космоса. Так, она определяет физико-химическое выветривание горных пород, влияет на почвообразовательный процесс и физико-химические свойства почв. Она накладывает значительный отпечаток на экобиоморфный состав растений и животных, характер и степень участия их в биогеоценологическом процессе, режим и интенсивность биогеохимической работы растительности, миграцию животных, активизацию и оцепенение их в определенные сезоны года и т. п.

В-третьих, атмосфера является условием существования всей биогеосферы Земли: посредством так называемого **озонового экрана** — слоя воздуха с повышенной концентрацией молекулярного кислорода на высоте 22–25 км — защищает всё живое на Земле от губительного действия ультрафиолетовых и других излучений Солнца, а посредством углекислого газа предохраняет земную поверхность от излучений тепла в космическое пространство; она служит проводником

солнечной энергии в биогеосферу и является средоточием огромных материальных ресурсов биогеосферы — кислорода, углекислого газа, атмосферной влаги и пр.

Однако связь атмосферы с почвой и живыми компонентами биогеоценоза является обоюдной, последние со своей стороны также оказывают то или иное влияние на воздушную оболочку Земли. Особенно существенное и разностороннее воздействие на деятельный слой атмосферы оказывают растительность и почвенный покров. В пределах биогеоценоза это воздействие фитоценоза и почвы на приземной слой воздушной среды является настолько сильным, что коренным образом изменяет световой и тепловой режимы и режим влажности воздуха в надземной части биогеоценоза, тепловой и водный режимы и режим минерального питания растений в подземной (почвенной) части его. В результате в пределах биогеоценоза происходит постепенное преобразование местного климата в особый, специфичный для данного биогеоценоза внутренний климат, называемый **фитоклиматом**.

Под **климатом** данной местности следует понимать «многолетний режим погоды, формирующийся под воздействием солнечной радиации, земной поверхности и связанной с ними циркуляцией атмосферы...». В зависимости от масштабов рассматриваемых частей поверхности Земли различают еще **мезоклимат**, или **местный климат** — климат сравнительно небольших участков земной поверхности. В качестве примеров приводится климат леса, морского побережья, города. Наконец, **микроклимат** — климат малого участка внутри географического ландшафта, например климат склона холма, опушки леса, городской площади и т. п. Особенности микроклимата проявляются обычно в приземных слоях воздуха, поскольку они определяются мелкими специфическими особенностями данного участка.

В чем же выражается воздействие живых компонентов и почвы биогеоценоза на деятельный слой атмосферы? Каким образом происходит видоизменение, преобразование составляющих местного климата элементов и конкретных метеорологических факторов атмосферы во внутреннюю среду биогеоценоза? Как преломляются эти факторы в биогеоценозах и в каких свойствах проявляется видоизменение местного климата в фитоклимат?

Прежде всего об изменении солнечной радиации и ее интенсивности в биогеоценозах. Ярче всего это проявляется в лесных биогеоценозах. Так, суммарная солнечная радиация под пологом древесных пород лесного биогеоценоза состоит не только из прямых солнечных лучей (в виде бликов, пятен) и рассеянных лучей, отраженных от неба и облаков, как на открытых местах, но также и из лучей, отраженных вниз кронами деревьев, и лучей, прошедших сквозь листья. Интенсивность прямого света под пологом древостоя в 2–4 раза слабее, чем на смежных открытых участках, ибо происходит поглощение солнечных лучей, отражение части из них нижними ярусами и пр. Рассеянная радиация в лесном биогеоценозе беднее активными для фотосинтеза лучами, чем на открытом месте, да и общая интенсивность ее меньше во всех частях спектра. Интенсивность солнечной радиации, по тем же данным, находится в зависимости от ярусного строения лесного биогеоценоза. Так, суммарная радиация в сосновом лесу, принятая над кронами древостоя за 100 %, под кронами составляет лишь 30 %, над травяным покровом — 10 %, в травяном ярусе близ поверхности почвы — менее 5 %. Изменяется она и с возрастом ценозообразующих древесных пород. Так, в дубовом лесу суммарная радиация под пологом древостоя в 20 лет составляет 20 % от полной, в 70 лет — 4, а в 230 лет — 6 %.

В кронах деревьев отдельные листья, неодинаково обеспечивают световой энергией в зависимости от формы кроны и густоты листвы, от положения листьев относительно лучей света и их места внутри кроны, следствием чего является «характерный градиент радиации от хорошо освещенной периферии кроны через зоны снижающейся освещенности до внутренней части кроны». Степень освещенности, измеряемая в люксах, внутри древостоя находится в зависимости от состава древесных пород и их возраста, от сомкнутости крон и их высоты от поверхности почвы, от экспозиции склона и пр. В хвойных лесах освещенность сильно ослаблена, но качество мало изменяется. В лиственных же лесах она подвергается избирательному поглощению, отсюда их желто-зеленый оттенок. Степень освещенности под пологом древостоя отражается на состоянии, развитии и продуктивности нижних ярусов. В густых биогеоценозах благодаря многократному отражению и поглощению солнечных лучей до почвы доходит

так мало света, что так называемое световое довольствие (то есть освещенность, выраженная в процентах от общего количества поступающего извне света) составляет лишь несколько процентов по отношению к освещенности открытой местности. Поэтому в составе подлеска, например, при относительном световом довольствии 5–20 % могут произрастать лишь теневыносливые растения.

Отличается солнечная радиация и в травяных биогеоценозах (луговых, степных, травяно-болотных) по сравнению с таковой на открытых местах, поскольку в них также происходит и поглощение солнечных лучей ценозообразующими растениями, и пропускание их через листья, и отражение части радиации напочвенным ярусом ценоза и пр. Свет, проходя через травостой, претерпевает значительные изменения, ибо лучи видимой радиации поглощаются гораздо сильнее, чем инфракрасные лучи, а в пределах видимой части спектра сильнее поглощаются красные и синие и слабее — зеленые. Вследствие этого происходит значительное снижение лучистой энергии.

Солнечная радиация, как было сказано ранее, является источником не только энергии света, но и тепла. Около 20 % световых лучей при прохождении через атмосферу поглощаются находящимися в ней водяными парами, непосредственно участвуя в нагревании воздуха, но большая часть световых лучей поступает на земную поверхность, которая, нагреваясь сама, нагревает и воздух посредством излучения тепла в атмосферу.

Тепловой режим биогеоценозов, в особенности лесных, подобно световому, значительно отличается от такового смежных открытых пространств, так как прогревание воздуха и поверхности почвы под пологом древесного яруса заметно снижается вследствие излучения тепла с поверхности крон деревьев. Средняя годовая температура в лесу примерно на 1,5 °C ниже по сравнению с соседними безлесными участками. Днем самыми теплыми являются кроны деревьев, но в течение суток температурный максимум в пределах крон перемещается: с верхней части крон на восходе солнца в их среднюю часть в 13 ч и снова на верхушки деревьев вечером, так как днем солнечные лучи глубже всего проникают в древесный полог; ночью же температура в лесу на всех уровнях древостоя почти одинакова. Разумеется, преобразование теплового режима под древесным пологом неодинаково

в различных типах лесных биогеоценозов, так как находится в зависимости от видового состава ценозообразующих древесных пород, их возраста и от ярусного строения биогеоценозов. Преобразующее влияние лесного биогеоценоза распространяется и на тепловой режим смежных участков — лесных полян, сплошных вырубков, просек на расстояние до 50–100 м от опушки леса.

Известное влияние на изменение теплового режима в своих пределах оказывают и травяные биогеоценозы. Температура в травостое луговых биогеоценозов находится в зависимости от характера растительности, высоты и плотности травостоя и ориентации листьев по отношению к поверхности почвы. Так, летом на лугу с густым (плотным) травостоем температурные различия между его верхним пологом и поверхностью почвы меньше, чем на лугу с разреженным осветленным травостоем. Осенью температуры в них выравниваются. На лугу температура понижается по вертикальному профилю травостоя сверху вниз.

Что же касается видоизменения режима атмосферных осадков и влажности воздуха в условиях биогеоценозов и биогеоценотического покрова Земли, то следует иметь в виду, что выпадение осадков, как было сказано ранее, определяется факторами более общего планетарного и даже космического характера (солнечная радиация и связанное с этим нагревание поверхности материков и океанов, циркуляция атмосферы и транспортировка влаги по земной поверхности и пр.). Однако известное значение в этом имеет и так называемая подстилающая поверхность местности, а именно морфология и геологическое сложение данной местности, характер растительного и почвенного покрова и пр., определяющие в свою очередь поверхностный сток и инфильтрацию воды в грунт, физическое испарение воды и транспирацию ее растениями, а следовательно, и влажность воздуха и почвы.

В лесах годовое количество атмосферных осадков, примерно на 17 % выше, чем в безлесных местностях, но в лесных биогеоценозах значительное количество осадков задерживается кронами деревьев. Так, в хвойном лесу задерживается от 20 до 60 % выпадающих осадков, а в лиственном — еще больше. Задерживаются атмосферные осадки и верхним пологом травостоя на лугах. Физическое испарение и ин-

тенсивность транспирации влаги в биогеоценозах обычно меньше, чем на открытых пространствах, отчасти в связи с уменьшением скорости ветра. Эти процессы находятся в зависимости от типа биогеоценоза, его структуры и густоты (плотности) стояния древостоя или стеблестоя, от сомкнутости крон лесных или общего проективного покрытия травяных биогеоценозов. Так, в сосняках черничных расход влаги на транспирацию больше, чем в сосняках лишайниковых или сосняках сфагновых, в сосняках с двухъярусным древостоем транспирируется влаги в 2 раза больше, чем в сосняках простых (однорядных). Больше расходуется влаги на транспирацию и в густых, сложных по составу биогеоценозах по сравнению с разреженными. В связи с этим значительно выше оказывается и гидрологическое значение таких биогеоценозов по сравнению с биогеоценозами разреженными, простыми по составу и структуре и, как правило, низкопродуктивными.

Режим влажности воздуха внутри биогеоценозов, как и световой и тепловой режимы, видоизменяется, преобразуется под действием живых компонентов биогеоценоза, значительно отличаясь от режима влажности открытых смежных территорий. Так, абсолютная и относительная влажность воздуха под пологом древостоя и подлеска лесных биогеоценозов обычно выше влажности наружного воздуха вследствие поступления водяных паров с поверхности почвы и крон деревьев и кустарников. Характерно и то, что с утра влажность воздуха одинакова во всех ярусах биогеоценоза, а днем постепенно падает от верхних ярусов к нижним. В травяных биогеоценозах чем гуще травостой, тем выше относительная влажность воздуха. Варьирует она и по вертикальному профилю травостоя: в верхнем ярусе она составляет 55–60 %, а в нижних достигает 94–98 %. Влажность воздуха внутри травяных биогеоценозов изменяется и в течение светового периода суток: утром и вечером она обычно выше, чем днем.

Биогеоценозы и биогеоценотический покров Земли большое влияние на газовый состав атмосферы оказывали в геологическом прошлом, оказывают и в настоящее время.

Основную массу воздушной оболочки нашей планеты, как известно, составляют газы биогенного происхождения: азот, кислород, углекислый газ. Совершающийся на протяжении многих тысячелетий газообмен в биосфере — результат жизнедеятельности

живых компонентов биогеоценозов, поглощающих продуцируемый автотрофными организмами кислород и выдыхающих углекислый газ, вновь используемый автотрофами на созидание первичной органической биомассы в процессе фотосинтеза. Однако содержание наиболее интенсивно используемых живыми компонентами кислорода и углекислого газа неодинаково в различных биогеоценозах. Концентрация углекислого газа, выше в воздушной среде лесных биогеоценозов, чем в травяных. Выше концентрация его в воздухе дубовых типов леса, чем сосновых. В тропических лесных биогеоценозах концентрация углекислоты выше, чем в таежных. Содержание углекислого газа в воздушной среде биогеоценоза колеблется в течение суток с максимумом ночью и минимумом днем, поскольку в дневные часы он интенсивно используется растениями на процессы фотосинтеза. Содержание углекислоты в биогеоценозе, безусловно, важный фактор, отражающийся на продуктивности фотосинтеза и, следовательно, на выходе органической массы, поскольку она является основным источником углерода.

Животные в составе биогеоценоза, как известно, поглощая в процессе дыхания кислород, обогащают воздух внутри биогеоценоза углекислотой, оказывая тем самым влияние на соотношение биогенных газов в его составе. Известную роль в этом отношении играет и микрофлора, в особенности почвенная. Установлено, что под пологом биогеоценозов в результате редуцирующей деятельности микроорганизмов увеличивается содержание углекислого газа в воздухе, в особенности в его приземном слое, что также сказывается на газовом составе воздушной среды биогеоценоза.

Важен и такой элемент атмосферы, как циркуляция воздуха. Горизонтальное, параллельное земной поверхности движение воздуха — ветер — под пологом лесных биогеоценозов видоизменяется в своем проявлении. Вследствие трения о древесные стволы и ветви, траты энергии на раскачивание стволов и т. п. ветер снижает свою скорость в лесном биогеоценозе. При плотном стоянии стволов древостой не только гасит ветер, но и дробит его и даже отклоняет его направление. Всё это в известной мере отражается и на тепловом режиме, и на режиме влажности воздуха внутри биогеоценоза. Лесные биогеоценозы ослабляют силу ветра и на своей опушке, предохраняя

древостой от буреломов и ветровалов. На этих свойствах лесной растительности основано и устройство лесополос, защищающих посевы сельскохозяйственных культур от пыльных бурь и сухих, порой горячих ветров из пустынных областей, а на севере — от холодных арктических ветров. Известное значение имеет и вертикальное движение воздуха, способствующее, наряду с горизонтальным, повышению обмена газов и более равномерному распределению водяных паров внутри биогеоценоза.

Преобразующее влияние на ветер и вертикальные токи воздуха травяных биогеоценозов по понятным причинам менее эффективно по сравнению с лесными биогеоценозами. Но и здесь растительность снижает скорость ветра, причем вблизи поверхности почвы скорость тем меньше, чем выше и гуще травостой.

Так, в общей форме представляется изменение, преобразование основных элементов и конкретных факторов местного климата в своеобразный физический режим метеорологических явлений в пределах данного биогеоценоза, названный **фитоклиматом**. Характерная особенность фитоклимата — резкое отличие его от местного климата смежных открытых пространств, и главная черта его — резкая смена метеоэлементов (света, тепла, влаги, ветра и пр.) внутри растительного слоя биогеоценоза по вертикали по причине взаимодействия энергетических потоков с фитоэлементами. Фитоклимат складывается под воздействием общих метеорологических условий данной местности, а также особенностей геометрической структуры данного ценоза. Оба этих фактора обуславливают взаимодействия энергетических потоков с элементами фитомассы, в результате чего формируются разные типы фитоклиматов.

Из изложенного выше видно, что в становлении, формировании специфических особенностей фитоклимата по сравнению с климатом смежных открытых участков, наряду с фитоценозом, играющим в этом главную роль, принимают участие и обитающие в его границах позвоночные и беспозвоночные животные, а также эпифитная и почвенно-подстилочная микрофлора. Отсюда следует, что поскольку речь идет не о фитоценозе, а о системе более высокого ранга — биогеоценозе, то сформировавшийся в его составе при участии всех живых компонентов особый своеобразный климат имеется

достаточно оснований назвать **биоценоклиматом**. А из этого, в свою очередь, следует, что **биоценоклимат** — это не что иное, как тот биогенный компонент данного биогеоценоза, который получил наименование **аэротопа**, представляющего собою одну из составных частей внутренней среды биогеоценоза.

**Эдафотоп** — это совокупность факторов биогенной почвенной среды в границах биогеоценоза, являющейся результатом преобразования почвообитающими живыми существами в определенных климатических и гидрологических условиях в течение определенного времени косной ее части, а именно минеральной: основы почвенного слоя и материнской горной породы в пределах верхних горизонтов коры выветривания.

Таким образом, материальным субстратом, лежащим в основе формирования эдафотопы как компонента биогеоценоза, являются поверхностные горизонты коры выветривания, представленные почвообразующими материнскими горными породами различного генезиса, и минеральная часть самой почвы.

**Кора выветривания** — это особое геологическое образование, возникшее в результате глубоких преобразований верхних слоев литосферы под действием агентов атмосферы, гидросферы и отчасти биосферы. Кора выветривания родственна почве; для нее также свойственны и деятельность микрофлоры, и зональность окислительно-восстановительных процессов, и свой вертикальный профиль различной мощности. Отличие коры выветривания от почвы состоит в отсутствии в ней биогенной аккумуляции химических элементов под влиянием растительности. Мощность коры выветривания варьирует в весьма больших пределах. Так, на поверхности скал магматических горных пород она представлена тонкой пленкой выветривания в 1–2 мм, на тех же породах Северо-Западной Европы, освободившейся от ледникового покрова 5–6 тыс. лет назад, мощность коры выветривания составляет 10–20 см.

В зависимости от продолжительности и истории процесса выветривания поверхности земной коры различаются:

- а) **современные коры выветривания**, образовавшиеся в кайнозойе — в четвертичный, третичный периоды и отчасти в верхнем мелу;
- б) **древние (ископаемые) коры выветривания**, формирование ко-

торых относится к юрскому периоду мезозойской эры, к девону и кембрию палеозойской эры и даже до палеозоя. Мощность последних колеблется от 60 до 300 м. Древние коры выветривания в геологическом прошлом были при опускании суши погребены осадочными породами последующих периодов, а позднее при поднятии были выведены на поверхность и вскрыты эрозионными процессами, оказавшись таким образом субстратом для современного почвообразования.

**Выветривание** (гипергенез, по А. Е. Ферсману) — это весьма сложный процесс, сопровождающийся разрушением одних горных пород и слагающих их минералов и образованием других пород и минералов. Процессы выветривания различных по своему генезису и минералогическому составу горных пород как в геосторическом плане, так и в современных условиях протекали и протекают в определенной последовательности и при ведущем значении то одних, то других факторов. При выветривании магматических горных пород главная роль принадлежит физическим и физико-механическим факторам, а при выветривании более или менее раздробленных метаморфических и осадочных пород — химическим и физико-химическим факторам. С появлением же и дальнейшим развитием жизни на Земле большое значение в процессах выветривания горных пород приобретают также биологические факторы.

В современных условиях в зависимости от геоморфологического строения местности и складывающегося при выветривании горных пород в соответствующих формах рельефа баланса веществ наблюдается формирование следующих типов коры выветривания:

1. На равнинных плато, древних плоских водоразделах и древних террасах, в условиях промывного типа баланса веществ, вследствие преобладания процессов выщелачивания и выноса подвижных продуктов выветривания формируются элювиальные (остаточные) коры выветривания.

2. На пологих склонах, наклонных делювиальных равнинах, сухих дельтах и конусах выноса в условиях переходного, промежуточного типа баланса веществ, характеризующегося транзитом водных растворов, выпадением части взвешенных и растворенных в них веществ по пути в осадок, засолением и загипсовыванием этих форм рельефа, формируются транзитно-аккумулятивные коры выветривания.

3. В малодренированных и бессточных низменностях, депрессиях, нижних надпойменных и пойменных террасах, дельтовых равнинах и высыхающих озерах в условиях накопительного типа баланса веществ, вследствие аккумуляции образовавшихся на месте и поступивших из вышележащих форм рельефа продуктов выветривания, формируются аккумулятивные коры выветривания.

Все три названных типа коры выветривания, разумеется, в пределах любого географического ландшафта тесно связаны между собой единством генезиса и своеобразием геохимических процессов.

К материальному субстрату, служащему основой эдафотопы, наряду с поверхностными горизонтами коры выветривания, относится, как сказано ранее, минеральная часть самой почвы, включая самый верхний слой материнской почвообразующей породы. Она представляет собой арену непосредственного контакта и непрерывного взаимодействия атмосферы, гидросферы и биосферы, результатом чего и является возникновение **почвенного покрова**.

Процесс почвообразования, как и процесс выветривания поверхности земной коры, весьма сложный и многогранный, охватывающий длительные отрезки времени. В осуществлении его принимает участие ряд факторов — абиотических и биологических. В. В. Докучаев (1889) к числу неперменных почвообразующих факторов относил климат, горные породы, рельеф, организмы и время. В. Р. Вильямс (1936) ведущим фактором почвообразования считал живые организмы; позднее большое значение он придавал также хозяйственной деятельности населения. Всеми последователями В. В. Докучаева признавалось и признается в настоящее время, что перечисленные факторы почвообразования действуют не разобщенно, а совместно, совокупно, постоянно взаимодействуя между собой; они осуществляют в силу этого огромную биогеохимическую работу, имеющую общепланетарное значение. Вместе с тем факторы почвообразования различны как по своей природе, так и по своей роли и значению в этом процессе.

В. А. Ковда в своей фундаментальной монографии «Основы учения о почвах» (1973) приводит детальную характеристику факторов почвообразования исходя из представлений В. В. Докучаева.

**Горные породы и минералы** В. А. Ковда рассматривает как главные объекты почвообразовательного процесса, которые, подвергаясь

выветриванию, разрушению и новому синтезу, преобразуются под действием организмов в почвенный покров с гумусовым горизонтом в его профиле.

**Общий климат**, включая водно-воздушный, световой и тепловой режимы, данным автором рассматривается как фактор космического происхождения, зависящий от солнечной радиации и ее распределения по земной поверхности. Этому фактору почвообразования он придает исключительно большое значение, поскольку климат определяет многие процессы на Земле: выпадение осадков, водную и ветровую эрозию, перемещение разнообразных веществ по поверхности Земли, условия существования и жизнедеятельности живых организмов и пр. Изменения климата в геологическом прошлом приводили к глубоким и разнообразным изменениям на нашей планете, охватывая растительность, животный мир и почвенный покров.

**Рельеф местности** вполне резонно считается автором косвенно действующим фактором почвообразования, перераспределяющим климатические и другие процессы в зависимости от местоположения. Рельеф оказывает влияние на поверхностный и подземный сток атмосферных осадков, глубину залегания почвенно-грунтовых вод, характер и степень минерализации поверхностных и подземных вод, распределение тепла и влаги, скорость испарения и транспирации влаги. Рельеф определяет смыл подвижных продуктов выветривания с положительных форм, отложение и накопление их в отрицательных местоположениях, химизм почвообразующих пород и формирование различных типов почв, размещение живых существ, их состояние и развитие и многое другое.

Роли, значению и результатам деятельности **живых организмов** как биологическому фактору почвообразования уделяется большое внимание многими почвоведом и другими специалистами, в особенности в связи с обобщениями и выводами В. И. Вернадского, касающимися роли живого вещества в общепланетарных биогеохимических процессах в пределах биосферы Земли.

Прежде всего большинство почвоведов и биологов широкого профиля вслед за В. Р. Вильямсом подчеркивают ведущую роль живых организмов в осуществлении почвообразовательного процесса, в особенности автотрофных растений как аккумуляторов солнечной

энергии, служащей источником существования всех организмов на Земле и осуществления разного рода реакций, составляющих основу почвообразовательного процесса. Во-вторых, процесс почвообразования в настоящее время трактуется как непрерывный циклический обмен веществом и энергией разных групп организмов между собой, а также с материнской почвообразующей породой и минеральной частью почвы. Он выражается:

- а) в механической и физико-химической переработке минеральной массы почвообразующей породы и почвенного слоя;
- б) минерализации поступивших в почвенный слой органических остатков и продуктов метаболизма с выделением свободной энергии;
- в) усвоении организмами минеральных соединений и утилизации их на процесс синтеза гумусовых веществ, новых минералов, различных органо-минеральных соединений, специфических газов в почвенном воздухе и т. п.

Иначе говоря, процесс почвообразования осуществляется совокупной деятельностью живых организмов в форме биологического круговорота веществ и потока энергии, ведущих к коренному изменению почвообразующей породы и превращению ее в почву.

Фактор времени занимает особое место среди других факторов почвообразования. Он выражает историю, продолжительность почвообразовательного процесса, протекающего под действием названных выше факторов. Фактор времени находит отражение в эффективности почвообразования и его результатах, в формировании на разных этапах в зависимости от сочетания условий различных типов и разновидностей почв, которые в силу этого могут рассматриваться как представители стадий почвообразовательного процесса.

Эффективность и характер действия остальных факторов почвообразования в ходе исторического развития этого процесса от этапа к этапу постепенно изменяется. Так, например, роль живого вещества в процессах почвообразования неизменно возрастает, поскольку с течением времени возрастает видовое разнообразие и численность организмов, а следовательно, и общая масса живого вещества. Расширяются границы биосферы, и большее количество солнечной энергии вовлекается в различные процессы на Земле, поэтому всё большие

массы земной коры подвергаются действию биологического круговорота, преобразуясь в почвенный покров.

Помимо перечисленных природных факторов почвообразования в последнее время всё больше внимания стало уделяться роли хозяйственной деятельности человека в этом процессе. Хозяйственная деятельность в настоящее время является мощным фактором изменения и преобразования горной породы в почву и изменения природных свойств самой почвы, вплоть до создания так называемых «**окультуренных**» почв.

Для получения более полного представления о почве и почвенной среде необходимо в самых общих чертах ознакомиться с энергетикой почвообразовательного процесса. Основным источником энергии на Земле, как известно, является лучистая энергия Солнца, которая в почву поступает в виде тепловой энергии. Из других источников тепловой энергии известны:

- а) энергия, поступающая из глубинных слоев Земли (энергия тектонических движений земной коры, вулканов, термальных источников, газовых выделений при извержениях вулканов);
- б) энергия естественной радиации радиоактивного распада некоторых элементов земной коры. Однако значение их в тепловом балансе Земли ничтожно.

Поступление в почву энергии происходит:

- а) с водой в разных формах почвенной влаги;
- б) с мертвым органическим веществом в виде химической энергии органических соединений в почвенном гумусе за счет биологического массообмена организмов и почвы;
- в) с почвообразующей материнской породой при формировании почвы за счет энергии глубинных процессов планеты и пр.

В результате в почве, в особенности в гумусовом слое, происходит накопление значительного количества потенциальной энергии, примерно равного запасу энергии, заключенной в наземной биомассе сухопутных организмов, главным образом растений. Причем в травяных типах растительности запас энергии в гумусовом слое в 20–30 раз выше, чем в наземной биомассе. В лесных же, наоборот, в наземной биомассе запаса энергии в 2–4 раза больше, чем в почвенном гумусе. Это связано с тем, что в лесах потенциальная энергия

сосредоточивается преимущественно в древесине, а не в почве, как в травянистых сообществах.

Основная часть поступившей на земную поверхность солнечной энергии в виде тепловой энергии (95–99,5 % всей тепловой энергии почвообразования) расходуется на процессы влагооборота и теплообмена, главным образом на физическое испарение и транспирацию влаги, причем эта энергия в конечном итоге выбывает из почвы в виде тепловой энергии вовне. От 0,5 до 5 % от всей тепловой энергии расходуется на циклические биологические процессы превращения органических веществ в более высокомолекулярные органические и затем тех и других — в простые минеральные соединения. Лишь сотые и тысячные доли процента от общей тепловой энергии уходят на разложение минералов в процессах физического и химического выветривания, и столь же ничтожное количество ее тратится на явления миграции веществ по вертикальному профилю почвы.

Таким образом, суммарные затраты энергии на процессы почвообразования составляют в ккал/см<sup>2</sup> в год: в тундрах и пустынях 2–5, в лесах и степях умеренного пояса 10–40, во влажно тропических типах растительности 60–70.

С биогеоценотической точки зрения под почвой следует понимать «поверхностный слой литосферы, участвующий в биологическом круговороте и обретший свойства природного компонентного тела, с характерным для него непрерывным обменом вещества и энергии, обуславливающим его образование, плодородие, закономерности формирования и эволюцию».

Почва, как самостоятельное ограниченное в пространстве природное тело, может трактоваться как определенная **термодинамическая система**, обладающая способностью пропускать через себя потоки вещества и энергии, не аккумулируя их в своих границах.

Открытой системой почва называется потому, что, как компонент биогеоценоза, она находится в постоянном и массо- и энергообмене с окружающей средой». Почву называют гетерогенной системой, поскольку она состоит из нескольких гомогенных систем, имеющих разные свойства. Почва — многофазная система, так как в ее состав входят вещества, как в твердом так и в жидком и в газообразном состояниях.

Почва может рассматриваться и как биохимическая система, поскольку в результате жизнедеятельности и обменных процессов в сообществе почвообитающих организмов с участием подземных органов растений в почве непрерывно синтезируются, разрушаются и из продуктов распада вновь синтезируются разнообразные вещества: аминокислоты, спирты, органические кислоты, гумусовые вещества, ферменты, активные биохимические продукты, антибиотики, витамины групп В, РР, токсические вещества и пр. Продукты метаболизма и другие продуцируемые вещества оказывают существенное воздействие на процессы почвообразования, плодородие почвы, на течение различных биохимических реакций в почве (окисление, восстановление, гидролиз, брожение и т. п.).

Таким образом, почва как природное тело состоит из подвергшейся физико-механическому и биохимическому выветриванию косной минеральной основы, биогенной органической массы в виде гумусового слоя различной мощности, продуктов почвообразования и метаболизма в различных состояниях, а также специфических почвенных газов и воды с растворенными в ней веществами.

По Ю. Одуму, в состав почвы входят подстилающий минеральный субстрат как исходный материал и органические «добавки», а также организмы и продукты жизнедеятельности, перемешанные с мелкими частицами измененного исходного материала, а между частицами — газы и вода.

Происходящие в почве процессы аккумуляции, превращения и перемещения органических и минеральных веществ находят отражение в морфологическом строении почвенного профиля, в особенностях вертикального расчленения почвы на так называемые биогеогоризонты и слои, которые обычно почти полностью совпадают с выделяемыми почвоведомы генетическими горизонтами почвы.

Распределение химических элементов по почвенному профилю определяется двумя взаимно противоположными процессами:

а) **биогенной аккумуляцией** элементов в почве вследствие перемещения корнями растений калия, кальция, фосфора, серы и др. из нижних горизонтов в верхние, что наиболее характерно для степных и отчасти пустынных биогеоценозов (черноземы, сероземы);



б) **выщелачиванием** легкорастворимых элементов из верхних горизонтов в нижние при промывании почв атмосферными осадками, в особенности в лесных биогеоценозах (подзолистые почвы).

Таким образом, вертикальный профиль почвы характеризуется существенными различиями почвенных горизонтов как по механическому составу, физическим и химическим свойствам, так и по функциональным режимам — солевому, водно-воздушному и тепловому. Важность учета расчленения почвы на биогеогоризонты либо взаимодействие других компонентов биогеоценоза с почвой, в особенности живых, складывается дифференцированно по биогеогоризонтам и даже слоям. Особенно большое значение он придает подстилке и гумусовому горизонту почвы, наиболее плотно заселенным живыми существами и заполненным корнями растений, продуктами метаболизма и отмершими органическими остатками.

Мощность, толщина различных типов почв, границы их вертикального простираения неодинаковы. Верхней границей почвенного профиля принято считать поверхность мертвого напочвенного покрова (лесной подстилки, войлока на лугах и в степях), а нижней границей — предел распространения основной массы корневых систем растений, так называемого корнеобитаемого слоя. Общая мощность почвы обычно составляет 1,5–2 м. В этом слое растения, почвообитающие животные и микроорганизмы находят необходимые для своего существования, жизнедеятельности и развития тепло, влагу, кислород воздуха и питательные вещества (минеральный азот, зольные элементы и пр.).

Мощность почвы свидетельствует о степени близости или удаленности от ее поверхности материнской почвообразующей породы. Наиболее маломощные почвы встречаются на скалистых магматических и метаморфизированных горных породах либо в суровых климатических условиях, ограничивающих распространение биологических процессов почвообразования в более глубокие слои материнских пород. Маломощные почвы характерны также для первых стадий почвообразования.

Почва как природное тело отличается от материнской горной породы, на основе которой она сформировалась, рядом характерных особенностей.

Во-первых, почвы, в отличие от почвообразующей породы, анизотропны, то есть их состав и свойства неодинаковы по генетическим горизонтам почвенного профиля.

Во-вторых, почва обладает плодородием, то есть способностью обеспечить необходимые условия для существования и развития растений и других организмов.

В-третьих, почва характеризуется скоплением, концентрацией бесчисленного количества организмов, обладающих в совокупности огромной химической энергией, обеспечивающей грандиозный геохимический эффект их деятельности в биогеоценозе и в биосфере в целом.

В-четвертых, для почвы характерна резкая смена физико-химических свойств по биогеогоризонтам почвенного профиля (например, смена кислой реакции (рН) среды с глубины 20–50 см на щелочную).

В-пятых, наличие в почве окислительно-восстановительных процессов с преобладанием восстановительных в верхних горизонтах, где происходит интенсивное разложение органики, и окислительных в нижних — с образованием окисных соединений железа, марганца.

Любая почва, как и всякое природное тело, обладает присущими ей свойствами, названными специалистами в этой области **генетическими свойствами**. К числу их относятся: механический и минералогический состав почвы, реакция (кислотность) почвы, физические свойства (основные и функциональные) и физико-химические свойства органической и минеральной частей почвы. Не останавливаясь на характеристике этих почвенных свойств, обратим внимание главным образом на воздействие наиболее важных из названных свойств, которое они оказывают на различные стороны составных частей других компонентов биогеоценозов, на роль и значение этих свойств в составе и функционировании последних. Прежде всего физические свойства почвы, а из них, как экологически наиболее важные: водный, воздушный и тепловой режимы почвы.

Почвенная вода используется корнями растений и почвообитающими животными и микроорганизмами на удовлетворение своих потребностей в ней. Кроме того, она транспортирует растворенные в ней минеральные и органические вещества по профилю почвы, а также по уклону земной поверхности. При этом так называемая

**гравитационная вода**, перемещаясь по почвенному профилю сверху вниз, способствует выщелачиванию веществ и выносу их из верхних горизонтов почвы в нижние. **Капиллярная вода**, наоборот, вследствие испарения ее с поверхности перемещает вещества снизу вверх, обогащая верхние горизонты почвы, наиболее плотно заполненные подземными органами растений и населенные животными и микроорганизмами, содержащие различные минеральные соли, органические и минеральные кислоты, кислород и другие необходимые для них вещества.

В зависимости от **гидрологического режима** местности и глубины залегания грунтовых вод складываются различные типы режима влажности почвы:

- **болотный** и **полуболотный** режимы, характеризующиеся избыточной влажностью почвы;
- **таежный** — с оптимальной влажностью;
- **степной** и **пустынный**, отличающиеся недостаточной влажностью почвы, а последний чрезмерной сухостью ее.

В условиях названных типов режима влажности почвы, естественно, создаются и соответствующие типы обеспеченности биогеоценозов влагой, что сказывается на их состоянии, развитии и продуктивности.

**Воздушный режим почвы** является антагонистом водного режима. Чем больше скважины почвы заполнены водой, тем меньше в ней окажется воздуха, а следовательно, и кислорода; остается лишь воздух, растворенный в воде. В тяжелых по механическому составу почвах создаются в таких случаях анаэробные условия, что, помимо необеспеченности живых существ кислородом, замедляет также процесс разложения органических остатков.

Весьма важным условием нормальной жизни организмов и бесперебойного функционирования биогеоценозов является **тепловой режим почвы**, который находится в зависимости от целого ряда факторов: климатических особенностей местности, теплопроводности почвы и почвообразующих пород, обеспеченности почвы влагой, характера растительного покрова и т. п. Тепловой режим почвы оказывает влияние на многие стороны функционирования биогеоценозов. Он определяет жизнедеятельность корней растений и почвообитающих

животных и микроорганизмов, подвижность воды и почвенных растворов и доступность их для живых существ, скорость разнообразных химических реакций, а в конечном итоге — продуктивность биогеоценологических систем. Тяжелые по механическому составу глинистые и суглинистые почвы в таежной полосе более влажны и холодны, чем песчаные почвы. Но в сухих жарких пустынях песчаные почвы влажнее глинистых, поэтому и растительный покров на них более развит.

Из **физико-химических свойств** почвы наибольшее значение для жизни почвообитающих организмов и функционирования биогеоценозов имеют:

- а) **химический состав минеральной части почвы**, а именно валовое содержание основных окислов макро- и микроэлементов и подвижных растворимых в воде и кислотах минеральных и органоминеральных соединений (азот, фосфор, калий, кальций, магний и др.);
- б) **биохимический состав органической части почвы** в виде подстилки или войлока и гумусового горизонта различного механического состава и мощности.

Поступление и запас химических элементов в почве находится в зависимости: от содержания их в составе почвообразующих пород; от приноса их извне или выноса за пределы биогеоценоза; от количества и качества химизма растительной, животной и микробной биомассы и от притока их под действием корневых систем растений из нижних горизонтов почвы и подпочвы.

Органическое вещество почвы, представленное в основном гумусом в коллоидальной форме, состоит из малорастворимых гуминовых веществ. При разложении гумуса выделяются усваиваемые растениями минеральные соли, а также углекислота, которая, растворяясь в воде, подкисляет почву и вместе с тем облегчает растворение минеральных частиц почвы и усвоение их растениями. Гумус, таким образом, представляет собою весьма важный источник минеральной пищи растений. Он увеличивает поглонительную способность почвы, благодаря наличию в его составе гуминовых веществ и извести способствует образованию прочной структуры почвы, вследствие чего существенно меняются физические и химические свойства почвы, улучшаются водно-воздушный, тепловой и солевой режимы, что ведет к повышению плодородия почвы и продуктивности биогеоценозов в целом.

Кроме того, гумусовый горизонт почвы, как было отмечено ранее, является резерватом аккумулированного живым веществом лучистой энергии Солнца. Однако мощность и химический состав гумусового горизонта почвы и запас потенциальной энергии в нем далеко не одинаковы в различных физико-географических условиях. Так, черноземные почвы степной зоны весьма богаты гумусом и заключенной в нем энергией; почвы же таежной полосы обычно выщелочены и обеднены как гумусом, так и энергией.

Таким образом, роль почвы в происходящих в биогеоценозах процессах чрезвычайно велика. Представляя собою целостное природное образование, она находится в постоянном взаимодействии со всеми другими компонентами и составными частями биогеоценоза. На нижнем пределе своего распространения почва непосредственно связана с почвообразующей породой, главным образом посредством обмена продуктами разрушения материнских горных пород и разнонаправленной миграции различных химических элементов. Сверху она контактирует с приземным слоем атмосферы, а в границах биогеоценозов с их внутренней биогенной воздушной средой преимущественно через посредство живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. Но особенно тесными узлами почва связана с живыми компонентами биогеоценозов, а из них в первую очередь с ценопопуляциями автотрофных растений и с соответствующими группами гетеротрофных микроорганизмов.

Таким образом, почва представляет собою среду обитания и условия существования сухопутной растительности, животного и микробного населения биогеоценоза, являетсяместилищем живого вещества. Она — поставщик и «кладовая» необходимых для живых существ материально-энергетических ресурсов: воды, минеральных и органических веществ, газов и пр. Почва обеспечивает растительные сообщества (через корневую систему) и связанные с ними ценокомплексы животных и микроорганизмов зольными элементами, минеральным азотом, водой в разных формах, углекислотой и некоторыми органическими веществами (ферментами, витаминами и т. п.).

Но это только одна сторона функциональной роли почвы в биогеоценозе; вторая, с нею взаимосвязанная, заключается в следующем: почва является приемником продуктов метаболизма, жизнедеятель-

ности живых существ и их посмертных органических остатков, а также посредником между почвообитающими организмами и земными (вода и элементы питания) факторами среды.

Почва участвует во всех важнейших обменных процессах, происходящих в биогеоценозе, — водном, органо-минеральном и энергетическом. В почве сходятся и переплетаются все нити, тянущиеся от других компонентов биогеоценоза, в ней, главным образом, протекает биологический круговорот веществ, осуществляющийся между живыми компонентами, но с неперемным включением почвенных, атмосферных и космических материально-энергетических ресурсов. Почва, можно сказать, суммирует результаты функциональной деятельности всех компонентов биогеоценоза.

Являясь более консервативной составной частью биогеоценоза по сравнению с живыми компонентами, она в наибольшей степени отражает в своих свойствах и составе процессы и явления, совершающиеся в биогеоценозе, а потому нередко именуется «зеркалом» всего биогеоценозического процесса.

Таким образом, главная функция почвы в составе биогеоценоза состоит в обеспечении благоприятных условий существования бесчисленному количеству разнообразных живых существ, как населяющих саму почву, так и обитающих в наземной, воздушной среде. Отсюда коренным природным свойством ее является плодородие.

Связь почвы с другими компонентами биогеоценоза — двусторонний процесс. Почва, воздействуя на компоненты и составные части биогеоценоза, сама испытывает с их стороны и биогеоценоза как целого разностороннее и существенное влияние. Из материнской горной породы (при выветривании) и почвенно-грунтовых вод в почву поступает большое количество разнообразных минеральных веществ. Из атмосферы и ближайшего космоса почва получает с атмосферными осадками и аэрозолями воду, кислород, азот и ряд других веществ и химических элементов; поступает также атмосферная пыль, энергия в тепловой форме и т. п. Различные вещества приносятся в почву ветром, смываются с кроны и коры деревьев и кустарников, с листьев и стеблей травянистых растений.

Особенно сильное и разнообразное влияние на почву оказывают живые существа. Прежде всего, как видно из ранее сказанного, они

играют важную, ведущую роль в самом процессе почвообразования. В почву непрерывно поступает большое количество органических и минеральных веществ в виде так называемого опада (то есть отмерших отдельных частей и целых растительных и животных организмов), а также в виде прижизненных корневых выделений, отбросов и выделений животных (мочевина, энзимы) и пр. В почву таежных биогеоценозов ежегодно поступает опада 3–5 т/га, содержащего значительные запасы различных веществ и энергии. Образующийся на поверхности земли в виде подстилки в лесах или войлока на лугах и в степях мертвый напочвенный покров под действием микроорганизмов, беспозвоночных животных и отчасти сапрофитных растений подвергается разложению, гумификации и частичной минерализации.

Всё это ведет к обогащению почвы органикой и целым рядом минеральных соединений, в том числе и биогенного происхождения, к усилению и усложнению биологического круговорота веществ и миграции веществ по горизонтам почвенного профиля с аккумуляцией их в гумусовом и некоторых других горизонтах, к существенному изменению основных физических свойств (структура, плотность, скважность) и физико-химических свойств почвы. В конечном итоге всё это приводит к преобразованию почвы, превращению ее во внутреннюю почвенную среду биогеоценоза (эдафотоп), находящуюся в данный отрезок времени в относительном соответствии с потребностями живых компонентов биогеоценоза и присущей им избирательной способностью в использовании материально-энергетических ресурсов почвенной среды как компонента биогеоценоза.

Таким образом, становление почвы и ее функционирование протекают в составе биогеоценоза, в силу этого ее разнообразные генетические свойства как бы преломляются в процессе взаимодействия с другими компонентами, и почва, качественно преобразуясь при этом, превращается в биогенную среду данного биогеоценоза, становится его непременным компонентом.

Взаимосвязь почвы с другими компонентами биогеоценоза и с биогеоценозом как целостной системой, в состав которого она входит, хорошо видна на примерах. Так, в составе таежно-лесных биогеоценозов почва формируется и функционирует в условиях преобразованного под их пологом климата. Почвенные процессы нахо-

дятся в тесной и наиболее четко выраженной взаимосвязи с другими компонентами биогеоценоза. Для почвы в этих условиях характерны: достаточно хорошее увлажнение и аэрация; интенсивный водно-минеральный обмен и образование наземной биомассы, в особенности растительной; накопление большого количества отмерших органических остатков в виде лесной подстилки; довольно полное разложение органики с участием в составе микрофлоры низших грибов и актиномицетов; выделение углекислоты и тепла в приземной слой атмосферы и вынос растворимых веществ в грунтовые воды; выщелачивание подвижных элементов из верхних горизонтов почвы и формирование относительно бедных органическим веществом подзолистых, дерново-подзолистых и других подобного типа почв, как правило, кислой реакции.

Степные травяные биогеоценозы вследствие сравнительно небольшой мощности биогеоценозического покрова мало влияют на приземной слой атмосферы, но оказывают значительное воздействие на почву; почвенные процессы в силу тех же причин связаны не столько с фитоклиматом, сколько с общими атмосферными условиями местности; взаимодействие компонентов биогеоценоза вследствие пониженного увлажнения и высокой температуры в вегетационный период значительно ослаблено. Образование наземной биомассы и мертвого напочвенного покрова в виде войлока в этих условиях невелико, зато развивается огромная масса корней и других подземных органов растений, ежегодно отмирающих в большом количестве; при этих обстоятельствах происходит преобладание процессов гумификации органики над процессами минерализации ее, всё это ведет к накоплению огромной массы гумуса в верхних горизонтах почвы и формированию богатых органическим веществом, хорошо аэрируемых, структурных черноземных почв различной мощности.

Отмеченные резкие различия подзолистых и черноземных почв, формирующихся под соответствующими группами типов таежно-лесных и травяных степных биогеоценозов, в известной степени связаны с зональными физико-географическими особенностями местности. Однако и в пределах одной и той же зоны, как известно, под разными группами типов биогеоценозов, например ельников и сфагновых болот в таежно-лесной области, формирующиеся

почвы весьма сильно отличаются друг от друга по своим признакам и свойствам. Так, для корнеобитаемого слоя сфагновых болот, развивающихся на минеральном грунте, в отличие от подзолистых почв, характерно наличие торфяного или минерально-торфяного субстрата, насыщенного застойной холодной водой, очень кислой реакции и крайне бедной элементами минерального питания в доступном для высших растений состоянии; чрезвычайно плохая аэрация субстрата и весьма слабая в анаэробных условиях деятельность микрофлоры; накопление травяно-кустарничково-сфагновым покровом неразложившейся органической массы и образование различной мощности торфяного слоя, формирование в этих условиях торфянисто-глеевых и торфяных болотных почв.

Специфичность биогенной почвенной среды, связанной в своем происхождении и последующем функционировании с определенным биогеоценозом в качестве его компонента, может быть подтверждена и другими общеизвестными фактами, например, таким, как постепенное преобразование разновидностей почвы при естественной или антропогенной коренной смене одного биогеоценоза другим.

Из всего изложенного следует, что почва не является, строго говоря, компонентом какого-либо конкретного биогеоценоза. Подлинным компонентом такого биогеоценоза может быть лишь почвенная разновидность, свойственная ему, находящаяся в относительном соответствии в данный отрезок времени с потребностями живых компонентов биогеоценоза, в состав которого они входят, преобразованная ими в соответствии с этими потребностями. Иначе говоря, компонентом определенного биогеоценоза является сформировавшаяся в его составе в течение относительно длительного отрезка времени биогенная почвенная разновидность, подогнанная к выполнению вполне определенных функций в биологическом круговороте веществ данной биогеоценозической системы. Всё это находится в полном соответствии с основным универсальным принципом жизни: всё живое само создает из материального окружения необходимые условия своего существования и поступательного развития.

### 1.3. Изучение атмосферы, воды и почв как компонентов биогеоценозов

Изучение атмосферы как компонента биогеоценоза и ее влияния осуществляют на глубину так называемого «деятельного слоя». Глубина деятельного слоя при рассмотрении водно-теплового режима всей совокупности «почва — растение — атмосфера» определяется гипотетической границей распространения корневой системы растений. При рассмотрении радиационно-теплового режима нижнюю границу деятельного слоя можно принять по глубине затухания суточной температурной волны в почве, то есть на глубине 20–40 см. В основном же изучается микроклимат растительного полога, в частности, энергетический баланс и его составляющие — радиационный баланс, тепловой баланс, баланс углекислоты, водообмен, энергетическая эффективность фотосинтеза и транспирации, физический режим атмосферы (градиентные измерения метеоэлементов — температуры, влажности воздуха, скорости ветра).

Изучение воды как компонента биогеоценоза изучается по звеньям:

- осадки в виде дождя и снега;
- задержание осадков растительностью (дифференцируют задержание осадков кронами деревьев и испарение их с крон, задержание осадков другими ярусами растительности и испарение с них, сток влаги по стволам);
- сток воды по поверхности почвы;
- внутрпочвенный сток;
- грунтовый сток;
- русловый сток;
- физическое испарение влаги с поверхности почвы;
- режим влажности почвы;
- поступление влаги из грунтовых вод;
- замерзание и оттаивание;
- испарение (десукция) влаги древесными и травянистыми растениями, мхами, лишайниками;
- режим влажности растений разных биоэкоморф.

Изучение почвы как компонента биогеоценоза ведется по трем направлениям:

– изучение преобразования горной породы (рыхлой или массивной) в почву в целях установления этапов или стадий развития ее как компонента, участвующего в формировании биогеоценоза;

– изучение почвы как природного тела, определяющего, наряду с другими компонентами, многообразие биогеоценозического покрова и размещение биогеоценозов по поверхности суши, что важно для типологии и систематики последних;

– изучение сезонно-годовых изменений почв, происходящих под влиянием остальных компонентов, особенно растительности и животных, в целях разработки способов направленного управления жизнедеятельностью биогеоценозов.

Изучаются:

- морфологическое строение почв;
- физические и физико-химические свойства почв;
- динамика почвенных процессов;
- биологический круговорот веществ в системе живые организмы — почвы;
- обмен энергии в этой же системе;
- качественные и количественные параметры содержания, поступления, отчуждения и выноса за пределы биогеоценозической толщи почв органических и зольных веществ.

#### 1.4. Изучение растительности как компонента биогеоценоза

Изучение растительности предполагает определение:

- роли фитоценоза в накоплении органических веществ и энергии и превращениях вещества и энергии в общей системе биогеоценоза;
- характера и степени воздействия фитоценоза на остальные компоненты биогеоценоза;
- роли фитоценоза в динамике биогеоценоза;
- характера и степени воздействия фитоценоза на соседние биогеоценозы;
- формы, способов и средств прямого и косвенного воздействия на фитоценоз со стороны хозяйственной деятельности человека с це-

лю повышения биологической продуктивности биогеоценоза и усиления других его полезных свойств.

Растительный покров изучается в разрезе растительных ассоциаций. **Растительная ассоциация** (по В. Н. Сукачёву) — основная единица классификации растительного покрова, которая представляет собой совокупность однородных фитоценозов с одинаковой структурой, видовым составом и со сходными взаимоотношениями организмов как друг с другом, так и со средой. Чаще всего ассоциацию называют по господствующим в ней растениям (бор-зеленомошник, бор-кисличник, ельник сфагнов-травяной, сосновый бор-черничник с моховым покровом и т. п.). Сходные ассоциации объединяют в группы, группы — в формации, группы формаций, классы формаций и типы растительности.

Виды, свойственные данной ассоциации, называются **константами**. Константность многих видов по мере увеличения размеров учетных площадок вначале растет, а затем становится постоянной. Наименьший размер территории, включающий все ее константы, называется минимальным ареалом ассоциации.

К специфическим методам исследования фитоценозов, представляющих соответствующие ассоциации, относятся закладка и описание пробных площадей и учетных площадок.

Размеры пробных площадей для травяных сообществ обычно колеблются в пределах от 1 до 100 м<sup>2</sup>, для лесов — от 100 до 5 000 м<sup>2</sup>. Размер может быть увеличен, так как размер пробной площади должен превышать минимальный размер площади, необходимой для выявления всех особенностей соответствующего сообщества.

Пробные площади могут иметь строго определенную форму (прямоугольник, квадрат) или естественные границы изучаемого сообщества.

Для более точного подсчета всходов деревьев, побегов, отдельных видов растений в пределах пробных площадей выделяются учетные площадки размером 1–4 м<sup>2</sup>, а для определения биомассы травостоя — 0,25 м<sup>2</sup>. При характеристике растительных сообществ производится подробное качественное и количественное их описание: список растений в определенном порядке, ярусность и мозаичность, угнетенность или буйное развитие (взвешивание сухой биомассы или другие

способы), фенология (периодичность в развитии), характеристика места обитания (рельеф, склон, почва, органические остатки и т. д.).

Кроме описания пробных площадей при исследовании растительного покрова территории используется метод геоботанического профилирования, позволяющий выявить закономерности пространственного распределения растительных сообществ. Для этого выбирают определенный ориентир и в данном направлении отмечают все изменения в растительности (например, по уклону местности). По полученным результатам вычерчивают профиль изучаемой площади.

Существенна хозяйственная оценка фитоценозов: бонитет древесной и обеспеченность семенным возобновлением для леса, наличие в травостое полезных и вредных растений, плодородие почв, поедаемость растений различными животными — для сенокосов и пастбищ.

На основе описания пробных площадей, профилей и т. п. производится геоботаническое картирование: на карту наносятся либо растительные ассоциации, либо их группы или формации. При этом широко применяется аэрофотосъемка. Данное картографирование осуществляется с применением специальных методов.

Ботаники пользуются показателем встречаемости вида. Это показатель относительного числа выборок, в которых представлен вид. Если вид встречается менее чем в 25 % выборок, он считается случайным. Обилие — это количество особей вида, приходящееся на единицу площади или объема. Для растительных ассоциаций используют пятибалльную шкалу Хульта: 5 — очень обильно, 4 — обильно, 3 — не обильно, 2 — мало, 1 — очень мало. Широко используют также шкалы Ж. Браун-Бланке и О. Друде.

Исследуется покрытие — площадь, покрываемая надземными частями того или иного вида растения (истинное покрытие — площадь, занятая основаниями побегов, проективное — площадь, покрываемая верхними частями растений).

## 1.5. Изучение простейших, грибов и микроорганизмов как компонентов биогеоценоза

Четыре группы организмов, а именно бактерии, водоросли, простейшие и грибы (одноклеточные и многоклеточные) играют существенную роль в биосфере, поскольку в большинстве случаев являются деструкторами органического вещества. Изучение этих групп позволяет полно изучить взаимосвязи в биотопах в частности и биоценозах в целом. Кроме того, в этих группах организмов (в меньшей степени это характерно для водорослей) большинство составляют паразитические виды, обитающие в организмах человека, животных и растений. Методы изучения одноклеточных однотипны. Стоит сказать, что есть различия в подходах изучения в зависимости от того — свободноживущий организм или паразитический.

**Бактериологические методы исследования** — это совокупность методов изучения свойств микроорганизмов, определения их систематического положения. Для этого необходимо прежде всего изолировать отдельные виды бактерий и вырастить их в виде так называемых «чистых культур», а затем идентифицировать, то есть установить соответствие выделенных микроорганизмов видам, описанным в специальных определителях.

**Колония** — это популяция бактериальных клеток одного вида, сформировавшаяся в результате деления одной микробной клетки в условиях культивирования на плотной питательной среде при оптимальной температуре.

**Чистая культура** — масса клеток, состоящая из микроорганизмов, принадлежащих одному виду и полученных как потомство одной клетки. Чистую культуру обычно получают путем посева на стерильную питательную среду клеток, взятых из отдельно стоящей колонии бактерий.

**Культуральные свойства** бактерий устанавливаются по морфологии колоний и особенности роста культуры на питательных средах.

**Биохимические признаки (свойства)** бактерий определяются набором ферментов, присущих определенному роду, виду, варианту.

Для культивирования бактерий используют питательные среды. Питательные среды предназначены для накопления, выделения, изучения

и сохранения микроорганизмов. По составу питательные среды могут быть синтетическими и натуральными. По консистенции питательные среды могут быть жидкими, полужидкими (0,2–0,7 % агара) и плотными (1,5–2 % агара). Различают питательные среды общего назначения (универсальные) и специальные питательные среды. Питательные **среды общего назначения** пригодны для выращивания многих видов микроорганизмов и применения в качестве основы для приготовления специальных питательных сред. **Специальные питательные среды** предназначены для избирательного культивирования определенных видов микроорганизмов, изучения их свойств и хранения.

На питательные среды осуществляется посев микроорганизмов. В зависимости от цели исследования, характера посевного материала и среды используют различные методы посева. Все они включают в себя обязательную цель: оградить посев от посторонних микробов, поэтому посев производят в асептических условиях. Для посевов на плотные питательные среды применяют шпатель, бактериологическую петлю, иглу, тампон. При посеве проводят петлей по поверхности среды линии, оставляя при этом клетки бактерий на среде. После посева чашки закрывают и переворачивают их вверх дном. Надписи на чашках делают со стороны дна, а на пробирках — в верхней части.

При посеве на жидкую среду петлю слегка погружают в жидкость и растирают посевной материал на стенке пробирки, после чего смывают его средой.

Для успешного культивирования, помимо правильно подобранных сред и правильно произведенного посева, необходимы оптимальные условия: температура, влажность, аэрация (снабжение воздухом). Культивирование анаэробов сложнее, чем аэробов, для удаления воздуха из питательной среды используют различные способы. Выделение отдельных видов бактерий (**чистой культуры**) из исследуемого материала, содержащего, как правило, смесь различных микроорганизмов, является одним из этапов любого бактериологического исследования. Чистую культуру бактерий получают из изолированной микробной колонии. Выделение чистых культур происходит поэтапно:

**I этап (нативный материал).** Микроскопия (ориентировочное представление о микрофлоре). Посев на плотные питательные среды (получение колоний).

**II этап (изолированные колонии).** Изучение колоний (культуральные свойства бактерий). Микроскопическое изучение микробов в окрашенном мазке (морфологические свойства бактерий). Посев на скошенный питательный агар для выделения чистой культуры.

**III этап (чистая культура).** Определение культуральных, морфологических, биохимических и других свойств для идентификации культуры бактерий.

Идентификацию выделенных бактериальных культур проводят путем изучения морфологии бактерий, их культуральных, биохимических и других признаков, присущих каждому виду.

**ВОДОРОСЛИ И ПРОСТЕЙШИЕ.** Свободноживущие водоросли и простейшие обычно обитатели водоемов. Некоторые виды перешли к обитанию в почве.

Взятие проб из водоемов производится с применением стандартных методов сбора гидробиологических проб. Выделяют клетки из природных проб с помощью микроманипуляторов. Определение видовой принадлежности найденных форм проводится на живом материале под микроскопом при увеличении ок.  $\times 15$ , об.  $\times 40$  и с использованием фазово-контрастного устройства. На основании выделенных признаков и свойств составляются дифференциальные диагнозы видов, найденных в водоемах. Их видовое определение проводится по описаниям, содержащимся в литературе.

Для исследования клеток используют цитохимические методики, изложенные в различных руководствах по микроскопической технике и гистохимии. Исследования проводят как на живых, так и на фиксированных образцах. Водоросли в большинстве случаев фиксируют. Окрашивание осуществляют с помощью прижизненных и витальных красителей. Цитохимические методики используют не только для определения видовой принадлежности, но и для изучения морфофизиологического состояния клетки в разные сезоны года, в водоемах разных типов и географического положения, с разным химическим составом воды.

Для изучения морфологии некоторых физиологических реакций (движение, питание, темп роста и деления), течения жизненных циклов, влияния факторов среды и т. д. проводится культивирование водорослей и простейших в лабораторных условиях. Подсчет численности клеток проводится различными методами.



Для сравнения видовых составов водорослей и простейших из разных водоемов используют коэффициент Жаккара — Малышева ( $K_{j-m}$ ) и индекс общности фаун Чекановского — Соренсена ( $Ics$ ). Для характеристики видового биоразнообразия и богатства используют широко применяемые в экологических исследованиях индексы: индекс видового богатства ( $R$ ), индексы видового разнообразия Симпсона ( $D$ ) и Шеннона ( $H$ ), индекс выравненности Пиелу ( $E$ ), индекс доминирования Симпсона ( $C$ ).

**ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА.** 1 л ила (либо 1 кг при плотной его консистенции) тщательно растирают пестиком в большой фаянсовой ступке, постепенно добавляя к нему водопроводную воду. Полученную взвесь выливают в цилиндр емкостью 10 л, заполненный на  $3/4$  объема водопроводной водой, и отстаивают 15 мин. Через 15 мин надосадочную жидкость переливают сифоном в цилиндр емкостью 10 л, а осадок повторно отмывают (2–3 раза) водопроводной водой путем встряхивания в цилиндре емкостью 1 л. Собранную в большом цилиндре жидкую часть отстаивают 24 ч. Затем жидкую часть удаляют сифоном, а осадок исследуют под световым или люминесцентным микроскопом. По этой методике анализируют также донные отложения в поверхностных водоемах.

Сапробность организмов определяют по таблицам В. Сладечека (V. Sládeček, 1969, 1973), учитывая численность видов, встречаемость в водоемах и пробах. Степень органического загрязнения водоема характеризуется индексом сапробности  $S$ , который вычисляли по формуле

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h},$$

где  $s$  — индикаторная значимость вида;

$h$  — относительное количество особей вида.

Относительное количество особей в каждом объеме пробы оценивают следующим образом: 1 — единичная встречаемость, 3 — частая встречаемость; 5 — массовое развитие. Индикаторную значимость для учтенных видов берут из таблиц, составленных Р. Пантле и Х. Букком, в дальнейшем дополненных рядом других авторов, или из руководства «Унифицированных методах исследования качества вод».

Для упрощения подсчетов делают допущение, что каждый вид характеризует одну из зон сапробности. Индекс сапробности, вычисленный по формуле, в пределах 4–3,5 соответствует полисапробной зоне, 3,5–2,5 —  $\alpha$ -мезосапробной зоне, 2,5–1,5 —  $\beta$ -мезосапробной зоне, 1,5–1 — олигосапробной зоне. По В. Сладечеку (V. Sládeček, 1969), индекс от 4,5 до 8,5 характеризует сильно загрязненные (эусапробные), а от 0 до 0,5 — чистые (ксеносапробные) зоны.

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГРИБОВ** (особенно одноклеточных) во многом схожи с ранее описанными для бактерий, водорослей и простейших, а именно:

1. **Микроскопический** — изучение морфологических и тинкториальных свойств. Препараты:

а) **нативные.** Для приготовления препаратов берут волосы, соскобы кожи, обработанный щелочью материал помещают на предметное стекло в каплю глицерина. При микроскопии обращают внимание на строение мицелия и органов спороношения;

б) **фиксированные (окрашенные).** Для окраски мазков чаще всего используют простые методы окраски (метиленовый синий), а также методы Грама, Циля — Нильсена, Романовского — Гимза. Микроскопия окрашенных препаратов дает возможность изучить строение мицелия и органов плодоношения, форму дрожжевых клеток. Окончательное заключение о видовой принадлежности гриба можно сделать только после исследования культуральных свойств.

2. **Бактериологический** — изучение культуральных, биохимических и антигенных свойств.

3. **Кожно-аллергический (паразитические грибы человека и животных)** — постановка кожной пробы.

Для свободноживущих грибов во многом подходят методы полевых исследований растений.

**Маршрутные методы** — изучение путем однократных учетов по ходу маршрута (рекогносцировка или более подробные исследования). Маршрутные методы исследования могут быть разномасштабными (охватывать небольшие или протяженные участки) и разными по степени точности (визуальная оценка и точные учеты роли видов в сообществе). Во время маршрутных исследований возможно использование приборов для однократных или краткосрочных

измерений условий среды. Рекогносцировка — предварительное маршрутное исследование территории с визуальным выявлением.

**Количественные характеристики грибов:** обилие — отношение количества особей данного вида к общему числу выявленных особей (%; относительное обилие); частота встречаемости: пространственная — отношение числа образцов, в которых выявлен данный вид к общему числу собранных образцов (доли, %), временная — отношение числа наблюдений, в ходе которых отмечен данный вид, к общему поведенному числу наблюдений (доли, %).

**Стационарные методы.** Методы стационарные — реализуются путем многократного повторения учетов одних и тех же признаков в одних и тех же точках. Стационарные исследования могут быть разными по длительности (до десятков лет) и выполняться с использованием визуальных оценок или с применением приборов. Метод пробных площадей — исследование сообщества путем сбора информации о признаках сообществ (обилие, биомасса и пр.) на пробных площадках разной формы. Размер зависит от цели исследования. Субквадрат — малая учетная площадка, закладываемая в пределах пробных площадок для определения встречаемости вида, биомассы и т. п. Трансекта — узкая прямоугольная пробная площадка для изучения качественных и количественных характеристик видов и сообществ.

**Линейные трансекты** — пробные площадки вдоль линии, пересекающие множество местообитаний в пределах исследуемой территории, больше чем единая круговая пробная площадка на той же области. Этот метод очень эффективен, когда точные предпочтения местообитаний исследуемой группы неизвестны.

Для обработки полученных микологических данных часто используют широко применяемые в экологических исследованиях индексы: индекс видового богатства (R), индексы видового разнообразия Симпсона (D) и Шеннона (H), индекс выравненности Пиелу (E), индекс доминирования Симпсона (C).

## 1.6. Изучение животного населения как компонента биогеоценоза

В биогеоценотическом плане животное население биогеоценозов выступает как:

1) трансформатор первичных органических веществ, создаваемых растительностью, в производные органические вещества (животные белки, жиры, мочевины и т. д.);

2) ускоритель превращения веществ и освобождения энергии в связи с раздроблением и химической переработкой пищевых материалов в детрит, более доступный для аналитической работы микроорганизмов;

3) участник газообмена с атмосферой и почвой, в процессе дыхания поглощающий кислород атмосферы и выделяющий углекислоту;

4) фактор почвообразования и плодородия почвы в результате удобрения ее экскретами, рыхления, перемешивания;

5) участник процессов опыления и распространения плодов и семян многих растений, определяющих видовой состав фитоценоза и его устойчивость.

Классификаций животных известно много, из всех ныне существующих подразделений животного мира наибольшее биогеоценотическое значение имеет деление его представителей по типу питания — фитофаги, сапрофаги, зоофаги и т. п. Такое деление очень информативно. Оно дает возможность определить место каждой группы животных в потоке энергии, идущем в биогеоценозе через пищевую связь, их относительную численность и биомассу, характер, масштаб и место их работы в биогеоценотической системе.

Деятельность животного компонента биогеоценозов в разных зонах и экотопах разнообразна и в сильной степени зависит от общеклиматических условий. Как и любой элемент биогеоценотических систем, животный мир одновременно и строго зависит от системы биогеоценоза и глубоко воздействует на нее и другие ее составляющие.

Экологическое изучение животных включает исследование сезонных изменений показателей состава и количества пищи, абиотических условий среды, биотических связей, динамики размножения, закономерностей миграций и размещения популяций.

Количественный учет может быть визуальным (глазомерным) и инструментальным. При визуальном учете организмы учитываются на определенном участке (площадной учет), маршруте (линейный учет) или в определенном объеме воды, почвы (объемный учет).

В гидробиологии широко используются дночерпатели, планктоночерпатели. Различают полный и выборочный учет. Выборочный учет может быть абсолютным и относительным. При абсолютном учете учитываются все организмы на пробной площади или в каком-то объеме.

При относительном учете численность организмов учитывается приблизительно. Например, количество зверьков, попавших в определенное число ловушек на той или иной территории за сутки, или количество птиц или растений, обнаруженных на маршруте.

Одной из характерных черт экологических исследований животных является изучение их питания, то есть определение состава пищи и количества ее компонентов. Эти показатели могут изменяться в течение сезона. Для учета их анализируется содержимое желудков и остатков пищи, химический состав самой пищи, устанавливаются важнейшие компоненты и их значение для жизни животных на разных фазах развития и в различные сезоны. При изучении животных, так же как и растений, важно знать: абиотические условия среды (химизм, влажность, температуру, степень освещенности, в целом метеорологические, почвенные, гидрологические факторы), биотические связи в сообществе.

Состав популяций видов животных, их структура, количество и другие показатели зависят от динамики размножения. Вот почему большое внимание уделяется вопросам размножения животных. Решение их позволяет выяснить фенологию размножения, степень участия в нем особей разного возраста и различного физиологического состояния, интенсивность размножения популяции, а также зависимость всех этих показателей от абиотических и биотических факторов.

Знание особенностей поведения животных в разные сезоны, периоды жизни, в той или иной среде обитания также весьма существенно, поскольку с этими показателями связано состояние популяции, способность ее приспособляться к изменяющимся условиям. Чтобы изучить образ жизни животных, их сезонные биологические циклы,

необходимо выявить закономерности миграций и размещения популяций. Для этого используются различные способы мечения животных: кольцевание птиц, закрепление на теле млекопитающих меток, окраска, прикрепление к телу радиопередатчиков, введение в организм меченых атомов и т. д.

Экологические исследования животных, как и растений, направлены на изучение у них интенсивности газообмена, водного обмена, накопления запасных питательных веществ, темпов роста, скорости размножения, биохимических процессов и ряда других показателей. Для этого широко применяются общенаучные и общебиологические методы, но в отличие, например, от физиологических или анатомических исследований, когда изучается отдельный организм или процесс, происходящий в нем, в экологии с помощью этих методов мы познаем макросистему, то есть группу особей, популяцию или сообщество. Учет численности организмов и ее динамика являются основными показателями экологических исследований.

Количественный учет может быть: визуальным (глазомерным инструментальным). При визуальном учете организмы подсчитываются на определенном участке (площадной учет), маршруте (линейный учет) или в определенном объеме воды, почвы (объемный учет). Такой учет менее точный, чем инструментальный, при котором используются различные приборы.

Например, в гидробиологии широко применяются дночерпатели и планктоночерпатели, позволяющие довольно точно подсчитать количество водных организмов на той или иной площади или в конкретном объеме.

Различают также: **полный** и **выборочный** учеты. Полный учет обычно применяется в лабораторных условиях. При этом подсчитываются все без исключения организмы. В природных условиях такая возможность практически исключена, и здесь, как правило, применяется выборочный учет — подсчитывается население на определенном участке (пробные площади, учетные площадки) и производится пересчет на всю площадь, занимаемую популяцией или сообществом. **Выборочный учет** может быть: **абсолютным** и **относительным**. При абсолютном учете подсчитываются все организмы на пробной площади или в каком-то объеме. При относительном учете числен-

ность организмов учитывается приблизительно. Например, количество зверьков, попавших в определенное число ловушек на той или иной территории за сутки; количество птиц или растений, обнаруженных на маршруте.

В экологии используют следующие основные показатели численности организмов. **Встречаемость** (частота встречаемости) — это относительное число выборок, в которых представлен данный вид. Степень встречаемости зависит от относительных размеров выборки. Кроме того, чем больше выборок, тем точнее можно выявить виды, свойственные большинству из них или только некоторым. Встречаемость характеризует распределение вида на пробной площади или в выборке. Обычно на исследуемой площади намечается до 50 мелких выборок. Если вид встречается менее чем на 25 % выборок — он случайный, более чем на 50 % — встречаемость его высокая.

**Обилие** — это количество особей вида либо всего сообщества, приходящееся на единицу площади или объема.

## 1.7. Полевое изучение разнотипных сообществ

Первостепенное значение для эколога имеют **полевые исследования**, то есть изучение популяций видов и их сообществ в естественной обстановке, непосредственно в природе. Экология сообществ, или синэкология использует широко применяемые методы полевых исследований, но эти методы дают эффект в комплексе. Синэкологическое исследование включает в себя изучение абиотического и биотического компонентов, связанных с естественным сообществом (биотический компонент экосистемы), обнаруженным в определенном географическом районе (или экосистеме), например в дубовом лесу или на скалистом берегу, где может обитать несколько видов растений и животных и, возможно, содержится несколько типов местообитаний.

Конечной целью такого исследования является определение в пределах изучаемого района качественных и количественных связей между популяциями растений и животных и возможных взаимоотношений между ними, а также изучение эдафических, топографических

и климатических факторов. Имея эту информацию, можно объяснить природу и значение факторов, регулирующих численность и распределение организмов в пищевой сети, а в случае детального исследования построить пирамиды численности, биомассы и энергии.

Полевые методы позволяют: установить результат влияния на сообщества определенного комплекса экологических факторов, выяснить общую картину развития и жизнедеятельности вида в конкретных условиях. Однако наблюдения в естественной обстановке не могут дать точного ответа на некоторые вопросы, например, какой конкретно фактор среды определяет характер жизнедеятельности отдельных особей, популяции и сообщества в целом, как он влияет на их функционирование. На эти вопросы можно ответить с помощью эксперимента, задачей которого является выяснение причин наблюдаемых в природе явлений, взаимосвязей и взаимоотношений. В связи с этим экологический эксперимент, как правило, носит аналитический характер. Следует иметь в виду, что выводы, полученные в ходе лабораторного эксперимента, обязательно должны быть проверены в природе. Эксперимент отличается от наблюдения тем, что в эксперименте организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно строго фиксировать и дозировать тот или иной экологический фактор. Вообще в экологическом эксперименте очень трудно воспроизвести весь комплекс природных условий, но изучить влияние отдельных факторов на организм, популяцию или сообщество возможно.

**Методы исследований** — это пути и способы изучения экологических явлений. Совокупность определенных приемов исследования представляет собой методику исследования. В зависимости от объектов экологии и целей исследования используют те или другие методы. Главными из них, как в любом естественнонаучном исследовании, являются методы описания, наблюдения, эксперимент.

Экология имеет свою специфику: объектом ее исследования служат не только единичные особи — организмы, но и целые группы особей — популяции и их сообщества — биогеоценозы и даже биосфера. Многообразие связей, формирующихся на уровне разных по сложности биологических систем, обуславливает большое разнообразие методов экологических исследований, выявляющих количественное участие особей, видов и их качественную оценку состояния в условиях

обитания. Реализуются они в большом разнообразии приемов полевых и лабораторных исследований экологических свойств природы.

Полевые методы могут быть: маршрутными, стационарными, описательными, экспериментальными. Маршрутные методы используются для:

- выяснения наличия на исследуемой территории экологических объектов (например, тех или иных жизненных форм организмов, экологических групп, фитоценозов, охраняемых видов и др.);
- выявления разнообразия и встречаемости исследуемых экологических объектов.

Приемами этой группы методов являются:

- прямое наблюдение; оценка состояния;
- измерение;
- описание (например, описание учетных площадок, отдельных представителей живого мира, фенофаз и т. п.);
- составление схем, карт и инвентаризационных списков исследуемых объектов.

**Стационарные методы** — это методы длительного (сезонного, круглогодичного или многолетнего) наблюдения за одними и теми же объектами, требующие неоднократных описаний, замеров изменений, происходящих у наблюдаемых объектов. Эти методы обычно совмещают в себе полевые и лабораторные исследования. Описательные методы применяются при:

- регистрации основных особенностей изучаемых объектов;
- прямом наблюдении;
- картировании экологических явлений;
- инвентаризации ценных природных объектов.

Эти методы являются ключевыми в экологическом мониторинге. Экспериментальные методы объединяют различные приемы прямого вмешательства в обычные характеристики исследуемых объектов. Производимые в эксперименте наблюдения, описания и измерения выявленных свойств объекта обязательно сопоставляются с такими же объектами, не задействованными в эксперименте. В экологическом эксперименте сравниваются проявления свойств изучаемого объекта в различных условиях окружающей среды. Эксперимент, поставленный в полевых условиях, может продолжиться в лаборатории.

Для современных экологических исследований характерно то, что они основываются на количественной оценке изучаемых объектов и явлений.

Например, при изучении растительных сообществ проводятся описания пробных площадей и учетных площадок, оценка хозяйственной роли сообществ, оценка площади выявления (то есть минимальной площади, на которой выявляются все наиболее существенные особенности изучаемого сообщества), геоботаническое картирование и т. д.

При экологическом изучении животных анализируются закономерности миграций и размещения популяций, а также многие другие показатели: частота встречаемости, обилие, доминирование, биомасса, продукция, удельная продукция.

В последнее время широкое распространение получил метод моделирования экологических явлений, то есть имитация в искусственных условиях различных процессов, свойственных живой природе. Так, в «модельных условиях» были осуществлены многие химические реакции, протекающие в растении при фотосинтезе.

В некоторых областях биологии и экологии широко применяются так называемые «живые модели». Несмотря на то, что различные организмы отличаются друг от друга, многие физиологические процессы в них протекают практически одинаково. Поэтому изучать их удобно на более простых существах. Они-то и становятся живыми моделями.

Например, в качестве модели для изучения обмена веществ может служить зоохлорелла — одноклеточные микроскопические водоросли, которые быстро размножаются в искусственных условиях, а для исследования внутриклеточных процессов используются гигантские растительные и животные клетки и т. д.

В настоящее время всё шире используется компьютерное моделирование экологических ситуаций.

В настоящее время в биологии, в биологических исследованиях широко применяется **метод меченых атомов**. Способ, позволяющий наблюдать за ходом биологической или химической реакции, основанный на замещении ключевого элемента данного процесса одним из его радионуклидов, называемым **радионуклидным индикатором**. Этот метод основан на том, что замещение любого нормального атома изотопом не влияет на химический состав и свойства. Но если эта

новая форма является радиоактивной, его движение можно проследить по излучению (применяя счетчики Гейгера). Например, любое соединение, содержащее водород, может быть помечено путем замены обычного водорода тритием (радиоизотопом водорода с массой 3), а соединение, содержащее кислород, может быть помечено путем замены нормального атома кислорода-16 изотопом кислорода-18. Многие химические элементы представляют собой **смесь изотопов**. Изотопы одного и того же элемента отличаются друг от друга числом содержащихся в ядре нейтронов, то есть по массе, а химические свойства элементов зависят от числа и расположения электронов, окружающих ядро. Поэтому все изотопы данного элемента обладают одинаковыми химическими свойствами. Вследствие этого изотопы можно использовать в качестве меченых атомов. Соединение, меченое изотопом, вводят в растение, а затем определяют наличие меченых атомов в тканях растения по их радиоактивности или специальными приборами — **масс-спектрометрами**.

Соединение, меченое изотопом, вводят в растение. Возможность использования изотопов зависит от продолжительности их существования, которое определяется **периодом полураспада** — отрезком времени, в течение которого распадается половина атомов радиоактивных элементов. Например: азот  $^{13}\text{N}$  имеет период полураспада меньше 10 минут, фосфор  $^{32}\text{P}$  — 14,3 дня, сера  $^{35}\text{S}$  — 87,1 дня, водород (тритий)  $^3\text{H}$  — 12,3 года, углерод  $^{14}\text{C}$  — 5 600 лет.

Естественно радиоактивные вещества использовались в качестве индикаторов в химических и биологических исследованиях в 1917 г. В. Н. Спицыным для определения растворимости солей тория в разных растворителях. Но широко этот метод стал применяться только после того, как научились изготавливать искусственно радиоактивные изотопы.

Метод меченых атомов имеет чрезвычайно высокую чувствительность, обусловленную применяемыми методами обнаружения и измерения ядерных излучений. Так, отдельные радиоактивные вещества могут быть обнаружены в количестве  $10^{-15}$ – $10^{-20}$  г, в то время как чувствительность спектроскопических измерений не превышает  $10^{-10}$ – $10^{-12}$  г. Другое достоинство этого метода — возможность измерения активности радиоактивных изотопов в присутствии значительного

количества неактивного вещества без выделения вещества в чистом виде и очистки проб.

Для обнаружения радиоактивных индикаторов применяют такие чувствительные приборы, как газовый и сцинтилляционный счетчики, позволяющие обнаружить ничтожное количество радиоактивных веществ и измерить даваемые ими излучения.

В некоторых случаях необходимо не только обнаружить радиоактивный изотоп и измерить активность, но и изучить распределение его в том или ином объекте. Если объект имеет большие размеры, для этой цели пользуются специальными приборами, если же размеры объекта невелики (отдельные органы и части органов животных, листья, корни и другие части растений и т. п.), прибегают к методике автордиографии (рис. 1). Чтобы получить **автордиограмму**, исследуемый образец в темном помещении прижимают к эмульсионному слою фотопластинки или фотопленки, которую проявляют через несколько дней. Места объекта, содержащие радиоактивные вещества, вызывают почернение расположенных рядом с ними участков пленки. Полученная таким образом автордиограмма наглядно отображает распределение радиоактивного изотопа в исследуемом объекте.



Рис. 1. Автордиограмма листа

Радиоактивные индикаторы используются в опытах на животных. Если необходимо исследовать поведение какого-либо вещества в организме животного, вместе с пищей или же путем подкожного впрыскивания вводят определенное количество радиоактивного изотопа в смеси с нерадиоактивным изотопом этого же элемента. Через некоторое время, поднося счетчик излучения к той или иной части тела животного, определяют интенсивность излучения. Для определения содержания радиоактивного изотопа в крови у животного берут пробу крови. Чтобы получить более точное представление о распределении изотопа в отдельных органах и тканях, животное через определенный промежуток времени забивают и готовят препараты различных

органов. Для уменьшения объема и веса препараты высушивают и озоляют в муфельной печи, а затем измеряют их активность.

Метод меченых атомов позволяет биологам и медикам изучить физиологические процессы в условиях эксперимента, наиболее приближающихся к тем, которые имеют место в неповрежденном организме.

После применения этого метода были получены очень интересные и важные результаты. Новым явилось для биологов прямое доказательство постоянного и непрерывного обновления всех составных частей организма и та неожиданная быстрота, с которой совершаются процессы перемещения вещества, сложные процессы белкового обмена и обмен минеральных веществ.

Ничтожно малое количество радиоактивного вещества, не нарушающее равновесия между протекающими в теле процессами, легкость выявления и определения местоположения изотопа, возможность в некоторых случаях проведения исследований на живом организме обусловили успешное применение метода радиоактивных индикаторов почти во всех областях биологии. Полученные этим методом данные в настоящее время широко используются в медицине и сельском хозяйстве. Например, через четыре часа после подкожного введения крысам фосфора 18,6 % его было найдено в костях, 15,4 % — в мышцах и 0,16 % — в мозгу. Установлено, что 30 % фосфора, находящегося в скелете белых крыс, обновляется в течение одного дня.

Обмен азота в белке многих тканей (печени, почках, крови) на меченый азот происходит с большой быстротой и заканчивается на протяжении трех-четырех суток. В таких тканях, как мышцы, сердце, селезенка, обмен идет медленнее, но не дольше одной-двух недель.

Исследования, проведенные с радиоактивным кальцием, показали, что в костной ткани молодого животного концентрируется 90 % введенного кальция, в то время как в кости старого поступает только 40 %.

При введении беременным крольчихам радиоактивного железа, связанного с  $\alpha$ -1-глобулином, через 17 часов третья часть железа была обнаружена в организме плода. При этом 1 г печени плода, где главным образом концентрируется железо, оказался в 120 раз активнее такого же количества печени матери.

В области физиологии метод меченых атомов дал возможность получить интересные данные относительно перемещения вещества через клеточные оболочки и мембраны и естественные границы между органами и тканями. Так, при помощи воды, меченной тритием, было установлено, что в течение одной минуты 70 % воды, содержащейся в русле кровотока, выходит за его пределы и до 70 % воды возвращается в этот же срок обратно. С большой скоростью происходит проникновение ионов натрия и калия из русла кровотока во внесосудистую жидкость организма, а ионов калия — и внутрь клеток. Ценные результаты были получены при изучении скорости проникновения вводимых в кровь веществ в спинномозговую жидкость.

Вводя в кровяное русло радиоактивный изотоп, можно определить скорость кровотока. Для этого нужно измерить время, необходимое для того, чтобы радиоактивный изотоп, введенный в вену одной конечности, был обнаружен счетчиком у другой конечности.

Интересно, что при введении в организм здорового животного солей железа только незначительная их часть поглощается организмом. В том случае, когда животному предварительно было произведено кровопускание, почти всё введенное в организм железо усваивается.

При изучении функции щитовидной железы с помощью радиоактивного йода установлено, что уже через несколько минут после введения в организм небольшого количества йодистого калия концентрация радиоактивного йода в щитовидной железе во много раз выше, чем в других органах, тканях и крови. В то же время способность избирательного поглощения йода щитовидной железой значительно изменяется в зависимости от ее функционального состояния. Это позволило разработать применяемые в клинике методы исследования функциональной деятельности щитовидной железы.

В области энтомологии практически важные результаты были получены при изучении дальности и путей миграции различных вредных насекомых, вопросов физиологии насекомых, их питания, механизма действия инсектицидов, переноса насекомыми болезнетворных грибов, бактерий, вирусов. Исследуемых насекомых (или их личинки) метили либо при кормлении, вводя вместе с пищей радиоактивный изотоп, либо путем обработки тела насекомых радиоактивными препаратами. Оказалось, что основная масса домашних мух, являющихся

переносчиками таких заболеваний, как дизентерия, в населенных местах перемещается на расстояние до 1–2 км от места вылета, а иногда и на более далекие расстояния — до 10 км. С помощью меченных фосфором пчел изучался вопрос о переносе заболеваний пчел из одного улья в другой.

Применение меченых атомов позволяет проследить превращение того или иного элемента в растениях, что делает их незаменимыми при изучении фотосинтеза, дыхания, минерального питания и других процессов.

**МЕТОД МЕЧЕНЫХ АТОМОВ В ИЗУЧЕНИИ ФОТОСИНТЕЗА.** При изучении фотосинтеза в опытах А. П. Виноградова применялся метод меченых атомов. В молекулу  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  вводился изотоп кислорода ( $^{18}\text{O}$ ). При введении изотопа кислорода в молекулу  $\text{CO}_2$ , используемую в процессе фотосинтеза, выделяющийся кислород имел атомный вес 16. Это указывает на то, что кислород в процессе фотосинтеза выделяется не из  $\text{CO}_2$ . Растение, получившее воду, содержащую в составе кислород  $^{18}\text{O}$ , выделяло при фотосинтезе именно этот меченый кислород. Следовательно, в процессе фотосинтеза происходит выделение кислорода из воды, а не из углекислого газа. Применение меченого углерода  $^{14}\text{C}$  позволило также изучить промежуточные продукты, образующиеся в процессе фотосинтеза. В листьях растения были обнаружены (даже при 5–10 секундах экспозиции) на свету многие органические кислоты (пировиноградная, яблочная, янтарная, щавелевоуксусная и др.), аминокислоты (аланин, аспарагиновая и глутаминовая) и их амиды. Метод меченых атомов в биологии позволил установить изменение продуктов фотосинтеза в зависимости от вида растения, его возраста, условий освещения, температуры и минерального питания. Таким образом, метод меченых атомов — весьма эффективное вспомогательное средство для изучения приемов улучшения питания сельскохозяйственных растений.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте понятие биоценоза.
2. Охарактеризуйте роль фитоценоза.
3. В чем сущность метода меченых атомов?

# ТЕМА 2

## ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ АГРОБИОГЕОЦЕНОЗОВ И УРБОСИСТЕМ

- 2.1. Агробиогеоценозы.
- 2.2. Агроэкологические методы и их применение.
- 2.3. Роль полевого опыта и предъявляемые к нему требования.

### 2.1. Агробиогеоценозы

**Агроэкология** — прикладная наука, изучающая экологические процессы, происходящие в системах сельскохозяйственного производства. **Агроэкология** — раздел экологии, предметом которого является разработка инструментов, необходимых для получения качественной сельскохозяйственной продукции в условиях индустриального хозяйства, а также учет сопряженных с ним воздействий на окружающую среду и сообщества живых организмов. Агроэкология как комплексная наука призвана изучать взаимодействие человека с окружающей средой в процессе сельскохозяйственного производства. Трансформируя природную среду в своих целях, человек не может создать закрытую систему, не имеющую связей с внешней средой. Создание рациональных агроценозов не всегда сопровождается грамотным



использованием остальных биоценозов. Рациональное использование природных ресурсов в процессе сельскохозяйственного производства пока еще преимущественно ориентировано на поиск сравнительно частных решений. Между тем необходимо последовательно рассматривать целостную систему природоохранных задач. Важно анализировать направленность, характер и последствия взаимодействия агропромышленного комплекса с окружающей природной средой и отдельными ее компонентами.

В агроценозе результаты хозяйственной деятельности следуют довольно быстро, а последствия воздействий — несколько позже. Зная механизмы связей агроценоза с внешней средой, можно предугадать эти последствия, управлять ими. В этом смысле механизмы малой экосистемы могут быть перенесены на более крупную, и глобальную, поскольку экологические законы универсальны.

В процессе взаимодействия с природой человечество постоянно решало первейшую задачу жизнеобеспечения — производство продуктов питания, единственного источника получения человеком энергии. Именно поэтому сельскохозяйственная деятельность человека — древнейшая форма использования природных ресурсов, требующая постоянного вмешательства в установившееся природное равновесие. **Сельскохозяйственной экологической системой**, или **агроэкосистемой (агробиогеоценозом)**, называют природный комплекс, преобразованный сельскохозяйственной деятельностью человека. Иными словами, **агробиогеоценоз** (агро — поле, пашня; био — жизнь; гео — земля) — это природный комплекс, преобразованный человеком для посева (посадки) и выращивания культурных, реже — диких травянистых растений. Это вторичные, измененные человеком биоценозы, ставшие значительными элементарными единицами биосферы. Агроэкосистемы отличаются высокой биологической продуктивностью и доминированием одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений и животных. Выращиваемые культуры подвергаются искусственному, а не естественному отбору. Как экологические системы агроэкосистемы неустойчивы: у них слабо выражена способность к саморегулированию, без поддержки человеком они быстро распадаются или дичают и трансформируются в естественные биогеоценозы. Агроэкосистемам свойственна разомкнутость биотического круговорота, утечка хи-

мических элементов, отчуждаемых с урожаем, и приток удобрений, пестицидов и других веществ, которые включаются в пищевые цепи. В агроэкосистемах изменен поток энергии, когда наряду с солнечной энергией используются дополнительные энергетические ресурсы.

Таким образом, агробиоценозам присущ ряд специфических свойств, требующих управления системами изнутри, с учетом всех свойств и экологических связей и факторов.

При всех отличиях агроэкосистемы от природной системы есть факторы, объединяющие их, которые, в свою очередь, создают простор для вариантов новых отличий.

Например, такой общий фактор, как тип почв, сообщает различия как следствия разной обработки у пашни и целины, общности погодных условий соответствуют различия в микроклимате посевов, обочин, опушки и лесного пространства.

Трансформируя природную среду в своих целях, человек не может создать закрытую систему, не имеющую связей с внешней средой или не содержащую внутренних связей. Как и любая биокосная система, агробиоценоз иерархичен, а также имеет сложную структуру, вопреки видимой упрощенности.

Центральное звено агробиоценоза — **агрофитоценоз**, или растительное сообщество, созданное человеком при помощи посева или посадки возделываемых растений.

Культурные растения занимают центральное место в агрофитоценозе, это главный компонент, ядро этой биологической системы. Культурные растения оказывают наиболее сильное, нередко господствующее влияние на агрофитоценоз, кроме того, все действия и внимание человека направлены чаще всего именно на рост и развитие культурных растений.

**Растение-доминант** — не только компонент фитоценоза, но и важный экологический фактор, оказывающий многостороннее влияние на окружающую среду, экологическую обстановку, складывающуюся в агробиоценозе. Эдификаторы изменяют микроклимат агробиоценоза, влияют на физико-химические свойства почв и почвенной влаги, влияют на флору и фауну агробиоценоза, определяют структуру и функцию агробиоценоза, его компонентный состав, существенно влияют на состояние растений-спутников (сорняков).

Как и культивируемые, **сорные растения** — это важный компонент биогеоценоза. В процессе эволюции сорняки приобрели ряд функционально-морфологических свойств, позволяющих им успешно конкурировать с другими компонентами агрофитоценоза. По сравнению с культурными растениями, они имеют ряд преимуществ в борьбе за существование. Парадоксально, но эти преимущества сорняков формировались благодаря сельскохозяйственной деятельности человека, точнее — вопреки человеческой воле. В процессе сельскохозяйственной деятельности человек, сам того не сознавая, существенно влиял на защитно-приспособительные функции растительных организмов: у культурных растений он их ослаблял, а у сорных, напротив, усиливал. Если воля человека определяет географию и топографию культурных доминантов (часто, увы, с нарушениями принципов дифференциации местообитания), то сорные компоненты распределены по экологическим законам дифференциации местообитаний и дифференциации ниш. Многие современные специалисты считают, что нет никакого резона добиваться полного уничтожения сорных компонентов агроценозов — это неоправданно дорого и экологически бесперспективно. Крупный австрийский специалист по сорной растительности А. Хальпцнер писал, что надо не уничтожать сорняки, а использовать их, поскольку при невысокой численности у сорных видов растений больше пользы, чем вреда. Численность их должна быть поставлена под эффективный контроль, но контроль этот не должен быть чисто химическим, борьба должна вестись на фитоценологической основе за счет создания режима ценотической замкнутости сообщества. Для этого специалисты рекомендуют высев интенсивных культур, то есть культур с ранним развитием и потому большей способностью подавлять сорные виды, гетерогенность их популяций (в смеси сортов разных видов), похожих на те, что были в старину до начала индустриализации сельского хозяйства.

**Другие компоненты агробиоценоза** — это микроорганизмы ризосфер культурных и сорных растений, клубеньковые бактерии на корнях бобовых, микоризообразующие грибы на корнях высших растений, бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, свободноживущие в почве; грибы, бактерии, вирусы — паразиты растений, бактериофаги; и, наконец, беспозвоночные и позвоночные животные,

живущие в почве и посевах. Роль последних в агроэкосистемах обусловлена не только их деятельностью в сообществе, но и тем, что значительные силы человек направляет на максимальное исключение из агробиоценоза большинства видов насекомых и грызунов.

Сопоставление сведений о фауне, флоре и микрофлоре полей показывает большую сложность даже предельно упрощенного агроценоза. Эта сложность проявляется и в структуре сообщества, и в естественных динамических процессах, в нем протекающих.

## 2.2. Агроэкологические методы и их применение

Агроэкологические методы являются инновационными подходами к сельскому хозяйству, которые учитывают экологические аспекты и стремятся к устойчивому использованию природных ресурсов. Примеры применения агроэкологических методов:

**Органическое земледелие** — это метод, который исключает использование синтетических удобрений, пестицидов и генетически модифицированных организмов, оно основано на использовании натуральных удобрений, биологического контроля вредителей и сохранении биоразнообразия. Органическое земледелие способствует сохранению почвенного плодородия, улучшению качества пищевых продуктов и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

**Агрлесомелиорация** — это метод, который объединяет сельское хозяйство и лесное хозяйство для улучшения почвенного плодородия и биологического разнообразия. Путем создания полос леса или посадки деревьев на полях можно улучшить структуру почвы, сохранить влагу, предотвратить эрозию и обеспечить убежище для полезных насекомых и птиц.

**Агроэкологическое пастбищное хозяйство** — это метод, который основан на устойчивом использовании пастбищных угодий. Он включает в себя ротацию пастбищ, контроль плотности скота и использование натуральных методов борьбы с вредителями. Этот подход

способствует сохранению пастбищ, улучшению качества корма для скота и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

**Агроэкологическое водохозяйство** — это метод, который направлен на эффективное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве. Он включает в себя использование систем полива с минимальными потерями воды, организацию дренажных систем для предотвращения заболачивания и эрозии почвы, а также сохранение водных экосистем и биоразнообразия.

### 2.3. Роль полевого опыта и предъявляемые к нему требования

Значение любого сельскохозяйственного опыта состоит в том, что он позволяет выявить эффективность одного или нескольких приемов возделывания сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях. В агрохимических полевых опытах изучается влияние видов, форм, доз, сроков, способов внесения удобрений и химических мелиорантов, как в отдельности, так и с другими агрохимическими приемами, на рост, развитие, урожайность сельскохозяйственных культур и их качество.

Полевые опыты с удобрениями на разных типах почв, в различных климатических условиях позволяют более рационально распределять удобрения по областям и регионам страны. На основании данных урожая, химического состава растений, агрохимических показателей почвы можно учесть вынос элементов.

**Виды и схемы полевых опытов питания и коэффициенты их использования, как из удобрений, так и из почвы.** С помощью этих данных можно определить количество питательных веществ, закрепленных почвой, потерянных в газообразном состоянии и в результате выщелачивания в глубокие горизонты почвы, составить рациональную систему удобрения культур в севооборотах. Конечная задача полевого опыта заключается в разработке рекомендаций по использованию удобрений в минимальных дозах с высокой агрономической и экономической окупаемостью.

**Полевой агрохимический опыт** — это метод изучения жизни растений на специально выделенном участке, на определенной почвенной разности, выравненном по плодородию в целях установления эффективности удобрений и химических мелиорантов. Агрохимические полевые опыты сопровождаются сопутствующими исследованиями почв и растений. Только с их помощью можно глубоко выяснить причины положительного или отрицательного воздействия удобрений на урожайность и качество возделываемых культур. Обязательным положением в содержании полевого опыта является единство анализа и синтеза. **Анализ** предполагает разложение сложного явления природы. **Синтез** — движение от сложного к частному. В процессе познания они дополняют друг друга и образуют единство. Полевой опыт является биологическим методом, так как главным фактором урожая служит само растение. Основные факторы жизни растений — свет, тепло, влага, воздух и питательные вещества. Повысить урожайность можно, если изменить соотношение этих факторов. К выявлению действия этих факторов на растения в конкретных почвенно-климатических условиях и сводится полевой опыт. Схема полевого опыта — перечень вариантов, входящих в него и сравниваемых между собой. В опытах с удобрениями вариантом сравнения является вариант без удобрений (абсолютный контроль). Схема опыта без контрольного варианта не позволяет оценить эффективность удобрений на той или иной почве, а также судить о ее плодородии. Вариант опыта — один или несколько приемов, поставленных на изучение, осуществляемых на одной или нескольких делянках. Один из вариантов схемы опыта, в котором нет изучаемых приемов, называют абсолютным контролем или контрольным (стандартным). С ним сравнивают результаты всех других вариантов, поставленных на изучение, и результативность выражают прибавками (в ц/га, т/га, %).

**Опытная делянка** — элементарная часть опытного участка определенного размера и формы, на которой осуществляют агротехнический прием, поставленный на изучение согласно принятой схеме.

**Повторность опыта в пространстве** — число одноименных делянок каждого варианта.

**Схематический план** — размещение всех вариантов опыта на чертеже с указанием площади делянок, формы, защитных полос

и повторений. Схематический план вносят в полевой журнал, и он является необходимым документом при разбивке и восстановлении полевого опыта на опытном участке.

В основе полевого опыта лежит логический метод разницы — принцип единственного различия, то есть необходимость изменения какого-либо одного фактора при обязательном тождестве остальных. При постановке полевого опыта полностью устранить один из пяти факторов невозможно, так как растение может погибнуть. Изменяя один или несколько факторов, например условия питания и влажность почвы, нужно стремиться к тому, чтобы остальные — свет, тепло, воздух — оставались одинаковыми во всех вариантах опыта. В полевых условиях соблюсти принцип единственного различия трудно, так как в природе ни один из факторов не является изолированным, все они тесно взаимосвязаны. Например, при изменении условий питания меняются химический состав почвы, ее водно-физические свойства, воздушный режим окружающей среды и т. д. В опытах с удобрениями принцип единственного различия предусматривает соблюдение одинаковых агротехнических приемов (обработка почвы, одинаковые предшественники, равномерная засоренность, равномерность высева семян, виды и сорта) как в предшествующие закладке опыта годы, так и в год его проведения.

Основное требование к полевому опыту — соблюдение типичности. Типичность подразделяется на природную и организационно-хозяйственную. Первая предусматривает соответствие опыта природным условиям, вторая — организационно-хозяйственным. Требование к природной типичности опыта заключается в том, что результаты полевого опыта, полученные на определенной почвенной разности какого-либо региона, должны быть использованы на практике только в этом регионе. Например, данные полевого опыта на дерново-подзолистых почвах нечерноземья будут нетипичны для выщелоченных черноземов Краснодарского края. Или результаты полевого опыта на одной почве без полива нетипичны в условиях орошения. Требование к организационно-хозяйственной типичности опыта предусматривает использование полученных результатов только в тех хозяйствах, которые схожи как по плодородию почв, так и по экономическим показателям. Иными словами, опыт, проведенный в экономически сильном хозяйстве, и результаты, полученные в нем, должны быть рекомендованы для аналогичных хозяйств.

Качество полевого опыта — одно из основных требований, которое определяется точностью количественных результатов. Оценка точности полученных результатов опыта проводят математически с использованием вариационной статистики. Точность полевого опыта характеризуют величиной случайной ошибки средней опыта, выраженной в процентах от среднего урожая всего опыта.

Кроме точности полевой опыт характеризуется достоверностью. Достоверность и точность опыта — понятия не идентичные. Опыт считается достоверным, если он проведен в соответствии с принятой схемой и программой. Требование достоверности (существенности) вариантов полевого опыта позволяет определить доказуемость агрономической эффективности вариантов. Под достоверностью, или существенностью, понимают математическую доказанность разницы в урожаях, сравниваемых между собой вариантов, обозначают ее НСР 0,95 (наименьшая существенная разница) при 95%-ном уровне вероятности. Если при математической обработке прибавки между сравниваемыми вариантами больше или равны НСР 0,95 (в ц/га или т/га), то они существенны, доказуемы.

Агрохимический полевой опыт немислим без ведения сопутствующих исследований, которые заносят в журнал полевого опыта и лабораторный журнал. Поэтому грамотное ведение журналов со строгой и точной фиксацией результатов наблюдений за ростом и развитием растений, агрохимических анализов удобрений, почв и растений необходимы в работе экспериментатора. Ежегодно по итогам исследований составляют отчет о научно-исследовательской работе, который рассматривают на методических советах научных учреждений. Основными документами для его оформления служат журналы полевого опыта и лабораторных исследований.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое агроэкология?
2. Дайте понятие агрофитоценоза.
3. Полевой агрохимический опыт, сущность, значение.
4. Виды полевых опытов.
5. Что такое агроэкологическое водохозяйство?

# ТЕМА 3

## МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ И БИОТЕСТИРОВАНИЯ

- 3.1. Основные понятия.
- 3.2. Оценка почв методами биотестирования.

### 3.1. Основные понятия

**Биоиндикация** — это метод обнаружения и оценки воздействия абиотических и биотических факторов на живые организмы при помощи биологических систем.

В основу метода биоиндикации положена зависимость живых организмов от условий окружающей среды. Обычно живые организмы в той или иной степени реагируют на изменения окружающей среды, но в ряде случаев это нельзя выявить физическими или химическими методами, так как разрешающие возможности приборов или химических анализов ограничены. Этими методами может быть обнаружен, например, эффект биологического накопления отдельных токсических веществ в организмах растений и животных. Чувствительные же организмы-биоиндикаторы реагируют не только на малые дозы

экологического фактора, но и дают адекватную реакцию на воздействие комплекса факторов, выявляя синергизм, эмерджентность, ингибирование.

Биотестирование позволяет получить интегральную токсикологическую характеристику природных сред, независимо от состава загрязняющих веществ. Главная задача, решаемая биотестированием, — это получение быстрого ответа, есть или нет токсичность изучаемого субстрата.

**Фитотестирование** — это метод биологического тестирования, при котором в качестве тест-объектов используются растения.

**Зоотестирование** — это метод биологического тестирования, при котором в качестве тест-объектов используются животные организмы.

## 3.2. Оценка почв методами биотестирования

### 3.2.1. Оценка кислотности почв с использованием растений-индикаторов

**Кислотность** — одно из характерных свойств почвы лесной зоны. Повышенная кислотность отрицательно сказывается на росте и развитии ряда видов растений. Это происходит из-за появления в кислых почвах вредных для растений веществ, например растворимого алюминия или избытка марганца. Они нарушают углеводный и белковый обмен в растениях, задерживают образование генеративных органов и приводят к нарушению семенного размножения, а иногда вызывают гибель растений. Повышенная кислотность почв подавляет жизнедеятельность почвенных бактерий, участвующих в разложении органики и высвобождении питательных веществ, необходимых растениям.

В лабораторных условиях кислотность почв можно определить универсальной индикаторной бумагой, набором Алямовского, рН-метром, а в полевых условиях — при помощи растений-индикаторов.

В процессе эволюции сформировались три группы растений: **ацидофилы** — растения кислых почв, **нейтрофилы** — обитатели ней-

тральных почв, **базофилы** — растут на щелочных почвах. Зная растения каждой группы, в полевых условиях можно приблизительно определить кислотность почвы (табл. 1).

Таблица 1

Растения-индикаторы кислотности почв

Группа	Биоиндикатор	рН почвы
1. Ацидофилы 1.1. Крайние ацидофилы	Сфагнум, зеленые мхи: гилокомиум, дикранум, плаун булавовидный, плаун годичный, плаун сплюснутый, ожика волосистая, пушица влагалищная, подбел многолистный, кошачья лапка, кассандра, цетрария, белолус, щучка дернистая, хвощ полевой, щавель малый	3–4,5
1.2. Умеренные ацидофилы	Черника, брусника, багульник, калужница болотная, сушеница, лютик ядовитый, голлокая, седмичник европейский, белозор болотный, фиалка собачья, сердечник луговой, вейник наземный	4,5–6
1.3. Слабые ацидофилы	Папоротник мужской, ветреница лютиковая, медуница неясная, зеленчук, колокольчик крапиволистный, колокольчик широколистный, бор развесистый, осока волосистая, осока ранняя, малина, смородина черная, вероника длиннолистная, горец змеиный, орляк, иван-да-марья, кислица заячья	5–6,7
1.4. Ацидофильно-нейтральные	Зеленые мхи: гилокомиум, плеврозиум, ива козья	4,5–7
2. Нейтрофильные 2.1. Окололинейные	Сныть европейская, клубника зеленая, лисохвост луговой, клевер горный, клевер луговой, мыльнянка лекарственная, аистник цикутный, борщевик сибирский, цикорий, мятник луговой	6–7,3
2.2. Нейтрально-базофильные	Мать-и-мачеха, пупавка красильная, люцерна серповидная, келерия, осока мохнатая, лядвенец рогатый, гусиная лапка	6,7–7,8
2.3. Базофильные	Бузина сибирская, вяз шершавый	7,8–9

### 3.2.2. Оценка токсичности почвы с использованием инфузории-туфельки как тест-объекта

С одной стороны, простейшие очень хорошо приспособляются к изменениям, иначе они не смогли бы выжить в меняющемся мире. С другой стороны, каждый отдельный организм очень тонко чувствует изменения среды, поэтому их можно использовать в биологических исследованиях безопасности почвы, природных и сточных вод. Такие исследования называют **биотестами**. **Токсичность** — степень проявления вредного действия разнообразных химических соединений и их смесей, один из важных факторов, определяющих качество среды, достаточно информативный, существенно дополняющий представление о степени опасности или безопасности объектов при их использовании, являющийся необходимой составной частью комплексной системы контроля при стандартном анализе.

**Биотестирование** — это оценка реакции тест-организмов на ту или иную субстанцию. Биотестирование позволяет напрямую оценить опасность загрязнения донных отложений без проведения сложных химических анализов.

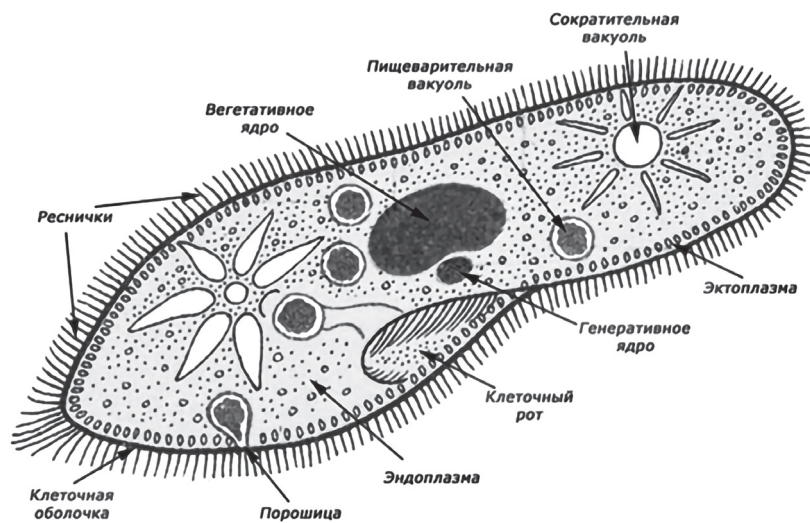


Рис. 2. Строение инфузории-туфельки

В качестве тест-организмов в экологии обычно используют живые организмы, в том числе и одноклеточные, поскольку проводить опыты с ними гораздо удобнее, чем с высшими животными. Лучше всего подходят инфузории. Их легко выращивать, и оценить результат несложно — достаточно сосчитать их до начала опыта и в конце. В экологических целях биотесты применяют и как отдельные методы, и в комплексных исследованиях. Биотесты также используют для оценки токсичности почвы, питьевой воды, кормов, лекарств, полимерных материалов и т. п.

Метод определения токсичности с помощью инфузорий (рис. 2) основан на способности тест-объектов реагировать на присутствие в пробах веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, и направленно перемещаться по градиенту концентраций этих веществ (хемотаксическая реакция), избегая их вредного воздействия. Продолжительность биотестирования пробы на инфузориях — 1 час.

В большинстве методик биотестирования просто подсчитывают клетки до начала и в конце опыта. Как правило, это делают визуально под микроскопом. Затем подсчитывают индекс токсичности среды.

**Индекс токсичности (ИТ)** — достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности исследуемого объекта. Тест-параметром для используемого тест-объекта является выживаемость парameций. ИТ рассчитывается по формуле

$$ИТ = T_{оп} / T_{к},$$

где  $T_{оп}$  — время выживания парameций в опыте;  $T_{к}$  — время выживания парameций в контроле.

Таблица 2

#### Классификация токсичности фактора среды по величине индекса токсичности (Кабилов и др., 1997)

Класс токсичности	Величина индекса токсичности	Пояснение
VI стимуляция	>1,1	Фактор оказывает стимулирующее воздействие на тест-объекты. Величина тест-функции в опыте превышает контрольные значения

Окончание табл. 2

Класс токсичности	Величина индекса токсичности	Пояснение
V норма	0,91–1,1	Фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объекта. Величина тест-функции находится на уровне контроля
IV низкая токсичность	0,71–0,9	Фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объекта. Величина тест-функции находится на уровне контроля
III средняя токсичность	0,5–0,7	Разная степень снижения величины тест-функции в опыте по сравнению с контролем
II высокая токсичность	<0,5	Разная степень снижения величины тест-функции в опыте по сравнению с контролем
I сверхвысокая токсичность, вызывающая гибель тест-объекта	Среда непригодна для жизни тест-объекта	Наблюдается гибель тест-объекта

### 3.2.3. Оценка загрязнения почвы грибной микрофлорой

Микрофлора почвы включает все известные группы микроорганизмов: споровые и споронеобразующие бактерии, актиномицеты, грибы, спирохеты, археобактерии, простейшие, сине-зеленые водоросли, микоплазмы и вирусы. В 1 г почвы насчитывается до 6 млрд микробных тел. На качественный и количественный состав микрофлоры почвы влияет тип почвы, ее плодородие, влажность, аэрация и физико-химические свойства. На микробиоценоз почвы существенно влияет деятельность человека: обработка почвы, внесение удобрений, мелиорация, загрязнение отходами производств.

Некоторые патогенные микроорганизмы в зависимости от экологических особенностей вегетируют в почве, и почва для них является естественным местом обитания. Другая группа, в том числе и споронеобразующие, длительно сохраняется в почве определенного физико-химического состава, где при благоприятном температурно-влажностном режиме размножается. К третьей группе относятся

возбудители хламидиозов, риккетсии, вирусы и особо прихотливые бактерии. Они быстро отмирают в почве.

Обеззараживающая способность разных почв неодинакова, и подчас почва может служить благоприятным субстратом для патогенных микроорганизмов (рис. 3). Почва как субстрат, состоящий из твердой фазы и воды, служит естественным местом обитания для возбудителей многих заразных болезней.



Рис. 3. Колонии грибов в чашках Петри

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Индекс токсичности, суть, способы расчета.
2. Что это за группы растений — ацидофилы, нейтрофилы и базофилы? Где применяются знания об этих растениях?



# ТЕМА 4

## УРБАНИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 4.1. Основные понятия.
- 4.2. Методы социальной экологии.

### 4.1. Основные понятия

**Урбанизация** — это рост и развитие городов, увеличение доли городского населения в стране за счет сельской местности, процесс повышения роли городов в развитии общества. Она ведет к отрыву человека от естественной природной обстановки и к нарушению природных экосистем.

**Урбанистическая система** (урбосистема) — «неустойчивая природно-антропогенная система, состоящая из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем» (Реймерс, 1990).

**Урбанистическая система** — взаимозависимая сеть урбанистических поселений внутри определенного региона. Города всех размеров являются частью урбанистических систем всех уровней: региональной, национальной, глобальной.

### 4.1. Основные понятия

По мере развития города в нем всё более дифференцируются его функциональные зоны — это промышленная, селитебная, лесопарковая.

**Промышленные зоны** — это территории сосредоточения промышленных объектов различных отраслей (металлургической, химической, машиностроительной, электронной и др.). Они являются основными источниками загрязнения окружающей среды.

**Селитебные зоны** — это территории сосредоточения жилых домов, административных зданий, объектов культуры, просвещения и т. п.

**Лесопарковая** — это зеленая зона вокруг города, окультуренная человеком, то есть приспособленная для массового отдыха, спорта, развлечения. Возможны ее участки и внутри городов, но обычно здесь городские парки — древесные насаждения в городе, занимающие достаточно обширные территории и также служащие горожанам для отдыха. В отличие от естественных лесов и даже лесопарков городские парки и подобные им более мелкие посадки в городе (скверы, бульвары) не являются самоподдерживающимися и саморегулируемыми системами.

Лесопарковые зоны, городские парки и другие участки территории, отведенные и специально приспособленные для отдыха людей, называют **рекреационными зонами** (территориями, участками и т. п.).

Углубление процессов урбанизации ведет к усложнению инфраструктуры города. Значительное место начинает занимать транспорт и транспортные сооружения (автомобильные дороги, автозаправочные станции, гаражи, станции обслуживания, железные дороги со своей сложной инфраструктурой, в том числе подземные — метрополитен; аэродромы с комплексом обслуживания и др.). **Транспортные системы** пересекают все функциональные зоны города и оказывают влияние на всю городскую среду (урбосреду).

В целом же среда городская и населенных пунктов городского типа — это часть **техносферы**, то есть биосферы, коренным образом преобразованной человеком в технические и техногенные объекты.

Помимо наземной части ландшафта в орбиту хозяйственной деятельности человека попадает и его **литогенная основа**, то есть поверхностная часть литосферы, которую принято называть геологической средой.

**Геологическая среда** — это горные породы, подземные воды, на которые оказывает воздействие хозяйственная деятельность человека.

**Геологическая среда** — совокупность горных пород и почвы, слагающих верхнюю часть земной коры, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходит изменение действующих природных геологических и возникновение новых антропогенных процессов, влекущих изменение инженерно-геологических условий территории.

**Урбосистемы** — это средоточие населения, жилых и промышленных зданий и сооружений. Существование урбосистем зависит от энергии горючих ископаемых и атомноэнергетического сырья, искусственно регулируется и поддерживается человеком.

Среда урбосистем, как ее географическая, так и геологическая части, наиболее сильно изменена и по сути дела стала искусственной, здесь возникают проблемы утилизации и реутилизации вовлекаемых в оборот природных ресурсов, загрязнения и очистки окружающей среды, здесь происходит всё большая изоляция хозяйственно-производственных циклов от природного обмена веществ (биогеохимических оборотов) и потока энергии в природных экосистемах. И, наконец, именно здесь наибольшая плотность населения и искусственная среда, которые угрожают не только здоровью человека, но и выживанию всего человечества.

**Здоровье человека** — индикатор качества этой среды.

**Здоровье** — это состояние полного физического, психического и социального благополучия.

**Физическое здоровье** — это состояние органов и систем органов, жизненных функций организма.

**Физическое здоровье** — это состояние организма человека, адаптированного к различным условиям окружающей среды, состояние физического развития и готовность к выполнению физических нагрузок. Основные факторы физического здоровья человека:

- уровень физического развития;
- уровень физической подготовленности;
- уровень подготовленности организма к выполнению физических нагрузок;

- уровень резервов организма;
- приспособление к воздействию среды обитания (экология);
- наследственность.

**Физическое здоровье** — это функционирование органов тела и всего организма как системы. При этом человек обычно не испытывает физической боли, а ощущает прилив сил для нормальной полноценной жизни и выполнения ежедневных обязанностей.

**Психическое здоровье** — состояние психики, характеризующееся общим душевным равновесием.

**Психическое здоровье** выражается в гармоничном сочетании всех частей и проявлений. Психически здорового человека всё в жизни устраивает, его не терзают негативные эмоции, у него хорошие отношения с самим собой и с окружающими людьми. Полностью психически здоровых людей практически нет. Каждого человека терзают те или иные проблемы, мы не довольны собой и особенно окружающими людьми. Психическое нездоровье проявляется в частых негативных эмоциях: гнев, страхе, печали, обиде.

Эти два вида здоровья связаны друг с другом. При физическом недомогании люди обращаются к врачу, а при психическом — к психологу. Если что-то болит, то вряд ли человек будет чувствовать радость и расслабленность.

Негативное психическое состояние может привести к перегрузке органов и выводу их из строя. Например, у людей, которые часто злятся, обычно проблемы с печенью. Из-за частого состояния страха и волнения повышается артериальное давление. Существует множество такого рода связей между телом и психическим состоянием человека.

При лечении тела недостаточно только его физического лечения у врача. Часто симптомы после лечения возвращаются, поскольку не был исправлен психологический фактор, который привел к болезни. Если у человека повышенное давление, вызванное постоянным страхом по поводу потери своего имущества, в результате нарушается работа сердца. Человек идет в больницу с жалобой на боль в сердце и на повышенное давление. Помощь врача выписанными медикаментами дает временное облегчение — страх остался — давление опять поднимается, и это вновь выводит сердце из строя. В такой ситуации

необходимо обратиться к психологу для устранения психологических комплексов, и только после устранения страха можно использовать медикаменты для восстановления работы сердца.

**Психическое здоровье** — это состояние благополучия, при котором человек может реализовать свой собственный потенциал, справляться с обычными жизненными стрессами, хорошо работать и внести свой вклад в жизнь сообщества.

**Психическое здоровье** человека зависит от огромного количества факторов. Для исследования психического здоровья важным является изучение среды обитания человека, которая является сложным переплетением социальных и природных факторов. Психическое здоровье человека имеет огромное влияние на физическое состояние — это обязательно надо учитывать.

**Социальное здоровье** — это система мотивов и ценностей, регулирующих поведение.

**Социальное здоровье** — система ценностей, установок и мотивов поведения в социальной среде. Оно связано с влиянием на личность других людей, общества в целом и зависит от места и роли человека в межличностных отношениях, от нравственного здоровья социума.

**Социальное здоровье** — мера социальной активности и прежде всего трудоспособности, форма активного, деятельного отношения к миру. Иначе говоря, социальное здоровье означает способность к общению с другими людьми в условиях окружающей социальной среды и наличие личностных взаимоотношений, приносящих удовлетворение. Достаточно очевидным является тот факт, что люди, имеющие обширные социальные связи с другими членами общества, менее подвержены болезням и чувствуют себя более здоровыми и счастливыми.

В социологии существует множество подходов и тем, которые помогают нам лучше понять общество и его функционирование. Одной из таких тем является социальная экология.

**Социальная экология** — это научная дисциплина, изучающая взаимодействие между людьми и их окружающей средой. Она исследует влияние социальных факторов на окружающую среду и, в свою очередь, влияние окружающей среды на социальные процессы и поведение людей.

**Социальная экология** рассматривает взаимодействие между людьми и их окружающей средой на разных уровнях — от индивидуального поведения до глобальных экологических проблем. Она изучает, как социальные структуры, культура, экономика и политика влияют на окружающую среду, а также как изменения в окружающей среде влияют на социальные отношения и поведение людей.

**Социальная экология** также исследует вопросы устойчивого развития и экологической справедливости. Она стремится найти баланс между потребностями общества и сохранением природных ресурсов, а также учитывает социальные неравенства и влияние экологических проблем на различные группы людей.

**Основная цель социальной экологии** — понять сложные взаимосвязи между людьми и окружающей средой, чтобы разработать стратегии и политики, способствующие устойчивому развитию и сохранению природы для будущих поколений.

## 4.2. Методы социальной экологии

Поскольку социальная экология является переходной наукой между естественными и гуманитарными, постольку в своей методологии она должна использовать методы и естественных, и гуманитарных наук, а также те методологии, которые представляют собой единство естественнонаучного и гуманитарного подхода.

Социальная экология использует как качественные, так и количественные методы исследования.

**Качественные исследования** позволяют получить глубокое понимание социальных процессов и взаимодействия людей с окружающей средой. Они основаны на наблюдении, интервьюировании и анализе текстов.

**Количественные исследования**, в свою очередь, используют статистические методы и опросы для получения объективных данных о социальных явлениях и трендах.

**Социальные сети и анализ социальных связей.** Социальная экология активно использует методы анализа социальных сетей для изучения взаимодействия между людьми и их влияния на окружающую

среду. Анализ социальных связей позволяет выявить ключевых акторов (**актор** — действующий субъект, совершающий действия, направленные на других) и группы, которые играют важную роль в формировании и распространении экологических норм и ценностей.

**Эксперименты и моделирование.** Социальная экология использует эксперименты и моделирование для изучения влияния различных факторов на социальное поведение и принятие экологических решений. **Эксперименты** позволяют проводить контролируемые исследования, в которых можно изучать причинно-следственные связи. **Моделирование**, в свою очередь, позволяет создавать упрощенные модели социальных систем и предсказывать их поведение в различных сценариях.

**Участие и активное наблюдение.** Социальная экология активно использует методы участия и активного наблюдения, чтобы получить глубокое понимание социальных процессов и взаимодействия людей с окружающей средой. **Участие** предполагает активное участие и вовлечение исследователя в изучаемую группу или сообщество. **Активное наблюдение** предполагает наблюдение и участие в повседневной жизни людей, чтобы получить более полную картину их взаимодействия с окружающей средой.

**Компьютерное моделирование и географические информационные системы.** Социальная экология использует компьютерное моделирование и географические информационные системы для анализа и визуализации данных о социальных и экологических процессах. **Компьютерное моделирование** позволяет создавать упрощенные модели социальных систем и исследовать их поведение в различных сценариях. **Географические информационные системы** позволяют анализировать пространственные данные и взаимосвязи между социальными и экологическими явлениями.

**Исследование влияния городской среды на здоровье населения.** Одним из примеров исследований в социальной экологии является изучение влияния городской среды на здоровье населения. В таких исследованиях ученые анализируют различные факторы, такие как загрязнение воздуха, доступность зеленых зон, уровень шума и прочие аспекты городской среды, и исследуют их влияние на здоровье людей. Например, исследования могут показать, что высокий уровень

загрязнения воздуха в определенном районе города связан с увеличенным риском развития респираторных заболеваний у его жителей.

**Исследование взаимосвязи между социальными неравенствами и экологическими проблемами.** Другим примером исследования в социальной экологии является изучение взаимосвязи между социальными неравенствами и экологическими проблемами. Ученые анализируют, как социальные факторы, такие как уровень дохода, образование и доступ к ресурсам, влияют на экологические проблемы, такие как загрязнение окружающей среды и истощение природных ресурсов. Например, исследования могут показать, что бедные районы чаще сталкиваются с проблемами загрязнения и несбалансированным использованием ресурсов, что может усугублять социальные неравенства.

**Исследование влияния изменения климата на социальные системы.** Ученые анализируют, как изменение климата, такое как повышение температуры, изменение осадков и учащение экстремальных погодных явлений, влияет на социальные структуры и поведение людей. Например, исследования могут показать, что повышение температуры способно привести к увеличению конфликтов из-за доступа к водным ресурсам или миграции населения из засушливых районов.

Эти методы и подходы в социальной экологии помогают исследователям получить глубокое понимание взаимодействия между людьми и окружающей средой, а также разрабатывать эффективные стратегии для достижения устойчивого развития.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Методы социальной экологии, значение в жизни общества и отдельного человека.
2. Функциональные зоны современного города — это промышленная, селитебная, лесопарковая, дайте характеристику.

# ТЕМА 5

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

- 5.1. Методы математической статистики.
- 5.2. Статистический анализ данных.
- 5.3. Статистическая обработка данных.
- 5.4. Межбиогеоценотические связи, их механизмы и изучение.

### 5.1. Методы математической статистики

Наиболее распространены и применимы для обработки числовых данных методы математической статистики. Применение методов статистической обработки результатов экологических исследований позволяет получать:

- пригодные для сравнения количественные характеристики распределения организмов;
- устанавливать зависимость между отдельными переменными, характеризующими среду обитания;
- выявлять общие тенденции развития изучаемых процессов;
- определять цикличности колебаний изучаемых величин;
- корреляцию временных рядов;
- прогнозировать последующие изменения показателей исследуемого процесса;

### 5.1. Методы математической статистики

– устанавливать взаимосвязи между факторами и показателями.

Все эти и другие вычислительные операции обработки данных реализованы в пакетах прикладных программ по статистике и численным методам, из которых наиболее распространены STATISTICA и SPSS Statistical Package for Social Science. Кроме того, в экологических исследованиях часто на практике используется табличный процессор MS Excel, который позволяет осуществлять разнообразные вычисления, строить графики и диаграммы, управлять форматом ввода-вывода данных, проводить аналитические исследования и т. п.

Изображения природных объектов, космические, аэро- или наземные снимки, являясь цифровыми растровыми данными, содержат экологические данные не только в явной форме, поскольку для получения количественных характеристик отобразившихся объектов требуются процедуры дополнительной обработки. Можно выделить следующие задачи компьютерной обработки изображений:

- повышение визуального качества изображения;
- определение формы, местоположения, размеров и других параметров интересующих объектов;
- распознавание образов — выделение и классификация свойств объектов;
- построение трехмерных моделей объектов.

Для реализации этих задач существует достаточно большое разнообразие программных продуктов. Большой набор функций для повышения визуального качества изображения реализован в программе Adobe Photoshop. Некоторые размерные характеристики объектов можно также определять с помощью этого программного продукта. Более сложные задачи по анализу изображений осуществляются специализированными программными средствами. Для обработки материалов аэрокосмических съемок применяют цифровые фотограмметрические станции ЦФС и специальные комплексы программ по обработке данных дистанционного зондирования, например ENVI и ARCGIS DESKTOP. Обработка материалов наземной съемки эффективно реализуется в таком программном продукте, как PhotoModeler, который обеспечивает построение 3D-моделей по любому количеству снимков. Для визуального анализа объектов по их

стереоизображениям можно использовать программы для создания стереомоделей, например, Images 3D, StereoMarker, которые обеспечивают стереоскопические наблюдения разными методами. Для получения количественных характеристик объектов по одиночным изображениям в некоторых случаях можно рекомендовать средства ГИС, например MapInfo Professional, поскольку их функциональные возможности обеспечивают преобразование исходного изображения из системы координат цифрового изображения в прямоугольную систему и имеют набор инструментов для измерения отвекторизованных изображений объектов.

В настоящее время практически все задачи по анализу пространственной информации в экологии осуществляются с применением геоинформационных технологий. Геоинформационные системы ГИС рассматриваются в качестве эффективного инструмента анализа различных типов данных при исследовании особенностей развития регионов и выработки комплексных управленческих решений. **Геоинформационные технологии**, предлагая новые эффективные подходы к анализу и решению экологических проблем, широко применяются в географических и ландшафтных исследованиях, при изучении проблем биоразнообразия и моделировании экосистем. ГИС позволяют исследователям формулировать географические запросы и получать на них ответы путем создания и анализа карт на основе выбранных критериев. ГИС также являются прекрасным средством презентации результатов проведенных исследований, особенно с развитием технологий трехмерного моделирования.

Наиболее эффективным средством систематизации данных по биоразнообразию и другим компонентам природной среды являются электронные библиотеки и базы данных. Технологии телекоммуникаций способствуют созданию единого информационного пространства, что важно для кооперации усилий исследователей по разным направлениям, изучающих живую природу. В последние годы благодаря мощным компьютерам нового поколения и новым средствам программирования появилась возможность количественного решения ряда сложных системных экологических задач. При этом всё большее значение приобретают такие новые компьютерные методы, как применение технологии нейронных сетей и аппарата тео-

рии нечетких множеств. Быстро совершенствуются приемы глобального моделирования, доведенные до моделей, основанных на проблемно-прогночном подходе. Они позволяют рассматривать разные варианты сценариев и строить обоснованные прогнозы глобального развития.

## 5.2. Статистический анализ данных

Любое состояние природных объектов, растительных и животных сообществ, населения региона в целом, отдельного населенного пункта и т. д., может характеризоваться совокупностью разнообразных сведений о них. Систематизацией и анализом данных о состоянии природных компонентов и степени воздействия различных факторов на окружающую среду, иными словами, о событиях, носящих массовый характер, занимается математическая статистика. Методы математической статистики позволяют обнаружить статистическую закономерность во множестве измеренных или расчетных данных, как правило, отягощенных случайной составляющей — шумами. Множество данных в статистике называется генеральной совокупностью  $N$ . С математической точки зрения, генеральная совокупность выступает как бесконечный ряд данных, например, арифметический ряд чисел бесконечной прямой. В реальной жизни в физическом мире, в социуме, число изучаемых объектов хоть и велико, но все-таки конечно, а следовательно, совокупность сведений о них также велика, но не бесконечна. В этом случае принято считать такую генеральную совокупность конечной  $N = \text{const}$ . Так, число индивидуумов растительного или животного мира на Земле огромно, но вместе с тем конечно и т. д. На практике генеральной совокупностью можно считать любое количество объектов или сведений об их состоянии, например показатели здоровья людей, проживающих вблизи предприятия опасного производства. Изучение статистических свойств генеральной совокупности можно организовать двумя способами:

— с помощью сплошного или несплошного наблюдения обследования. Сплошное наблюдение обеспечивает обследование всех единиц изучаемой генеральной совокупности, что зачастую физически

невозможно из-за огромного числа объектов и измеряемых данных, а также затрат времени на производство подобных работ. Частично устранить эти проблемы помогает способ несплошного, то есть выборочного наблюдения. В этом случае ограничиваются обследованием только некоторой части генеральной совокупности. Выборочный способ наблюдения дает ряд преимуществ перед сплошным:

- экономию времени и средств за счет сокращения объема наблюдений;
- достижение большей надежности собранных данных за счет сокращения объема ошибок регистрации.

Однако применение выборочного способа будет оправданным только в том случае, если он проведен в строгом соответствии с научными принципами теории выборочного метода, заложенными в математической статистике. Такими принципами являются:

- обеспечение случайности отбора единиц;
- обеспечение достаточности их числа объема.

Если принципы соблюдены, это гарантирует представительность (репрезентативность) выборки данных. Число наблюдений — вариант, образующих выборку, составляет объем выборки  $n$ . Если объем выборки  $n \leq 30$ , то такая выборка считается малой. Выборку определяет способ отбора вариант из генеральной совокупности, гарантирующий первый принцип — случайности. Существует пять основных способов процедуры выборки, зависящих от организации структуры изучаемого объекта или явления.

**1. Простой случайный отбор.** Из генеральной совокупности с помощью датчика случайных чисел по принципу лотерейного барабана извлекаются по очереди  $n$  значений выборки. При этом необходимое количество данных определяется исходя из принятой доли выборки, выраженной в процентах к числу единиц, составляющих генеральную совокупность. Например, необходимо проверить экологическую безопасность партии игрушек в 1 000 единиц. При 10%-ной доле выборка составит 100 единиц. Такая выборка называется собственно случайной выборкой с бесповторным отбором.

**2. Механическая выборка.** Отбор осуществляется с помощью принятой регулярной процедуры. Для этого генеральную совокупность разбивают по какому-нибудь нейтральному признаку на равные

интервалы, через которые отбирается лишь одна единица выборки. Примером может служить измерение температуры почвы или забор проб почвы на исследуемом сельскохозяйственном поле в точках, намеченных через определенное расстояние, например 10 м, 100 м и т. п. При достаточно большой выборке механический отбор по точности и способам оценки близок к простому случайному отбору.

**3. Типическая выборка.** Для организации такой выборки вследствие сложной структуры взаимосвязей, возникающих внутри объекта изучения, генеральная совокупность подразделяется на подсовкупности — слои или страты. Например, при обследовании здоровья населения исследуемого района делится на страты по возрастным группам или по их социальной принадлежности (рабочие, служащие, школьники и т. д.). Подобные выборки в литературе называются стратифицированными выборками. Типическая выборка в подобных случаях дает более объективные результаты по сравнению с первыми двумя способами выборки.

**4. Гнездовая выборка.** Такая выборка результативна, когда необходимо обследовать сразу серию объектов. Отбор в серии можно осуществить простым случайным отбором или механическим. В качестве примера может служить отбор продукции из партии товара определенной серии или обследование населения делением на гнезда — отдельные кварталы либо дома. При этом в гнезде обеспечивается обязательное сплошное обследование всех единиц.

**5. Комбинированная выборка** — это ступенчатый отбор, сочетающий в себе два предыдущих способа выборки: простую случайную и механическую выборки либо простую случайную и типическую выборки. Таким образом, при комбинированном отборе выборка формируется сочетанием индивидуального отбора с групповым серийным отбором.

Репрезентативные выборки данных позволят в дальнейшем провести все виды системного анализа с использованием пакетов прикладных программ по статистике и численным методам, таких как STATISTICA, SPSS Statistical Package for Social Science и др.

### 5.3. Статистическая обработка данных

#### 5.3.1. Меры центральной тенденции

Рассматривая методы математической статистики, применяемые для обработки данных тестовых исследований, можно выделить группу методов, которые могут описывать те или иные меры центральной тенденции. Такие меры указывают наиболее типичный результат, характеризующий выполнение теста всей группой. Самая известная из таких мер — **среднеарифметическое значение ( $M$ )**.

Среднеарифметическое (или выборочное среднее) значение представляет собой среднюю оценку изучаемого в эксперименте психологического качества. Эта оценка характеризует степень его развития в целом у той группы испытуемых, которая была подвергнута исследованию (выборка испытуемых). Сравнивая среднее значение двух или нескольких групп, мы можем судить об относительной степени развития у людей, составляющих эти группы, оцениваемого качества.

Среднеарифметическое определяется по следующей формуле:

$$M = \sum X_i / n,$$

где  $M$  — среднеарифметическое значение;

$n$  — количество испытуемых;

$X_i$  — сумма всех результатов.

**Пример:** В исследовании объема вербальной механической памяти, тест «10 слов» в группе из 12 испытуемых ( $n = 12$ ), получены следующие результаты (количество запомненных слов): 5, 4, 5, 6, 7, 3, 6, 2, 8, 6, 9, 7.

Среднеарифметическое значение ( $M$ ) =  $(5 + 4 + 5 + 6 + 7 + 3 + 6 + 2 + 8 + 6 + 9 + 7) / 12 = 68 / 12 = 5,6$ .

Для данной выборки среднеарифметическое значение ( $M$ ) = 5,6.

Другой мерой центральной тенденции является **мода ( $M_o$ )** — наиболее часто встречающийся результат. В интервальном частотном распределении мода определяется как середина интервала, для которого частота максимальна.

**Пример:** В ряду значений 2, 3, 4, 5, 5, 6, 6, 6, 7, 7, 8, 9 модой является 6, потому, что 6 встречается чаще любого другого числа.

Обратите внимание, что мода представляет собой наиболее часто встречающееся значение (в данном примере это 6), а не частоту встречаемости этого значения (в данном примере равную 3).

Когда два соседних значения имеют одинаковую частоту и их частота больше частот любых других значений, мода вычисляется как среднее арифметическое этих двух значений.

**Пример:** в выборке 1, 2, 2, 2, 5, 5, 5, 6 частоты рядом расположенных значений 2 и 5 совпадают и равняются 3. Эта частота больше, чем частота других значений 1 и 6 (у которых она равна 1). Следовательно, модой этого ряда будет величина  $(2+5)/2 = 3,5$ .

Третья мера центральной тенденции — **медиана ( $Me$ )** — результат, находящийся в середине последовательности показателей, если их расположить в порядке возрастания или убывания. Справа и слева от медианы ( $Me$ ) в упорядоченном ряду остается по одинаковому количеству данных (50 % и 50 %). Если ряд включает в себя четное количество признаков, то медианой ( $Me$ ) будет среднее, взятое как полусумма двух центральных значений ряда.

**Пример:** Найдем медиану выборки: 5, 4, 5, 6, 7, 3, 6, 2, 8, 6, 9, 7.

Упорядочим выборку: 2, 3, 4, 5, 5, 6 / 6, 6, 7, 7, 8, 9. Поскольку здесь имеется четное число элементов, то существует две «середины» — 6 и 6. В этом случае медиана определяется как среднее арифметическое этих значений:

$$Me = 6 + 6 / 2 = 6.$$

**Пример:** Найдем медиану выборки с нечетным количеством значений: 9, 3, 5, 8, 4, 11, 13.

Сначала упорядочим выборку по величинам входящих в нее значений. Получим: 3, 4, 5, 8, 9, 11, 13. Поскольку в выборке семь элементов, четвертый по порядку элемент будет серединой ряда. Таким образом, медианой будет четвертый элемент — 8.

Значения  $Me$  и  $M_o$  полезны для того, чтобы установить, является ли распределение частных значений изучаемого признака симметричным и приближающимся к нормальному распределению. Среднее арифметическое ( $M$ ), медиана ( $Me$ ) и мода ( $M_o$ ) для нормального



распределения обычно совпадают или очень мало отличаются друг от друга. При нормальном распределении результатов график распределения имеет форму колокола (рис. 4).

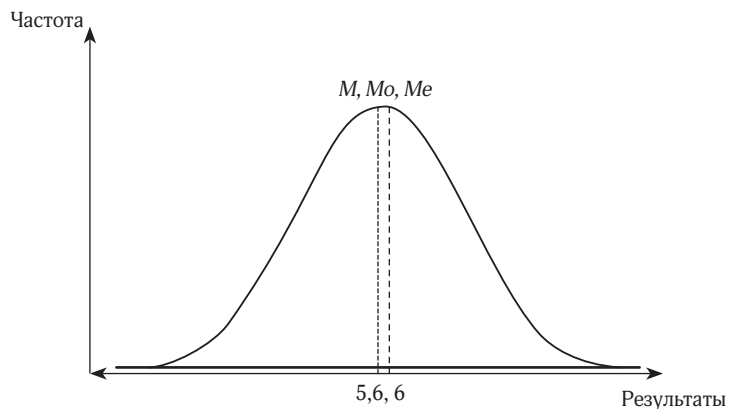


Рис. 4. График нормального распределения результатов исследования

### 5.3.2. Меры разброса данных

Для более полного описания результатов эмпирического исследования используются **меры разброса** данных, характеризующие степень индивидуальных отклонений от центральной тенденции. Это самый простой показатель, который можно получить для выборки, — разность между максимальной и минимальной величинами данного конкретного вариационного ряда. Мера разброса данных позволяет сравнивать между собой разные группы. Чем сильнее варьирует измеряемый признак, тем больше величина разброса данных и наоборот.

Необходимо отметить, что данная мера крайне неточна и неустойчива. Единственный необычно высокий или низкий результат может повлиять на величину размаха.

Более точный метод измерения разброса данных основан на **учете разности** между каждым индивидуальным результатом и среднearифметическим значением по группе. Такой мерой разброса является **дисперсия**, или средний квадрат отклонения ( $\sigma^2$ ).

Дисперсия характеризует, насколько частные значения отклоняются от средней величины в данной выборке. Чем больше дисперсия, тем больше отклонение или разброс данных. Дисперсия определяется по следующей формуле:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 / n,$$

где  $\sigma^2$  — дисперсия;

$\sum (x_i - M)^2$  — выражение, означающее, что для всех значений  $x_i$  от первого до последнего в данной выборке вычисляется разность между частными и средними значениями, эти разности возводятся в квадрат и суммируются;

$n$  — объем выборки.

Вычислим дисперсию ( $\sigma^2$ ) для следующего ряда: 2, 4, 6, 8, 10. Прежде всего найдем среднее ( $M$ ) для данного ряда, оно равно 6.

Из каждого элемента ряда вычтем величину среднего этого ряда. Полученные величины характеризуют то, насколько каждый элемент отклоняется от средней величины в данном ряду. Экспериментальные данные этой задачи, необходимые для расчета дисперсии, представим в виде табл. 3.

Таблица 3

#### Экспериментальные данные, необходимые для расчета дисперсии

Первичный результат, $x_i$	$(x_i - M)$	$(x_i - M)^2$
2	-4	16
4	-2	4
6	0	0
8	2	4
10	4	16
$M = 6$		$\sum (x_i - M)^2 = 40$

Далее разности возводят в квадрат и суммируются. Полученную сумму квадратов разностей делим на объем данной выборки. В нашем примере получится следующее:  $\sigma^2 = 40/6 = 6,8$ .

Общий алгоритм вычисления дисперсии ( $\sigma^2$ ) следующий:

Вычисляется среднее по выборке.

Для каждого элемента выборки вычисляется его отклонение от среднего.

Каждый элемент множества возводят в квадрат.

Находится сумма этих квадратов.

Эта сумма делится на общее количество членов используемой выборки.

Очень часто вместо дисперсии для выявления разброса частных данных относительно средней используют производную от дисперсии величину, называемую **стандартным отклонением**. Стандартное отклонение равно квадратному корню, извлекаемому из дисперсии ( $\sigma^2$ ), и обозначается тем же знаком, только без квадрата ( $\sigma$ ). Эта величина в ряде случаев оказывается более удобной характеристикой варьирования, чем дисперсия, так как выражается в тех же единицах, что и средняя арифметическая величина.

В нашем примере  $\sigma = \sqrt{40/6} = \sqrt{6,8} = 2,58$ .

О чем же свидетельствует стандартное отклонение, равное 2,58? Оно позволяет сказать, что большая часть результатов данного исследования располагается в пределах 2,58 от средней, то есть между 3,42 ( $6 - 2,58$ ) и 8,58 ( $6 + 2,58$ ).

Для того чтобы лучше понять, что подразумевается под «большой частью результатов», необходимо рассмотреть те свойства стандартного отклонения, которые проявляются при нормальной или приблизительно нормальной кривой распределения, так как здесь существует прямое соответствие между  $\sigma$  и относительным количеством случаев. На рис. 5 по горизонтальной оси отложены интервалы, соответствующие отклонению в  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  и  $3\sigma$  вправо и влево от среднего значения (M). Процент случаев, приходящийся на интервал  $M + 1\sigma$  в нормальном распределении, равен 34,13. Поскольку кривая симметрична, 34,13 случаев приходится также на интервалы от  $M - 1\sigma$ , так, что диапазон от  $-1\sigma$  до  $+1\sigma$  охватывает 68,26 % случаев. Почти все случаи (99,72 %), то есть почти все показатели лежат в пределах от  $-3\sigma$  до  $+3\sigma$  относительно среднего значения.

Эта закономерность известна как закон «трех сигм» и является одной из характеристик нормального распределения.

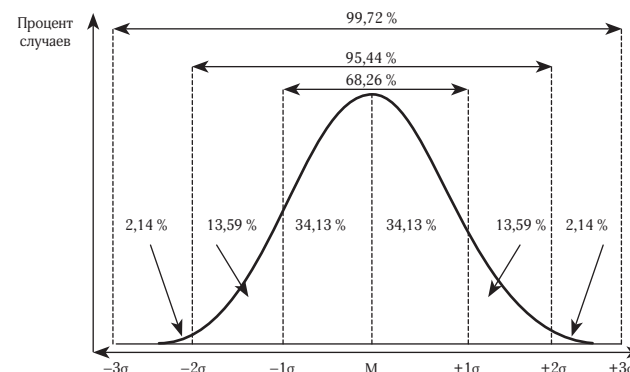


Рис. 5. Процентное соотношение случаев для кривой нормального распределения

#### 5.4. Межбиогеоценоотические связи, их механизмы и изучение

Исходя из представлений В. Н. Сукачёва об обмене веществ и энергии не только внутри биогеоценоза между его компонентами, но и между биогеоценозами, разработана проблема межбиогеоценозных связей и отношений в биогеоосфере. Суть **межбиогеоценозных связей** состоит во взаимном обмене как соседних, так и порой весьма удаленных друг от друга биогеоценозов метаболитами, энергией, организмами или их репродуктивными зачатками, а также различными материалами органического и неорганического происхождения, растворенными в воде веществами и т. п. При этом имеется в виду перемещение названных объектов как внутри биогеоценоза между его морфологическими структурами (биогеогоризонтами и парцеллами), так и между биогеоценозами (смежными и удаленными) и между биогеоценоотическим покровом и природными системами, находящимися за его пределами.

Масштабы межбиогеоценозных обменных процессов довольно велики, нередко огромны как по массе перемещаемых веществ (тучи саранчи, массовые нашествия грызунов), так и по расстоянию (на сотни и тысячи километров). Известно, например, что вынос растворенных

в воде веществ с территории РФ местами составляет 40–50 т/км<sup>2</sup>; вынос веществ в растворенном виде в Мировой океан со всей суши достигает 3 300 млн т в год, в том числе органических веществ — около 720 млн т.

Перемещение (движение) энергии, веществ и различных материалов, непосредственно или косвенно связанных с метаболизмом биогеоценоза, а также живых организмов, их зачатков, да и сами перемещающиеся объекты составляют предмет изучения особого раздела биогеоценологии, называемой **кинетикой биогеоценозов**.

В биогеоценозы постоянно поступают различные вещества и энергия из окружения; в то же время из них выносятся продукты метаболизма и некоторые отмершие органические остатки за пределы биогеоценоза. Обмен веществом, энергией и различными органическими и неорганическими материалами между биогеоценозами осуществляется разными путями:

- при помощи воды, воздуха и диффузии биогенных и других газов;
- путем расселения и перемещения растений, животных, микроорганизмов;
- благодаря наличию градиентов тепла и различных концентраций веществ в воде, почве и пр.

На основе учета циркуляции веществ различают следующие структурные элементы обмена:

а) **радиали (R)**, включающие все находящееся в движении в радиальном направлении из одного биогеогоризонта в другой и за пределы биогеоценоза;

б) **латерали (L)**, охватывающие всё перемещающееся в латеральных направлениях из одной парцеллы в пределах биогеогоризонта в другую внутри биогеоценоза и из одного биогеоценоза в другой. Множество латералей, имеющих общий путь, формирует **биогеопоток**;

в) **стационали (S)** — всё покоящееся относительно границ биогеогоризонтов, парцелл и биогеоценоза. Но «неподвижность» стационали относительна, поскольку она постоянно находится в движении вместе со всевозможными движениями биогеогоризонта и может также совершать колебательные движения (например, качание деревьев в лесу).

В этой системе стационали определяют дискретность биогеоценотического покрова и самих биогеоценозов, их относительную статичность, а латерали и биогеопотоки обуславливают непрерывность, целостность биогеоценозов и биогеоценотического покрова.

При этом смежные биогеоценозы, связанные интенсивно функционирующими горизонтальными биогеопотоками, формируются в относительно замкнутые, пространственно ограниченные, названные **биогеосистемами**.

Различают следующие типы биогеосистем:

а) **неразветвленные биогеосистемы**, в которых срединный биогеоценоз непосредственно соединен латералами с двумя соседними — начальным и финальным, эти же, в свою очередь, соединены с соседними биогеоценозами других, смежных биогеосистем;

б) **разветвленные биогеосистемы**, в которых имеются «узловой» биогеоценоз и несколько ответвленных от него в разных направлениях биогеоценозов, связанных с ним латералами и биогеопотоками;

в) **контурные биогеосистемы**, в которых связи между биогеоценозами перекрещиваются по типу сети, некоторые из них являются кольцевыми. В неразветвленных и разветвленных биогеосистемах тот или иной вид биогеопотока играет наиболее важную, ведущую роль.

Весьма важное место в структуре и функционировании биогеосферы занимают территориальные совокупности водных ценозов — **биогидросистемы**, с которыми взаимосвязаны соседние сухопутные биогеосистемы. Наиболее существенные межбиогеоценотические связи в них осуществляются биогеопотоками склонового и ложбинного поверхностного стока и верхнего горизонта подземного стока, а также геопотоками более глубоких горизонтов подземного стока, речным биогеопотоком и подрусловым геопотоком.

Граничащие друг с другом, обычно сходные биогеосистемы образуют сплошной, относительно однородный массив биогеосистем. Такого рода массивы называют **биогеомассивами**, например биогеомассив на водоразделе небольшой реки или ручья, образованный сходными биогеосистемами водосборного бассейна.

Основанием для объединения смежных биогеосистем в биогеомассивы служит то обстоятельство, что рельеф местности, отражая геологическое строение и состав горных пород, перераспределяет геопотоки

и радиали и тем самым упорядочивает и жестко фиксирует латеральную дифференциацию биогеосферы. На том же основании может быть выделен биогеомассив вдоль речной или прирученной долины и т. п.

Биогеомассивы автором подразделяются на однородные секторы, простирающиеся поперек водораздела или долины. При этом в верховьях долины и водораздела (с прилегающими склонами) в пределах того или другого биогеомассива выделяется **верховой сектор**, образованный в том и другом случае соответствующими биогеосистемами. В низовье соответственно выделяется **низовой сектор** из соответствующего набора и комбинации биогеосистем и между ними — **срединный сектор**.

Биогеомассивы и секторы биогеомассивов могут быть различными по размерам и относиться к различным рангам. Это определяется величиной речного потока и его водосборного бассейна — от ручья и небольшой речки до огромной реки, пересекающей несколько ландшафтно-географических зон в меридиональном направлении или несколько провинций — в широтном.

Совокупность биогеомассивов водосборного бассейна речной системы любой величины представляют собой **биорегион**.

Биогеорегионы водосборных бассейнов различаются по величине водотока (длине, водности, площади водосборного бассейна) и по общему направлению его (северное, южное, западное, восточное). По совокупности этих показателей биогеорегионы могут быть подразделены на градации.

I. Биогеорегионы водосборных бассейнов великих рек (Оби, Енисея, Лены), южной (Волги), восточной (Амура).

II. Биогеорегионы водосборных бассейнов крупных рек (Северная Двина, Печора, Индигирка, Колыма), южной (Днепр, Урал) и крупные притоки великих рек северной покати (Иртыш, Ангара, Подкаменная и Нижняя Тунгуски, Витим, Алдан и др.), южной покати (Кама) и восточной — составляющие Амура (Аргунь и Шилка).

III. Биогеорегионы водосборных бассейнов средних рек (латанга), южной (Дон) и внутриконтинентальных водоемов (Амударья, Сырдарья, Селенга) и средние притоки великих и крупных рек разных покатей (Припять, Десна, Ока, Сухона, Ишим, Тобол, Чулым, Кеть, Вилюй, Олёкма, Буряя и др.).

IV. Биогеорегионы водосборных бассейнов малых рек (типа Прут, Днестр, Кубань, Терек, Неман, Западная Двина, Южный Буг, Мезень, Онега, Пур, Таз, Оленек, Яна и многие другие), а также великое множество притоков рек разной величины.

V. Биогеорегионы водосборных бассейнов бесчисленного множества речек, ручьев и прочих водотоков, служащих истоками рек более крупного масштаба.

VI. Биогеорегионы водосборных бассейнов стоячих водоемов (озер, прудов, водохранилищ и т. п.).

Биогеорегионы составляют биогеоценотический покров области, зоны и провинции, которые в свою очередь объединяются в биогеоценотический покров планеты — **биогеосферу**.

**Главный объект биогеокомплексного изучения** — биогеоценоз, представляющий собой элементарную экологическую систему, способную к достаточно устойчивому существованию и автономному развитию. Биогеоценоз рассматривается как основная единица продуцирующего слоя биосферы, аккумулирующая главнейшие его свойства. Биогеоценозы существуют в своих зонально-специфических формах — зональных типах биогеоценозов. Зональные типы биогеоценозов могут иметь разную глубину зональной специфичности в силу различий их естественного возраста и сформированности. В результате антропогенных деформаций живого покрова пустынь возникают измененные, нарушенные и даже вовсе новые биогеоценозы.

Биогеоценозы в их динамическом единстве слагают биогеоценотический покров планеты, представляющий собой биопродуцирующий слой биосферы — **продуктосферу**. Комплексное изучение биогеоценотического покрова включает в себя анализ биогеоценозов как целостных природных образований, их зонально-специфических структур, функциональных связей ценоэлементов и ритмов их взаимодействия. Биопродукционный процесс (с учетом форм консервации органических веществ), характер и темп круговорота вещества и энергии (на основе исследования различных трофических уровней) и процессы «индивидуального развития» — **циклогенеза биогеоценозов**, становления и распада систем составляют специальный раздел исследований. Кроме того, для экологии представляет интерес установление закономерностей формирования естественных группиро-

вок биогеоценозов, слагающих природные уголья, урочища и ландшафты.

Сущность исследования биогеоценозов и экологических систем состоит в изучении взаимосвязей. Именно вскрытие основного механизма взаимодействий представляет главную трудность экологии. Экологическая система определяется как взаимосвязанный комплекс процессов, характеризующийся многочисленными реципрокными (взаимобратными) причинно-следственными связями.

Если целостность экологической системы крупного масштаба может быть трудно выявляемой, то целостность элементарной экосистемы, или биогеоценоза, принимается в качестве его основного свойства, обуславливающего первый принцип подхода к изучению биогеоценозов как на стадии первичного полевого исследования основных параметров ценотических элементов, так и на стадии построения модели структуры биогеоценоза и схемы функциональных связей его элементов.

Важно понять принципиальную разницу, на первый взгляд идентичных исследований, когда анализируются одни и те же компоненты природного комплекса, только в одном случае это делается как ординарное, частное ботаническое или зоологическое изучение (даже если оно касается сложных популяционных взаимоотношений), а в другом случае — как часть биогеокомплексных работ. Цели и предмет анализа в последнем случае оказываются существенно иными — это изучение биогеоценоза как экологической системы в целом, его морфологической структуры, функциональной роли частей и элементов структуры, а не просто их характеристика как таковых, хотя в обоих случаях изучаются (измеряются, учитываются и т. п.) те же самые биологические объекты и факторы среды. Методические приемы при этом могут быть одинаковыми, различной будет лишь обработка первичных данных и их трактовка.

Сущность биогеоценотического подхода заключается также в преимущественном внимании к тем свойствам природных объектов, которые определяют их контакт, связь и, что особенно важно, характер и форму взаимодействия. Отыскание контактно-активных свойств компонентов природного комплекса и функциональных узлов связей — один из принципов биогеоценотических исследований.

Целостная оценка биогеокомплекса как системы дает возможность построить схему структуры биогеоценоза далеко до завершения детальных, разносторонних и длительных комплексных исследований. Создание схемы структуры биогеоценоза — следующий принцип биогеокомплексного исследования, необходимый, ответственный рабочий этап анализа экологической системы, обеспечивающий ускорение и успех дальнейшей работы. При анализе схемы структуры биогеоценоза наиболее существенными критериями ее оценки должны быть:

- 1) степень совершенства системы (что неравнозначно уровню сложности, а определяется ее устойчивостью, функциональной пригнанностью элементов, наилучшим использованием пространства);
- 2) глубина зональной специфичности, то есть соответствие структуры зональным параметрам природной среды;
- 3) определение эволюционного возраста структуры (о чем косвенно свидетельствует глубина адаптивных особенностей);
- 4) установление стадийального состояния, то есть «индивидуального возраста» в момент исследования, что необходимо для понимания значения смен этапов циклогенеза, а также сезонных и годовых изменений;
- 5) оценка дизъюнктивности структуры — способности к сохранению жизнеспособности даже при отпадении отдельных частей системы с последующим автономным существованием оставшихся элементов структуры, которые затем могут стать основой для регенерации биогеоценоза в целом;
- 6) функциональный анализ структуры биогеоценоза в целях выявления генеральной схемы его циклики является важным принципом биогеокомплексного исследования. Следует особо подчеркнуть, что отыскание биологически активных свойств компонентов природного комплекса и функциональных узлов связей оказывается необходимым условием биокомплексных работ.

Поскольку зональный биогеоценоз представляет собой элементарную, самостоятельную единицу биопроизводящей поверхности в биосфере Земли, каждый биогеоценоз оказывается величиной — природным явлением одного и того же порядка. Изучение особенностей цикла индивидуального развития того или иного биогеоценоза включает оценку сложности схемы цикла, особенностей ритмических процессов, устойчивости цикла и условий его самовоспроизводства.

Оценка биогеоценоза как биопroduцирующей системы — еще один принцип биогеоценологического анализа. Подлинными биопroduкционными возможностями системы могут быть вскрыты и исследованы только при знании структурной организации и закономерностей ее циклических процессов. Однако нередко запасы биологической массы в отдельных биогеоценозах и биологическая продуктивность отдельных компонентов биогеоценоза изучаются ныне вне связи со специализированными биогеокомплексными исследованиями, задолго до установления структуры и циклики данного типа ценоза. Учет продукции биогеоценоза проводится чаще всего для отдельных группировок растений или растительности целых регионов и особо для разных групп животных, их локальных популяций или генераций.

Изучение биопroduкционного процесса в биогеоценозах, его географической специфики в зональных типах биогеоценозов, выяснение строения биопroduцирующих структур и условий их нормального функционирования (ритмики процесса и биопroduкционных возможностей разных типов биогеоценозов в условиях оптимального режима и при мелиоративных воздействиях) представляют специальный, трудоемкий по исполнению практически важный раздел биогеокомплексных работ.

Изучение биопroduкционных свойств биогеоценозов должно включать наряду с системой учета биомассы продуцирующих систем исследования механизма потенциальных возможностей последних, анализ процессов потребления и консервации вещества, то есть анализ ценологических путей биопroduкции и функциональной роли ее отдельных частей. Только на этой основе можно определить оптимальные нормы искусственного отчуждения доли продукции, не ослабляющие, а в некоторых случаях повышающие интенсивность продукционного процесса и обеспечивающие перспективу длительного существования данной системы. Так, правильно организованная система выпаса не снижает, а повышает биологическую продуктивность пустынных пастбищ, что основывается на закономерных биологических реакциях растительных популяций при изменении их состава. Точно так же популяции животных отвечают повышением репродуктивной активности на изъятие определенной части особей, в результате чего общая численность животных в популяции, например, промысловых зверей

не только восстанавливается, но и возрастает. При эксплуатации биокомплекса и изъятии части биопroduкции важно учитывать возможность сохранения всего биоценоза как целостного природного образования и его способности к самовосстановлению.

Вопросы правильного, научно обоснованного использования биологической продукции представляют большие трудности как в связи со сложностью и неразработанностью упомянутого выше функционально-ценологического анализа биопroduкционного процесса, так и вследствие противоречивости социально-экономических и социально-психологических (эмоционально-общественных) аспектов природопользования.

Ненормированное потребление биологической продукции нередко в настоящее время приводит к антропогенным деформациям биогеоценозов, вызывает сдвиги и разрушения в продуцирующих системах, нарушает баланс вещества и энергии и порождает потребность в проведении сложной цепи мелиоративных работ, с тем чтобы последние не только имели целью повышение выхода биопroduкции ради ее потребления, но и приобрели чисто компенсаторные и восстановительные задачи.

В этой связи следует отметить, что целенаправленное изменение биогеоценозов и создание искусственных ценологических систем представляют большие трудности и опасность из-за неразработанности комплексного научного прогнозирования как в сфере биогеосвязей, так и в части природно-социального прогноза.

Важный этап биокомплексных исследований — анализ адаптивности биогеоценоза, включающий отыскание специфических ценологических механизмов устойчивости системы. Для понимания последних большее значение имеет изучение различных сочетаний этолого-экологических и морфофизиологических адаптаций организмов, слагающих биогеокомплекс. Взаимная адаптированность организмов и возникновение системы функционального дополнения видов в их совокупной роли в биогеоценозе представляют важный показатель слаженности работы и совершенства строения биогеоценоза.

На этом пути возможны важные открытия внутриценозных механизмов групповых приспособлений организмов, которые представляют собой иной уровень (на порядок выше) индивидуального

адаптогенеза по отношению к факторам среды. Развитие таких сопряженных групповых адаптации, когда несколько видов образуют объединение (агрегацию), или «экологическую сумму», для выполнения одной биоценотической функции, следует называть «эколого-функциональными агрегациями» (ЭФА). Таковы группировки пустынных осонок (*Carex physodes*, *C. subphysodes*, *C. pachystylis*), произрастающих совместно в местах «экологических переломов», то есть на участках переходного характера, например на границе глинистой и песчаной пустынь, в предгорьях и там, где условия среды проявляют регулярную модуляционность, изменяясь в разные годы в определенном диапазоне. В таких районах у птиц наблюдаются флуктуации границ ареалов, а в биогеоценозах — смена преобладающих, доминирующих видов, осуществляющих в разные годы тем не менее одну и ту же ценотическую функцию.

Эти вопросы имеют непосредственное отношение к проблеме эволюции биогеоценозов как системных образований и представляют большую сложность, поскольку должны основываться на комплексе разнообразных исследований (экологических, в том числе популяционных, этологических, физиологических, морфологических) и синтетическом осмыслении их результатов. Анализ адаптивности биогеоценотической системы и оценка «биологического смысла» ценотических конструкций представляют собой еще один принцип биокомплексных исследований.

Особый предмет в биогеокомплексных исследованиях представляют сукцессии в биогеоценозах как проявление динамических процессов в природе и динамические группировки (и ряды) биогеоценозов, определяющие тип ландшафта. Анализ свойства сукцессионности биогеоценологических образований — важнейший принцип биогеокомплексных исследований.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Как определяется среднеарифметическое значение?
2. Что такое типическая выборка?
3. Геоинформационные технологии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батанина, Е. В. Биологические методы в агроэкологии [Электронный ресурс] : методические указания по учебной практике / Е. В. Батанина ; Красноярский государственный аграрный университет. — Красноярск, 2019. — 42 с.
2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учебное пособие / О. П. Мелехова [и др.] ; под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Сарапульцевой. — 2-е изд., испр. — М. : Академия, 2008. — 287 с.
3. Биосфера и ее ресурсы : сборник статей / под ред. В. А. Ковды. — М. : Наука, 1971. — 312 с.
4. Будыко, М. И. Глобальная экология / М. И. Будыко. — М., 1977. — 327 с.
5. Вернадский, В. И. Биосфера: (Избр. труды по биогеохимии) / [ред., вступ. статья, с. 3–23, и примеч. д-ра геол.-минерал. наук А. И. Перельмана]. — М. : Мысль, 1967. — 376 с.
6. Горелик, Д. О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источники выбросов / Д. О. Горелик, Л. А. Конопелько. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 433 с.
7. Двораковский, М. С. Экология растений / М. С. Двораковский. — М. : Высшая школа, 1983. — 190 с.
8. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — М. : Гидрометеоиздат, 1984. — 375 с.
9. Кабиров, Р. Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р. Р. Кабиров, А. Р. Сагитова, Н. В. Суханова // Экология. — 1997. — № 6. — С. 408–411.
10. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. — М. : Колос, 1996. — 367 с.
11. Методы исследований в агрохимии : краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.01.06 «Сельское хозяйство» / сост. Е. А. Нарушева. — Саратов, 2014.

12. Минеев, В. Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В. Г. Минеев, Е. Х. Ремпе. — М. : Росагропромиздат, 1990. — 206 с.
13. Одум, Ю. П. Основы экологии / Ю. П. Одум. — М. : Мир. — 1975. — 740 с.
14. Одум, Ю. Экология / Ю. П. Одум. — М. : Мир, 1986. — Т. I. — 328с. — Т. 11. — 376 с.
15. Проблемы современной ботаники : [Материалы съезда]: [В 2 т.] / [ред. коллегия: Е. М. Лавренко (отв. ред.) и др.]. — М. ; Л. : Наука [Ленингр. отд-ние], 1965. — 2 т. (50 лет Всесоюзному ботаническому обществу/ Акад. наук СССР. Всесоюз. ботан. о-во).
16. Садовникова, Л. К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении : учебное пособие / Л. К. Садовникова, Д. С. Орлов, И. Н. Лозановская. — 4-е изд., стер. — М. : Высшая школа, 2008. — 333 с.
17. Сибиркина, А. Р. Геохимия с основами агрохимии : курс лекций / А. Р. Сибиркина. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2019. — 287 с. (Классическое университетское образование).
18. Социальная экология: основы и роль в социологии — полное объяснение // Научные статьи.Ру — портал для студентов и аспирантов. — URL <https://nauchniestati.ru/spravka/soczialnaya-ekologiya-kak-otrasl-socziologii/> (дата обращения: 20.01.2024).
19. Степановских, А. С. Экология : учебник для вузов / А. С. Степановских. — М. : Юнити-Дана, 2001. — 703 с.
20. Сукачёв, В. Н. Основы лесной биогеоценологии / В. Н. Сукачёв. — М. : Наука, 1964. — 256 с.

*Учебное издание*

СИБИРКИНА Альфира Равильевна  
ЛИХАЧЕВ Сергей Федорович

**ПРОГРАММА И МЕТОДИКА  
БИОГЕОЦЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Курс лекций*

Корректурa и вёрстка *М. В. Трифионовой*

Дизайн обложки ...

Подписано в печать 15.03.24.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. л. 7,4. Уч.-изд. л. 6,5.  
Тираж 300 экз. Заказ 91

Челябинский государственный университет  
454001, Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129  
Отпечатано в издательстве  
Челябинского государственного университета  
454021, Челябинск, ул. Молодогвардейцев, 57б