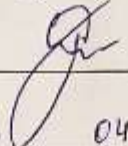


Учреждение образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Факультет биологический
Кафедра зоологии, физиологии и генетики

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 Г.Г. Гончаренко
13 04 2018 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 В.С. Аверин
13 04 2018 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Экология с основами метеорологии

для специальности (направления специальности)

1-75 01 01 «Лесное хозяйство»

Рассмотрено и утверждено на заседании
кафедры зоологии, физиологии и генетики
13.04.2018 г. протокол № 10

Составители:

к.б.н., доцент Галиновский Н.Г., старший преподаватель Потапов Д.В.,
член-корр. НАН Беларуси, д.б.н., профессор Гончаренко Г.Г.

Рассмотрено и утверждено
на заседании научно-методического совета
УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»
13 05 2018 г.,
протокол № 8

**02 Содержание учебно-методического комплекса по дисциплине
«Экология с основами метеорологии»
для специальности
1-75 01 01 «Лесное хозяйство»**

- 01 Титульный лист
- 02 Содержание
- 03 Пояснительная записка
- 1 Теоретический раздел
 - 1.1 Перечень теоретического материала
- 2 Практический раздел
 - 2.1 Перечень лабораторных работ
 - 2.2 Задания к лабораторным работам
 - 2.3 Перечень практических работ
 - 2.4 Задания к практическим работам
- 3 Контроль знаний
 - 3.1 Перечень вопросов к экзамену
 - 3.2 Критерии оценок по дисциплине
 - 3.3 Образец тестовых заданий по дисциплине
- 4 Вспомогательный раздел
 - 4.1 Учебная программа дисциплины
 - 4.2 Перечень рекомендуемой литературы

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

03 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Экология с основами метеорологии» рассчитан на студентов 1 курса биологического факультета, специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство».

Дисциплина «Экология с основами метеорологии» относится к циклу «Общепрофессиональные и специальные дисциплины» учебного плана по специальности «Лесное хозяйство». Знания в области экологии, а также представления о процессах, происходящих в атмосфере Земли, являются основой для более комплексного освоения таких специальных дисциплин как «Лесная пирология», «Биология лесных зверей и птиц», «Генетика и селекция», «Лесоводство» и др. Подготовка специалистов в области экологии особенно актуальна в связи с изучением неблагоприятных последствий Чернобыльской катастрофы.

Изучение экологии и метеорологии необходимо для более совершенного усвоения знаний о процессах, происходящих в лесных биоценозах и парковых насаждениях, а также поможет специалистам принимать наиболее рациональные решения при ликвидации негативных результатов антропогенного взаимодействия на природные биоценозы. Подготовка специалистов в области экологии также необходима при выполнении экспертиз, связанных с охраной окружающей среды.

Целью электронного учебно-методического комплекса является профессиональная подготовка специалистов лесного хозяйства в области общей экологии и метеорологии.

Задачей ЭУМК является изучение методов и средств экологических и метеорологических исследований для определения параметров окружающей среды, формирование навыков и выработка умений моделирования взаимоотношений между элементами природных сообществ.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

знать:

- методы и методики экологических, метеорологических и микроклиматических исследований в лесу;
- классификацию экологических факторов и их роль в жизни лесных и парковых насаждений;
- компоненты лесного биоценоза;
- определение и механизмы функционирования популяции, её роль в формировании лесного биоценоза;
- определения, закономерности образования и функционирования биоценоза и экосистемы;
- приборы для ведения метеорологических наблюдений;
- состав и строение атмосферы;
- процессы нагревания, охлаждения, источники влажности, атмосферное давление, воздушные течения в атмосфере;
- определение погоды и особенности её формирования, неблагоприятные явления погоды;

- климатообразующие факторы и их влияние на лесную растительность.

уметь:

- выполнять системный анализ лесного растительного сообщества;
- определять характеристики и выполнять описание растительных ассоциаций и популяций;
- определять и рассчитывать основные метеорологические показатели, дать прогноз заморозков и загораемости лесов.

владеть:

- методами анализа лесного биоценоза;
- методами определения основных метеорологических величин

Изучение дисциплины «Экология с основами метеорологии» предусмотрено студентами дневной формы обучения 1 курса (1 семестр) и студентами заочной формы обучения 1 и 2 курсов (1, 2 и 3 семестры) специальности 1–75 01 01 Лесное хозяйство.

Общее количество часов для **студентов дневной формы обучения** – 192 (5 зачётных единиц), аудиторных – 86 (из них лекционных – 50 часов, лабораторных занятий – 18 часов, практических занятий – 18 часов). Форма отчетности – зачёт, экзамен.

Общее количество часов для **студентов заочной формы обучения** в 1 семестре – 60 (1 зачётная единица), аудиторных – 8 (все – лекционные). Общее количество часов во 2 семестре 50 (1 зачётная единица), аудиторных – 8 часов (из них лекции – 6 часов, практические занятия – 2 часа). Общее количество часов во 3 семестре 82 (3 зачётных единиц), аудиторных – 8 часов (все – практические занятия). Форма отчетности – зачёт, экзамен.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Перечень теоретического материала

Раздел 1 ЭКОЛОГИЯ

Тема 1 Введение в экологию

Тема 2 Основные среды жизни. Биологические ритмы

Тема 3 Факторы окружающей среды и закономерности их воздействия на организм

Тема 4 Абиотические факторы и адаптации к ним организмов

Тема 5 Особенности действия экологических факторов в лесной среде

Тема 6 Общая характеристика популяции как биологической системы

Тема 7 Динамика популяций

Тема 8 Понятие о биоценозе. Концепция экологической ниши

Тема 9 Биологическое разнообразие

Тема 10 Биоценотические связи. Формы межвидовых связей

Тема 11 Концепция экосистемы

Тема 12 Динамика экосистем

Тема 13 Учение о биосфере

Тема 14 Экология и деятельность человека

Раздел 2 ОСНОВЫ МЕТЕОРОЛОГИИ

Тема 15 Метеорология и её связь с другими науками

Тема 16 Строение атмосферы, её химический состав и физические свойства

Тема 17 Радиационный баланс земной поверхности

Тема 18 Температурный режим атмосферы

Тема 19 Температурный режим подстилающей поверхности и почвы

Тема 20 Водяной пар в атмосфере

Тема 21 Облака и атмосферные осадки

Тема 22 Барическое поле

Тема 23 Ветер и общая циркуляция атмосферы

Тема 24 Погода и её прогноз

Тема 25 Основы климатологии

ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ

1. *Экология как биологическая наука*
2. *Виды экологических дисциплин*
3. *Основные экологические проблемы современности*

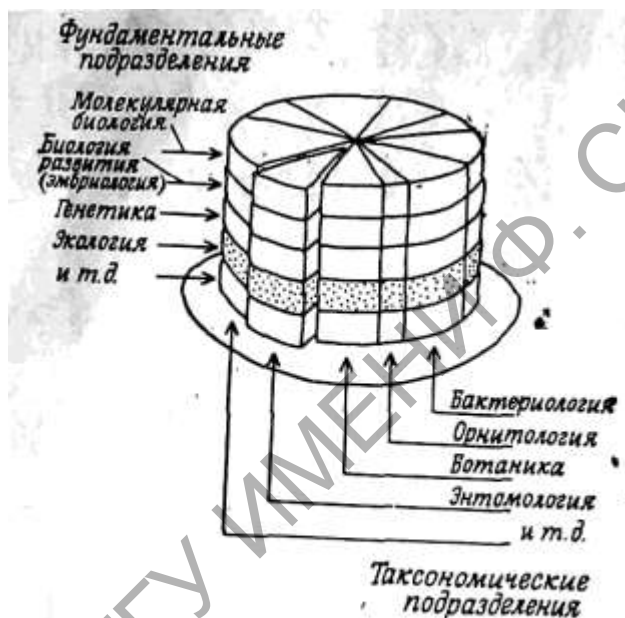
1. **Экология как биологическая наука**

Человек интересовался экологией с практической точки зрения с самых ранних периодов своей истории. В примитивном обществе каждый индивидуум, для того чтобы выжить, должен был иметь определенные знания об окружающей среде, о силах природы, о растениях и животных, которые его окружали. Фактически цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства, позволившие ему изменить среду своего обитания.

Подобно всем другим областям знания экология развивалась непрерывно, но неравномерно. Труды Гиппократ, Аристотеля и других древнегреческих философов содержат сведения явно экологического характера. Однако греки не знали слова «экология». Термин этот недавнего происхождения. Он был предложен, немецким биологом Эрнстом Геккелем в 1869 г. Многие великие деятели «биологического Возрождения» (XVIII—XIX вв.) внесли свой вклад в эту область, хотя название «экология» долгое время не употреблялось. Например, Антон ван Левенгук, более известный как один из первых микроскопистов начала XVIII в., был также пионером в изучении «пищевых цепей» и регулирования численности популяций – двух важных разделов современной экологии. Как самостоятельная наука экология сформировалась приблизительно к 1900 г. но лишь в последние десятилетия это слово приобрело особую популярность. В наши дни каждый остро осознает важность наук о среде для поддержания и повышения уровня современной цивилизации. Экология быстро становится отраслью науки, теснейшим образом связанной с повседневной жизнью каждого человека, будь то мужчина, женщина или ребенок.

Слово «экология» образовано от греческого *ойкос*, что означает «дом» или «жилище». Термин «экология» (от греч. *oikos* – жилище, местообитание и *logos* – наука) предложил Э. Геккель в 1866 г. для обозначения биологической науки, изучающей взаимоотношения животных с органической и неорганической средами. Обычно экологию определяют как науку об

отношениях организмов или групп организмов к окружающей их среде, или как науку о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания. Поскольку экология занимается преимущественно биологией *групп* организмов и *функциональными процессами* на суше, в море и в пресных водах, определение этой области исследований как науки о структуре и функциях природы будет более соответствовать ее современному направлению, причем человечество рассматривается как часть природы.



Фиг. 1. «Слоеный пирог» биологии. Фундаментальные (горизонтальные) и «таксономические» (вертикальные) подразделения.

Чтобы лучше понять предмет и задачи экологии, рассмотрим отношение этой последней к другим областям биологии.

Сейчас слово «экология» для многих означает «совокупность человека и окружающей среды». Но давайте вначале рассмотрим более традиционное, академическое положение экологии в семье наук.

Остановимся вкратце на том, как подразделяется «наука о жизни» – биология. Если представить себе структуру биологии в виде «слоеного пирога», то его можно разрезать на куски двумя разными способами, как показано на рис. 1. Можно делить его по горизонтали – тогда мы получим «фундаментальные» науки, изучающие основные, фундаментальные свойства жизни (морфология, физиология, генетика, теория эволюции, молекулярная биология и биология развития). Мы можем также делить его

по вертикали и получим так называемые «таксономические» науки, изучающие морфологию, физиологию, экологию и т. д. определенных организмов (крупные – зоология, ботаника и бактериология, а подразделения, более узкие – фикология, протозоология, микология, энтомология, орнитология и т. д.). Экология относится к фундаментальным разделам биологии и как таковая является составной частью каждого и всех таксономических подразделений.

Определяя экологию «фундаментальную» науку, необходимо сформулировать и обосновать ее общие принципы. Лучше всего можно определить содержание современной экологии исходя из концепции *уровней организации*, которые составляют своего рода «биологический спектр», как это показано на рис. 2. Сообщество, популяция, организм, орган, клетка и ген – главные уровни организации жизни.

Взаимодействие с физической средой (энергией и веществом) на каждом уровне обуславливает существование определенных функциональных систем. Под *системой* подразумевается именно «упорядоченно взаимодействующие и взаимозависимые компоненты, образующие единое целое». Системы, содержащие живые компоненты (биологические системы, или биосистемы), можно выделять на любом из уровней, представленных на рис. 2, или на любом промежуточном уровне, удобном или полезном для исследования. Например, мы можем рассматривать не только системы генов, органов и т. д., но также системы «паразит-хозяин», что соответствует промежуточному уровню между популяцией и сообществом.



Фиг. 2. Спектр уровней организации.

Экология изучает уровни, находящиеся в правой части спектра, т. е. уровни организации от организмов до экосистем.

Экология изучает преимущественно те системы, которые расположены в правой части приведенного спектра, т. е. системы выше уровня организмов. Термин *популяция* (от лат. *populus* – народ), первоначально применявшийся для обозначения групп

людей, в экологии приобрел более широкое значение и относится к группе особей любого вида организмов. Точно так же *сообщество* в экологическом смысле (иногда говорят «биотическое сообщество») включает все популяции, занимающие данную площадь. Сообщество и неживая среда функционируют совместно как экологическая система, или *экосистема*. Сообществу и экосистеме приблизительно соответствуют часто употребляемые в европейской и русской литературе термины *биоценоз* и *биогеоценоз*. Самая крупная и наиболее близкая к идеалу «самообеспечения» биологическая система, известная нам, – это *биосфера*, или *экосфера*; она включает все живые организмы Земли, находящиеся во взаимодействии с физической средой Земли, в результате чего эта система, через которую проходит поток энергии от мощного ее источника, Солнца, и которая переизлучает в космическое пространство, поддерживается в состоянии устойчивого равновесия. Отметим, что в приведенном выше «спектре» нет четких границ или разрывов даже между уровнями организма и популяции.

Основные формы существования видов животных, растений и микроорганизмов в естественной среде обитания – это внутривидовые группировки (популяции) или многовидовые сообщества (биоценозы). Поэтому современная экология изучает взаимоотношения организмов и среды на популяционно-биоценотическом уровне. Конечной целью экологических исследований является выяснение путей, с помощью которых вид сохраняется в постоянно меняющихся условиях среды. Процветание вида заключается в поддержании оптимальной численности его популяций в биогеоценозе.

Таким образом, основным **содержанием** современной экологии является исследование взаимоотношений организмов друг с другом и со средой на популяционно-биоценотическом уровне и изучение жизни биологических макросистем более высокого ранга: биогеоценозов (экосистем) и биосферы, их продуктивности и энергетики.

Предмет исследования экологии – это биологические макросистемы (популяции, биоценозы, экосистемы) и их динамика во времени и пространстве.

Из содержания и предмета исследований экологии вытекают и ее основные **задачи**, которые могут быть сведены к изучению динамики популяций, к учению о биогеоценозах и их системах. Структура биоценозов, на уровне формирования которых, как

было отмечено, происходит освоение среды, способствует наиболее экономичному и полному использованию жизненных ресурсов. Поэтому главная теоретическая и практическая задача экологии заключается в том, чтобы вскрыть законы этих процессов и научиться управлять ими в условиях неизбежном индустриализации и урбанизации нашей планеты.

2. Виды экологических дисциплин

Однако все, о чем шла речь выше, касается только части современной экологии – так называемой биоэкологии. Когда-то этот термин имел широкое распространение, но позже его применение сузилось. В настоящее время в связи с проникновением экологии практически во все отрасли науки, культуры и хозяйства представляется целесообразным восстановить этот термин, под которым следует подразумевать часть общей экологии, входящей в группу общих биологических наук. Именно биоэкологии в основном и посвящен настоящий курс.

Современная экология неоднородна и разделена на массу дисциплин, объединенных в 3 блока: «биоэкология», «экосистемы и земные сферы», «человек и природа»:

1. Биоэкология:
 - экология микроорганизмов;
 - экология грибов;
 - экология растений;
 - экология животных;
 - палеоэкология.
2. Экосистемы и земные сферы:
 - экология тундр и арктических пустынь;
 - лесная экология;
 - экология степей;
 - экология пустынь;
 - экология гор;
 - экология островов;
 - экология континентальных вод;
 - экология морских побережий, лиманов и эстуариев;
 - экология океана;
 - космическая экология;
3. Человек и природа:
 - археоэкология;
 - историческая экология;
 - экология человека;
 - экология города;
 - инженерная экология;
 - сельскохозяйственная экология;
 - промышленная экология;
 - рекреационная экология;
 - экология и медицина;
 - экология и культура;
 - экология и мораль;

- экология и право;
- экологическое обучение и воспитание;
- экологическое прогнозирование;
- экология и экономика;
- экология и политика.

3. Основные экологические проблемы современности

В настоящее время экологические проблемы современности по своим масштабам условно могут быть разделены на *локальные, региональные и глобальные*, а среди большинства международных экологических конфликтов можно выделить четыре категории: *распределение водных ресурсов, загрязнение морей, чистота воздуха, чистота воды*.

Завод, сбрасывающий без очистки в реку свои промышленные стоки, вредные для здоровья людей, хищническая рубка векового лесного массива, ненормированные выбросы вредных веществ в атмосферу в результате работы промышленного предприятия – все это примеры **локальных** экологических проблем.

Примером **региональных** экологических проблем может служить проблема Полесья – болотистого края с недавно проведенной масштабной мелиорацией. Неправильный, неэкологичный подход к выбору мелиорируемых объектов и ненаучные методы проведения мелиорации привели к тому, что южная часть Беларуси выведена из состояния экологического равновесия. Шли под сведения леса, спрямлялись реки, уничтожались гнездовья водоплавающих птиц. В результате пропали озера, уничтожен лес, постоянно распахивались торфяники. Все это привело к черным пылевым бурям, которые периодически в апреле-мае закрывают горизонт. Верхний слой торфа сносится ветром и обнажаются подстилающие пески. Если учесть, что болота – санитары агроэкосистем, т.е. играют важную роль как регуляторы гидрологического режима территорий, запасают влагу в период таяния снегов и осенних осадков, а также питают ручьи и реки в сухие периоды года, то пример экологической катастрофы налицо.

Однако антропогенное воздействие на природу достигло таких масштабов, что возникли проблемы **глобального** характера, о которых в начале XX в. никто не мог даже подозревать. К основным глобальным экологическим проблемам современности, находящимся в поле зрения человечества в начале XXI в. относятся:

- изменение климата Земли, парниковый эффект (глобальное антропогенное потепление);
- разрушение озонового экрана, возникновение так называемых «озоновых дыр»;
- химическое загрязнение атмосферы, и, как следствие этого, образование кислотных осадков;
- демографический взрыв, относительное перенаселение Земли в некоторых регионах, чрезмерная урбанизация;
- загрязнение почв, уменьшение их площадей;
- загрязнение Мирового океана и изменение свойств океанических вод за счет нефтепродуктов, насыщения их углекислым газом атмосферы;
- загрязнение поверхностных вод суши;
- радиоактивное загрязнение локальных участков с тенденцией его расползания по поверхности Земли;
- опустынивание обширных территорий;
- истребление лесного покрова Земли – основного источников поддержания кислородного баланса планеты;
- продолжающееся накапливание на поверхности Земли бытового мусора и всякого рода твердых и жидких отходов;
- уменьшение биологического разнообразия флоры и фауны и устойчивости экосистем;
- замусоривание околоземного космического пространства;
- изменение геохимии ландшафтов в связи с теплоэнгергетикой, перераспределением элементов между недрами и поверхностью Земли в результате горнометаллургического передела (например, концентрация тяжелых металлов) или извлечения на поверхность аномальных по составу высокоминерализованных подземных вод и рассолов;
- нарушение глобального и регионального экологического равновесия, соотношения экологических компонентов в прибрежной части суши и моря;
- освобождение в результате всех вышеуказанных процессов экологических ниш и заполнение их иными видами;
- исчерпание многих месторождений минерального сырья и постепенный переход от богатых ко все более бедным рудам;
- усиление социальной нестабильности, как следствия все большей дифференциации разнообеспеченных слоев населения многих стран, возрастания уровня вооруженности их населения, криминализации, природных экологических катаклизмов.

Таковы основные насущные экологические проблемы современности. Решение их, а значит, и спасение жизни на Земле, зависит не только от профессиональных экологов, но также и от всех жителей планеты.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЛЕКЦИЯ 2 ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ

- 1 Водная среда
- 2 Наземно-воздушная среда
- 3 Почва как среда жизни
- 4 Живой организм как среда жизни
- 5 Биологические ритмы

1 Водная среда

Организмы освоили четыре среды жизни, существенно различающиеся по специфике физико-химических условий: водную, наземно-воздушную, почву, живые организмы.

Водная среда является первой, самой древней и наиболее обширной средой жизни (71% площади земного шара). Жизнь в ней распространилась по всей ее толще. Водная среда более однородна, чем суша, и по разнообразию форм (150000 видов животных и 10000 видов растений) значительно уступает наземно-воздушной среде

Вода обладает рядом уникальных термодинамических свойств, связанных с малыми размерами молекулы, ее полярностью и наличием водородных связей.

Свойства воды:

1) высокая удельная теплоёмкость (на нагревание 1 мл воды на 1 °C расходуется 1 кал тепла) – в 4 раза большая, чем удельная теплоемкость воздуха. Как следствие – водоёмы аккумулируют тепло (Мировой океан поглощают солнечной энергии в 2 раза больше, чем суша).

2) высокая скрытая теплота парообразования (при испарении 1 г воды поглощается 536 кал). Как следствие – водоемы не перегреваются, а медленно нагреваются, а отдавая тепло медленно остывают, чем в значительной степени ослабляют годовые, суточные и даже часовые колебания температурных режимов.

3) изменение плотности. При замерзании вода уменьшает свою плотность (лед легче воды, его плотность меньше единицы), что предохраняет водоемы от сплошного промерзания, так как их поверхность покрывается льдом. Процесс замерзания сопровождается выделением значительного количества тепла, которое замедляет образование ледяного покрова. Наибольшей плотностью вода обладает при температуре 4 °C, чем обеспечивается процесс перемешивания и замерзания водных масс.

4) практически несжимаема. Её состояние на дне океана мало чем отличается от состояния в поверхностных слоях.

5) самое большое поверхностное натяжение. Благодаря силам когезии вода легко передвигается по сосудам, а мелкие организмы удерживаются или легко скользят по ее поверхности.

6) слабая испаряемость.

7) универсальный растворитель (в биосфере никогда не бывает химически чистой).

Специфику водной среды составляют подвижность воды, большая плотность, свет, малое содержание кислорода, температурный режим, соленость, наличие взвешенных частиц.

1) *Подвижность*. Определяет перемешивание вод, выравнивание температурного режима, обеспечение гидробионтов кислородом и питательными веществами, а также в некоторой степени возможность их перемещения.

2) *Плотность*. По плотности вода примерно в 800 раз превосходит воздушную среду, а давление на каждые 10 м глубины возрастает на 1 атм, достигая в придонных слоях глубоководных водоемов до 1000 атм. Плотность воды позволяет растениям со слабым развитием механической ткани и бесскелетным формам животных находиться во взвешенном состоянии.

3) *Свет*. Это лимитирующим фактор, ограничивающий распространение растений в водной толще. Океаническая толща по мере поглощения света водой (красные лучи поглощаются у самой поверхности, а наиболее глубоко проникают сине-зеленые лучи) делится на следующие зоны:

а) освещенная, или эуфотическая, зона (до 200 м в чистых водоемах). Это зона фотосинтеза;

б) сумеречная, или дисфотическая, зона (до 1000–1500 м);

в) тёмная, или афотическая, зона (глубже 2000 м).

При недостатке света зелёные водоросли с глубиной сменяются бурыми (содержат хлорофилл и пигменты фикофеин и фукосантин), а они – красными (хлорофиллы а и в, каротины, ксантофилы, фикоэритрин и фикоцианин). Для животных, низших растений, бактерий, живущих в темной толще воды, характерно явление свечения – *биолюминесценции* (окисление люциферинов с помощью белковых катализаторов люцифераз).

Освещенность водоемов зависит от количества взвешенных минеральных и органических частиц, а также от сезона года.

4) *Малое содержание кислорода (до 10 мл в 1 л)*. В атмосфере – в 21 раз больше. Основные источники кислорода – фотосинтез и диффузия из воздуха. Диффундирует кислород очень медленно (10 м за 11 лет). Концентрация повышается от экватора к полюсам (уменьшается температура) и уменьшается с глубиной, повышением температуры, солености воды и при замерзании.

Недостатка в углекислом газе растения не испытывают (в 60 раз больше, чем в атмосфере). Содержание CO₂, постепенно увеличивается с глубиной.

5) *Устойчивый* температурный режим. Среднегодовая температура поверхностных слоев экваториальных вод около 27°C, полярных вод — около 0°C. С глубиной температура воды в океанах постепенно падает и на глубине 1 км не превышает 4°C, а на глубже колеблется от -1,8 до +2 °C.

Зона между верхними слоями воды с выраженными сезонными колебаниями температуры и нижними слоями воды с постоянным тепловым режимом – *термоклин* (наиболее выражен в теплых морях).

б) Соленость. Определяется содержанием карбонатов, сульфатов, хлоридов и др. Концентрация солей в 1 л воды пресноводных водоемов не превышает 0,5‰, в морях и океанах – до 35‰. Так как пресноводные организмы гипертоничны по отношению к среде им постоянно угрожает излишнее обводнение в результате осмоса, они не потребляют воду и имеют хорошо развитую выделительную систему. Гидробионты солёных водоемов, наоборот, гипотоничны по отношению к среде и во избежание обезвоживания путем оттока воды, вынуждены постоянно пить солёную воду. По причине этих биологических особенностей пресноводные виды не могут жить в морях, а морские – не переносят опреснения.

2 Наземно-воздушная среда

Включает часть атмосферы и поверхность земли, которая служит местом прикрепления, размножения растений и животных. Воздух не может обеспечить организму твёрдой опоры и наземные организмы обладают опорной системой (механические ткани у растений, скелеты у животных). Опорой и одновременно источником воды и минеральных веществ для наземных растений служит почва. Малая плотность воздуха определяет его малую подъемную силу. Воздух оказывает слабое сопротивление передвижению организмов по земле, благоприятствует полёту в воздухе, но затрудняет подъем по вертикали.

С высотой давление воздуха понижается, обеспеченность кислородом уменьшается, что ведет к учащению дыхания и обезвоживанию (высота 6 км – верхняя граница жизни животных).

Среда неоднородна по горизонтали и вертикали и прерывна. Физическими барьерами служат горы, реки, пустыни.

Специфические особенности: хорошая обеспеченность светом, постоянство и высокое содержание кислорода (до 21%), азота (78,1%) и других газов, постоянное движение воздушных масс (ветер, бури, ураганы), осадки (ливневые или морозящие дожди, снег), значительные колебания температурного режима.

Количество тепла, как и количество выпадающих осадков, зависит от широты местности, сезона года и даже времени суток. Влажность в наземно-воздушной среде – важный лимитирующий фактор.

Распределения солнечной энергии по широте и высоте, неравномерность увлажнения (на суше) определяют явление географической зональности и вертикальной поясности. Годовая температура понижается при движении с юга на север на каждые 100 км (или 1° широты) на 0,5 °С, а с поднятием в горы – на 0,6 °С на каждые 100 м. Зональный характер несут основные природные процессы: климатические, гидрологические, геохимические, эдафические, геоморфологические, биогеографические и др.

В соответствии с явлением зональности и поясности хорошо выражена дифференциация географической оболочки Земли. В северном полушарии выделяют природные зоны: ледовую, тундровую, лесотундровую, хвойных лесов, или таежную, широколиственных лесов, лесостепную, степную, полупустынную, пустынную умеренную, субтропических лесов, пустынную тропическую, саванную и экваториальных лесов. От подножья гор к вершинам, подобно широтной зональности, проявляется вертикальная поясность. Зоны и пояса отличаются определенным сочетанием тепла и влаги, характерным типом почв.

Природными особенностями зон и поясов в значительной степени определяются биоразнообразие, образ жизни и характер адаптации организмов.

3 Почва как среда жизни

Образование почвы связано с литогенным процессом, ведущим к образованию глинистых минералов, и процессом биогенным, способствующим образованию гумуса – устойчивого органического вещества. Сначала влажные участки суши заселялись цианобактериальными, затем альгобактериальными и альгогрибными сообществами. Почва как корнеобитаемая система начала формироваться с появлением сосудистых растений. Она примерно 450 млн лет назад сменила древнюю кору выветривания.

Твёрдые частицы почвы окружены воздухом и водой, поэтому она обладает рядом специфических физических свойств и существенно отличается от других сред жизни. От горных пород почва отличается особым качественным свойством – *плодородием*. Почва обладает определенными водно-воздушным и температурным режимами и рядом специфических свойств.

Почва соприкасается с подстилающей горной породой, атмосферой, поверхностными и подземными водами. Между почвой и этими природными телами, а также растениями и животными происходит постоянный обмен веществом и энергией.

Почва является трёхфазной системой:

- 1) Твёрдая фаза почвы подразделяется на:
 - а) *органическую*;
 - б) *минеральную*;
 - в) *органоминеральную*;

2) Воздушная фаза подразделяется на:

а) газообразную;

б) парообразную;

3) Водная фаза почвы включает в себя воду:

а) свободную:

- гравитационная (скапливается в крупных порах, удерживается в почве с силой менее 0,3 атм., просачивается сквозь почву под действием силы тяжести (нисходящий ток), легко доступна животным и растениям. Дойдя до водонепроницаемого слоя, вода начинает накапливаться над ним и становится грунтовой);

- капиллярная (заполняет почвенные поры диаметром 0,2-8,0 мкм, легко испаряется, передвигается по порам (восходящий ток) и используется растениями);

б) сорбционно связанная:

- гигроскопическая (сорбируется почвой из паров, находящихся в воздухе. Она окружает почвенные частицы в виде пленки, прочно удерживается силами притяжения этих частиц, не передвигается и недоступна для использования);

- рыхлосвязанная, или плёночная (располагается на поверхности плёнки гигроскопической воды, заметно утолщая ее, может переходить от почвенных частиц с более толстой пленкой к частицам, у которых пленка тоньше (плёночное передвижение))



Типы почвенной воды

Почвенная влага представляет собой раствор. Его состав и концентрация зависят от характера почвы. Важнейшим показателем почвенной среды является реакция pH почвенного раствора.

Известковые, засоленные почвы имеют pH почвенного раствора >7 , а сфагnumовые торфяники – <4 . Кислотность существенно влияет на рост растений и жизнь животных.

Для водного, воздушного и температурного режимов почвы, а следовательно, для жизни организмов, большое значение имеют сложение, структура и порозность почвы:

1) Сложение почвы. Отражает степень и характер её плотности и порозности. Сложение определяется гранулометрическим составом почвенных компонентов, химическим составом и влажностью. Наиболее благоприятны для жизни организмов почвы с рыхлым сложением в отличие от почв плотного и очень плотного сложения.

2) Структура почвы. Определяется степенью выраженности отдельностей (агрегатов), которые имеют разную форму (кубовидную, призматическую, плитовидную) и величину (от 1 мм до 10 см). Агрегирование определяется физическими процессами, корневой

системой растений, жизнедеятельностью почвенных организмов, наличием в почве гумуса, глинистого вещества, ионов кальция и магния, гидроксидов железа и алюминия, зависит также от механического состава почвы и степени ее обработки. Структурные почвы обладают благоприятным водно-воздушным режимом и максимально наполнены жизнью.

3) *Порозность* почвы, или *скважность*. Характеризуется наличием полостей (пор) между частицами почвы и зависит от структуры почвы, ее плотности. Количество пор и их размеры уменьшаются с глубиной. Порозностью обеспечивается циркуляция воды и воздуха, жизнь и передвижение животных в почве. Почва с низкой порозностью менее всего пригодна для жизни.

Почвенный воздух содержит всегда меньше кислорода и больше углекислоты, чем воздух атмосферный. Количество кислорода уменьшается с глубиной, повышением влажности и температуры почвы. При пониженных температурах кислород более интенсивно заполняет пространства между почвенными частицами. Количество углекислого газа с глубиной, как правило, возрастает. При избыточном увлажнении, гниении растительных остатков в почве могут создаваться анаэробные условия, накапливаться аммиак, сероводород, метан и другие токсические газы.

Большое значение имеет *температурный режим* почвы. Основным источником тепла является солнечная радиация. Некоторое количество тепла почва получает от воздуха в результате разложения органических остатков и из недр земли. Резкие температурные колебания затрагивают только самые верхние ее слои и на глубине более 1 м заметно сглаживаются. Почва обладает способностью поглощать тепло, но ее теплоемкость значительно ниже теплоемкости воды.

4 Живые организмы как среда жизни

В процессе развития живых организмов сформировалась особая биотическая среда. Предпосылками для её возникновения послужила гомеостазированность организмов. Явление проживания в среде организма получило широкое распространение.

Особенности организма как среды:

- 1) постоянство физико-химических параметров;
- 2) неограниченный запас пищи;
- 3) укрытие от потенциальных врагов;
- 4) ограниченное жизненное пространство;
- 5) недостаточное обеспечение кислородом;
- 6) защитные реакции организма хозяина.

5 Биологические ритмы

Живые организмы для распределения своих функций во времени и «программирования» жизненных циклов используют есте-

ственную периодичность абиотических факторов, чтобы как можно более оптимально использовать благоприятные условия.

Многие формы поведения организмов повторяются с регулярными интервалами. Главный признак ритмических процессов – их повторяемость. Ритмы, регистрируемые в живом мире, именуется биологическими. *Биологические ритмы* – это регулярные количественные и связанные с ними качественные изменения биологических процессов, происходящие на разных уровнях организации живого: молекулярно-генетическом, клеточном, тканевом, органном, организменном, популяционно-биосферном. По степени зависимости от внешних условий биоритмы разделяют на экзогенные и эндогенные.

Экзогенные ритмы регулируются внешними факторами (зависят от ритмики геофизических и космических факторов: фотопериодизма, температуры окружающей среды, атмосферного давления, ритма космического излучения, гравитации и т.д.).

Эндогенные ритмы задаются внутренними часами, или водителями ритма. Эндогенные активные ритмы совершаются при постоянных внешних условиях, лежащих в нормальных пределах для жизнедеятельности. К ним относятся многие *микроритмы* и все *экологические ритмы*.

Следует отметить, что большинство биологических ритмов смешанные, т.е. частично эндогенные и частично экзогенные.

В условиях относительного постоянства геофизических факторов установлены ритмы жизнедеятельности с периодом не строго в 24 ч, а несколько большими или меньшими. Такие околосуточные ритмы, легко синхронизирующиеся с суточными геофизическими факторами называются *циркадными* (или циркадианными – от лат. *circa* – около, *dies* – день), или *околосуточными* ритмами.

Ритмичность биологических процессов определяют биологические, или физиологические часы. *Биологические часы* – это способность организмов реагировать на интервалы времени и явления, связанные с этими интервалами.

Надежный сигнал, по которому организмы умеренной зоны упорядочивают во времени свою активность, – это длина дня, или *фотопериод*.

Фотопериодизм – реакция организмов на суточный ритм освещения, соотношение длительности дня и ночи, выражающаяся в изменении процессов роста и развития.

Явление фотопериодизма было открыто в 1920 г. американскими учеными К. Гертнером и Г. Аллардом на растениях табака.

У растений цветение, образование плодов или семян, листопад и прорастание семян тесным образом связаны с сезонными изменениями длины дня и температуры. Некоторым растениям нужен длинный день (растения длинного дня, зацветание и плодоношение которых наступает при 8-12-часовом освещении), другим – корот-

кий (для цветения нужна продолжительность дня 12 ч и более), а некоторые – зацветают независимо от длины дня (растения нейтральные в отношении фотопериода).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЛЕКЦИЯ 3. ФАКТОРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ

1 Среда и условия обитания организмов

2 Классификация экологических факторов

3 Толерантность и экологическая пластичность организмов

1 Среда и условия обитания организмов

В пределах сред жизни выделяют *среды обитания* и *местообитания*, непосредственное место жизни группы особей или вида, его «адрес». *Среда обитания* – это все, что окружает организм и прямо или косвенно влияет на его состояние, развитие, рост, выживаемость, размножение и т. д. Среда обитания каждого организма складывается из множества элементов неорганической и органической природы и элементов, привносимых человеком.

Существенно отличается от сред жизни животных и растений окружающая человека среда. Она состоит из неразрывно взаимосвязанных компонентов-подсистем:

- 1) *собственно природная среда*;
- 2) *квазиприродная среда* (преобразованная людьми среда природная);
- 3) *артеприродная среда* (включает весь вещественно-энергетический мир, созданный человеком и не имеющий аналогов в природе);
- 4) *социальная среда* (культурно-психологический климат, создаваемый для личности, социальных групп и человечества в целом самими людьми).

По отношению к наземным животным выделяют местопробывания – *стацию* (от лат. *statio* – местопробывание). *Стация* – это часть местообитания, используемого популяцией временно либо для ограниченных целей (ночёвок, питания, размножения). В природе выражена иерархия местообитаний, как бы вставленных друг в друга: фитоценоз, микрогруппировка, синузия, дерево, дупло, заполненное органическим веществом.

Жизнь организмов определяется своеобразием абиотических и биотических сред, которое выражается температурным режимом и амплитудой температур, недостатком или избытком света, влаги, степенью обеспеченности кислородом, глубиной или отсутствием снежного покрова, влиянием окружающих организмов и пр. Кроме того, среды претерпевают изменения: *циклические* (суточные, сезонные, многогодичные, влияние приливов и отливов), *направленные* (накопление илов, заболачивание, загрязнение, засоление), *хаотические* и *непредсказуемые* (пожары, ураганы, затопления) и др.

2 Классификация экологических факторов

Элементы среды, необходимые организму или отрицательно на него воздействующие, называются *экологическими факторами*.

Все многообразие экологических факторов делится на 3 группы:

- *абиотические* (компоненты и явления неживой природы), главную роль играют климатические, эдафические (почвенные), орографические (рельеф), гидрографические (водная среда), химические, пирогенные;

- *биотические* (совокупность взаимоотношений, взаимовлияний одних организмов на жизнедеятельность других, а также и на неживую среду обитания), отмечаются факторы фитогенные (от греч. «фитон» – растение) и зоогенные (от греч. «зоон» – животное).

- *антропогенные* (интенсивное влияние человека (непосредственно) или человеческой деятельности (опосредованно) на окружающую среду и живые организмы) Влияние антропогенного фактора в природе может быть как сознательным, так и случайным (неосознанным).

Экологические факторы имеют разную природу и специфику действия: каждый фактор неодинаково влияет на различные функции организма.

Действие экологических факторов может приводить к:

а) устранению некоторых видов с территории (климатические и физико-химические особенности которых им не подходят), что влечет за собой изменение их географического распространения;

б) изменению плодовитости и смертности разных видов путём воздействия на развитие каждого из них и вызывая миграции, т.е. влияя на плотность популяций;

в) появлению адаптивных модификаций: количественных изменений обмена веществ и таких качественных изменений, как диапауза, зимняя и летняя спячки, фотопериодические реакции и т.д.

3 Толерантность и экологическая пластичность организмов

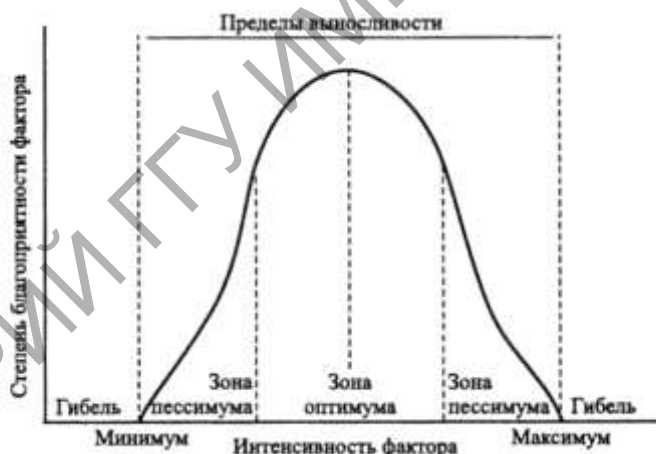
3.1 Понятие об экологической пластичности организмов

Взаимоотношения организмов со средой обитания подчиняются ряду закономерностей. Первым изучать влияние факторов на рост растений начал Ю. Либих (1803-1873), немецкий химик, заложивший основы агрохимии и теории минерального питания растений. В 1840 г., задолго до возникновения экологии как науки, он заметил, что «веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай». Такими веществами для сельскохозяйственных растений обычно являются микроэлементы. При недостатке одного из них, несмотря на хорошую обеспеченность растений светом, водой, азо-

том, фосфором и другими элементами, высокого урожая не бывает. Эта зависимость утвердилась в виде **закона минимума** Либиха.

Фактор, который в совокупном давлении среды сильнее всего ограничивает успешность жизни организма – *ограничивающий*. **Закон ограничивающих факторов** был сформулирован Ф. Блэкманом в 1909 г. Знание ограничивающих факторов имеет большое практическое значение. Агротехническим приемом можно изменить состояние среды, снять или ослабить действие ограничивающего фактора, что дает возможность повысить урожай, качество продукции. Ограничивающим может быть любой из факторов.

Уточняющим дополнением к этому закону послужил **закон компенсации (взаимозаменяемости) факторов** Рюбеля: один экологический фактор может быть компенсирован другим близким фактором. Например, недостаток кальция при построении раковины некоторые моллюски заменяют использованием стронция. Но подобная компенсация весьма относительна. Этому закону противостоит **закон незаменимости фундаментальных факторов** Вильямса, который считал, что свет, воду, а также углекислый газ, азот, фосфор, многие микроэлементы нельзя заменить другими факторами. Общеизвестно, что при отсутствии энергии нет жизни, как и при полном безводье.

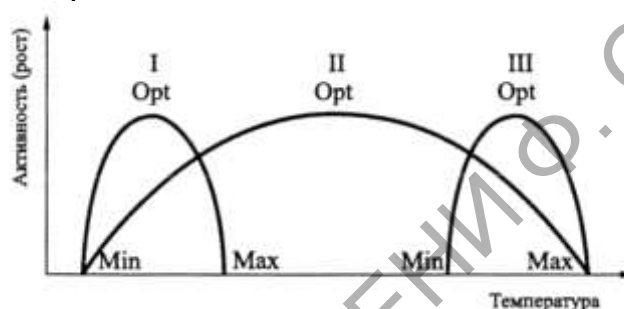


В. Шелфорд установил, что существуют «пределы выносливости», а затем пришёл к формулировке **закона толерантности**: лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантность) организма к данному фактору. В соответствии с этим в пределах диапазона выносливости имеются зоны: *оптимума*, или комфорта, где вид процветает; *пессимума*, или минимума, в которой вид более редок, жизненность особей пониженная.

За пределами выносливости, фиксируемыми минимальной и максимальной кардинальными (критическими) точками, особи вида погибают.

Закон толерантности позволил установить пределы существования для многих видов растений и животных, выявить закономерности их распределения в природе. Степень способности вида выдерживать действие фактора среды – это *экологическая валентность* (от лат. *valentia* – сила).

Виды, способные существовать при небольших отклонениях фактора от оптимальной величины, называются *узкоспециализированными*, а выдерживающие значительные изменения фактора – *широкоприспособленными*. К первым относится большинство обитателей морей, нормальная жизнедеятельность которых сохраняется лишь при высокой концентрации солей в окружающей среде. Организмы пресных вод, наоборот, приспособлены к низкому содержанию солей в среде.



Экологически непластичные, маловыносливые, виды называются *стенобионтными*, или *стенохонами* («*stenos*» – узкий), более выносливые – *эврибионтными*, или *эврихорными* («*eurygs*» – широкий). Стенобионтность и эврибионтность характеризуют различные типы приспособления организмов к выживанию. Отношение организмов к колебаниям того или иного фактора выражается прибавлением приставки эври- или стено- к названию фактора:

- температура: эври- и стенотермные;
- концентрация солей: эври- и стеногалинные;
- свет: эври- и стенофотные и т. д.

На организмы действуют не отдельные факторы, а их совокупность. Действие одного фактора зависит от уровня выраженности прочих факторов. Корреляции с одним фактором не бывает.

В 1909 г. немецкий агроном и физиолог А. Митчерлих показал, что величина урожая зависит от совокупности одновременно действующих факторов – **закон эффективности факторов**. В 1918 г. Б. Бауле закон переименовывается в закон совокупного (совместного) действия факторов **Митчерлиха – Бауле**. При совместном действии происходит взаимообмен между факторами, их усиление (явление синергизма) или ослабление.

3.2 Экологические ряды и экологическая индивидуальность

Экологический ряд – это совокупность растительных сообществ, располагающихся соответственно нарастанию или убыванию какого-либо фактора (или группы факторов) среды. Например,

экологический ряд древесных пород по возрастающей теневыносливости выглядит так: лиственница – береза – сосна – осина – ива – ольха серая – липа – дуб – ясень – клен – ольхе черная – ильм – греб – ель – бук – пихта.

Аналогичные экологические ряды составляются и по отношению растений к тепловому режиму, к степени засоленности почв, устойчивости к ветру и к другим факторам.

Кроме экологических рядов видов, есть и экологические ряды фитоценозов (смена растительности). Например, при понижении влажности: лугово-болотные, луговые, лугово-степные и степные. Границы их нередко очень трудно определить, поскольку сочетания экологических условий изменяются в пространстве постепенно и между ценозами образуется переходная, промежуточная, полоса, в которой совмещаются признаки соседствующих ассоциаций. Объясняется это экологической индивидуальностью каждого из видов, в связи с чем их ареалы в сообществе не совпадают – различные виды по-разному реагируют на одни и те же факторы.

Экологическая индивидуальность особи – это совокупность специфических её черт, заключающихся в своеобразном сочетании наследственных и приобретенных свойств. Она складывается в процессе онтогенеза и выражается в особенностях генотипа и фенотипа данной особи. Кроме специфических признаков, каждая особь обладает и экологической индивидуальностью, проявляющейся в самых различных формах.

3.3 Правило предварения

В 1951 г. В.В. Алехин установил **правило предварения** для растений: северные влаголюбивые растения в пределах южных границ ареала располагаются на северных склонах и на дне балок, а южные по мере продвижения на север переходят на лучше прогреваемые южные склоны (рис.).



Это особенно проявляется на южных и северных границах лесной зоны. По южным склонам из средней тайги глубоко в северную проникают ельники-черничники и ельники-кисличники. В Якутии на северных склонах растут холодовыносливые леса даурской лиственницы, а южные покрыты сосновыми лесами. На южных окраинах лесной зоны по северным склонам сохраняются леса, а по южным произрастает уже типичная степная растительность.

Оно имеет большое значение при проведении геоботанических исследований, поскольку позволяет предсказывать состав растительности еще не обследованных мест и прежний ее облик там, где она уничтожена.

Естественно, что правило предварения носит относительный характер. Менее четко оно выражено в гористой местности, так как там отмечается более сложная совокупность экологических факторов.

3.4 Принцип стациальной верности

Под стацией обычно понимают место обитания вида. В связи с тем, что виды и слагающие их популяции избирательно относятся к факторам среды, они заселяют строго определенные станции с соответствующими экологическими условиями.

Понятие стация применяется только по отношению к виду. Каждый вид имеет свой набор стаций. Между крайними показателями избирательности вида к местообитаниям существует много переходов. Азиатская саранча, например, живет только на болотистых стациях, а итальянская саранча более пластична и заселяет целинные степные участки, залежные земли, пастбища.

Набор стаций настолько характерен для каждого вида, что может служить не менее существенным его отличительным признаком, чем морфологические и другие особенности.

Это имеет практическое значение при определении вредных и полезных видов.

Свойство видов избирательно заселять *те или иные* станции обозначается как *принцип стациальной верности*. Данный принцип является важной экологической закономерностью.

3.5 Правила смены местообитаний и ярусов

Принцип стациальной верности применим лишь в условиях ограниченного пространства и времени. Закономерное изменение видами своих местообитаний в широком диапазоне пространства и времени является **правилом смены местообитаний** (Г.Я. Бей-Биенко, 1966).

В свою очередь М.С. Гиляров вывел **правило смены ярусов**, показав, что в разных зонах одни и те же виды занимают неодинаковые ярусы. Это характерно для видов, широко распространенных и встречающихся во многих природных зонах.

В пространстве правило смены местообитаний выражается в зональной и вертикальной смене стаций и в зональной смене ярусов, а во времени – сезонной и годичной сменой стаций.

Зональная смена стаций – это закономерно направленное изменение местообитаний при переходе вида из одной природной зоны в другую. Обычно при продвижении на север виды избирают сухие, хорошо прогреваемые солнцем открытые станции с разре-

женным растительным покровом. Распространяясь к югу, эти же виды заселяют более увлажненные и тенистые места с густой растительностью. Например, перелетная саранча в Центральной Европе поселяется на песчаных местах, а в Средней Азии и Казахстане – на сырых болотистых с густым травостоем.

Зональная смена стадий служит экологическим следствием закона географической зональности и объясняется изменением теплового режима.

Вертикальная смена стадий аналогична зональной, но характерна для горных условий. Например, серый кузнечик в лесах Кавказа заселяет гигрофитные и мезофитные стадии, а в альпийском поясе становится ксерофилом.

Зональная смена ярусов заключается в том, что многие виды при продвижении на север перемещаются из более высокого растительного яруса в более низкий. Так, короед лесной садовник в центральных районах и на севере обитает под корой стволов и крупных ветвей сосны, а на юго-востоке европейской части бывшего СССР уходит в почву и поселяется на корнях.

Сезонная смена стадий происходит при колебаниях микроклимата в течение одного сезона. Наиболее чётко это выражено в сухом и жарком климате и проявляется в переселении степных и пустынных видов в период засухи на посевы культурных растений, на луга, под полог леса, где сохраняются сравнительно высокая влажность и зелёный растительный покров.

Годичная смена стадий наблюдается при отклонении погодных условий от средней годовой нормы. Например, перелетная саранча в Южном Казахстане в сухие годы концентрируется на западинах с более влажной почвой и густым травяным покровом, в во влажные – заселяет возвышенные места.

Таким образом, смена местообитаний позволяет видам сохранять свой экологический стандарт в постоянно меняющихся условиях.

3.6 Принципы экологической классификации организмов

Экологическая классификация организмов отличается от систематики тем, что в последней главным критерием служит филогенетическая близость организмов, а в экологической классификации такого критерия нет, поэтому она имеет очень много схем.

Экологическая классификация организмов может быть проведена в соответствии с их положением в пищевой цепи (гетеротрофы и автотрофы), по функции в биогеоценозе (продуценты, консументы и редуценты (деструкторы)), места обитания и др.

Водные организмы подразделяются на бентосные, планктонные и нектонные. Их можно классифицировать и по занимаемым зонам. Особые затруднения вызывает классификация наземных животных, поскольку они представляют огромное разнообразие

форм, что связано с особенностями мест обитания. Почвенные организмы обычно классифицируют по размерам, в связи с чем различаются микро-, мезо- и макробиота.

Наиболее распространена экологическая классификация организмов по жизненным формам, т. е. по типу внешней морфологии, отражающей важнейшие моменты образа жизни, отношение вида к среде.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЛЕКЦИЯ 4. АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И АДАПТАЦИИ К НИМ ОРГАНИЗМОВ

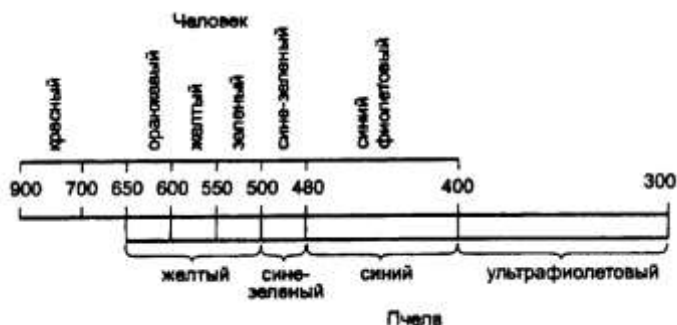
- 1 Свет как абиотический фактор
- 2 Температура как абиотический фактор
- 3 Влажность как абиотический фактор
- 4 Адаптации организмов к абиотическим факторам
- 5 Жизненные формы растений и животных
- 6 Биоиндикация

1 Свет как абиотический фактор

Наиболее значимым фактором внешней среды является свет. Без него невозможна фотосинтетическая деятельность растений, а без последней – жизнь вообще, поскольку зелёные растения имеют способность продуцировать кислород и органические вещества. Кроме того, свет является практически единственным источником тепла на планете Земля. Распространение водных растений, океанических животных и планктона также ограничено областью проникновения солнечных лучей.

В экологии под термином «свет» подразумевается весь диапазон солнечного излучения, достигающего земной поверхности. Около 50% солнечной энергии излучается в инфракрасной области, 40% – в видимой и 10% – в ультрафиолетовой и рентгеновской областях. Земная атмосфера избирательно по частотным диапазонам поглощает энергию электромагнитного излучения Солнца, и до поверхности Земли доходит в основном излучение с длиной волны от 0,3 до 3 мкм.

Для живого вещества важны качественные признаки света – длина волны, интенсивность и продолжительность воздействия. Излучение, воспринимаемое глазом человека охватывает диапазон волн длиной 0,39-0,76 мкм. Электромагнитные волны большей длины лежат в инфракрасной области спектра (0,76-4,0 мкм). Они воспринимаются человеком как тепло. Более короткие – ультрафиолетовые волны (менее 0,4 мкм) наши органы чувств непосредственно не воспринимают. Другие живые существа, в частности насекомые, наоборот, воспринимают инфракрасные и ультрафиолетовые излучения, недоступные человеку.



Солнечная энергия, которую зелёные растения поглощают и используют (0,38-0,71 мкм), называется *фотосинтетически активной радиацией* (ФАР). Интенсивность фотосинтеза варьируется с изменением длины волны света. Например, при прохождении света через воду красная и синяя части спектра отфильтровываются и получающийся зеленоватый свет слабо поглощается хлорофиллом. Однако красные водоросли имеют дополнительные пигменты (фикоэретрины), позволяющие им использовать эту энергию и жить на большей глубине, чем зелёные водоросли.

Для растений наиболее продуктивными являются не прямые солнечные лучи, падающие перпендикулярно поверхности листьев, а рассеянные. Прямая радиация Солнца в зависимости от высоты светила над горизонтом содержит 28-43% ФАР. Рассеянная радиация при солнечном свете составляет 50-60%, рассеянная радиация при ясном небе – до 90% ФАР.

По отношению к освещенности в естественных местообитаниях растения представлены несколькими группами:

1) Теневые – сциофиты (от греч. «сциа» – тень и «фитон» – растение). Имеют крупные, нежные, подвижные листья тёмно-зелёного цвета с листовой мозаикой. Для сциофитов оптимальны затенённые места тёмнохвойных таёжных, широколиственных и тропических влажных лесов. Обычно адаптация к условиям недостаточной освещенности сочетается у них с высокой потребностью в водоснабжении. В условиях сильной освещённости сциофиты не могут эффективно регулировать транспирацию и обычно высыхают. Типичные представители – зелёные мхи, плауны, кислица обыкновенная, копытень европейский, седмичник европейский, барвинок малый, майник двулистный и др.

2) Теневыносливые – факультативные гелиофиты. Способны развиваться как при очень большом, так и при малом количестве света. В качестве примера можно указать деревья: ель обыкновенную, клён остролистный, граб обыкновенный; кустарники – лещину, боярышник; травы – землянику, герань полевую; многие комнатные растения.

3) Светолюбивые – гелиофиты (от греч. «гелиос» – солнце и «фитон» – растение). Имеют мелкие блестящие или густо опушенные листья, расположенными под большим углом, иногда почти вертикально; встречается сезонный диморфизм: весной листья мелкие, летом – крупнее. Образуют разреженные насаждения.

Гелиофиты либо совсем не переносят, либо плохо переносят даже незначительное затенение. Примеры – подорожник обыкновенный, иван-чай, вейник тростниковидный и др.

Животные по отношению к свету также подразделяются на 3 группы:

1) Дневные – активно бодрствуют и охотятся днём. Это самая большая группа животных (булавоусые бабочки, заяц, лось и др.).

2) Сумеречные – животные, активный период суточной жизнедеятельности которых припадает на сумерки (вечерние или утренние). Это, в первую очередь, летучие мыши, козодои, некоторые совы, жуки-навозники, жабы.

3) Ночные – животные, ведущие ночной образ жизни (большинство сов, бабочки-бражники, некоторые тропические древесные лягушки, хомяки).

2 Температура как абиотический фактор

Любой организм способен жить в пределах определенного диапазона температур. Область распространения живого в основном ограничена областью чуть ниже 0°C и до $+50^{\circ}\text{C}$; причем, как правило, верхние температурные границы оказываются более критическими, нежели нижние.

Основным источником тепла, как и света, является солнечное излучение. Организм может выживать только в условиях, к которым приспособлен его метаболизм. Если температура живой клетки падает ниже точки замерзания, клетка обычно физически повреждается и гибнет в результате образования кристаллов льда. Если же температура слишком высока, происходит денатурация белков.

Воздействие различных температур на живые организмы приводит либо к увеличению, либо к уменьшению скорости обменных процессов и биохимических реакций. Повышение температуры ведёт к пропорциональному возрастанию скорости реакции. Величину температурного ускорения химических реакций отражают коэффициентом температурного ускорения Q_{10} :

$$Q_{10} = K_t + 10 / K_t$$

где K_t – скорость реакции при температуре t .

Данный коэффициент показывает во сколько раз изменяется скорость реакций при изменении температуры на 10°C . Это положение называется **правилом Вант-Гоффа**: *подъём температуры на 10°C приводит к 2-3-кратному ускорению химических процессов (величина коэффициента равна 2-3)*.

По отношению к температуре живые организмы делятся на 2 крупные группы:

1) пойкилотермные (температура тела зависит от температуры окружающей среды). Это растения, микроорганизмы, беспозвоночные, рыбы, рептилии и др.

2) гомойотермные (способны к активному регулированию температуры тела). Это птицы и млекопитающие. Частный случай гомойотермии – *гетеротермия*. В период активности гетеротермы обладают постоянной температурой тела, а в период отдыха или зимней спячки она значительно понижается (суслики, сурки, барсуки, летучие мыши, ежи, бурые медведи, колибри и др.).

Зависимость влияния температуры на организмы описывается правилами Бергмана и Аллена. **Правило Бергмана:** по мере удаления от полюсов к экватору размеры близких в систематическом отношении животных с непостоянной температурой тела увеличиваются, а с постоянной – уменьшаются.



Правило Аллена: у животных с постоянной температурой тела в холодных климатических зонах наблюдается тенденция к уменьшению площади выступающих частей тела.

Крайние минимальные и максимальные температуры нижнего и верхнего пессимумов называются соответственно нижним и верхним порогом развития, или нижним и верхним био-

логическим нулём, за пределами которого развитие организма не происходит.

Температуры, лежащие выше нижнего порога развития и не выходящие за пределы верхнего, получили название *эффективных*. Только они могут вывести организм из так называемого нулевого состояния и активизировать физиологические процессы.

Для растений и пойкилотермных животных важно общее количество тепла, которое они могут получить из окружающей среды. Количество тепла, необходимое для развития, определяется суммой эффективных температур, или суммой тепла. Сумма эффективных температур определяется по формуле:

$$C = (t - t_1)n,$$

где t – наблюдаемая температура, t_1 – нижний порог развития, n – продолжительность развития в днях

Потребность разных видов животных и растений в наиболее оптимальных для них температурах в комплексе с другими условиями жизни определяет их распространение на Земле.

3 Влажность как абиотический фактор

Вода – основа живой материи. Для громадного числа живых организмов вода является одним из главных экологических факторов. Исключительная значимость воды состоит в том, что она является основным условием существования всего живого на Земле. Все жизненные процессы в клетках живых организмов протекают в водной среде.

Современное распространение жизни на Земле напрямую связано с осадками. Влажность в разных точках земного шара неодинакова. Больше всего осадков выпадает в экваториальной зоне и особенно много – в верхнем течении реки Амазонки и на островах

Малайского архипелага. Количество их в отдельных районах достигает 12000 мм/г. В тундре и в пустынях выпадает менее 250 мм/г.

Одной из основных характеристик климата и погоды является влажность воздуха. Наибольшее значение в жизни растений и животных имеют *абсолютная* и *относительная влажность* воздуха, а также *дефицит насыщения* (дефицит влажности воздуха).

Абсолютная влажность воздуха – это масса водяного пара в граммах в 1 м³ воздуха. (В Беларуси колеблется от 1,5 г/м³ зимой до 14 г/м³ летом.). Выражается через упругость водяного пара (давление водяного пара, которое удерживается в воздухе). Абсолютная влажность воздуха влияет на условия вегетации растений в теплую пору года, на испарение с поверхности почвы и транспирацию.

Относительная влажность воздуха – это степень насыщения воздуха водяными парами при определенной температуре и показывает в процентах соотношение абсолютной влажности и максимальной (масса водяного пара в граммах, способная создать полное насыщение 1 м³ воздуха). Это соотношение устанавливается по формуле:

$$r = \frac{p}{ps} 100,$$

где r – относительная влажность; p и ps – соответственно абсолютная и максимальная влажность при данной температуре

В Беларуси среднегодовая относительная влажность воздуха – около 80%, максимальная среднемесячная в ноябре-декабре – 88-90%, минимальная в мае – 65-70%. При тумане она достигает 100%. Максимальное значение относительная влажность имеет перед восходом солнца, минимальное – в 15-16 ч.

Наибольшее значение для организмов имеет *дефицит насыщения* воздуха водяными парами, т. е. разность между максимальной и абсолютной влажностью при определенных температуре и давлении. Дефицит насыщения определяется по следующей формуле:

$$d = ps - p$$

По отношению к влажности все растения делятся на различные экологические группы.

1) Гидатофиты (от греч. «гидатос» – вода и «фитон» – растение) – полностью или большей своей частью погруженные в воду растения. Это обычные водные растения – кувшинка белая, кубышка жёлтая, стрелолист.

2) Гидрофиты (от греч. «гидро» – вода) – растения, погруженные в воду меньшей своей частью. Например, тростник обыкновенный, частуха подорожниковая, рогоз узколистный.

3) Гигрофиты (греч. «гигрос» – влажный) – растения, приуроченные к избыточно увлажнённым местообитаниям, где воздух

насыщен водяными парами. Это калужница болотная, чистяк весенний, вахта трёхлистная.

4) Мезофиты (от греч. «мезос» – средний) – растения умеренно влажных местообитаний. Это и обычные луговые травы (клевер) и большинство лесных трав (ландыш майский, майник двулистный, орляк), почти все лиственные деревья (осина, береза, клён, ольха), многие полевые культуры и сорняки.

5) Ксерофиты (от греч. «ксерос» – сухой) – растения, приспособившиеся к местам с засушливым климатом и способные переносить большой недостаток влаги.

Среди ксерофитов выделяют две группы растений:

- суккуленты (от лат. «суккулентус» – сочный, жирный). Они имеют сочные, мясистые стебли или листья. Все эти растения выработали свойство накапливать воду в листьях или стеблях. В зависимости от того, в каких частях суккулентов развивается водо-запасная ткань, их делят на стеблевые (кактусы) и листовые (алоэ, бриофиллум, молодило весеннее, очиток едкий).

- склерофиты (от греч. «склерос» – твердый, жесткий). Имеют жёсткие кожистые листья и стебли, которые эффективно задерживают испарение воды. Способны без вреда для себя потерять до 40% содержащейся в них влаги. Листья и стебли их не содержат запасов воды и кажутся суховатыми (ковыль, полынь, саксаул, верблюжья колючка, оливковое дерево, пробковый дуб).

Животные также подразделяются на ряд экологических групп по отношению к влажности:

1) Гигрофилы – животные, обитающие в переувлажнённых участках или по берегам водоемов и болот (озёрные лягушки, жабы, выдры, жухелицы-бембидионы, жуки-прицепыши и др.).

2) Мезофилы – животные, обитающие в нормально увлажнённых условиях. Как и у растений это наиболее обильно представленные группы животных (лиса, лось, медведь, зяблик, дрозды, большинство жухелиц, дневных бабочек и др.).

3) Ксерофилы – животные, обитающие в аридных условиях. Это, в первую очередь, степные и пустынные виды (страусы, дрофы, вараны, верблюды, жуки-чернотелки, некоторые змеи).

4 Адаптации организмов к абиотическим факторам

Адаптация (от позднелат. adaptatio – приспособление) – это процесс приспособления строения и функций организмов (особей, видов) и их органов к факторам среды. Адаптивным является всякий признак, снижающий элиминацию особей.

Согласно **правилу экологической индивидуальности** Л.Г. Раменского, *каждый вид адаптирован по-своему, индивидуально*. В составе кактусов, например, имеются стеблевые (высокие древовидные, кронаобразующие или канделябровидные, колонновидные, кустарниковидные) и карликовые формы. Адаптация вида со-

вершается к определенной, строго специфической экологической нише. Высокая адаптированность к одному фактору, по **закону относительной независимости адаптации**, не дает такой степени приспособленности к другому фактору, она может даже ограничивать их действие.

Адаптации представлены бесконечным разнообразием и в его основе лежат следующие механизмы:

1) Генетические:

- *полиплоидия* (ответная реакция организмов на неблагоприятные климатические условия). Их количество увеличивается в широтном и меридиальном направлениях по мере ухудшения климатических условий. Устойчивость полиплоидов объясняется увеличением объема генетической информации (числа геномов и генов), в результате чего возрастает уровень рекомбинационной изменчивости.

- *акклимация* (процесс тепловой закалки организмов). Характеризуется регуляцией активности генов, отвечающих за ферменты в клетках, катализирующие одни и те же реакции, но при различных температурах (выключение одних генов и активация других).

2) Физиолого-биохимические механизмы. Основой этих механизмов является гомеостаз:

- *терморегуляция гомойотермных животных.*

- *защита от перегрева* (потоотделение, транспирация)

- *защита от потерь воды* (запасы жира, C_4 фотосинтез)

3) Анатомо-морфологические:

- *твёрдые покровы* (хитиновый покров, раковины, щитки, чешуи, шипы, панцири, кутикула, восковой налёт на листьях и побегах растений);

- *защитные образования и выделения* (войлочное, паутинистое и железистое опушения; шипы у растений; иглы, колючки, воскообразная слизистая плёнка и др.);

- *ткани* (эпидермис, пробка, палисадная ткань и др.);

- *форма, размеры органов, тела животных и растений;*

- *форма и размеры устьиц, листовых пластинок, корневых систем;*

- *жизненные формы;*

- *приспособительная окраска* (покровительственная, расчленяющая, предупреждающая, отпугивающая);

- *мимикрия.*

4) Поведенческие механизмы. В основе поведения выживания главным является способность организмов к перемещению в пространстве.

5) Онтогенетические механизмы (направлены на ускорение или замедление индивидуального развития):

а) *неотенические модификации* – появление репродуктивных органов на ювенильной стадии развития организма.

б) *покой* (обязательный этап онтогенеза в нестабильных условиях среды обитания):

- *гипобиоз* (вынужденный покой) – наступает сразу под действием фактора

- *криптобиоз* (физиологический) – связан с длительной обязательной физиологической подготовкой при наступлении этого состояния и при выходе из него. У видов с простым и упрощенным строением возможна полная временная остановка жизни – *анабиоз*.

Согласно **принципу биологического эпиморфизма** В.Н. Новосельцева, *любая адаптация тем эффективнее, чем большим числом параллельных механизмов она поддерживается.*

5 Жизненные формы растений и животных

Впервые это понятие было применено еще А. Гумбольдтом в 1806 г., когда он обратил внимание на приобретенные растениями в связи с условиями среды различные характерные физиологические и морфологические особенности, независимо от принадлежности к той или иной систематической группе

Жизненная форма вида – это исторически сложившийся комплекс его биологических, физиологических и морфологических свойств, обуславливающий определенную реакцию на воздействие среды.

5.1 Жизненные формы растений

Датский ботаник К. Раункиер (1903 г.) выделил 5 жизненных форм растений на основании одного признака — расположения почек возобновления относительно земной поверхности:

- *фанерофиты* – почки возобновления расположены на концах ветвей и находятся на некотором расстоянии от земли. Деревья и крупные кустарники;

- *хамефиты* – почки возобновления расположены низко над поверхностью почвы (менее 25 см) и защищены от действия неблагоприятных факторов близостью к земле. Мелкие кустарники, кустарнички и низкорослые суккуленты, преобладающие в районах с холодным климатом;

- *гемикриптофиты* – почки возобновления защищены землей и отмершей листвой. Сами растения отмирают в верхней части при наступлении неблагоприятных условий. Характерны для холодных влажных областей (60-63% от всех растений тундры);

- *криптофиты* – почки целиком погружены в почву и формируются в луковице, корневище, клубнях;

- *терофиты* – однолетние травянистые растения, отмирающие при неблагоприятных условиях. Возобновление идет за счет семян (до 73% всех растений пустынь).

Кроме этого есть еще одна форма, которой нет у Раункиера – *эпифиты* – воздушные растения, не имеющие корней в почве. По-

селяются они на стволах других более крупных растений (наствольные лишайники, реже мхи). Из высших растений эпифиты многочисленны во влажных тропических лесах.

Существует классификация жизненных форм покрытосеменных, предложенная И.Г. Серебряковым. Она базируется на эколого-морфологических признаках. В её основу положен признак длительности жизни всего растения, как наиболее отражающий влияние внешних условий на морфогенез и рост, а также структура надземных осей. По этой классификации выделяют:

- а) *древесные растения* (деревья, кустарники, кустарнички);
- б) *полудревесные растения* (полукустарники и полукустарнички);
- в) *наземные травы*;
- г) *водные травы*.

В сходных условиях среди этих групп имеются лиановидные, суккулентные, стелящиеся, подушковидные формы.

5.2 Жизненные формы животных

Д.Н. Кашкаров (1945) классифицирует жизненные формы животных следующим образом.

1 Плавающие формы.

а) чисто водные:

- нектон;
- планктон;
- бентос.

б) полуводные:

- ныряющие;
- неныряющие;
- добывающие из воды лишь пищу.

3 Наземные формы.

а) не делающие нор:

- бегающие;
- прыгающие;
- ползающие.

б) делающие норы:

- бегающие;
- прыгающие;
- ползающие.

в) животные скал.

2 Роющие формы.

а) абсолютные землерои (всю жизнь проводят под землей).

б) относительные землерои (выходят на поверхность земли).

4 Древесные, лазающие формы.

- не сходящие с деревьев;
- лишь лазающие по деревьям.

5 Воздушные формы.

- добывающие пищу в воздухе;
- высматривающие ее с воздуха.

Самые широкие спектры жизненных форм принадлежат насекомым:

1) Геобионты – обитатели почвы:

- ризобионты (связаны с корневой системой растений);
- сапробионты (обитатели разлагающихся органических остатков);

- копробионты (обитатели навоза);
- ботробионты (обитатели нор);
- планофилы (часто и активно передвигающиеся).

2) *Эпигеобионты* – обитатели более-менее открытых участков поверхности почвы:

- псаммобионты (обитатели песков);
- петробионты (обитатели каменистых участков);
- галобионты (жители засоленных участков).

3) *Герпетобионты* – живут среди растительных и других органических остатков на поверхности почвы (под опавшей листвой, в подстилке).

4) *Хортобионты* – обитатели травяного покрова.

5) *Тамнобионты* – обитатели кустарников.

6) *Дендробионты* – обитатели древесного яруса. Среди них выделяются нидиколы – обитатели птичьих и беличьих гнезд.

7) *Гидробионты* – обитатели водной среды.

6 Биоиндикация

Биоиндикация – это использование подходящих индикаторных организмов, позволяющих осуществить качественную оценку изменений окружающей среды.

Биоиндикация имеет ряд преимуществ перед химическими методами оценки состояния окружающей среды, широко применяемыми в настоящее время:

- суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают её состояние в целом;
- в условиях хронической антропогенной нагрузки могут реагировать на очень слабые воздействия в силу аккумуляции дозы;
- исключают необходимость регистрации физических и химических параметров среды;
- делают необязательным применение дорогостоящих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров;
- фиксируют скорость происходящих в окружающей среде изменений;
- указывают пути и места скоплений различного рода загрязнений в экосистемах и возможные пути попадания этих веществ;
- помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы, различающиеся по своей устойчивости к антропогенному воздействию, так как одинаковый состав и объем загрязнений может привести к различным реакциям природных систем в разных географических зонах;
- вскрывают тенденции развития окружающей среды.

Различают две формы биоиндикации:

- *неспецифическая*, предполагающая, что одинаковые реакции организма-индикатора могут быть вызваны различными факторами среды

(например, органическим загрязнением, изменением активной реакции воды и т. д.);

- *специфическая*, предполагающая, что изменения реакции чётко связаны с изменением конкретного фактора.

Биоиндикатор (от греческого «bios» - жизнь и латинского «indicator» - указатель) – вид или сообщество организмов, используемые для оценки состояния окружающей среды.

К биоиндикаторам относятся виды, группы видов или сообщества живых организмов по наличию, степени развития, изменению морфологических, генетических, биохимических и других признаков, на основании которых судят о состоянии, специфических особенностях и свойствах окружающей среды. Биоиндикация получила применение в оценке экологического состояния как наземных, так и водных экосистем.

При выборе биоиндикаторов необходимо учитывать следующее:

1) Стенотопные виды (т. е. виды, приспособленные к существованию в строго определенных условиях), более редкие в сообществах, как правило, являются лучшими индикаторами, чем эвриотопные (широко распространенные, обладающие широким диапазоном экологической выносливости).

2) Более крупные виды являются обычно лучшими индикаторами, чем мелкие, так как скорость оборота последних в биоценозах выше и они могут не попасть в пробу в момент исследования (при наблюдениях с длительной периодичностью).

3) При выделении вида (или группы видов), используемого в качестве индикатора воздействия того или иного фактора, необходимо иметь полевые и экспериментальные сведения о лимитирующих значениях данного фактора, с учетом возможных компенсаторных реакций организма и толерантности вида (группы видов).

4) Численное соотношение разных видов (популяций или сообществ) более показательнее и является более надёжным индикатором, чем численность одного вида.

Индикаторы должны удовлетворять ряду требований:

1) накопление загрязняющих веществ не должно приводить к гибели биоиндикаторов;

2) численность индикаторных организмов должна быть достаточной для отбора, т. е. без влияния на их воспроизводство;

3) тесты должны быть генетически однородными;

4) должна быть обеспечена легкость взятия проб, содержащих индикаторы;

5) должна реализоваться относительная быстрота проведения анализа состояния среды;

6) биоиндикаторы должны обеспечивать получение достаточно точных и воспроизводимых результатов;

7) биоиндикаторы должны быть разновозрастными и характеризоваться, по возможности, близкими свойствами;

8) диапазон погрешностей измерений (по сравнению с классическими или эталонными методами тестирования) не должен превышать 20-30%;

9) при выборе биоиндикаторов предпочтение следует отдавать регистрации функциональных, этологических, цитогенетических изменений отдельных индикаторных процессов биоты, а не только изменению её структуры, численности или биомассы, так как последние являются более консервативными.

Жизненные функции биоиндикаторов, показатели их биологического разнообразия позволяют судить о естественных и антропогенных изменениях в среде. Исходя из этого, различают несколько типов чувствительности индикаторов:

I тип - биоиндикатор проявляет быструю и сильную реакцию, продолжаясь некоторое время, после чего перестает реагировать на экологический фактор;

II тип - биоиндикатор в течение длительного времени линейно реагирует на воздействие возрастающей концентрации экологического фактора;

III тип - после немедленной, сильной реакции у биоиндикатора наблюдается её затухание, сначала резкое, затем постепенное;

IV тип - под влиянием фактора реакция биоиндикатора постепенно становится всё более интенсивной, однако, достигнув максимума, постепенно затухает.

V тип - реакция и типы неоднократно повторяются, возникает осцилляция биоиндикаторных параметров.

Живые организмы постоянно присутствуют в окружающей среде и реагируют даже на кратковременные выбросы веществ-загрязнителей, которые не всегда возможно зарегистрировать при периодическом отборе проб для анализа изменений параметров окружающей среды. Различают чувствительные и аккумулятивные биоиндикаторы:

- *чувствительный (сенситивный)* – быстро реагирует значительным отклонением показателей от нормы;

- *аккумулятивный (поглотительный)* – накапливает воздействия без проявляющихся нарушений

Для биоиндикаторов свойственна *специфичность и чувствительность*.

При низкой специфичности биоиндикатор реагирует на разные факторы, а при высокой специфичности - только на один фактор.

При низкой чувствительности биоиндикатор даёт ответ только на сильные отклонения фактора от нормы, а при высокой чувствительности - даже на незначительные.

В структуре биоиндикации выделяют также биотестирование. При *биотестировании* качество среды оценивается посредством реакций тест-организмов, помещённых в тестируемую среду в лаборатории.

Тест-организмы - это организмы, используемые для оценки качества воздуха, воды или почвы в лабораторных опытах.

ЛЕКЦИЯ 5. ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ЛЕСНОЙ СРЕДЕ

1 Свет

1.1 Общее влияние света на древесные насаждения

1.2 Сравнительная потребность древесных пород в освещённости и методы её определения

1.3 Зависимость светопотребности от других факторов

2 Лес и тепло

2.1 Отношение древесных пород к теплу

2.2 Влияние на лес низких и высоких температур

3 Лес и влага

3.1 Водный баланс в лесу

3.2 Отношение древесных пород к влаге

4 Лес и почва

4.1 Влияние рельефа и материнской горной породы на лес

4.2 Потребность древесных пород в элементах питания и требовательность к плодородию почвы

4.3 Влияние почвы на качество древесины и продуктивность древостоя

1 Свет

1.1 Общее влияние света на древесные насаждения

Часть излучения Солнца, поступающая к Земле в виде параллельных лучей, называется *прямой радиацией*, а часть рассеянного атмосферой солнечного излучения, поступающая к Земле со всех точек небосвода – *рассеянной радиацией*. Прямая и рассеянная (суммарная) радиация делится на отражённую, поглощённую и пропущенную. Лес отражает 20–25% солнечной радиации (отношение отраженной радиации к суммарной называется *альбедо*), пропускает, в среднем, столько же и 35–75% – поглощает. Хвойные леса лучше аккумулируют солнечную энергию, чем другие типы растительности (преобладают в холодном поясе).

Для хлорофиллоносных растений характерно малое отражение в видимой части спектра и резкое возрастание в инфракрасной зоне (листва, хвоя, трава меньше всего отражают синие и оранжево-красные лучи).

Поглощенная энергия необходима:

- для образования хлорофилла и разложения CO_2 ;
- для фотосинтеза;
- для транспирации;
- для образования почек и роста растений;
- для плодоношения.

Растениями поглощаются в основном:

- оранжево-красные (образование хлорофилла и фотосинтез);
- жёлто-красные (транспирация);
- сине-фиолетовые (образование почек, рост растений и плодоношение);
- красные (обуславливают фотосинтез);
- фиолетовые (вызывают этиоляцию);
- жёлтые (фототропизм).

Ультрафиолетовые лучи задерживаются эпидермисом, и в более глубокие слои листа проникает не более 5% этих лучей.

Высокая степень поглощения солнечной радиации деревьями объясняется большим *листовым индексом* – отношением поверхности хвои (листьев) к площади, занимаемой лесом.

Пропущенная радиация нужна для жизнедеятельности второго яруса, подроста, подлеска, трав и мхов, микрофлоры.

Световая обстановка в лесу зависит от древостоя (его состава, возраста, высоты, сомкнутости и др.) и от характера крон (глубины, ширины, ажурности). Имеет значение также и время года.

По уменьшению светопроницаемости полого древесные породы располагаются в следующем порядке: берёза каменная, сосна, берёза повислая, осина, ясень, лиственница Гмелина, ель, бук.

Доля дошедшего до почвы света резко снижается в многоярусных древостоях (в лиственнично-еловых насаждениях до второго яруса доходит 4–14% света, а до подроста – 0,5–3%).

Уменьшение освещенности в лесу способствует изменению формы ствола, отмиранию нижних ветвей. Для лучшего улавливания света подрост ели приобретает зонтикообразную форму кроны. В лесу может иметь место такое явление, как *фототропизм*, т.е. ростовые движения, направленные в сторону источника света. Им объясняются заполнение «окон» в пологе после рубки или ветровала, листовая мозаика, угол прикрепления ветвей к стволу, однобокость и наклон кроны и ствола, повреждения ствола, его техническая неполноценность (свилеватость, образование креновой древесины).

Важным фактором в жизни леса является продолжительность освещения. Поэтому успешная интродукция возможна лишь путем изменения длины светового дня для интродуцента хотя бы на раннем этапе жизни.

Свет влияет и на плодоношение деревьев. Древостой в разреженном состоянии начинает плодоносить гораздо раньше и обильнее, чем в густом. После разреживания уменьшается также потребность деревьев в пище и воде. Однако чрезмерное освещение верхним светом может отрицательно сказаться на плодоношении.

1.2 Сравнительная потребность древесных пород в освещенности и методы ее определения

Древесные породы делят на:

- *светолюбивые* (лиственница, берёза, сосна, осина);
- *теневыносливые* (пихта, бук, липа, ель, тис).

Для определения светолюбия или теневыносливости древесных пород используют внешние признаки:

а) листья (теневой лист тоньше, он меньше рассечен на доли, у него тоньше эпидермис, меньше столбчатая ткань, слабее жилкование, меньше устьиц, больше концентрация хлорофилла, хвоя – темно-зелёная);

б) деревьев (густота облиствления, относительная протяженность кроны, сбежистость ствола, толщина коры). У светолюбивых пород кроны ажурнее, весной распускается только часть почек. У теневыносливых пород (ель, пихта) крона низко опущена, а её протяженность превышает половину высоты дерева, сучья отмирают медленнее, кора тоньше, отношение длины ствола к его диаметру (сбег) больше, чем у светолюбивых;

в) насаждений (древостои различаются густотой, сомкнутостью крон, освещенностью под пологом, наличием или отсутствием подроста, подлеска, живого напочвенного покрова).

По совокупности внешних признаков составлены **шкалы относительной теневыносливости** древесных пород. По шкале М.К. Турского (по мере увеличения теневыносливости): лиственница, берёза, сосна, осина, ива, дуб, ясень, клён, ольха чёрная, ильм, сосна крымская, ольха серая, липа, граб, ель, бук, пихта.

1.3 Зависимость светопотребности от других факторов

При оценке светопотребности древесных растений учитывают климатические и почвенные условия, конкуренцию за влагу и питательные вещества, возраст растений, а также лимитирующий фактор.

Отношение древесной породы к свету в пределах её ареала существенно зависит от широты местности и высоты над уровнем моря.

Теневыносливость зависит от возраста дерева. У ели в возрасте до 5 лет минимальная потребность в освещенности составляет 1% от полной, далее она постепенно увеличивается до 30%. Осина и ясень в молодом возрасте теневыносливы. Это объясняется тем, что хвоя и листья в ювенильном периоде обладают высокой адаптационной способностью. Впоследствии эта способность теряется.

Наряду со световым режимом большую роль в жизни леса играет конкуренция за воду и элементы питания.

2 Лес и тепло

2.1 Отношение древесных пород к теплу

Лучистая энергия Солнца в виде прямой и рассеянной радиации составляет основную часть теплового баланса на поверхности Земли. Тепловой фактор лежит в основе географической зональности. Географическое распределение лесов, их характер обусловлены, в первую очередь, распределением тепла и влаги.

При анализе связи распространения древесных пород с тепловым фактором учитывают среднюю годовую температуру воздуха и, что более важно, температуру в течение вегетационного периода. Северная граница леса совпадает с июльской изотермой +11°C.

Для успешного произрастания леса необходимо, чтобы количество тепла было достаточно для всех физиологических процессов и роста растений. Фотосинтез может происходить в широких пределах: от -8° до +55°C, а дыхание – от -10 и ниже до +60°C (в течение короткого периода). Прорастание семян, развитие зелёных частей растений, цветение – происходят при разных значениях температуры. Древесные породы начинают свой жизненный цикл в разное время: сокодвижение у берёзы начинается при температуре почвы на глубине 15 см 0...0,2°C и средней температуре воздуха +2...+3°C; у сосны обыкновенной и кедровой корни и побеги начинают развиваться при +5...+6°C, у пихты, ели, лиственницы – корни при +5...+6°C, побеги – при +7...+10°C.

Больше всего от температуры зависят такие физиологические процессы, как деятельность ферментов, транспирация, работа корней, растворимость CO₂ и O₂ в клетках. Сроки наступления фенофаз связаны как с фотопериодом, так и с температурой воздуха и почвы.

Определяют отношение древесных растений к температуре по области распространения, т.к. тепловой оптимум находится в центре ареала. Следует учитывать и продолжительность вегетационного периода. Минимальная его продолжительность для бука – 250 дней, клена – 160, липы – 150, ели – 100

дней.

Северная (по горизонтали) и верхняя (по вертикали) границы, за которые данная древесная порода не переходит, в основном, из-за недостатка тепла является одним из показателей её отношения к теплу. Это – *минимальная лесная термохора*.

Г.Ф. Морозов так располагает древесные породы **по мере снижения теплолюбия**: каштан, дуб, ясень, ильмовые, граб, сосна, ольха, береза, пихта, ель, кедр, лиственница.

Шкала требовательности древесных пород к теплу с учётом географического распространения, минимальных термохор, сроков распускания и опадения листьев (по П.С. Погребняку):

- *очень теплолюбивые* (эвкалипт, кипарис);
- *теплолюбивые* (каштан съедобный, орех грецкий, белая акация);
- *среднетребовательные* (дуб, граб, ильмовые, ясень, липа, бук);
- *малотребовательные* (осина, ольха серая, береза, ель, пихта, сосна, кедр, лиственница).

Понятия «теплолюбие» и «холодостойкость» не всегда точно отражают отношение древесных растений к теплу. Поэтому используют показатели заморозкоустойчивости, зимостойкости и морозоустойчивости. *Заморозкоустойчивость* – способность растений переносить заморозки без повреждений. *Зимостойкость* включает в себя степень повреждаемости низкой температурой разных органов растений с учетом всего комплекса неблагоприятных термических условий зимы. *Морозоустойчивость* оценивается по реакции растений на отрицательные температуры воздуха.

Тепло может компенсироваться другими факторами – способности переносить повышенную температуру способствуют хороший режим увлажнения почвы, нормальная транспирация (охлаждает ткани листа).

Имеют значение для различных пород не только общий температурный фон, но и перепады температуры – ночные и дневные, максимальные и минимальные. Разница температур почвы и воздуха регулирует физиологические процессы (низкая температура почвы ограничивает движение воды и пищи вверх, а высокая температура воздуха у кроны увеличивает транспирацию). При высокой температуре крона лучше использует углеводы, которые становятся менее доступными для корней, и корни замедляют рост.

Таким образом, разница температур формирует соотношение надземной и подземной частей деревьев.

2.2. Влияние на лес низких и высоких температур

Низкие температуры. Наиболее опасны для древесных пород заморозки. Они бывают поздние (весенне-летние) и ранние (осенние), адвективные и радиационные.

Адвективные заморозки вызываются горизонтальным перемещением холодных масс воздуха, *радиационные* – излучением деятельной поверхностью Земли тепловых лучей в мировое пространство. Иногда адвективный заморозок может быть усилен радиационным.

Поздние заморозки опаснее ранних. Последствия заморозков – побивание побегов, листьев, цветков. Внезапный заморозок воздействует хуже, чем постепенное понижение температуры. Отрицательные последствия зависят от силы и продолжительности заморозка. Так, например, ель выдерживает $-3...-4^{\circ}\text{C}$ в течение 4 часов, при быстром падении температуры и её затем быстром

повышении, а -10°C даже в течение часа для всходов ели смертельно. Понижение температуры воздуха во время цветения до $+2^{\circ}\text{C}$ может вызвать у ели неурожай. Частое побивание заморозками сдерживает рост ели, и её высота в течение многих лет может не превышать высоту травяного покрова. Как говорят лесоводы, в этом случае ель «сидит». Предохраняют ель от повреждения заморозками поросль осины и берёзы, а также широколиственные виды трав (иван-чай, сныть и др.).

Ранние осенние заморозки опасны для экзотов, перенесенных из более теплого климата в холодный, поскольку побеги у них не успевают одревеснеть.

Древесные породы **по отношению к заморозкам** делят на 3 группы:

- чувствительные (ясень, пихта, бук, ель);
- относительно устойчивые (клён, лиственница, сосна);
- устойчивые (ольха серая, берёза, осина, рябина).

Перед посадкой древесной породы, чувствительной к заморозкам, предварительно посадкой или посевом вводят породу устойчивую, а затем, под её защиту, главную породу (система Vorwald). Сухое лето уменьшает устойчивость к заморозкам.

При замерзании воды в верхних горизонтах почвы наблюдается **выжимание** семян и всходов кристаллами льда. Особенно распространено на тяжёлых почвах без подстилки. Почва приподнимается вместе с расположенными в ней корнями растений, затем, при оттаивании, опускается, а корни остаются оголёнными на поверхности. В итоге ухудшается техническое качество древесины, может возникнуть гниль от грибной инфекции. Меры предохранения от выжимания – мульчирование почвы, сохранение на вырубках подстилки, создание микроповышений, мелких куч из порубочных остатков (на органическом субстрате выжимания всходов не происходит).

При сильных морозах зимой может быть переохлаждение наружных слоев древесины и их разрыв вследствие низкой теплопроводности и малой эластичности. Образуются *морозобойные трещины*. Чаще таким образом повреждаются дуб, берёза, ильм, пихта, ель. Трещины зарастают (заплывают), но могут вскрываться вновь и снова заплывать. Морозобойные трещины иногда являются следствием проведения постепенных и проходных рубок зимой.

Высокие температуры. Наиболее опасные последствия высоких температур – ожог коры, опал шейки корня, ожог и покраснение хвои.

Ожог коры происходит у внезапно оказавшихся на свету взрослых деревьев. Перегрев камбия и опадение коры пятнами или полосами при этом могут привести к грибной инфекции. От ожога коры страдают преимущественно породы с гладкой корой (бук, граб, пихта, ель). Не подвержены ожогу коры опушечные деревья с низкоопущенной кроной. Ожог коры часто встречается после проходных, постепенных и сплошных рубок.

Опал шейки корня происходит у сеянцев и самосева на границе с верхним слоем почвы, где может наблюдаться большой перепад температур. Защита от опала шейки корня – систематическое рыхление почвы в питомниках, наличие защитного покрова из трав с широкой горизонтальной листовой пластинкой или из деревьев лиственных пород (берёзы, осины), затенение почвы щитами, применение системы рубок, создающих благоприятные микроклиматические условия на опушках и внутри леса. Опал шейки корня, при благоприятных для него условиях, может иметь место у всех древесных пород.

Ожог и покраснение хвои наблюдается у подростка ели и пихты, внезапно выставленных на свет, а иногда и у взрослых деревьев. В этом случае в хвое происходит разрушение хлорофилла.

3 Лес и влага

3.1 Водный баланс в лесу

Соотношение общего количества выпавших осадков и суммы всей испарившейся влаги и стока, называемое водным балансом, выражается формулой Г.Н. Высоцкого (мм):

$$O_c = C_{п} + Г + И + Т,$$

где O_c – общее количество осадков, выпадающих на поверхность суши; $C_{п}$ – поверхностный сток (составляет 5–20% общего количества осадков в зависимости от уклона местности, насаждения); $Г$ – внутрипочвенный сток (15–35%); $И$ – физическое испарение с кроны и почвы (15–30%); $Т$ – транспирация (физиологическое испарение) (20–40%).

Поверхностный сток в лесу значительно слабее, чем на открытом месте (часть осадков задерживается древесным пологом, уменьшается скорость их попадания в почву, таяние снега более медленное, рыхлость лесной подстилки и почвы и др.). За счет этого увеличивается внутрипочвенный сток. Испарение влаги с поверхности древесного полога, подлеска и напочвенного покрова зависит от сезона года, интенсивности дождя, силы ветра, состава, формы и сомкнутости крон и возраста древостоя. Количество влаги, испаряющейся с поверхности почвы, в лесу меньше, чем в поле, и её количество, идущее на транспирацию, всегда больше.

3.2 Отношение древесных пород к влаге

Древесные породы по-разному относятся к влажности почвы и воздуха. Одни из них произрастают только в тёплых районах с большой влажностью воздуха (бук), другие могут выдерживать сухой климат (дуб). У древесных пород, которые произрастают при недостатке влаги в почве и воздухе, корневая система обычно сильно разветвлена. У ряда растений (саксаул) листья редуцированы в чешуйки.

Многие древесные породы отрицательно реагируют как на недостаток, так и на избыток влаги. Временное затопление переносят дуб, тополь, ива.

На увлажненных почвах растут сосна обыкновенная, сосна кедровая, берёза пушистая. Не переносят переувлажнения дуб пушистый, берёза повислая.

Различают потребность древесных пород во влаге и требовательность к влажности почвы.

Потребность во влаге – это количество влаги, необходимое для нормальной жизнедеятельности деревьев. Она характеризуется *эвапорационным коэффициентом* – количеством транспирируемой влаги при образовании 1 г сухого вещества. Он зависит от биологических свойств самого растения. На основании этого коэффициента строится **ряд убывания потребности во влаге**: акация белая, берёза, дуб, осина, ель, сосна.

Требовательность к влаге – это отношение древесных пород к влажности среды и способность удовлетворять свою потребность при той или иной влажности почвы. **По требовательности к влаге** древесные породы подразделя-

ют на следующие категории:

- ксерофиты – способные расти на почвах недостаточного увлажнения в засушливых условиях (сосна обыкновенная, лох, облепиха, вяз, и др.);

- гигрофиты – способные расти в условиях избыточного увлажнения (ясень, ольха черная, ивы серая и ушастая, береза карликовая);

- мезофиты – средние по требовательности к влажности почвы и устойчивости к засухе (лиственница, кедр сибирский, осина, ель, пихта и др.).

П.С. Погребняк выделяет еще промежуточные категории:

- ультраксерофиты (саксаул, можжевельник, дуб пробковый);

- ксеромезофиты (дуб черешчатый, клён полевой и остролистный, берест, гледичия);

- мезогигрофиты (осокорь, ива козья, серебристая, ломкая, берёза пушистая, ольха серая).

4 Лес и почва

4.1 Влияние рельефа и материнской горной породы на лес

Рельеф – это фактор перераспределения света, тепла, влаги атмосферных осадков и биогенных элементов. Выделяют *мегарельеф* (горные страны, равнины), *мезорельеф* (овраги, моренные холмы) и *микро-*, или *нанорельеф* (кочки, валёж, гнилые пни и др.).

На элювиальных почвах (*элювий* – продукт выветривания горных пород, остающийся на месте своего образования) чаще всего произрастают сосняки низкой производительности. На делювиальных почвах, состоящих из продуктов выветривания горных пород, смытых тальми и дождевыми водами, растут смешанные леса повышенного бонитета. Бонитет зависит от проточности или застойности почвенных вод. В поймах рек и ручьев он может быть высоким, в закрытых западинах образуются болота, бонитет падает или лес исчезает совсем.

Вниз по склону обычно увеличиваются мощность почвы и содержание мелкозема, возрастает и бонитет.

От материнской горной породы зависит минералогический и гранулометрический состав почвы, обеспеченность её зольными элементами.

4.2 Потребность древесных пород в элементах питания и требовательность к плодородию почвы

Потребность древесных пород в элементах питания – это то количество азота и зольных веществ, которое необходимо дереву для его жизнедеятельности, а *требовательность* – отношение к условиям почвенного плодородия, способность извлекать из почвы нужные вещества в нужных количествах. Г.Ф. Морозов **по потребности в азоте и зольных элементах** расположил древесные породы (в порядке убывания): белая акация, ильм, ясень, бук, дуб, ольха черная, ель, береза, лиственница, сосна обыкновенная, сосна Веймутова.

По требовательности к почве древесные породы обычно разделяют на три группы:

- *олиготрофы* (сосна, береза, акация белая, ива шелюга);

- *мезотрофы* (ель, лиственница, кедр, ольха серая и черная, осина, рябина);

- *мегатрофы* (клен, ясень, дуб, бук, липа).

Лесные местообитания по количеству питательных веществ делит на 4 ка-

тегории:

- 1) *боры* – где растут только олиготрофы;
- 2) *субори* – олиготрофы и примесь мезотрофов;
- 3) *судубравы* – все три категории;
- 4) *дубравы* – мезо- и мегатрофы.

Об отношении древесных пород к элементам питания судят по их встречаемости на разных почвах при нормальном водоснабжении (эдафический ареал).

Рост древесных растений зависит не только от содержания в почве азота и других питательных элементов, но и от ее кислотности и наличия солей:

- *ацидофилы* (ель, сосна, осина, береза, пихта, дуб, платан, граб);
- *кальциефилы* (лиственница, бук, ясень, ильм, тис, акация белая, сосна крымская, бузина);
- *кальциефобы* – каштан благородный, тунг, вереск и злаки.

На самых плодородных почвах встречаются как ацидофилы (ель, граб, платан), так и кальциефилы (лиственница, бук, бузина).

Кальциефилы обычно являются и нитрофилами (с трудом переносят нехватку азота). На богатых азотом почвах часто встречаются крушина, бересклет европейский, а также малина.

Иногда рост растений ограничивает нехватка микроэлементов – цинка, кобальта, меди. Потребность в элементах питания изменяется с возрастом. У большинства видов максимальная потребность в азоте наблюдается на этапе жердняка (в 20–40 лет), у некоторых видов раньше (у берёзы – в 10 лет). У липы и осины потребность в азоте постепенно возрастает к 70 годам.

Лес потребляет значительно меньше зольных элементов, чем сельскохозяйственные культуры, и почти полностью возвращает взятое. Поэтому лес прекрасно растет на землях, непригодных для сельскохозяйственного пользования.

4.3 Влияние почвы на качество древесины и продуктивность древостоя

Зависимость качества древесины от почвы явилась причиной возникновения первых типологических классификаций лесов. Они предназначались для выявления запасов древесины повышенного качества, т.е. плотной, мелко-слоистой, без сучков.

Отмечено ухудшение качества древесины на песках, обогащённых известью или глинистыми частицами. На песчаных почвах теплых районов качество древесины улучшается при хорошем водоснабжении.

Лучшую поделочную древесину сосны с наибольшей плотностью, мелко-слоистую можно найти на почвах среднего плодородия с нормальным водным режимом и покровом из брусники.

На богатых карбонатных почвах ельники отличаются мягкой древесиной, повышенной суковатостью, восприимчивостью к грибным болезням. То же относится к сосне и другим ацидофильным породам. В дубравах, наоборот, на богатых почвах очищение от сучьев происходит быстрее и плотность древесины выше. Худшие свойства древесины дуба наблюдаются на солонцах, пониженное качество – в пойменных дубравах.

На одинаковых почвах встречаются насаждения разного бонитета. Бонитет изменяется с возрастом; он связан с полнотой древостоя, с его происхождением. Более точно плодородие почвы характеризуют ее водно-физические и химические свойства.

ЛЕКЦИЯ 6 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦИИ КАК БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

- 1 Понятие о популяции
- 2 Статические характеристики популяций
- 3 Динамические характеристики популяций

1 Понятие о популяции

Популяция (лат. *populus* – народ, население) – это группа особей одного вида, находящихся во взаимодействии между собой и совместно населяющих общую территорию или акваторию.

Существует несколько классификаций популяций:

1) ландшафтно-биотопический подход (по Н. П. Наумову):

- а) локальные;
- б) экологические;
- в) географические.

2) по способу размножения и степени генетической целостности (по В. Н. Беклемишеву):

а) панмиктические (с перекрестным оплодотворением, наиболее целостные);

- б) клональные;
- в) клонально-панмиктические.

3) по способности к самовоспроизведению:

а) постоянные:

- независимые (не нуждаются в притоке особей извне для поддержания своей численности);

- полузависимые (подобный приток существенно повышает численность популяции, но она может сохраняться и без него);

б) временные популяции.

4) по размерам:

- а) карликовые
- б) обычные локальные
- в) суперпопуляции.

Основные характеристики популяций следующие:

1) Статические:

- а) численность;
- б) плотность;
- в) дисперсия.

2) Динамические:

- а) рождаемость;
- б) смертность;
- в) прирост популяции;
- г) темп роста.

Популяции свойственна определенная организация. Распределение особей по территории, соотношения групп по полу, возрасту, морфологическим, физиологическим, поведенческим и генетическим особенностям отражают **структуру популяции**. Она формируется, с

одной стороны, на основе общих биологических свойств вида, а с другой – под влиянием абиотических факторов среды и популяций других видов.

Выделяют ряд структур в популяции:

1) Половая структура. Это соотношение особей по полу. Соотношение полов в популяции устанавливается не только по генетическим законам, но и в известной мере под влиянием среды.

2) Возрастная структура. Возрастные различия в популяции существенно усиливают ее экологическую неоднородность и, следовательно, сопротивляемость среде. Повышается вероятность того, что при сильных отклонениях условий от нормы в популяции сохранится хотя бы часть жизнеспособных особей и она сможет продолжить своё существование. Возрастная структура популяций имеет приспособительный характер.

а) *возрастная структура популяций у растений.* У растений возрастная структура *ценопопуляции* (популяции конкретного фитоценоза) определяется соотношением возрастных групп. *Абсолютный, или календарный, возраст* растения и его возрастное состояние – понятия не тождественные. Растения одного календарного возраста могут находиться в разных возрастных состояниях. *Возрастное, или онтогенетическое состояние особи* – это этап ее онтогенеза, на котором она характеризуется определёнными отношениями со средой. *Полный онтогенез, или большой жизненный цикл* растений, включает все этапы развития особи – от возникновения зародыша до её смерти или до полного отмирания всех поколений её вегетативно возникшего потомства:

- *проростки (p)* – имеют смешанное питание за счёт запасных веществ семени и собственной ассимиляции. Характерно наличие зародышевых структур: семядолей, начавшего расти зародышевого корня и, как правило, одноосного побега с небольшими листьями, имеющими часто более простую форму, чем у взрослых растений.

- *ювенильные (j)* – переходят к самостоятельному питанию, отсутствуют семядоли, но организация проста, часто сохраняется одноосность и листья иной формы и размера, чем у взрослых.

- *имматурные (im)* – имеют признаки, переходные от ювенильных растений к взрослым вегетативным. У них начинается ветвление побега (увеличение фотосинтетического аппарата).

- *взрослые вегетативные, или виргинильные (v)* – появляются черты типичной для вида жизненной формы в структуре подземных и наземных органов и строение вегетативного тела принципиально соответствует генеративному состоянию, но репродуктивные органы пока отсутствуют.

- *молодые генеративные (g_1)* – зацветают, образуют плоды, происходит окончательное формирование взрослых структур. В отдельные годы могут быть перерывы в цветении.

- *средневозрастные генеративные (g_2)* – достигают наибольшей мощности, имеют наибольший ежегодный прирост и семенную про-

дукцию, также могут иметь перерыв в цветении. В этом возрастном состоянии у клонообразующих видов часто начинает проявляться дезинтеграция особей, возникают клоны.

- *старые генеративные (g_3)* – характеризуются резким снижением репродуктивной функции, ослаблением процессов побего- и корнеобразования. Процессы отмирания начинают преобладать над процессами новообразования, усиливается дезинтеграция.

- *старые вегетативные, или субсенильные (ss)* – характеризуются прекращением плодоношения, снижением мощности, усилением деструктивных процессов, ослаблением связи между побеговыми и корневыми системами, возможно упрощение жизненной формы, появление листьев имматурного типа.

- *сенильные растения (s)* – характеризуются крайней дряхлостью, уменьшением размеров, при возобновлении реализуются немногие почки, вторично появляются некоторые ювенильные черты (форма листьев, характер побегов и т. д.).

- *отмирающие особи* – крайняя степень выражения сенильного состояния, когда у растения остаются живыми лишь некоторые ткани и в отдельных случаях – покоящиеся почки, которые не могут развить надземные побеги.

У некоторых деревьев (дуба черешчатого, бука, клёна полевого и др.) описано *квазисенильное* возрастное состояние. Это угнетенные, низкорослые растения, описанные как «торчки» – приобретают со временем черты старого вегетативного растения, так и не пройдя генеративную фазу.

Распределение особей ценопопуляции по возрастным состояниям называется ее *возрастным*, или *онтогенетическим спектром*.

б) *возрастная структура популяций у животных*. В зависимости от особенностей размножения члены популяции могут принадлежать:

- к одной генерации (все особи близки по возрасту и примерно одновременно проходят очередные этапы жизненного цикла – саранчовые, таракановые. Численность таких популяций неустойчива: сильные отклонения условий от оптимума на любой стадии жизненного цикла действуют сразу на всю популяцию, вызывая значительную смертность);

- к разным генерациям:

-- размножающиеся один раз в жизни (майские жуки);

-- размножающиеся многократно (возможны две крайние ситуации):

1) продолжительность жизни во взрослом состоянии невелика;

2) взрослые живут долго и размножаются многократно.

В первом случае ежегодно сменяется значительная часть популяции.

3) Этологическая, или поведенческая структура. Это система взаимоотношений между членами одной популяции.

Поведение животных по отношению к другим членам популяции зависит прежде всего от формы совместного существования особей в популяции:

а) *одиночный образ жизни* (особи популяции независимы и обособлены друг от друга). Характерен для многих видов, но лишь на определенных стадиях жизненного цикла. Полностью одиночное существование организмов в природе не встречается, так как при этом было бы невозможным осуществление их основной жизненной функции – размножения. У видов с одиночным образом жизни часто образуются временные скопления особей – в местах зимовок, в период, предшествующий размножению, и т. п.

б) *семейный образ жизни* (усиливаются связи между родителями и их потомством). Различают семьи отцовского, материнского и смешанного типа, в зависимости от того, кто из родителей берет на себя уход за потомством. В семьях с устойчивым образованием пар в охране и выкармливании молодняка принимают обычно участие и самец и самка.

При семейном образе жизни территориальное поведение животных выражено наиболее ярко: различные сигналы, маркировка, ритуальные формы угрозы и прямая агрессия обеспечивают владение участком, достаточным для выкармливания потомства.

в) *колонии* (групповые поселения оседлых животных). Могут существовать длительно или возникать лишь на период размножения (грачи, чайки, гагары, тупики и др.). По сложности взаимосвязей между особями колонии животных чрезвычайно разнообразны – от простых территориальных скоплений одиночных форм до объединений, где отдельные члены выполняют, как органы в целостном организме, разные функции видовой жизни.

г) *стаи* (временные объединения животных, которые проявляют биологически полезную организованность действий). Стаи облегчают выполнение каких-либо функций в жизни вида: защиты от врагов, добычи пищи, миграции. По способам координации действий стаи делятся на две категории:

- *эквипотенциальные*, без выраженного доминирования отдельных членов (рыбы, мелкие птицы, перелетная саранча). Для поведения рыб в стае характерен *имитационный рефлекс* – подражание действиям соседей;

- *стаи с лидерами* (крупные птицы и млекопитающие).

д) *стада* (более длительные и постоянные объединения животных по сравнению со стаями). В стадах осуществляются все основные функции жизни вида: добывание корма, защита от хищников, миграции, размножение, воспитание молодняка и т. п. Основу группового поведения животных в стадах составляют взаимоотношения *доминирования-подчинения*, основанные на индивидуальных различиях между особями.

Системы доминирования-подчинения очень различны у разных видов. При *линейной иерархии* в ряду рангов А-В-С и т. д. особи,

принадлежащие к каждому рангу, подчинены предыдущим, но главенствуют над последующими. Могут возникать *параллельные ряды подчинения*: один среди самцов, другой – среди самок, как, например, у некоторых игрунковых обезьян. У павианов, помимо того, самцы доминируют над самками, а те в свою очередь над детенышами. У некоторых видов обнаружено *иерархическое соподчинение по типу «треугольника»*: А нападает на В, В – на С, а С подчиняет себе А. Такое соотношение может сохраняться в группе довольно долго. Одним из вариантов иерархии может быть *деспотия* – доминирование одного животного над всеми остальными членами группы.

Биологический смысл иерархической системы доминирования-подчинения заключается в создании согласованного поведения группы, выгодного для всех её членов. После «расстановки сил» животные не тратят лишней энергии на индивидуальные конфликты, а группа в целом получает преимущества, подчиняясь наиболее сильным и опытным индивидуумам.

Оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности при совместном существовании, получила название *эффект группы*. Он проявляется как психофизиологическая реакция отдельной особи на присутствие других особей своего вида.

Эффект группы проявляется в ускорении темпов роста животных, повышении плодовитости, более быстром образовании условных рефлексов, повышении средней продолжительности жизни индивидуума и т. д. В группе животные часто способны поддерживать оптимальную температуру (при скучивании, в гнездах, в ульях). У многих животных вне группы не реализуется плодовитость. Эффект группы не проявляется у видов, ведущих одиночный образ жизни. Если таких животных искусственно заставить жить вместе, у них повышается раздражительность, учащаются столкновения и многие физиологические показатели сильно уклоняются от оптимума.

4) Виталитетная структура. В популяциях выражена дифференциация особей по жизненному состоянию. Одним из внешних факторов этой дифференциации является несходство отдельных микро-местообитаний в границах популяционного поля.

Жизненное, или виталитетное, состояние (виталитет) – уровень продукционного, ростового и формообразовательного процессов. Виталитет учитывается морфометрическими параметрами (размеры, масса, количество). Ключевыми признаками виталитета являются размер листовой поверхности особи, годичный прирост побегов, фитомасса, репродуктивное усилие.

Оценка качества особей позволяет установить их иерархию в популяции: особи процветающие (высший класс) и угнетенные (низший класс). Среднее положение между ними занимают особи промежуточного класса. Особи разных классов виталитета различаются по функциональному назначению. Нормально развитые растения (промежуточный класс) обеспечивают прирост фитомассы и частично участвуют в размножении. Наиболее крупные особи (высший класс)

выделяются активным вегетативным и семенным размножением. Подвижность соотношений позволяет популяции всегда поддерживать в своем составе оптимальный в конкретных эколого-фитоценологических условиях баланс функциональных групп особей.

В лесных древостоях ясно выражается дифференциация особей, особенно с возрастом. Выражением дифференциации древостоя служат **классы Крафта**, предложенные в 80-е гг. XIX в. немецким лесоводом Крафтом (рис. 1).

Дискретный социальный ранг (класс Крафта) является следствием конкурентных взаимоотношений, которые особенно хорошо выражены в одновозрастной группе особей. Согласно классификации Крафта принято выделять 5 классов.



Рис. 1. – Распределение деревьев в ценозе по классам Крафта

- **I класс** – деревья исключительно господствующие. Они поднимаются заметно выше других деревьев в насаждении и имеют хорошо развитые вершины.
- **II класс** – деревья господствующие, обычно преобладающие в насаждениях (до 40%), вершины относительно хорошо развиты.
- **III класс** – деревья согосподствующие, кроны более редкие, часто асимметричные.
- **IV класс** – деревья подчиненные, угнетенные (заглушенные). Кроны лишь частично входят в общий полог насаждений, нижняя часть кроны обычно отмирает.

- **V класс** – деревья сильно угнетенные, отмирающие или отмершие.

Классам Крафта близка **классификация Е.Л. Маслакова**, которым выделены следующие классы роста:

1) *Лидеры*. Самые крупные, резко выделяющихся по своим размерам деревья (15–20%). Растут в 2–2,5 раза быстрее средних деревьев популяции, образуют до 40–50% её суммарной, биологической, живой и стволовой массы. На протяжении всего периода роста устойчиво сохраняют свой социальный статус. Являясь деревьями верхнего полога 1 яруса насаждения, отличаются нормальной жизненностью, ранним и обильным семяношением, темпами роста и выполняют в популяции функцию освоения новых территорий.

2) *Сублидеры*. Растут в 1,4–1,7 раза быстрее средних деревьев, сначала несколько отстают от лидеров, но затем догоняют их и выходят в верхний полог древостоя. Выполняют функцию удержания занятой территории и осуществления непрерывного потока поколений.

Первые 2 класса составляют основную часть деревьев будущего формирующегося насаждения и образуют 60–70% прироста и массы популяции.

3) *Спутники*. Составляют до 40% в популяции. Средние по высоте. Ранговое положение неустойчивое, в конечном итоге к возрасту 40–50 лет большая часть культур отстает в росте и составляет отпад. Проявляют стресс-толерантное поведение, направленное на формирование резерва популяции.

4) *Отстающие*. Растут в 2 раза медленнее средних деревьев (общая масса в популяции – не более 10%).

5) *Аутсайдеры*. Самые отстающие в популяции деревья с резко пониженным приростом, в ближайшей перспективе обреченные на отмирание. Их около 10% при массе в 1-2%.

Дифференциация особей по степени жизненности характерна и для популяций животных (например, головастики).

2 Статические характеристики популяций

а) *численность* – общее количество особей на выделяемой территории;

б) *плотность* – среднее число особей на единицу площади или объема занимаемого популяцией пространства; плотность популяции можно выражать также через массу членов популяции в единице пространства;

в) *дисперсия* – пространственное распределение особей популяции на определенной территории.

Существуют 3 основных типа пространственного распределения:

- *случайное* – особи распределены в пространстве случайным образом ($\lambda=1$);

- *равномерное, или регулярное* – особи находятся на равном удалении друг от друга ($\lambda<1$);

- *агрегированное, или групповое* – возникают скопления особей разного размера ($\lambda>1$).

Помимо этих типов иногда выделяют два дополнительных: *случайное агрегированное* (агрегации распределены в пространстве случайным образом) и *агрегированное с образованием крупных скоплений из более мелких*.

Оценить пространственное распределение можно с помощью дисперсии (наиболее простой метод):

$$x = \frac{\sum x_i}{N}, \quad \sigma = +\sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{N-1}},$$

где x – средняя численность, x_i – отдельные значения численности видов по пробам, N – объем выборки (число проб)

3 Динамические характеристики популяций

Рождаемость характеризует скорость естественного восполнения популяции за счет размножения. Различают следующие виды рождаемости:

– *максимальную* (физиологическую) – теоретический максимум скорости рождения новых особей при отсутствии каких-либо факторов, способных сдерживать процессы размножения;

– *экологическую* (реализованную) – увеличение численности популяции при фактических условиях окружающей среды.

Рождаемость в экологических исследованиях обычно выражается либо как *абсолютная* – это скорость, определяемая путем деления числа вновь появившихся особей на время, либо как *удельная* – число появившихся потомков в единицу времени на 1 особь в популяции.

Смертность – количество особей, погибших в популяции за определенный период.

Смертность изменяется в зависимости от условий среды, возраста и состояния популяции и выражается чаще в виде относительной величины – доли особей (от исходного количества), погибших за определенное время. Смертность может быть:

– *минимальной* – гибель особей в идеальных для популяции условиях существования (в отсутствие ограничивающих факторов);

– *экологической* (реализованной) – это гибель особей в реальных условиях существования.

Существует 3 типа смертности, которым соответствуют определенные кривые выживаемости.

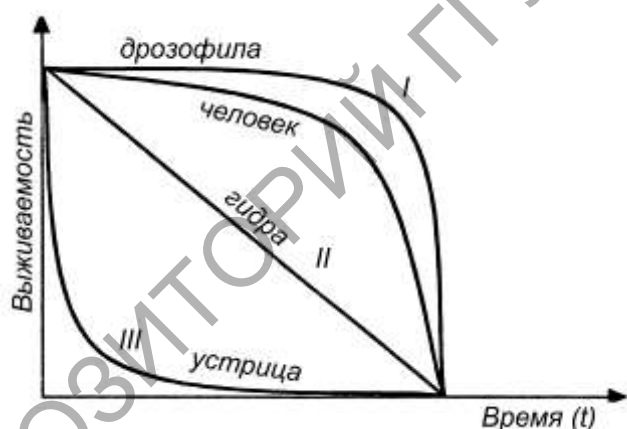
Кривая I типа свойственна организмам, смертность которых на протяжении всей жизни незначительна, но резко возрастает в ее конце (например, насекомые, погибающие после кладки яиц, люди в развитых странах, некоторые крупные млекопитающие) Это так называемая «кривая дрозофилы».

Кривая II типа характерна для видов, у которых смертность остается примерно постоянной в течение всей жизни (например, птицы, пресмыкающиеся). Это «кривая гидры».

Кривая III типа отражает массовую гибель особей в начальный период жизни (например, многие рыбы, беспозвоночные, растения и другие организмы, не заботящиеся о потомстве, и выживающие за счет огромного количества икринок, личинок, семян и т.п.). Это «кривая устрицы».

в) *прирост популяции* – разница между рождаемостью и смертностью; прирост может быть как положительным, так и отрицательным;

г) *темп роста* – средний прирост за единицу времени.



ЛЕКЦИЯ 7 ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИЙ

1 Понятие о динамике популяций

2 Изменения численности и ее регуляции

1 Понятие о динамике популяций

Динамика популяции – это периодическое или непериодическое изменение численности, полового или возрастного состава популяции в результате действия абиотических (не зависящих от численности и плотности самой популяции) и биотических (зависящих от численности и плотности популяции) факторов.

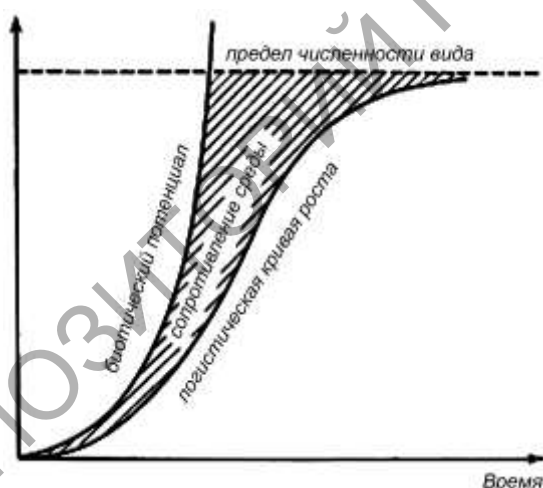
Скорость роста популяции – это изменение численности популяции в единицу времени. Она может быть либо положительной, либо нулевой, либо отрицательной и зависит от показателей рождаемости, смертности и миграции особей. Различают абсолютную и удельную скорость роста популяции:

– *абсолютная (общая) скорость роста* выражается изменением численности популяции за промежуток времени;

– *удельная скорость роста* – отношение скорости роста к исходной численности. При отсутствии лимитирующих факторов среды удельная скорость роста равна величине r , которая характеризует свойства самой популяции и называется удельной (врожденной) скоростью роста популяции, или биотическим потенциалом вида.

Скорость роста может быть выражена в виде кривой роста популяции (рисунок).

1) J-образная кривая:



При неограниченных ресурсах и идеальных природных условиях виды реализуют максимальную рождаемость. Такой рост популяции начинается медленно и затем стремительно нарастает по экспоненте, то есть кривая роста популяции принимает J-образный вид. J-образная кривая отражает неограниченный экспоненциальный рост численности популяции, не зависящий от плотности популяции. Скорость увеличения (r) такой популяции зависит от ее численности. Подобный рост популяций иногда наблюдается в природе: «цветение» воды в результате бурного развития фитопланктона, вспышка массового размножения некоторых вредителей, рост бактерий в свежей культуре. Однако это происходит непродолжительное время, так как после превышения емкости среды (K) произойдет резкое снижение численности.

2) S-образная кривая:

При ограниченных ресурсах размеры популяции того или иного вида также ограничены, и смертность начинает расти, когда численность популяции достигает или временно превышает емкость экосистемы. Когда это случается, J-образная кривая роста популяции начинает плавно изгибаться и принимает вид S-образной кривой. Таким образом, S-образная (сигмоидная, логистическая) кривая – отражает логистический тип роста в реальных экологических условиях, зависящего от плотности популяции, при котором скорость роста популяции снижается по мере роста численности (плотности). Сначала рост популяции невелик, но затем он нарастает, но через некоторое время замедляется и выходит на плато.

Основные виды кривых численности популяций в природе: относительная стабильность; скачкообразный рост; циклические колебания.

На основании скорости роста популяций, рождаемости, смертности и прочих характеристик выделяют несколько *экологических стратегий* популяций.

Концепция Раменского (1939).

Выделяет «биоценотические типы» растений:

1) *Виоленты* (competitors, C, от лат. *violens* – неистовый) – это многолетние растения с хорошо развитыми запасными органами, очень высокие, с разрастающимися побегами, высокой скоростью роста, ранним отрастанием. Обладают высокой энергией жизнедеятельности, полной использованием среды в благоприятных условиях и высокой средообразующей способностью. Исключительно конкурентоспособны, захватывают и удерживают территорию, формируя монодоминантные устойчивые сообщества высокой продуктивности, но только в благоприятных и стабильных местообитаниях. Способны подавлять и заглушать другие виды.

Это преимущественно деревья лесных формаций (бук, дуб, граб), кустарники (лещина), высокотравные злаки (тростник), травы (сныть).

2) *Пациенты* (stress-tolerants, S., от лат. *patient* – терпеливость, выносливость) – многолетние растения, способные произрастать в условиях недостатка ресурса и устойчивые к отрицательным факторам среды. Способны временно или постоянно использовать ресурс, недоступный виолентам. Устойчивы к стрессу, но при этом прекращают рост, замедляют переход к цветению, жертвуют образованием семян. Это виды экстремальных местообитаний (саксаулы, бересклет, крушина, черника, брусника, вереск, овсяница овечья, мхи-сфагнумы, а также зелёные мхи, лишайники).

3) *Эксплеренты* (ruderals, R., от лат. *explere* – выполняющий) – это преимущественно малолетники, растения богатых, но неустойчивых местообитаний. Приурочены к нарушенным местообитаниям, живут в условиях кратковременного снижения уровня кон-

курунции, а также при быстром (взрывообразном) возрастании количества ресурсов. Имеют укороченный жизненный цикл, отличаются быстрым размножением, способны сохранять длительное время всхожесть семян в почве. Быстро распространяются при отсутствии конкуренции в нестабильных местообитаниях.

Особую группу составляют культурные растения – «сверхэксплеренты».

Концепция Грайма (1979). Разработана английским ботаником Дж. Граймом, который классифицировал местообитания (с учётом степени нарушения и суровости условий среды), жизненные циклы растений и выделил 3 типа жизненных стратегий:

1) *Толерантная* (стресс-толерантная) – развивается при недостатке ресурсов или в суровых условиях, но на фоне редких нарушений.

2) *Рудеральная* – имеет место при высокой степени нарушаемых, но благоприятных условиях и обилии ресурсов.

3) *Конкурентно-рудеральная*.

Положение вида в системе типов стратегий определялось экспериментально по показателям роста растения в высоту, размерам растений в конкретных типах местообитаний, величине репродуктивного усилия, длительности жизни и пр.

Концепция Раменского-Грайма. Определена Б.М. Миркиным, который в основу заложил отношение растений к качеству условий местообитания и нарушениям. По характеру стресса выделяют 4 типа местообитаний: арктоальпийский, аридный, тенистый, бедный элементами минерального питания, при котором недостаток элементов питания – ведущий фактор. Нарушения связаны с изъятием части популяции.

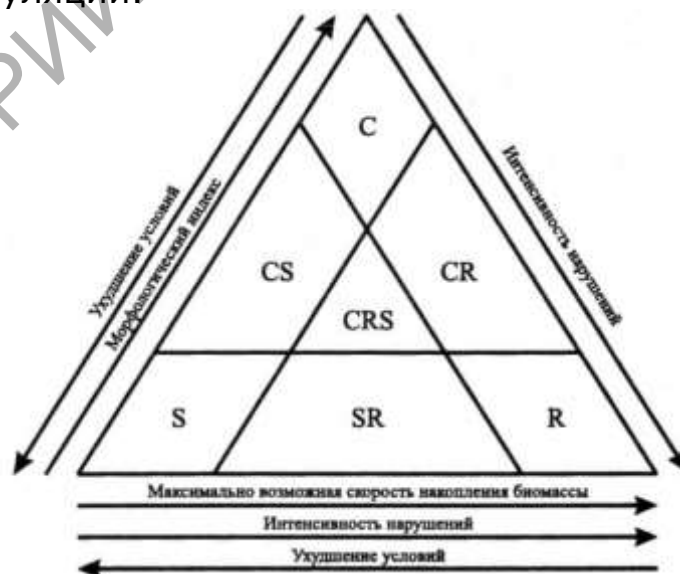


Рис. – Триангулярная схема первичных и переходных типов стратегий Раменского-Грайма: С – виолент; S – пациент, R – эксплерент

В природе типы стратегий связаны множеством переходов. Переходные типы – вторичные стратегии, которые отражает триан-

гулярная схема Раменского–Грайма, в углах которой обозначенные типы первичных стратегий (C, R, S) (рис.).

Каждая популяция воплощает в себе в определенных соотношениях свойства патиентности, виолентности и эксплерентности.

Система МакАртура – Уилсона. В 1967 г. Р. МакАртуром и Э. Уилсоном была предложена система стратегий видов, формируемая *r*- и *K*- отбором. В её основу положена связь особенностей биологии видов животных с типом динамики популяции.

– *r*-стратегии (*r*-виды, *r*-популяции) – популяции из быстро размножающихся, но менее конкурентоспособных особей. Имеют J-образную (экспоненциальную) кривую роста численности. Такие популяции быстро расселяются, но они малоустойчивы и быстро погибают. Отбор идет на высокую плодовитость, оборачиваемость поколений, способность к быстрому расселению, что позволяет видам быстро восстанавливать численность после резкого ее снижения. К ним относятся бактерии, тли, однолетние растения и др.

– *K*-стратегии (*K*-виды, *K*-популяции) – популяции из медленно размножающихся, но более конкурентоспособных особей. Имеют S-образную кривую роста численности. Такие популяции населяют стабильные местообитания. Отбор совершенствует разные формы заботы о потомстве, что позволяет снизить плодовитость. Одновременно увеличивается продолжительность жизненных циклов и совершенствуются механизмы устойчивого поддержания численности в биоценозах. К ним относятся птицы, млекопитающие, деревья и др.

***R* и *K* – стратегии популяций**

г-виды	К-виды
1	2
Размножение быстро (высокая плодовитость, короткое время генерации)	Размножение медленно (низкая плодовитость, продолжительное время генерации)
Скорость размножения не зависит от плотности популяции	Скорость размножения зависит от плотности популяции
Энергия и вещество распределяются между многими потомками	Энергия и вещество концентрируются в немногих потомках, родители заботятся о потомках
Размеры популяции некоторое время могут превышать емкость среды	Размеры популяции близки к равновесному уровню
Вид не всегда устойчив на данной территории	Вид устойчив на данной территории
Расселяются быстро	Расселяются медленно
1	2

Размножение идет с относительно большими затратами энергии и вещества	Размножение идет с относительно небольшими затратами энергии; много энергии расходуется на рост и поддержку жизнеспособности отдельной особи
Малые размеры особей	Крупные размеры особей
Малая продолжительность жизни особей	Большая продолжительность жизни особей
Местообитания сохраняются недолго	Местообитания устойчивые
Слабые конкуренты	Сильные конкуренты
Защитные приспособления развиты слабо	Хорошие защитные механизмы
Лучше приспособлены к изменениям окружающей среды (менее специализированы)	Высокая специализация для жизни в устойчивых местообитаниях
Например: бактерии, тли, одуванчики	Например: крупные тропические бабочки, альбатрос, деревья, человек.

2 Изменения численности и ее регуляции

Выделяют следующие типы колебания численности:

- *сезонный* (характерен для видов с резко возрастающей плотностью популяций в течение одного сезона и свойственен небольшим по размеру организмам, которые дают многочисленное и быстро созревающее потомство и способны в короткий срок резко увеличить свою численность – дафнии, циклопы, коловратки, многие виды насекомых, грызунов и однолетних травянистых растений);

- *многолетний* (охватывает период в несколько лет и характеризуется фазой минимума, или депрессии, фазой подъема, или нарастания, и фазой максимума, или массовой вспышки, после которой численность снижается, и многолетний цикл повторяется вновь – саранча, колорадский жук, лемминги);

- *устойчивый* (характерен для видов с более или менее постоянной численностью в течение длительного периода времени и свойственен, как правило, крупным животным с большой продолжительностью жизни, поздним наступлением половозрелости, дающим малочисленное с высокой выживаемостью потомство – копытные млекопитающие, китообразные, крупные орлы, некоторые пресмыкающиеся)

Современная теория рассматривает динамику численности популяций как авторегулируемый процесс.

Факторы, вызывающие изменение численности, разнообразны. Их подразделяют на две группы: не зависящие и зависящие от плотности популяции.

1) *Не зависящие от плотности популяции (модифицирующие)*. *Модификация* – это случайное отклонение численности, возникающее в результате воздействия самых разнообразных факторов, не связанных с плотностью популяции. Это преимущественно абиоти-

ческие факторы, т.е. вызывая изменение численности популяций, сами не испытывают влияния этих изменений. Действие их, таким образом, одностороннее.

2) *Зависимые от плотности популяции (регулирующие)*. Это биотические факторы – естественные враги (хищники, паразиты, возбудители болезней) и пищевые ресурсы. Их количество изменяется вместе с изменением численности популяции. *Регуляции* не просто изменяют численность популяции, а сглаживают ее колебания, приводя после очередного отклонения от оптимума к прежнему уровню. Это происходит потому, что эффект их воздействия тем сильнее, чем выше плотность популяции. В качестве регулирующих сил выступают внутривидовые и межвидовые отношения организмов.

а) *внутривидовые*:



Известно 3 типа зависимости роста популяции от её плотности (рис.):

- первый тип (кривая 1) – скорость роста популяции уменьшается по мере увеличения плотности (при увеличении плотности популяции наблюдается снижение рождаемости, меняется возраст наступления половой зрелости).

- второй тип (кривая 2) – темп роста популяции максимален при средних, а не

при низких значениях плотности (этот тип характерен для видов, у которых отмечен групповой эффект).

- третий тип (кривая 3) – темп роста популяции не изменяется до тех пор, пока она не достигнет высокой плотности, затем резко падает (лемминги).

б) *межвидовые*

- хищники-полифаги, способные при изменении численности жертв ослабить или усилить свою активность – функциональная реакция, – оказывают действие при сравнительно низких значениях численности популяции жертвы;

- хищники-олигофаги, характеризующиеся в отличие от полифагов численной реакцией на состояние популяции жертвы, оказывают на нее регулирующее действие в более широком диапазоне, чем полифаги;

- эпизоотии – ярко выраженные инфекционные эпидемии;

- внутривидовая конкуренция как предельный фактор регуляции, ведущая к исчерпанию доступных ресурсов и развитию стрессовых реакций в популяции жертвы.



Динамика численности популяций в естественной обстановке – это также автоматически регулируемый процесс, механизмы стабилизации которого отработаны длительной историей совместного развития видов (рис.).



В сообществах, искусственно создаваемых человеком или упрощенных в результате антропогенных воздействий, регуляторные связи ослаблены, и поэтому в них возможны катастрофические для биоценоза размножения отдельных видов – вредителей сельскохозяйственных растений и лесных насаждений, грызунов, паразитов, возбудителей болезней и т. п.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЛЕКЦИЯ 8 ПОНЯТИЕ О БИОЦЕНОЗЕ. КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НИШИ

- 1 Понятие о биогеоценозе. Компоненты биогеоценоза
- 2 Биоценоз. Общие положения.
- 3 Видовая структура биоценоза. Концепция экотона
- 4 Пространственная структура.
- 5 Экологическая структура
- 6 Экологическая ниша

1 Понятие о биогеоценозе. Компоненты биогеоценоза

Термин «биогеоценоз» (био... + гео... + греч. *koinos* – общий) ввел в 1940 г. академик В.Н.Сукачев. По В.Н.Сукачеву, биогеоценоз – это элементарная ячейка насыщенных организмами слоев биосферы, маркируемая фитоценозом – растительным сообществом. Это эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система живых организмов и абиотической среды, в которой происходит постоянный обмен веществом и энергией.

Компоненты биогеоценоза:

Любой биогеоценоз состоит из 2 главных компонентов:

1) биологической составляющей (живая компонента) включает в себя биоценоз (сообщество):

- а) фитоценоз – растительное сообщество (автотрофные организмы, продуценты);
- б) зооценоз – животное население (гетеротрофы, консументы)
- в) мицоценоз – грибы (гетеротрофы, редуценты);
- г) микробоценоз – различные микроорганизмы, представленные бактериями, простейшими (редуценты).

2) небиологической (географической) составляющей (неживая компонента) или биотоп слагается из таких компонентов, как:

- а) климатоп – совокупность климатических факторов данной территории;
- б) эдафотоп – почва;
- в) гидротоп – гидрологические факторы

Все взаимодействия компонентов биогеоценоза связаны между собой совокупностью пищевых цепей и взаимообусловлены. Каждый компонент в природе неотделим от другого. Главным созидателем живого вещества в пределах биогеоценоза является фитоценоз – зелёные растения. Используя солнечную энергию, зелёные растения создают огромную массу органического вещества.

2 Биоценоз. Общие положения

В современной экологической литературе термин *биоценоз* (*biocoenosis*) обычно применяется как синоним термина *сообщество* (*community*). *Биоценоз* – это сочетание популяций растений, животных и микроорганизмов, взаимодействующих друг с другом в пределах данной среды и образующих особую живую систему со своими

собственными составом, структурой, взаимоотношениями со средой, развитием и функциями.

Биоценозы, как и все биологические системы, – системы открытые и в природе переходят одно в другое вдоль тех или иных градиентов среды, а не занимают четко ограниченные зоны. Иногда экологи ограничиваются при выделении сообщества просто произвольным набором видов.

Биоценоз как открытая система получает на её «входе» солнечную энергию, газы, атмосферу, воду, минеральные элементы почвы. На «выходе» – теплоту, кислород, углерод, биогенные вещества, уносимые водой. Однако главным «продуктом» биоценоза является живая продукция – растительная и животная биомасса, и преобразованное в биотопе неживое и отмершее вещество – источник разнообразных полезных ископаемых.

Поддержание структуры и функций сообщества зависит от сложного ряда взаимодействий, непосредственно или косвенно связывающих его членов в одну сложную сеть. Влияние той или иной популяции простирается до экологически отдаленных частей сообщества через её конкурентов, хищников и жертв.

В биоценозе выделяют ряд структур: видовую, пространственную, экологическую и трофическую.

3 Видовая структура биоценоза

Каждый биоценоз можно описать, основываясь на совокупности составляющих его видов. Одни биоценозы слагаются преимущественно из животных, как, например биоценоз кораллового рифа. В других биоценозах (лесной) главную роль играют растения: биоценоз елового, березового, дубового леса. Степень насыщенности видами в различных биоценозах разная.

Самая известная закономерность видового разнообразия – его уменьшение от тропиков в сторону высоких широт.

Наиболее простым показателем видового разнообразия биоценоза является общее число видов – видовое богатство. Если какой-либо вид растения (или животного) количественно преобладает в сообществе (имеет большую биомассу, продуктивность, численность или обилие), то такой вид называется *доминантом*, или доминирующим видом. Доминантные виды есть в любом биоценозе. Остальные виды являются *ассектаторами*.

Видовое разнообразие сообщества (число видов, встреченное в определенном местообитании) можно выразить через ряд параметров:

а) информационное разнообразие, или индекс Шеннона

$$H' = -\sum (n_i/N) \log(n_i/N)$$

б) концентрация доминирования, или индекс Симпсона

$$C = \sum (n_i/N)^2$$

в) выровненность по Пиелу

$$e = H' / \log S$$

г) видовое богатство, или индекс Маргалефа

$$D = S - 1 / \ln N$$

Концепция экотона

Понятие «экотон» (от греч. oikos – дом, жилище, tonos – напряжение, оттенок) ввел в начале XX в. Ф. Клементс. *Экотон* – это переходная полоса между соседними (2 и более) растительными сообществами, которая значительно мельче их. Это приемлемо только тогда, когда постепенные переходы связывают более или менее гомогенные контуры сообществ. Если же изменения параметров сообществ выражаются по градиенту условий среды и есть серия сообществ, постепенно переходящих одно в другое, то это – *экоклин*.

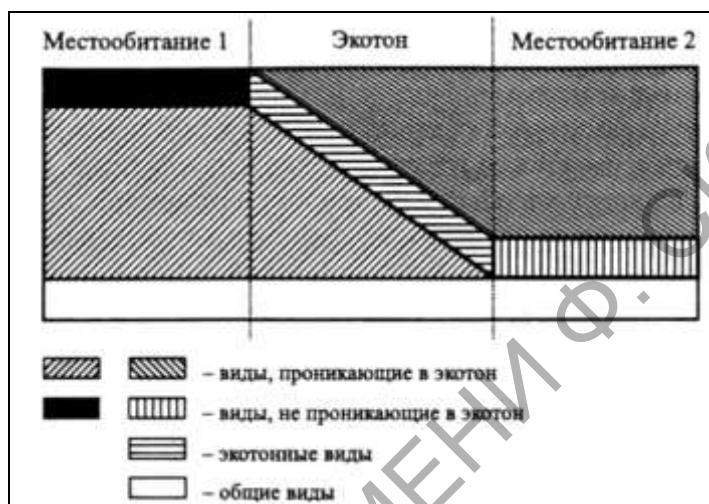


Рис. – Структура сообществ в экотоне и прилегающих местообитаниях

Сочетание на поле экотона видов из пограничных сообществ и видов специфических, называемых «пограничными» или видами экотонфилами, увеличивает разнообразие и плотность организмов – это *краевой эффект*, или *эффект опушки*. Отмечены случаи, когда экотоны являются экологическими рефугиумами (убежищами видов), в них могут сохраняться некоторые реликтовые виды.

Выразительным зональным экотоном в Беларуси является геоботаническая подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов, переходная полоса от южно-таежных темнохвойных лесов к западноевропейским широколиственным. На территории этого экотона перекрываются ареалы многих бореальных и неморальных видов. Здесь леса восточноевропейского типа с елью, можжевельником, жимолостью лесной сменяются лесами западноевропейского типа. Экотон имеет хорошо выраженные температурные рубежи. Он охватывает территорию, в пределах которой сумма температур больше 10 °С составляет за год от 2200 до 2400 °С.

Классификация экотонов (по Р.А Мирзадинову и Л.Я. Курочкиной):

I порядка (ценотопы) – межфациальные (между конкретными сообществами, биогеоценозами, экотопами);

II порядка – межландшафтные (между крупными ландшафтно-территориальными единицами в пределах одной зоны);

III порядка (зоноэкотоны) – межзональные (между природными зонами).

По степени масштабности выделяют:

- микроэкотоны (экотоны вокруг растений);
- мезоэкотоны (переходные полосы между синузиями и парцеллами: опушка леса, окраина болотного массива и т.д.);
- макроэкотоны (зоны: лесостепь, лесотундра, полупустыня, субальпийский пояс в горах – *зоноэкотоны*, или *зонобиомы*);
- мегаэкотоны (подводные и субаэральные окраины континентов).

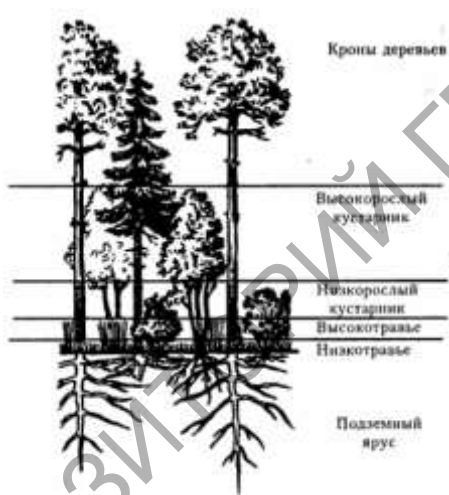
В полосе контакта между природными, сельскохозяйственными и урбанизированными ландшафтами развивается специфическая среда – *урбаэктон*.

Земля в настоящее время переживает процесс экотонизации вследствие скоротечных антропогенных трансформаций ландшафтов и особенно возрастающего расчленения местообитаний – *инсуляризации*. Получают распространение экотоны между агроландшафтами и природными экосистемами. Они (защитные полосы, живые изгороди, межи) имеют значение в сохранении биоразнообразия, служат временными убежищами для ряда видов. Урбаэктон выступает в качестве экологического каркаса территории и может выполнять роль экологических сетей, способствуя миграции видов.

4 Пространственная структура

Пространственная структура биоценоза включает его вертикальную и горизонтальную структуры.

4.1 Вертикальная структура



Вертикальная структура биоценоза образована отдельными его элементами, особыми слоями, которые называются ярусами.

Ярус – совместно произрастающие группы видов растений, различающиеся по высоте и по положению в биоценозе ассимилирующих органов (листья, стебли, подземные органы – клубни, корневища, луковицы и т.п.). Как правило, разные ярусы образованы разными жизненными формами. Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах:

1 ярус: формируют высокие деревья с высоко расположенной листвой, которая хорошо освещается солнцем.

2 ярус: формируют деревья поменьше (подпологовый ярус). Поглощают неиспользованный 1-ым ярусом свет.

3 ярус: формируют подлесок (кустарники и кустарниковые формы древесных пород). Поглощают оставшиеся около 10 % солнечной радиации перехватываются ярусом подлеска.

4 ярус: формируют подрост (молодые невысокие (от 1 до 3-5 м) деревца, которые в будущем, в перспективе, смогут выйти в первый ярус).

5 ярус: формируют растения травяного покрова (лесные травы)

и кустарнички: ландыш, кислица, земляника, брусника, черника, папоротники). Используется незначительная часть солнечной радиации - от 1 до 5%

Б ярус: формируют напочвенный слой мхов и лишайников.

Ярусов может быть меньше (например, отсутствуют кустарники), или больше (в сложных смешанных древостоях с несколькими древесными породами). В состав ярусов не включают лианы, эпифиты, а также растения-паразиты – это *внеярусная растительность*.

В травяных сообществах также выделяют ярусы, хотя они менее четко выражены, чем в лесных сообществах.

Ярусность свойственна и подземным частям растений. Такие ярусы выделяют по глубине залегания всасывающих частей корней и можно выделить 2-3 или больше подземных ярусов.

В водных сообществах кроме яруса корней и корневищ различают ярус:

- надводных трав;
- плавающих трав;
- высоких водных трав;
- низких водных трав;
- придонных растений (водоросли).

Разные виды животных в биоценозе также занимают определенные уровни. В почве живут почвенные черви, микроорганизмы, землеройные животные. В листовом опаде, на поверхности почвы живут различные многоножки, жулики, клещи и другие мелкие животные. В верхнем пологе леса гнездятся птицы, причем, одни могут питаться и гнездиться ниже верхнего яруса, другие в кустарниках, а третьи возле самой земли, крупные млекопитающие обитают в нижних ярусах.

Ярусность присуща и биоценозам океана и морей (планктон, нектон, бентос).

3.2 Горизонтальная структура биоценоза

Особи живых организмов распределены в пространстве неравномерно. Обычно они составляют группировки, что является приспособительным фактором в их жизни. Такие группировки определяют *горизонтальную структуру биоценоза* – горизонтальное распределение особей видов, образующих своеобразную узорчатость, мозаичность, пятнистость каждого вида.

Наличие мозаичности, имеет довольно важное значение для жизни сообщества – позволяет более полно использовать различные типы микроместообитаний. Особям, образующим группировки, свойственна высокая выживаемость, они наиболее эффективно используют пищевые ресурсы, что ведет к увеличению и разнообразию видов в биоценозе, способствует его устойчивости и жизненности.

К элементарным единицам горизонтального строения растительных сообществ относятся микроценоз, или синюзия, микрогруппировка и парцелла.

Микроценоз (от греч. «микрос» – малый и «койнос» – общий),

или синузия (от греч. *synusia* – совместное пребывание, сообщество) – это экологически и пространственно обособленная часть фитоценоза, состоящая из растений одной или нескольких близких жизненных форм (например, деревья, кустарники, эпифитные лишайники, мхи, водоросли на стволах и др.), связанных между собой общими требованиями к среде обитания, нередко в значительной степени создаваемой самой совокупностью организмов, составляющих синузию. Обладает пространственной или временной обособленностью, а, следовательно, и особой фитоценотической средой. Часто совпадает с ярусом (горизонтом, слоем) растительности.

Микрогруппировка – сгущение особей одного или нескольких видов в пределах яруса, внутриярусные мозаичные пятна. Например, в моховом ярусе можно выделить различные пятна мхов с доминированием одного или нескольких видов. В травяно-кустарничковом ярусе можно выделить микрогруппировки черничные, чернично-кисличные, голубично-сфагновые и т.п. Иногда термины «микроценоз» и «микрогруппировка» употребляются как синонимы.

Парцелла (от лат. *particula* – частица) – наименьшая по размерам структурная единица горизонтального расчленения сообщества, которая включает все ярусы, обособленная в вертикальном направлении от других, окружающих ее микроценозов этого же сообщества и характеризующаяся определенным составом, структурой, динамикой и обладающая некоторой целостностью. Почти каждое сообщество включает в себя комплекс микросообществ или микроценозов. Границы парцеллы определяются структурными особенностями растительности: число, высота, густота ярусов, видовой состав растений, обилие, возраст и жизненность, наличие внеярусных синузид. Название парцеллы определяется доминирующим видом растений: елово-липовая, елово-волосистоосоковая, крупно-папоротниковая (с щитовником мужским) в «окне» древесного яруса и др..

5 Экологическая структура

Экологическая структура каждого биоценоза формируется в соответствии с эдафо-климатическими и биотическими условиями. В каждом конкретном случае биоценоз располагает индивидуальным набором и соотношением автотрофов и гетеротрофов, жизненных форм, экологических групп, жизненных стратегий.

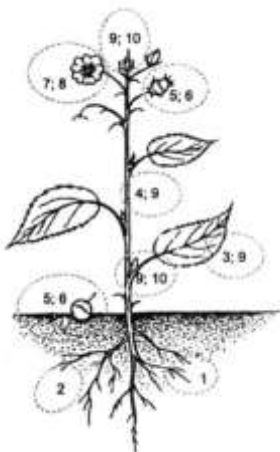
Согласно **принципу плотной упаковки Р. МакАртура**, виды, объединенные в сообщество, используют все возможности для совместного существования с минимальной конкуренцией между собой, максимальной продуктивностью в условиях данного местообитания и наибольшей плотностью. **Биоценотическое правило Г.Ф. Морозова** гласит: «В природе не существует полезных и вредных птиц, полезных и вредных насекомых, там все служит друг другу и взаимно приспособлено».

6 Экологическая ниша

Термин «ниша» (от фр. *niche* – гнездо) предложил в 1910 г. Р.

Джонсон. Одним из первых (в 1917 г.) его употребил американский орнитолог Дж. Гринелл (понятие пространственной ниши). Позднее Ч. Элтон определил нишу животного как «его место в биотической среде, его отношения с пищей и врагами» и как «статус организма в сообществе» (понятие трофической ниши). Наиболее популярным стало определение ниши Одумом как «профессии, образа жизни вида». Местообитание при этом обозначается как его «адрес», место жизни, пространство.

В настоящее время широкое признание получила **модель гиперпространственной ниши** американского эколога **Хатчинсона**.



Размещение экологических ниш, приуроченных к растению:

1-корнееды; 2-экскрисотрофы (поедатели корневых выделений),
3-листоеды; 4-стволоеды;
5-плодоеды; 6-семяеды; 7-цветоеды;
8-пыльцееды; 9-сокососы;
10-почкоеды

ей, ниша потребностей.

- *реализованную* – фактический диапазон условий существования организма в настоящее время, т.е. – часть фундаментальной ниши, которую удастся защитить в сообществе от конкурентов. Является нишей популяции.

- *фактическую, или постконкурентную* – реализованная ниша, учитывающая различные факторы ограничения организма.

В связи с учением о нише сложилось понятие гильдии (трофическая ассоциация, трофическая группировка). Термин предложен Р. Руттом в 1967 г. *Гильдия* – это внутрибиоценотическая группировка видов, использующих один и тот же класс ресурсов среды одинаковым способом или характеризующихся функциональной близостью.

Главными аспектами учения о нише являются гомогенность, мерность, ширина и перекрывание ниш.

Гомогенность – это равная пригодность любой точки ниши для успешного существования вида.

Мерность ниши – это всё разнообразие используемых ресурсов (энергия, вещество, место) и факторов среды (свет, температура, соленость, наличие конкурентов и др.). Ниша – многомерное простран-

Он определяет нишу как *совокупность оптимальных условий, при которых данный организм может долго существовать и воспроизводить себя*. Ниша организма (популяции, вида) – это многомерное пространство, охватывающее разнообразный диапазон условий с необходимыми ресурсами, которые сохраняются в сообществе в течение всего периода жизнедеятельности особей вида. Однако этот диапазон условий редко используется полностью в данный момент времени. В связи с этим различают ниши:

- *фундаментальную* (или потенциальную, преконкурентную) – ниша, не ограниченная конкуренцией,

ство. В пространстве ниши любой параметр (абиотический и биотический) рассматривается как ось. Ось – это некий градиент, некое измерение пространства, на котором у каждого вида имеется свой диапазон активности или устойчивости.

Ширина, или размер ниш – это протяженность гиперобъёма реализованной ниши (у разных организмов колеблется в больших пределах). Рассматривается по отношению к какому-нибудь одному фактору. К сужению ниши ведет высокая обеспеченность пищей.

Перекрытие ниш – это сочетание ниш разных организмов, местообитание которых взаимосвязано в пространстве.

Согласно **правилу Г.Ф. Гаузе**, 2 вида, занимающие одну и ту же экологическую нишу, не могут устойчиво сосуществовать, поскольку в результате конкуренции один вид будет вытеснен другим.

Явление сильного перекрытия ниши по одному и значительное разделение по другому измерению ресурса называется *дифференциальным перекрытием ниш*. Сильное перекрытие наблюдается при избытке ресурсов.

Примерно до 60-х гг. XX в. понятие ниши применительно к растениям не использовалось. К настоящему времени в соответствии с концепцией о мерности это пересмотрено – каждое растение имеет свой тип фуражирования. Установлено разделение ниш растений по срокам цветения, источникам потребляемого азота, по поглощаемым формам азота, в поглощении фосфора, по глубине залегания корневых систем и др.

Велика роль ниши в конкурентных взаимоотношениях. Внутривидовая конкуренция ведет к расширению реализованной ниши, к приближению ее к границам ниши фундаментальной. Основным механизмом обеспечения этих возможностей является популяционная гетерогенность особей по отношению к факторам среды. Расширению ниши противодействует межвидовая конкуренция, особенно диффузная. При этом наблюдается пропорциональное сокращение реализованных ниш взаимодействующих видов (меняется положение их центров) и возможное конкурентное исключение из сообщества, если не происходит сдвиг ниш и смещение признаков.

В сообществе не бывает пустующих ниш («природа не терпит пустоты»). На этом базируется **правило обязательности заполнения экологических ниш**.

ЛЕКЦИЯ 9 БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

- 1 *Определение биологического разнообразия*
- 2 *Классификация и категории*
- 3 *Особенности хорологии*
- 4 *Факторы, влияющие на видовое богатство сообществ*
- 5 *Устойчивость и стабильность систем*

1 Определение биологического разнообразия

Биологическое разнообразие – универсальное понятие. Формы биологического разнообразия можно выделить на всех уровнях организации живого: разнообразие генов и аллелей, клеток, тканей и органов, видов и популяций, сообществ и экосистем, а также композиций таксонов разного ранга - флор и фаун.

Международное определение: «*Биологическое разнообразие – это вариабельность живых организмов из всех источников, включая наземные, морские и другие водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и экосистемами*». Проявлениями разнообразия являются разнообразие генотипов, родов, семейств и других таксонов, фенотипов, жизненных форм, структур популяций (возрастное, половое разнообразие), популяций, консорций, трофических звеньев и цепей, трофических групп, сообществ, экосистем.

Биоразнообразие как экологическое понятие отражает функциональную роль его форм в жизни экосистем. Это не просто совокупность видов и не синоним видового разнообразия, а определенное их функциональное соотношение, сочетание. Считается, что разнообразие сообщества, включающего виды, относящиеся ко многим родам, выше, чем у такого, где большинство видов принадлежит к одному роду.

Вид является базовой единицей биологического разнообразия, его основной структурной единицей.

Биоразнообразие по своей функциональной сути рассматривается с точки зрения:

- структуры сообщества (разнообразие жизненных форм);
- **принципа плотной упаковки МакАртура**: *виды, объединенные в сообщество (экосистему), стремятся использовать все возможности для существования, представляемые средой и биотическим окружением, и максимизировать биопродуктивность в конкретном биотопе, трансформации вещества и энергии, круговорота веществ (разнообразие продуцентов, консументов и редуцентов);*
- различия в валентности видов (по степени участия в круговороте);

- гомеостаза вида и популяции, потенциальной бессмертности вида (разнообразие популяций как форм существования вида, внутривидовая гетерогенность);

- гомеостаза биоценоза, экосистемы (сочетание функционально различных популяций, разнообразие экологических групп, жизненных форм, жизненных стратегий);

- эволюции (состав и частота генотипов, фенотипов, их изменение во времени).

В последнее время биологическое разнообразие все более понимается как живое вещество, биота, биотический покров организованные в пространстве и времени и дифференцированные в отношении структуры и функций. Оно обеспечивает постоянство функционирования систем в широком диапазоне условий.

Биоразнообразие охватывает все проявления жизни, поражает воображение, являясь ключевой проблемой понимания мира. В экологии складывается самостоятельное направление разностороннего изучения биоразнообразия. Этот раздел экологии А.А. Протасов (2002) назвал *диверсикологией* (от лат. *diversus* – различный, разный, разнообразный). Международная программа по изучению биоразнообразия называется «Diversitas». Начало современной диверсикологии как экологической дисциплины связано с именами МакАртура и Маргалефа.

2 Классификация и категории

Единой классификации биоразнообразия не существует в связи с его сложностью и разномасштабностью.

Виды классификаций биоразнообразия:

1) По Ю. Одуму (1975):

- видовое;
- генетическое (разнообразие генетических типов, определяемое посредством фенотипов);
- структурное (разнообразие структур, формирование которых связано с характером распределения особей в среде или их взаимодействием со средой).

2) По таксономо-экологическому подходу:

- таксономическое;
- экологическое.

3) По Д.А. Криволуцкому (1999):

- генетическое;
- видовое;
- экосистемное.

4) Инвентаризационное разнообразие по Р. Уиттекеру (1960):

- α-разнообразие – видовое разнообразие в пределах одного сообщества, внутри одного однородного местообитания.

Для измерения альфа-разнообразия предложено множество показателей, среди которых обычно используют степень количе-

ственной представленности вида:

а) информационное разнообразие, или индекс Шеннона

$$H' = -\sum(n_i/N)\log(n_i/N),$$

где n_i – число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе.

(показывает общее разнообразие и представленность видов их особями в сообществе. Обычно укладывается в интервал от 1,5 до 3,5 (чем выше, тем более широко сообщество представлено видами)).

б) концентрация доминирования, или индекс Симпсона

$$C = \sum(n_i/N)^2,$$

где n_i – число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе.

(является показателем общего доминирования в сообществе, обратно пропорционален предыдущему индексу. Изменяется в диапазоне от 0 до 1 (чем он выше, тем меньшее число видов доминируют в сообществе). Высокий показатель может свидетельствовать об устоявшемся биоценозе со стабильной видовой структурой).

в) выравненность по Пиелу

$$e = H'/\log S,$$

где H' – индекс Шеннона, S – число видов в сообществе.

(показывает насколько виды в равной доле представлены особями. Изменяется в пределах от 0 до 1. Чем он больше, тем выше показатель нарушенности биоценоза или свидетельствует о том, что сообщество находится на стадии формирования).

г) видовое богатство, или индекс Маргалефа

$$D = S - 1/\ln N,$$

где S – число видов в сообществе, N – общее число особей всех видов в сообществе.

(показывает общее видовое богатство через отношение видов и особей).

Как вариант альфа-разнообразия различают точечное альфа-разнообразие, отражающее разнообразие в микроместообитании, в выборке, полученной из однородного местообитания, в пределах небольшого гомогенного местообитания сообщества.

- β-разнообразие – позволяет сравнивать видовой состав разных сообществ. Обычно используется при установлении характера изменения видового состава сообществ, сменяющих друг друга по градиенту факторов среды или при переходе от одного местообитания (сообщества) к другому.

Для сравнения видового состава двух сообществ между собой используются следующие показатели:

а) коэффициент видовой общности сообществ (коэффициент

Жаккара)

$$K_g = C/(A+B) - C,$$

где А – число видов в 1-м сообществе, В – число видов во 2-м сообществе, С – число видов, общих на обоих сообществах:

0,65–1,0	– полное сходство	0,2–0,39	– низкое сходство
0,4–0,64	– высокое сходство	< 0,2	– сходства нет

Есть подобный ему коэффициент Чекановского–Сьеренсена:

$$K_{C-S} = 2C/(A+B)$$

(обозначения в формуле те же, что и в коэффициенте Жаккара)

б) коэффициент биоценотической общности

$$K_6 = K_g \times (\sum c_{\min} / a + b - \sum c_{\min}),$$

где $\sum c_{\min}$ – сумма наименьших показателей обилия каждого вида в сравниваемых биотопах, а – суммарное обилие всех видов в одном сообществе, b – суммарное обилие всех видов в другом сообществе.

- γ-разнообразие – видовое разнообразие в пределах ландшафта, острова. (аналог альфа-разнообразия в большом пространстве и измеряется таким же путем).

- δ-разнообразие (добавлено Крюгером и Тейлором в 1979 г.) – географическая дифференциация, изменение растительности вдоль климатических градиентов или между географическими регионами.

Связано с крупными частями биома или биогеографическими регионами, отражает градиент разнообразия (подобно бета-разнообразию служит также для оценки варьирования между сообществами).

- ε-разнообразие – отражает глобальный градиент разнообразия в системе зонально-поясных биомов. Это наиболее высокий уровень, соответствующий природным зонам.

Таким образом, альфа-, гамма- и эpsilon-разнообразие – это оценка разнообразия сообщества разного масштаба; бета-, дельта-разнообразие – сравнение, оценка варьирования между сообществами разного масштаба.

3 Особенности хорологии

Хорология биоразнообразия – это его варьирование в пространстве в зависимости от абиотических и биотических факторов. Распределение видов на Земле меняется по долготе, высоте над уровнем моря, в градиенте увлажнения, солености, содержания калия в почве и других показателей. **Декандалем** и **А. Уоллесом (1859)** сформулировано правило, согласно которому разнообразие организмов в сообществах уменьшается от тропиков к полюсам с отступлением от общей тенденции в аридных областях. В

этих регионах земного шара богатство флоры до 10 раз меньше, нежели в гумидных. В Сахаре, например, встречается около 170 видов на 10000 км².

Правило Уоллеса подтверждается **градиентом разнообразия по Уиттекеру**: *разнообразие уменьшается от равнин тропиков в сторону высоких широт; от равнин – в сторону больших высот*. Самым большим разнообразием обладают гилеи и коралловые рифы. Они же самые продуктивные экосистемы планеты. При подъеме в горы на каждые 400 м разнообразие флоры уменьшается вдвое. Наиболее богаты нижние пояса гор.

Часто связь разнообразие – климат затушевывается наличием других, более существенных для данной таксономической группы факторов (увеличение общего разнообразия видов от полюсов к экватору связано больше с возрастанием в этом же направлении биотических факторов, в северных регионах ведущую роль в экосистемах играют факторы абиотические). В условиях максимального развития биотических отношений процветают наиболее эволюционно продвинутые таксоны.

4 Факторы, определяющие видовое богатство сообществ

Видовое богатство – явление не только многофакторное, но и весьма индивидуальное. В разных условиях, в разных сообществах ведущими могут оказаться самые разные факторы, наиболее важными из которых являются следующие:

1) Благоприятные эдафо-климатические условия. Максимум видов в большинстве случаев наблюдается в мезофитных условиях. Богатством видов отличаются гилеи, лесостепь (экотон между гумидными и аридными зонами).

Разнообразие определяется не просто высокими показателями абиотических факторов среды, а разнообразием доступных ресурсов, их качеством, расширением ресурсных возможностей среды. Избыток ресурсов (большие дозы минеральных удобрений, сильная эвтрофикация водоемов) выступает как фактор нарушения среды и ведет к снижению разнообразия.

2) Возраст сообществ (эволюционное время). На разнообразие сообществ в значительной степени влияют стабильность среды, стрессовые воздействия. Чрезмерная и недостаточная стабильность условий среды во времени ведет к снижению биоразнообразия. Биоразнообразие сообщества зависит также и от экологического, более короткого, времени, в течение которого формируется данный ценоз.

3) Разнородность (гетерогенность) среды. Согласуется с **принципами А. Тинемана (1918)**:

Первый принцип: *чем разнообразнее условия биотопа (наличие микроместообитаний с широким диапазоном микроклима-*

тических условий, убежищ, укрытий и пр.), тем больше видов в биоценозе.

Второй принцип Тинемана: чем больше условие биотопа отличается от нормы и от свойственного организмам оптимума, тем беднее видами и специфичнее биоценоз.

Бедность видами компенсируется численностью особей. **Правило компенсации** гласит: чем специфичнее среда и чем меньше видов может обитать в ней, тем выше численность особей, составляющих это сообщество. В таких сообществах при небольшом видовом богатстве снижается конкуренция.

Разнородность среды определяется не только естественной рассеченностью территории, но и биотическими факторами. Числом потенциальных ниш определяется число видов в сообществе. Пустующих ниш в зрелом биоценозе не бывает.

Масштабный эффект среды (по А.Ф. Алимову) – это соотношение размеров организмов и элементов среды. Слишком большая гетерогенность среды приводит к уменьшению размеров однородностей, доступных для обитания, что снижает видовое богатство.

4) Биологический фактор. Нередко не сочетание благоприятных условий, а биотические взаимодействия являются определяющими. В результате конкурентного исключения виды могут вытесняться сильным конкурентом, который становится преобладающим. К увеличению видового богатства ведет формирование сложных консорциев, с увеличением числа видов растений заметно увеличивается число консументов, а следовательно, и редуцентов (с тростником обыкновенным связано около 200 фитофагов, конкуренция между которыми снимается узкой специализацией (сосущие, бурлящики, грызущие и др.)). На видовом богатстве в значительной степени сказываются симбиотические взаимоотношения, а также отношения типа жертва–хищник, хозяин – паразит.

5) Эколого-биологические особенности видов эдификаторов и доминантов. Сильная эдификаторная роль отдельных видов заметно сказывается на видовом разнообразии. Доминанты, уменьшая выравненность сообщества, уменьшают видовое разнообразие. Как правило, доминирование выражено в сообществах с малым видовым богатством. В природе происходит процесс регулирования выравненности естественным путем, поскольку пастбищники, хищники, паразиты ориентируются чаще всего на доминантов.

6) Режим нарушений. Умеренный режим нарушений ослабляет роль виолентов и способствует повышению видового разнообразия. При сильном прессе разнообразие резко снижается. При периодическом действии антропогенного фактора преобладают эксплеренты, а при постоянном (интенсивный выпас) – пациенты.

Кроме того, видовое разнообразие сообщества зависит от:

- стадии сукцессии;
- потенциального запаса видов в данной местности);

- «шкалы времени» (нарастание видового богатства в рудеральных сообществах происходит в шкале месяцев, в луговых – годов, в климаксных лесных сообществах – в геологическом масштабе);

- переменности режимов экосреды (особо выражена на лугах);

- «карусели» (способности нескольких видов поочередно занимать в фитоценозе одно и то же местообитание) и др.

Ведущими чисто экологическими факторами, формирующими видовую структуру сообщества в идеально гомогенных экосистемах, являются конкуренция за ресурсы питания, метаболические взаимодействия, различные формы кооперации и хищничество.

5 Устойчивость и стабильность систем

Благодаря биоразнообразию повышается эффективность функционирования систем, что в значительной степени достигается экологическими различиями между видами. При возрастании видового разнообразия снижается уровень доминирования, увеличивается выравненность, становятся длиннее трофические цепи, сложнее трофические сети, усложняется в целом структура сообщества. В итоге многовидовые сообщества с малым доминированием представляют собой большой буфер для колебательных явлений, они более защищены от вторжения чуждых видов, чем сообщества с обратными показателями структуры.

Кроме видового разнообразия в устойчивости систем особую роль играет внутривидовая гетерогенность. Особи ценопопуляции различаются экологически, по возрасту, иногда полу, жизненному состоянию, соответственно неодинаково реагируют на условия жизни и их изменения.

Немаловажно также разнообразие видов по степени выраженности экологических стратегий.

Элементы сообщества должны быть не просто разнообразны. Разноаспектные элементы должны быть взаимосвязанными и функционально дополнять друг друга. Такой комплементарностью создается функционирующая система, а также новые эмерджентные свойства сообщества. Очевидно, что разнообразие форм жизни должно соответствовать разнообразию жизненных процессов.

Таким образом, чем больше устойчивость, тем выше разнообразие. Стабильность экосистемы порождает высокое разнообразие.

Разнообразие служит материалом эволюции, а также фактором эволюционной устойчивости вида, стабилизирующим виды во времени. При широком внутривидовом разнообразии менее вероятна выработка новых адаптаций, замедляется прогрессивная эволюция.

Самой сложной является проблема сохранения биоразнообразия. По данным Всемирного фонда дикой природы, численность

популяций наземных видов уменьшилась на 25%, морских – на 28%, пресноводных – на 29%. Скорость вымирания составляет 100 видов в день, суммарные потери от уничтожения тропических лесов достигают 4-6 тыс. видов в год, что примерно в 10 тыс. раз больше естественной фоновой скорости вымирания до появления на Земле человека. Под угрозой исчезновения находится 30% видов земноводных, 23% млекопитающих и 12% (1221 вид) птиц, проживающих на Земле.

Наряду с вырубкой лесов отрицательные последствия несет также выраженная *инсуляризация* (от лат. *insula* – остров) территории – дробление хорионов, наполненных жизнью, на мелкие, не связанные друг с другом части в связи с процессами урбанизации (города, дороги, разные сооружения) и широкой сетью агроценозов.

В 1992 г. на Конференции ООН по окружающей среде и развитию 180 стран подписали Международную конвенцию о биологическом разнообразии. Целью документа является обеспечение сохранения биологического разнообразия. Конвенция ратифицирована Верховным Советом Республики Беларусь 10 июня 1993 г. и вступила в силу 29 декабря того же года. Этот день – Международный день биологического разнообразия. Страной биоразнообразия является Коста-Рика (располагает 4% мирового разнообразия, а площади заповедных территорий достигают 25%).

ЛЕКЦИЯ 10 БИОЦЕНОТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ. ФОРМЫ МЕЖВИДОВЫХ СВЯЗЕЙ

- 1 Биоценоотические связи
- 2 Формы межвидовых взаимоотношений
- 3 Лесные растительные ассоциации

1 Биоценоотические связи

Все разнообразие связей, обеспечивающих сосуществование видов и функционирование биоценоотической системы представляют (по В.Н. Беклемишеву) в виде следующих групп: трофические, топические, форические и фабрические связи.

Трофические связи. Деление организмов на группы по питанию предложено в 1880-е гг. немецким физиологом Пфедфером.

В основе трофических связей лежит потребность живых организмов в пище. Всю совокупность живых организмов по типу питания можно разделить на 2 основные группы:

1) **Автотрофы** (от греч. *autos* – сам, *trophe* – пища, питание) – образуют органические вещества из неорганических. Делятся на:

а) **фототрофов** (от греч. *photos* – свет, *trophe* – пища, питание) – синтезируют органическое вещество из CO_2 и воды, используя энергию света (зелёные растения, цианобактерии, зелёные серобактерии, несерные пурпурные бактерии, серные пурпурные бактерии);

б) **хемотрофов** – синтезируют органическое вещество из неорганического из CO_2 и воды, получая энергию с помощью химических реакций (серобактерии (окисляют сероводород в серу), нитрифицирующие бактерии (превращают аммиак в нитриты, а затем в нитраты), железобактерии, которые окисляют закись железа в окись железа).



затем в нитраты), железобактерии, которые окисляют закись железа в окись железа).

2) **Гетеротрофы** (от греч. *heteros* – другой, *trophe* – пища, питание) – используют готовые органические вещества, пороизведённые автотрофами. Делятся на:

а) **биофагов** – питаются живым органическим веществом, характерен голозойный способ питания. Сюда относят и насекомоядные растения (венерина мухоловка, непентесы в экваториальных лесах, в Беларуси – альдрованда пузырчатая, жирянка обыкновенная, пузырчатки и росянки);

б) **сапротрофов** (от греч. *sapros* – гнилой, *trophe* – пища, питание) – потребляют отмершую биомассу, включая вещество мерт-

вых тел и экскременты животных (грибы, актиномицеты, многие бактерии, животные – сапрофаги, некоторые растения – сапрофиты (подъельник обыкновенный, надбородник безлистный, ладьян трехнадрезный, гнездовка настоящая). Сапрофитный способ питания представляет собой сложный многоэтапный процесс постепенного разложения органического вещества под действием ферментов и конечного всасывания

Существует особый тип взаимоотношений между бактериями и высшими растениями. У взрослых растений выражено четкое пространственное разделение бактериоценозов по органам. Принято выделять *филлоплану* - поверхность листьев, *геммисферу* - зону вокруг почек, *спермосферу* – зону вокруг семян; *ризоплану* и *ризосферу* (соответственно корень и окружающая его в радиусе 2–5 мм почва).

На поверхности корней растений выделяется гелеобразное вещество – **муцигель**, которое является питательным субстратом для микроорганизмов. Продуктами выделения бактерий являются физиологически активные вещества: витамины, гетероауксины, гиббереллины, ферменты, цитокинины, антибиотики, токсины. Все они являются регуляторами роста и развития растений.

Топические связи (от греч. *topos* – место). Формы связей между организмами в биоценозе, выражающиеся в видоизменении и создании среды обитания. Заключаются в изменении растениями условий обитания (светового, температурного, водного режимов, кислотности и трофности почвы и др.), в создании среды, что выражено при паразитизме, нором и гнездовом комменсализме. Растения представляют субстрат (стволы, ветви) для поселения эпифитов (лишайники, мхи, цветковые растения) и эпифиллов (листья тропических деревьев). Раковины, кораллы, норы, гнезда одних животных с благоприятным микроклиматом являются убежищем для многих других видов.

Форические связи (от греч. *phoreo* – ношу, уношу, увлекаю). Развиваются между видами на основе процесса транспортирования самих организмов или продуктов их жизнедеятельности. Нередко неразрывно связаны с питанием организмов.

Зоохория (от греч. *zoo* – жизнь, *choreo* – продвигаюсь) – процесс переноса животными спор, семян, плодов. **Форезия** – это перемещение в пространстве одного организма с помощью другого (характерна для мелких животных (клещи, нематоды и др.), которые обычно не обладают собственными возможностями расселения). В водной среде крупные позвоночные транспортируют на себе организмы-обрастатели (гидроидные полипы, моллюски, водоросли).

Фабрические связи. Развиваются между видами при сооружении и использовании животными жилищ. Животным при постройке гнезд служит разнообразный растительный (ветви, листья, трава) и животный (шерсть, пух, перья) материал.

2 Формы межвидовых взаимоотношений

Все межвидовые взаимоотношения можно условно разделить на две обширные группы:

1) взаимоотношения не связанные непосредственно с совместным сожительством организмов.

2) симбиоз, или совместное сожительство.

Среди несимбиотических взаимоотношений выделяются:

а) нейтрализм;

б) аллелопатия и ее формы – антибиоз, аменсализм;

в) конкуренция;

г) хищничество

Нейтрализм – тип взаимоотношений между организмами, при котором жизнедеятельность одного организма не оказывает прямого или сколько-нибудь заметного косвенного влияния на жизнедеятельность другого организма. Например, ленточный червь и заяц беляк, блоха и бабочка крапивница и т.д.

Аллелопатия – это взаимодействие организмов посредством специфически действующих химических продуктов обмена веществ, которые выделяются во внешнюю среду. Термин ввёл в 1937 г. немецкий ботаник Х. Молиш. Наиболее глубоко данное явление изучено на растительных организмах. На животных растения оказывают либо аттрактивное (привлекающее), либо репеллентное (отталкивающее) действие. Животные также выделяют феромоны – активные вещества, влияющие на развитие и поведение индивидуумов своего вида, а также сообщающие определенную информацию другим видам.

Одна из аллелопатии – *антибиоз*. Это выработка в окружающую среду биологически активных веществ, убивающих окружающие организмы (антибиотики пеницилла, стрептомициса и др.).

Аменсализм – это взаимоотношения, при которых возникают отрицательные условия для одной или нескольких популяций. Его можно рассматривать как одну из форм антибиоза или как крайнюю форму аллелопатии (невозможность существования того или иного вида в присутствии другого в результате интоксикации среды).

Конкуренция (от лат. *concurro* – стучаться, сталкиваться) – взаимоотношения между организмами одного вида (внутривидовая конкуренция) или разных видов (межвидовая конкуренция), при которых они используют одни и те же ресурсы окружающей среды при недостатке последних.

Внутривидовая конкуренция основательно повышает интенсивность естественного отбора. Широко известным примером внутривидовой конкуренции является самоизреживание елей.

Межвидовая конкуренция чаще всего проявляется между экологически близкими особями или популяциями разных видов. Делится на:

- *пассивную* (использование ресурсов окружающей среды, необходимых обоим видам)

- *активную* (подавление одного вида другим). Согласно **теореме Гаузе** два одинаковых в экологическом отношении вида сосуществовать не могут.

Теорема Гаузе два одинаковых в экологическом отношении вида сосуществовать не могут.

Хищничество – форма межвидовых взаимоотношений, способ добычи пищи и питания животных (изредка растений), при котором они ловят, убивают и съедают других животных.

Как правило, хищник вначале убивает свою добычу, а затем поедает ее. Но прежде он должен поймать жертву, и для этого у него есть специальные приспособления. Однако и у жертв исторически вырабатываются

защитные свойства в виде анатомо-морфологических, физиологических, биохимических и других особенностей.

Во взаимоотношениях «хищник-жертва» в любом биоценозе сформировались определенные механизмы регуляции численности обоих компонентов системы. Поэтому она всегда удерживается в пределах какой-то величины, приближающейся к оптимуму плотности популяций как хищника, так и его добычи.

Симбиоз – это тип взаимоотношений между организмами, когда они непосредственно на протяжении всей своей жизни тесно сожительствуют друг с другом.

Симбиоз может быть:

- взаимовыгодный (мутуализм);
- выгодный одному, вредный для другого (паразитизм);
- выгодный одному и безразличный для другого (комменсализм, синойкия).

Паразитизм (от греч. *parasitos* – нахлебник, дармоед) – межвидовые взаимоотношения, при которых один вид (паразит) использует другой (хозяина) как среду жизни и как источник пищи.

Паразитизм возник в процессе тесного контакта разных видов организмов на основе пищевых и пространственных связей и встречается на всех уровнях организации живого, начиная с вирусов и бактерий и кончая высшими растениями и многоклеточными животными. Наиболее широко он распространен среди низших и мелких растений и животных – вирусов, бактерий, грибов, простейших, червей и в несколько меньшей степени – среди членистоногих. Как правило, хозяин бывает заражен несколькими видами паразитов, которые локализуются в разных органах и тканях и образуют своеобразное сообщество – *паразитоценоз*.

Комменсализм, или *нахлебничество*, *сотрапезничество* (от лат. *com* – совместно, *сообща* и *mensa* – стол) – форма симбиоза, при которой один из партнеров системы (комменсал) питается остатками пищи или продуктами выделения другого (хозяина), не причиняя последнему вреда.

При комменсализме один из партнеров может использовать другого для защиты, как средство передвижения или только питаться за его счет. Когда поедание пищи комменсалами начинает вредить хозяину, комменсализм переходит в конкуренцию или в паразитизм. Комменсализм тесно связан с синойкией.

Синойкия, или *квартирантство* (от греч. *synoikia* – совместное жилище), – форма симбиоза, разновидность комменсализма; совместное проживание двух организмов разных видов, полезное для одного и безразличное для другого.

В отличие от комменсализма при синойкии не возникает непосредственных пищевых отношений. Один из организмов может использовать другой как субстрат для заселения, средство перемещения и т. д.

Мутуализм (от лат. *mutuus* – взаимный) – форма симбиоза, взаимовыгодное сожительство разных видов.

Классические примеры мутуализма – сожительство рака-отшельника и актинии, муравьев и гусениц бабочки-голубянки, жгутиконосцы, живущие в кишечнике термитов.

Наблюдается мутуализм и среди растений. Мутуалистические отношения высших растений с грибами представляет собой *микориза*. Бывает *эндотофная* (гифы гриба проникают в клетки корня растения и питаются, как паразиты, а высшие растения, частично усваивая гифы, получают дополнительное азотистое питание и в свою очередь подкармливают гриб продуктами фотосинтеза) и *экзотрофная* (гифы грибов лишь плотно прилегают к их корням, не проникая в клетки – грибы пользуются выделениями корней и одновременно стимулируют усвояемость высшими растениями органических веществ почвы).

3 Лесные растительные ассоциации

Растения фитоценоза, будучи неподвижными, определяют в целом структурные особенности наземного биоценоза. Поэтому категории классификации биоценозов соответствуют категориям классификации растительности.

Растительность, или **растительный покров**, представляет собой совокупность растительных сообществ (фитоценозов) планеты или ее отдельных частей. Растительный покров необязательно должен быть представлен ковром сомкнутых растений.

В учении о растительности особое место занимает проблема дискретности и континуума (непрерывности). Соотношение непрерывности и дискретности зависит от характера биоценотического покрова и от масштаба разделения целого на части. Дискретность тем выше, чем сильнее влияние видов-эдификаторов и беднее видовой состав (например, в тайге). Непрерывность более характерна степям, тропическим лесам, в которых обильные доминанты не обладают высоким эдификаторным эффектом, а характеризуются высоким видовым богатством.

В основе классификации растительности лежат разные критерии: физиономический, видовой состав сообщества, набор доминантов, совокупность жизненных форм, экологические особенности, специфика биотопа и др. Современные классификации основаны на концепции доминантов и концепции детерминантов.

Концепция доминантов основывается на морфологии доминантных видов и их роли в сложении сообщества. Условия среды при классификации полностью исключались, так как не входили в понятие фитоценоза. Концепция сложилась на материалах изучения лесной бореальной растительности («северная традиция»). Классификация растительности по доминантам оказалась несложной, удобной для практиков и получила широкое распространение в лесной геоботанике.

Концепция детерминантов ориентируется на экологические особенности видов, на виды-индикаторы, которые несут максимум информации об условиях среды («южная традиция»).

Обе концепции имеют свои преимущества и недостатки, их дальнейшее развитие протекало не изолированно, и сформировался доминантно-детерминантный подход, который ориентировался на «хорошие» доминанты, а детерминанты использовались как содоминанты. Наиболее тщательно проработанная, логична и практически удобна **си-**

стема таксономических единиц растительности Сукачева. Она представляет собой восходящий ряд: ассоциация – группа ассоциаций – формация – группа формаций – класс формаций – тип растительности. Система построена по принципу фитоценологического родства и соподчинения единиц различного ранга. В ее основу положена концепция доминантов с учетом специфики их жизненных форм. Для классификации лесной растительности Беларуси принята следующая система основных таксономических категорий: лесная ассоциация – тип леса (группа ассоциаций) – группа типов леса (субформация) – лесная формация – группа формаций – тип растительности.

Ассоциация. Растительная ассоциация (тип фитоценоза) объединяет фитоценозы с однородными видовым составом и синузальной структурой, отражающей состав экологических типов растений, и однородными факторами среды, влияющими на фитоценотический процесс. В природе представлена реально существующими фитоценозами. Два фитоценоза одной ассоциации не могут граничить друг с другом.

Установление ассоциации – это обобщение, отбор общих и существенных признаков, но не её характеристика и не описание. Её следует рассматривать как тип растительного сообщества. Наименования ассоциаций слагаются из родового названия доминанта (кондоминанта) и субдоминанта (сосняк вересковый, сосняк березово-вересковый). При этом к корню латинского названия доминанта прибавляется окончание **-etum** (*Pinus* - *Pinetum*; *Picea* - *Piceetum*), а субдоминанта - окончание **-osum** (*Calluna* - *Callunosum*; *Vaccinium* - *Vacciniosum*). В названии ассоциации доминант является именем существительным, а субдоминант – именем прилагательным. В случае когда имеется несколько доминантов одного рода, указывается его видовое название – образуется из корня видового названия растения с добавлением окончания **-ae** или **-e** (*Alnetum glutinosae oxalidosum* – черноольшаник кисличный). Его можно поставить перед родовым названием: *Glutinosi* – *Alnetum oxalidosum*.

Если в качестве субдоминантов выступают брусника, черника, голубика, что очень характерно для наших лесов, принято говорить: сосняк брусничный (*Pinetum vacciniosum*), сосняк черничный (*Pinetum myrtillosum*; *Myrtillus nigra* – старое название черники) и сосняк голубичный (*Pinetum uliginosi-vacciniosum*).

Порядок расположения в названии ассоциации субдоминантов: кустарники, кустарнички, полукустарники, травы многолетние, однолетние, мхи и лишайники. Иногда в наименованиях ассоциаций вместо субдоминанта указывается какая-нибудь наиболее характерная особенность фитоценоза: *magnoherbosum* - высокотравный, *fontinale* - приручьевогой, *purum* – чистый или мертвопокровный (без напочвенного покрова), *montanum* - горный.

Если в составе ассоциации имеются кондоминанты или субдоминанты второго древесного яруса, их наименование, если они являются коренными породами, ставится перед доминантам (*Piceeto-Pinetum vacciniosum* - сосняк елово-брусничный) или перед субдоминантам – для производных пород (*Pinetum betuloso-vacciniosum* – сосняк березово-брусничный). В данном случае ель рассматривается как коренная, берёза – как производная порода. В том случае если древесная порода в

данных условиях не достигает своей основной жизненной формы, а относится к подлеску, ее название в наименовании ассоциации ставится перед субдоминантой, как и название любого подлесочного вида (*Pinetum quercetosum-myrtillosum* - сосняк дубняково-черничный).

Название сложных по составу ассоциаций, особенно луговых, образуется перечислением доминантов и субдоминантов по ярусам. Названия растений одного яруса соединяются знаком «+», разных ярусов - знаком «-», например овсяничник тимофеевочно-лютиково-погремковый: *Festuca pratensis* + *Phleum pratense* - *Ranunculus acer* + *Rhinanthus minor*. После названия ассоциации ставится фамилия автора и год его описания.

Определение перечня доминантов и субдоминантов проводится по обилию или проективному покрытию, которое рассчитывается по формуле:

$$P_o = \frac{P_B \times 100}{P_A}$$

где P_o - относительное проективное покрытие вида; P_B - проективное покрытие вида на пробной площади; P_A - общее проективное покрытие ассоциации. Этот показатель должен быть не менее 20%.

Группа ассоциаций. К одной группе относят ассоциации, которые различаются по составу одного из ярусов. Например, к сосняку вересковому относятся ассоциации: сосняк вересковый, сосняк березово-вересковый, сосняк можжевельниково-вересковый. Они имеют общие ярусы из сосны и зелёных мхов. Для сосняков Беларуси основными группами ассоциаций являются сосняки лишайниковые (*Pineta cladiosa*), вересковые (*P. callunosa*), брусничные (*P. vaccinosae*), мшистые (*P. pleuroziosa*), орляковые (*P. pteridiosa*), кисличные (*P. oxalidosa*), черничные (*P. myrtillosae*), долгомошные (*P. polytrichosa*), багульниковые (*P. ledosa*), сфагновые (*P. sphagnosa*). Группы ассоциаций образуют естественный экологический ряд, отражающий изменение трофности, влажности и аэрации почвы в тех эдафических пределах, где сосна может быть доминантой сообществ.

Формация. Выделяется по одному общему признаку - доминанту. Названные группы ассоциаций объединяются в формацию - сосняк из сосны обыкновенной (*Pineta silvestrae*). В Беларуси различают формации ели обыкновенной (*Piceeta abiesae*), березы повислой (*Betuleta pendulae*), березы пушистой (*Betuleta pubescentae*), дуба черешчатого (*Querceta roburae*), ольхи черной (*Alneta glutinosae*) и др. Это основная единица среднего ранга, которая легко выделяется, поэтому ее значение велико при лесотипологических исследованиях, лесохозяйственных мероприятиях и картографировании растительности. Это категория не экологическая, а хозяйственная и морфологическая.

Группы формаций. К одной группе относят все формации, доминанты которых принадлежат к одной и той же жизненной форме. Группами формаций являются сосновые (*Pineta*), еловые (*Piceeta*), березовые (*Betuleta*), дубовые (*Querceta*) леса. Как группы формаций рассматриваются темнохвойные и светлохвойные, листопадные и вечнозеленые, мелколиственные и широколиственные леса.

Класс формаций. К одному классу принадлежат все группы формаций, доминанты которых относятся к близким жизненным формам. Все леса, доминанты которых имеют листовую пластинку в виде хвои, относят к хвойным (игольчатым) лесам (*Aciculilignosa*). Соответственно различают летнезеленые (*Aestilignosa*), зимнезеленые (*Hiemilignosa*), лавровые (*Laurilignosa*), влажные экваториальные (*Pluvilignosa*) леса. Луга подразделяют на: настоящие, или эумезофитные; остепненные, или эуцеромезофитные; пустошные, или психромезофитные; болотистые и торфянистые.

Тип растительности. Наиболее крупное подразделение растительного покрова. Выделяется по морфологическому или эколого-морфологическому признаку. Основными типами растительности являются древесный (*Lignosa*), кустарниковый (*Fruticosa*), травянистый (*Herbosa*) и пустынный (*Deserta*). Э. Рюбель отмечает также взвешенный, или блуждающий, тип (*Errantia*), который объединяет свободно перемещающиеся в пространстве сообщества микроорганизмов (аэрофитопланктон, фитоэдафон).

Типы растительности бывают зональными, аazonальными и экстразональными. *Зональная растительность* занимает в пределах зон платкорные местоположения (от греч. *plax* – плоскость, равнина) – выравненные водораздельные пространства (междуречья) с хорошо дренированными почвами среднего механического состава (супеси, суглинки).

Аazonальная растительность развивается в местах, где растительный покров в большей степени обусловлен почвенными условиями, чем климатом (пойменные луга, растительность болот, а боры на песках, дубравами в поймах рек и пр.

Экстразональная растительность – это зональная растительность, встречающаяся в неаazonных условиях за пределами этой зоны, к северу или к югу от нее (отдельные участки травянистой растительности с преобладанием степняков на юге Беларуси)

ЛЕКЦИЯ 11 КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ

1 Понятие об экосистеме

2 Классификация экосистем

3 Продуктивность экосистем

1 Понятие об экосистеме

В истории экологии 20-40-е гг. XX в. примечательны тем, что именно в это время многие экологи искали ту основную структурную единицу природного целого, которая может лежать в основе биосферных процессов.

Английский ботаник Артур Тенсли предложил такой единицей считать экосистему. Термин «экосистема» был предложен им в 1935 г.

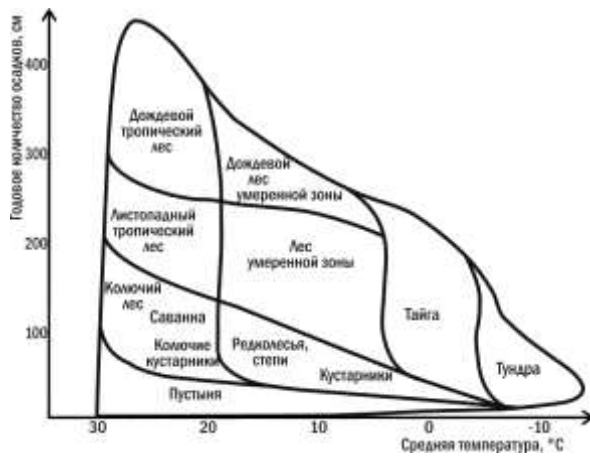
Под *экосистемой* понимают любую совокупность совместно обитающих живых организмов и условий их существования, объединенную в единое функциональное целое. Экосистема представляет собой природный комплекс, образованный живыми организмами (сообщество, биоценоз) и средой их обитания.

Экосистема представляет собой функциональное единство живых организмов (животные, растения, грибы, микроорганизмы) и среды их обитания (климат, почва, вода).

Понятие «экосистема» можно применить к объектам различной степени сложности и разного размера. Это может быть частичка почвы и капля воды, кочка на болоте и само болото, лужа, озеро и океан, луг, лес, Земля в целом. Таким образом, каждая конкретная экосистема может характеризоваться определенными границами (экосистема елового леса, экосистема низинного болота). Однако само понятие «экосистема» является безранговым, обладает признаком безразмерности, ей не свойственны территориальные ограничения. Обычно экосистемы разграничиваются элементами абиотической среды, например рельефом, видовым разнообразием, физико-химическими и трофическими условиями и т.п.

2 Классификация экосистем

Крупные экосистемы (мегаэкосистемы) чаще всего называют биомами. *Биом* – это крупный тип биогеоценозов, характеризующийся сходным характером растительности и занимающий определенные регионы планеты. Биомы регулируются макроклиматом и, в первую очередь, – количеством осадков и температурой (рис.).



Распределение некоторых наземных биомов в зависимости от количества осадков и температуры

полагается степь, – для развития леса воды оказывается недостаточно.

Существует 2 основных метода для отражения взаимоотношения разных типов сообществ друг относительно друга:

- *ординация* (расположение в каком-то пространстве в определенном порядке, подчеркивает континуальность изменений свойств, см. рис.)

- *классификация* (распределение по отделенным друг от друга группам – классам или таксонам, подчеркивает дискретность разрывов).

Согласно **классификации Ю. Одума** основные биомы на Земле таковы:

I) Естественные

1. Наземные:

- а) тундра;
- б) тайга;
- в) листопадный лес;
- г) степь;
- д) саванна;
- е) пустыня;
- ж) чапараль;
- з) сезонный тропический лес;
- и) вечнозеленый дождевой лес.

2. Водные:

- а) пресноводные:
 - лентические (стоячие) воды;
 - лотические (текучие) воды;
 - болота.
- б) морские:
 - пелагиаль;
 - континентальный шельф;
 - зоны апвеллинга;
 - эстуарии.

II) Искусственные, или агроэкосистемы.

Биомы обладают определенной целостностью. Так, между зонами листопадных лесов и степей расположена лесостепная зона, где «встречаются» биомы леса и степи. При существующем климате на территории лесостепи могут быть устойчивыми оба типа биогеоценозов. Лес требует большего количества воды, чем степь, но лесная почва эффективнее удерживает ее, чем степная. Там, где уже существует лес, в почве задерживается достаточно влаги для существования леса. Там, где рас-

2.1 Естественные экосистемы

2.1.1 Наземные биомы

Тундра. Биом холодного влажного климата, который характеризуется отрицательными среднегодовыми температурами, количеством осадков около 200-300 мм в год и, чаще всего, наличием слоя вечной мерзлоты. Выделяют тундры:

- а) *арктическую* (расположена в высоких широтах)
- б) *альпийскую* (расположена в высокогорьях).

Растительность – низкорослые многолетники: лишайники, мхи, травы и кустарники.

Тайга. Лесной биом холодного климата с долгой многоснежной зимой и количеством осадков, превышающим испарение. Основные лесобразующие породы – хвойные, видовое разнообразие деревьев невелико (1-2 доминирующих вида).

Листопадный лес. Лес умеренного пояса. Развивается в регионах с умеренно теплым летом и относительно мягкой зимой с морозами. Характерно равномерное распределение осадков, отсутствие засух, превышение осадков над испарением. Осенью по мере сокращения длины светового дня происходит листопад. Листопадные леса относительно богаты видами, характеризуются сложной вертикальной структурой (наличием нескольких ярусов).

Степь. Территория травянистой растительности в полузасушливой зоне умеренного климата. Самые многочисленны травы – злаки и осоки, многие из которых образуют плотную дерновину. Потенциальное испарение превышает количество осадков. Характерны богатые органическим веществом почвы – степные черноземы. Синонимы – прерия, пампа, вельд.

Саванна. Тропические злаково-древесные сообщества, развивающиеся в областях с устойчивым чередованием сухого и влажного сезонов. Отдельные деревья или массивы кустарников разбросаны между открытыми травянистыми участками.

Пустыня. Достаточно разнообразная группа биомов, расположенная в областях с крайне засушливым климатом или, в случае арктической или альпийской пустыни, крайне низких температур. Известны песчаные, каменистые, глинистые, солончаковые, ледяные и др. Типично (за исключением ледовых пустынь, которые развиваются в очень холодных условиях) или среднегодовое количество осадков менее 25 мм, или условия, обеспечивающие очень быстрое испарение влаги.

Чапараль. Жестколистные кустарниковые заросли в средиземноморском климате с мягкой дождливой зимой и засушливым летом. Характеризуется значительным накоплением сухой древесины, приводящим к периодическим пожарам.

Сезонный тропический лес. Распространен в областях с жарким климатом и обилием осадков, в которых осадки распределены в течение года неравномерно, с наличием сухого сезона. Чрезвычайно богат видами.

Вечнозеленый дождевой лес. Самый богатый биом, расположенный в регионах с большим количеством осадков (>2000) и почти по-

стоянной температурой (около 26°C). В этих лесах сосредоточено 4/5 всех видов растений Земли, преобладает древесная растительность.

2.1.2 Пресноводные биомы

Лентические (стоячие) воды. Луи, старицы, естественные и искусственные пруды, озера и водохранилища. Условия жизни определяются в первую очередь глубиной (и освещенностью) и количеством биогенов. Обмен биогенами и газами между поверхностью и глубиной часто затруднен.

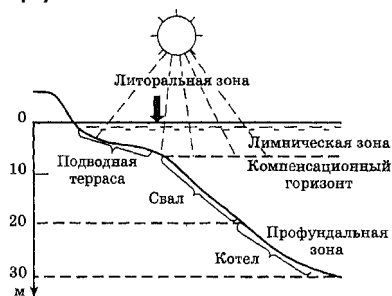


Рис. 6.12. Главные зоны в экосистеме непероточного континентального водоема (по Ю. Одуму); глубины указаны ориентировочно

Лотические (текучие) воды. Ручьи, потоки и реки. Условия очень зависят от скорости течения. Способны перемещать значительные количества воды и других неорганических и органических веществ, тесно связаны с окружающими наземными системами.

Болота. Водоемы с большим количеством органики, разрушение которой замедляется из-за недостатка в воде кислорода; в основном характерны для умеренного и умеренно холодного климата.

2.1.3 Морские биомы

Пелагиаль. Открытый океан и морские глубины вдали от побережий. Продуценты (в первую очередь, фитопланктон) сосредоточены в относительно тонком приповерхностном слое воды, куда проникает свет. Характерно непрерывное опускание биогенов от поверхности в глубину.

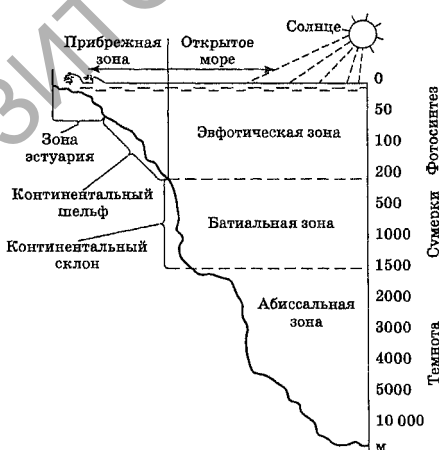
Континентальный шельф. Прибрежная зона морей и океанов, достигающая примерно до глубины 200 м. Богатые видами и разнообразными морскими сообществами. Самые разнообразные водные экосистемы характерны для коралловых рифов, также относящихся к континентальному шельфу. «Горячие пятна» биоразнообразия характерны и для больших глубин – например, для мест выхода в морскую воду вулканических газов («черные курильщики» и другие феномены).

Зоны апвеллинга. Относительно небольшие по площади зоны океана, где происходит подъем на поверхность глубинных вод, обогащенных биогенами. Оказывают исключительное влияние на продуктивность всего океана в целом.

Эстуарии. Зоны смешения речных и морских вод, образующиеся в морях напротив устьев больших рек. Характеризуются значительным количеством органики, которую выносят в море реки, и постоянными колебаниями солености.

Абиссальная зона. Глубинная зона океана, расположенная ниже 2000 м. Характеризуется отсутствием света и очень низкой температурой. В этой зоне обитают специализированные организмы, приспособленные к жизни в условиях постоянной темноты и высокого давления.

Рис. 6.11. Основные зоны жизни в океанической прибрежной экосистеме (реальные глубины зон могут изменяться)



2.2 Искусственные экосистемы, или агроэкосистемы

Агроэкосистемы (сельскохозяйственные экосистемы) – это экосистемы, создаваемые человеком для получения высокой чистой продукции автотрофов (урожая). Отличаются от природных рядом особенностей:

1) Резко снижено разнообразие организмов. На полях обычно культивируют один или немного видов растений, в связи с чем резко обедняется и животное население, и состав микроорганизмов в биоценозе. Выпас животных также сильно упрощает видовую структуру пастбищных сообществ. Культурные пастбища с подсевом трав приближаются по этому показателю к полям сельскохозяйственных растений. Видовое разнообразие разводимых человеком животных ничтожно мало по сравнению с природным.

2) Виды, культивируемые человеком, поддерживаются искусственным отбором в состоянии, далеком от первоначального, и не могут выдерживать борьбу за существование с дикими видами без поддержки человека.

3) Агроэкосистемы получают дополнительный поток энергии, кроме солнечной, благодаря деятельности людей, животных и механизмов, обеспечивающих необходимые условия роста культивируемых видов. Чистая первичная продукция (урожай) удаляется из экосистемы и не поступает в цепи питания. Частичное использование ее вредителями представляет нежелательное явление и всячески пресекается деятельностью человека.

В настоящее время пахотными землями и пастбищами занято свыше 30% суши, и деятельность людей по поддержанию этих систем превращается в глобальный экологический фактор.

Несмотря на значительную упрощенность агроэкосистем, в них все же сохраняется множество биоценологических связей, в конечном счете влияющих на судьбу урожая.

Условия, которым в идеале должны соответствовать поля сельскохозяйственных культур, – быть высокопродуктивными и вместе с тем стабильными – с экологической точки зрения несовместимы.

3 Продуктивность экосистем

Лучистая энергия солнца, усваиваемая зелеными автотрофными растениями, превращается в энергию химических связей синтезируемого вещества. Скорость фиксации солнечной энергии определяет продуктивность сообществ. Продуктивность автотрофных организмов представляет собой *первичную продуктивность*. Продуктивность представителей других трофических уровней составляет *вторичную продуктивность*.

Основной показатель продуктивности – биомасса организмов (растительных и животных), составляющих экосистему. *Биомасса* – это выраженное в единицах массы или энергии количество живого вещества организмов, приходящееся на единицу площади или объема (например, г/м², г/м³, кг/га, т/км² и др.). Используют массу либо сырого, либо, чаще всего, сухого вещества. Различают растительную биомассу (фитомассу), животную (зоомассу), бактериомассу, либо биомассу каких-либо конкретных групп или организмов отдельных видов.

Величина биомассы меняется в зависимости от сезона года, миграций животных, от степени ее потребления.

Биомасса, производимая биоценозом на единице площади за единицу времени, называется *биологической продукцией*. Она выражается в тех же величинах, что и биомасса, но с указанием времени, за которое она создана (например, кг/га за месяц).

Различают 2 вида продукции – первичную и вторичную.

Первичная продукция – это биомасса, произведенная автотрофными организмами (зелеными растениями) на единице площади за единицу времени.

Суммарная продукция фотосинтеза называется *первичной валовой продукцией*. Это вся химическая энергия в форме произведенного органического вещества. При этом часть энергии может идти на поддержание жизнедеятельности (дыхание) самих производителей продукции – растений. Если мы изыдем ту часть энергии, которая тратится растениями на дыхание, то получим *чистую первичную продукцию*.

Зеленые растения могут перерабатывать от 1 до 5% получаемой энергии Солнца. Животные, питающиеся растениями, для образования биомассы своего тела используют всего 1% энергии, содержащейся в растительном материале.

Вторичная продукция – это биомасса, созданная всеми консументами экосистемы за единицу времени.

В целом вторичная продукция колеблется от 1 до 10% в зависимости от свойств животного и особенностей поедаемого корма.

По участию в биологическом круговороте веществ в экосистеме различают 3 группы организмов.

1 *Продуценты* (автотрофные организмы). Являясь организмами-продуцентами, автотрофы синтезируют с помощью солнечного света из CO_2 и H_2O , а также неорганических солей почвы органические соединения, преобразуя при этом световую энергию в химическую. Они обеспечивают органическими веществами и энергией все живое население биоценоза.

2 *Консументы* (потребители). Они не способны синтезировать вещества своего тела из неорганических составляющих. К ним относятся все животные, которые извлекают необходимую энергию из готовой пищи, поедая растения или других животных. Первичными консументами являются растительноядные животные (фитофаги), питающиеся травой, семенами, плодами, подземными частями растений – корнями, клубнями, луковицами и даже древесиной (некоторые насекомые). Ко вторичным консументам относят плотоядных животных (хищников).

К консументам также можно отнести группу бесхлорофильных растений (растений-паразитов): лесной петров крест, полевая заразиха.

3 *Редуценты* (от лат. *reducens, reducentis* – возвращающий, восстанавливающий) – микроорганизмы и грибы, разрушающие мертвое органическое вещество и превращающие его в воду, CO_2 и неорганические вещества, которые в состоянии усваивать другие организмы (продуценты). Основными редуцентами являются бактерии, грибы, простейшие, т.е. гетеротрофные микроорганизмы.

Осуществляя пищевые взаимодействия, организмы биоценоза выполняют 3 функции:

1) *энергетическую* – выражается в запасании энергии в форме химических связей первичного органического вещества; её выполняют организмы-продуценты;

2) *перераспределения и переноса энергии пищи* – её выполняют консументы;

3) *разложения органического вещества* редуцентами до простых минеральных соединений, которые снова вовлекаются в биологический круговорот организмами-продуцентами.

Перенос веществ и заключенной в них энергии от автотрофов к гетеротрофам, происходящий в результате поедания одними организмами других, называется *пищевой цепью*. Число звеньев в ней может быть различным, но обычно их бывает от 3 до 5.

Совокупность организмов, объединенных одним типом питания и занимающих определенное положение в пищевой цепи, носит название *трофический уровень*. К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней.

Первый трофический уровень занимают автотрофы (продуценты), **второй** – растительноядные животные (консументы первого порядка), **третий** – хищники, питающиеся растительноядными животными (консументы второго порядка) и паразиты первичных консументов, **четвертый** трофический уровень – вторичные хищники (консументы третьего порядка) и паразиты вторичных консументов.

Трофических уровней может быть и больше, когда учитываются паразиты, живущие на консументах предыдущих уровней.

Пищевые цепи, которые начинаются с автотрофных фотосинтезирующих организмов, называются *пастбищными, или цепями выедания*.

Если пищевая цепь начинается с отмерших остатков растений, тропов и экскрементов животных (детрита), она называется *детритной, или цепью разложения*.

В биоценозах обычно существует ряд параллельных пищевых цепей – *пищевая сеть*. Сокращение численности особей одного вида – звена в пищевой цепи, вызванное деятельностью человека или другими причинами, неизбежно приводит к нарушениям целостности экосистемы.

В результате последовательности превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов приобретает определенную трофическую структуру. Трофическую структуру обычно отображают графическими моделями в виде экологических пирамид.

Эффект пирамиды в виде таких моделей разработал в 1927 г. английский зоолог Чарлз Элтон. Основанием пирамиды служит первый трофический уровень – уровень продуцентов, а последующие уровни образуют консументы различных порядков. При этом высота всех блоков одинакова, а длина – пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне. Различают три способа построения экологических пирамид.

1 Пирамида чисел (численностей) отражает численность отдельных организмов на каждом уровне. Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо по крайней мере несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться; чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных растений. Иногда пирамиды чисел могут быть обращенными, или перевернутыми. Это касается пищевых цепей леса, когда продуцентами служат деревья, а первичными консументами – насекомые. В этом случае уровень первичных консументов численно богаче уровня продуцентов (на одном дереве кормится большое количество насекомых).

2 Пирамида биомасс – соотношение между организмами разных трофических уровней (продуцентами, консументами и редуцентами), выраженное в их массе. Обычно в наземных биоценозах общая масса продуцентов больше, чем каждого последующего звена. В свою очередь, общая масса консументов первого порядка больше, нежели общая масса консументов второго порядка и т.д. Если организмы не слишком различаются по размерам, то на графике обычно получается ступенчатая пирамида с суживающейся верхушкой. Так, для образования 1 кг говядины необходимо 70-90 кг свежей травы.

В водных экосистемах можно также получить обращенную (или перевернутую) пирамиду биомасс, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели биомасса консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона его общая масса в данный момент может быть меньше, нежели масса потребителей-консументов (киты, крупные рыбы, моллюски).

3. Пирамида энергии отражает величину потока энергии, скорость прохождения массы ниши через пищевую цепь. На структуру биоценоза в большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи.

Пирамида энергии, в отличие от пирамид чисел и биомасс, всегда суживается кверху.

Потребленная пища на каждом трофическом уровне ассимилируется не полностью. Значительная её часть тратится на обмен веществ. При переходе к каждому последующему звену пищевой цепи общее количество пригодной для использования энергии, передаваемой на следующий, более высокий трофический уровень, уменьшается. Продукция каждого последующего уровня примерно в 10 раз меньше продукции предыдущего.

В 1942 г. Р. Линдеман сформулировал **закон пирамиды энергии** (или закон 10 процентов), согласно которому *с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10% поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии*. Остальная её часть теряется в виде теплового излучения. Организмы в результате процессов обмена теряют в каждом звене пищевой цепи около 90% всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности. Вот почему цепи питания обычно не могут иметь более 3-5 (редко 6) звеньев, а экологические пирамиды не могут состоять из большого количества этажей.

ЛЕКЦИЯ 12 ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

1 Циклические изменения

2 Сукцессии и дигрессии

2.1 Понятие о сукцессии

2.2 Изменения в экосистеме в ходе сукцессии

1 Циклические изменения

Любой биоценоз динамичен, в нем постоянно происходит изменение в состоянии и жизнедеятельности его членов и соотношении популяций. Все многообразные изменения, происходящие в любом сообществе, можно отнести к двум основным типам: циклические и поступательные.

Циклические изменения сообществ отражают суточную, сезонную и многолетнюю периодичность внешних условий и проявления эндогенных ритмов организмов.

Суточные преобразования в биоценозах обычно выражены тем сильнее, чем значительнее разница температур, влажности и других факторов среды днем и ночью. Суточные ритмы прослеживаются в сообществах всех зон, от тропиков до тундр. Например, изменения суточной активности в песчаных пустынях. Даже при непрерывном освещении летом в тундре отмечаются суточные ритмы в распускании цветков у растений, питании птиц, в лёте и распределении насекомых и т. п.

Сезонная изменчивость биоценозов выражается в изменении не только состояния и активности, но и количественного соотношения отдельных видов в зависимости от циклов их размножения, сезонных миграций, отмирания отдельных генераций в течение года, диапаузы и т. п.

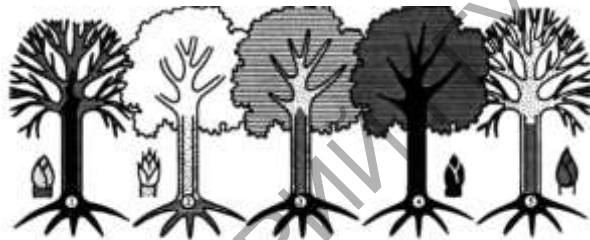


Рис. 126. Сезонная динамика накопления крахмала у бука лесного (из В. Лархера, 1978):

черным показано максимальное накопление крахмала, штриховкой – обычное, точками – скудное. Белыми оставлены части, где крахмала нет или обнаруживаются только следы. 1 – весной перед распусканием листьев, 2 – во время распускания листьев, 3 – в середине лета, 4 – осенью перед листопадом, 5 – зимой во время морозов

Сезонной изменчивости подвержена зачастую и ярусная структура биоценоза: отдельные ярусы растений могут полностью исчезать в соответствующие сезоны года, например, травянистый ярус, состоящий из однолетников.

Сезонные ритмы сообществ наиболее отчетливо выражены в климатических зонах и областях с контрастными условиями лета и зимы.

В слабой форме они, однако, прослеживаются даже в тропических дождевых лесах, где длительность дня, температура и режим влажности очень мало меняются в течение года.

Многолетняя изменчивость – нормальное явление в жизни любого биоценоза. Она зависит от изменения по годам метеорологических условий (климатических флюктуации) или других внешних факторов, действующих на сообщество (например, степени разлива рек). Кроме того, многолетняя периодичность может быть связана с особенностями жизненного цикла растений-эдификаторов, с повторением массовых размножений животных или патогенных для растений микроорганизмов и т. д.

2 Сукцессии и дигрессии

2.1 Понятие о сукцессии

Поступательные изменения в сообществе приводят в конечном счете к смене этого сообщества другим, с иным набором господствующих видов. Подобные смены могут быть:

а) *экзогенетические* (внешние по отношению к ценозу факторы, длительное время действующие в одном направлении). Если при этом усиливающееся влияние фактора приводит к постепенному упрощению структуры сообществ, обеднению их состава, снижению продуктивности, то подобные смены называют *дигрессионными* или *дигрессиями*.

б) *эндогенетические* (возникают в результате процессов, происходящих внутри самого сообщества). Закономерный направленный процесс изменения сообществ в результате взаимодействия живых организмов между собой и окружающей их абиотической средой называют *сукцессией*.

Сукцессия (от лат. *successio* – преемственность, наследование) – это процесс саморазвития сообществ. В основе сукцессии лежит неполнота биологического круговорота в данном ценозе. Каждый живой организм в результате жизнедеятельности меняет вокруг себя среду, изымая из нее часть веществ и насыщая ее продуктами метаболизма. При более или менее длительном существовании популяций они меняют свое окружение в неблагоприятную сторону и в результате оказываются вытесненными популяциями других видов, для которых вызванные преобразования среды оказываются экологически выгодными. Таким образом, в сообществе происходит смена господствующих видов. Длительное существование биоценоза возможно лишь в том случае, если изменения среды, вызванные деятельностью одних организмов, точно компенсируются деятельностью других, с противоположными экологическими требованиями.

В ходе сукцессии на основе конкурентных взаимодействий видов происходит постепенное формирование более устойчивых комбинаций, соответствующих конкретным абиотическим условиям среды. Последовательный ряд постепенно и закономерно сменяющих друг друга в сукцессии сообществ называется *сукцессионной серией*.

Выделяют два основных типа сукцессионных смен:

- 1) с участием как автотрофного, так и гетеротрофного населения;
- 2) с участием лишь гетеротрофов. Сукцессии подобного типа совершаются только в таких условиях, где создается предварительный запас или постоянное поступление органических соединений, за счет которых существует сообщество: в сильно загрязненных органическими веществами водоемах, в скоплениях разлагающейся растительной массы, в кучках или буртах навоза, компостах, в пещерах с гуано летучих мышей и т. п.

Сукцессии со сменой растительности могут быть *первичными* и *вторичными*.

Первичные сукцессии начинаются на лишенных жизни местах – на скалах, обрывах, наносах рек, сыпучих песках и т. п. При заселении таких участков живые организмы необратимо меняют местообитание и сменяют друг друга. Основная роль принадлежит накоплению отмерших

растительных остатков или продуктов разложения, что зависит как от характера растительности, так и от комплекса разрушителей мертвой растительной массы – животных, грибов и микроорганизмов. Постепенно формируется почвенный профиль, изменяется гидрологический режим участка, его микроклимат. Такие сукцессии в геоботанике называют *экогенетическими*, так как они ведут к преобразованию самого местообитания.

Вторичные сукцессии представляют собой восстановительные смены. Они начинаются в том случае, если в уже сложившихся сообществах частично нарушены установившиеся взаимосвязи организмов, например удалена растительность одного или нескольких ярусов (в результате вырубki, пожара, вспашки и т. д.). Смены, ведущие к восстановлению прежнего состава ценоза, получили в геоботанике название *демутационных*.

Восстановительные смены совершаются быстрее и легче, чем экогенетические, так как в нарушенном местообитании сохраняются почвенный профиль, семена, зачатки и часть прежнего населения и прежних связей. Демутации не являются повторением какого-либо этапа первичных сукцессии.

Частными вариантами сукцессии являются:

а) *«сезонные» сукцессии* (смены, которые по продолжительности точно совпадают с каким-либо сезоном, а на следующий год начинаются сначала).

б) *поточные, или конвейерные, сукцессии* (развиваются в подвижной среде: реках, потоках, круговоротах водных масс в океанах, лесной подстилке).

Процесс сукцессии, по Ф. Клементсу, состоит из нескольких этапов:

- 1) возникновения незанятого жизнью участка;
- 2) миграции на него различных организмов или их зачатков;
- 3) приживания их на данном участке;
- 4) конкуренции их между собой и вытеснения отдельных видов;
- 5) преобразования живыми организмами местообитания, постепенной стабилизации условий и отношений.

В любой сукцессионной серии темпы происходящих изменений постепенно замедляются. Конечным итогом является формирование относительно устойчивой стадии – *климаксового сообщества*, или *климакса*. Начальные, *пионерные* группировки видов отличаются наибольшей динамичностью и неустойчивостью. Климаксовые же экосистемы способны к длительному самоподдерживанию в соответствующем диапазоне условий, так как приобретают такие черты организации биоценозов, которые позволяют поддерживать сбалансированный круговорот веществ.

В ходе сукцессии постепенно нарастает видовое многообразие. Это ведет к усложнению связей внутри ценоза, разветвлению цепей питания и усложнению трофической сети, умножению симбиотических отношений, усилению регуляторных возможностей внутри системы. Тем самым уменьшается вероятность слишком сильного размножения отдельных видов и снижается степень доминирования наиболее массовых форм.

Чрезвычайное увеличение численности отдельных видов возможно чаще всего на начальных этапах развития сукцессионных серий, когда еще в недостаточной мере сложилась система взаимного регулирования. В *незрелых сообществах* (находящихся в начале сукцессионных рядов) преобладают мелкоразмерные виды с короткими жизненными циклами и высоким потенциалом размножения, специализированные на быстром захвате освободившегося пространства. Они обычно обладают широкими расселительными возможностями, позволяющими им первыми проникать на незанятые участки, но малоспособны к конкуренции и длительному удержанию за собой пространства.

2.2 Изменения в экосистеме в ходе сукцессии

2.1.1 Сингенез

Сукцессии, ведущие к формированию сообществ на участках, свободных от зачатков растений и почв (первичная сукцессия), и на месте ранее существовавшей, но не сохранившейся растительности (вторичная сукцессия), называют *сингенезом*.

Первичные сукцессии протекают на первичных местообитаниях или экотопах, обычно небольших безжизненных, лишенных воздействия живых организмов субстратах (лавовые потоки, отложения водных потоков, эоловые отложения, обнажающееся дно морей и озер, участки, освобождающиеся от ледников, образующиеся при выработках, и др.). Растения, поселяющиеся на них, называются *пионерными*.

Вторичными местообитаниями служат места, на которых ранее существовавшая растительность была уничтожена или разрушена, но в почве сохранилось большое число зачатков (вырубки, пожарища, места эрозий, где, кроме почвы и зачатков, имеются также отдельные растения бывшего напочвенного покрова и подлеска). Вторичные сукцессии протекают значительно быстрее первичных. Они носят чаще всего восстановительный (демутационный) характер.

Сингенез включает процессы миграции растений, их проживание и агрегацию, взаимодействие между собой и со средой, изменение среды, формирование сообщества. Они протекают в виде ряда последовательно сменяющихся этапов. Различают следующие стадии формирования сообщества:

1) **Пионерная группировка** – характеризуется случайным составом растений, отсутствием сомкнутости между особями, слабым воздействием на среду и почти полным отсутствием взаимоотношений между видами.

2) **Простая группировка** – отличается появлением взаимовлияния между растениями, образованием хорошо выраженного, но еще не сомкнутого покрова, групповым характером распределения особей (материнскую особь окружает ее потомство). Растения принадлежат обычно еще к немногим жизненным формам.

3) **Сложная группировка**. В открытой группировке продолжается процесс подгонки видов, усложняются взаимоотношения, состав жизненных форм, увеличивается сомкнутость покрова, намечается ярусность, диффузное распределение особей.

4) **Замкнутый (сложный) фитоценоз**. Формирующаяся фитосреда окончательно определяет состав видов и делает его закрытым для

видов случайных. На смену групповому приходит сплошное диффузное распределение особей, заканчивается формирование видовой и пространственной структуры сообщества, складываются определенные типы взаимоотношений между видами.

Первоначальный рост видового разнообразия затем постепенно замедляется, а в климаксовых сообществах даже падает. Сингенез ограничен во времени, продолжаясь от нескольких месяцев до десятков лет. **Главной силой** этого процесса **являются конкурентные взаимоотношения**.

Сингенез ведет к формированию биоценоза, со становлением которого начинается эндоэкогенетическая сукцессия. Она заканчивается формированием устойчивой системы – климакса.

2.1.2 Эндоэкогенез

Эндоэкогенетическая сукцессия протекает в результате изменения самой растительностью условий среды. Она называется еще автогенной сукцессией. Классическими примерами этого вида смен являются процессы заболачивания суши, смена луга болотом и зарастание водоемов.

Заболачивание лесов. В современных климатических условиях умеренного пояса заболачивание суши происходит весьма медленно, но образование болот возможно во всех зонах. На территории Беларуси наблюдается ослабление естественного процесса болотообразования, особенно в южной части республики (Полесье), в связи с увеличением сухости и потеплением.

Смена лесов болотами происходит чаще всего в таёжной зоне. Болота развиваются в бессточных или слабосточных понижениях при условии превышения осадков над испарением, при наличии водоупорных горизонтов, слабосточных или бессточных понижений. По мере развития процесса заболачивания заметно возрастает роль растений. В целом этот весьма сложный процесс происходит в результате взаимодействия атмосферы, воды, грунтов, рельефа, растительного и животного мира.

В итоге заболачивание леса представляет собой следующий сукцессионный ряд: лес – заболоченный лес – лес болотный – болото древесное – болото открытое – озеро-болотный комплекс.

Смена луга болотом. В своем развитии, по **В.Р. Вильяму (1922)**, луг проходит три стадии: корневищную, рыхлокустовую и плотнокустовую. Корневищной стадией, или стадией «молодости», луг начинает жизнь, рыхлокустовой период свидетельствует о его «зрелости», а плотнокустовой – о его «старости», вырождении. Отмеченные стадии являются следствием преимущественно эндодинамических процессов. В результате жизнедеятельности растений на каждой из стадий условия в сообществе меняются не в пользу произрастающей группы растений, что ведет к смене одного фитоценоза другим.

Зарастание водоемов обусловлено также эндодинамическими причинами и происходит путем заполнения водоема отложениями с последующим зарастанием; зарастанием со дна и постепенным наступлением растений со стороны берега; зарастанием с поверхности с образованием надводной сплавины (зыбуна), затягивания водоема всплывающими со дна илом и торфом с последующим зарастанием.

Заращение водоемов с участием растений, коренящихся в дне, характерно для бассейнов с постепенно понижающимся пологим дном (рис. 130).

Заращение продолжается до тех пор, пока в результате последовательного отложения на дне водоема все новых и новых органических остатков не произойдет заполнение ими всей озерной впадины.

В результате заращения озера превращаются сначала в осоковые или травяные болота с тростниковыми зарослями в середине, затем – в осоковые или гипново-осоковые болота, которые с течением времени

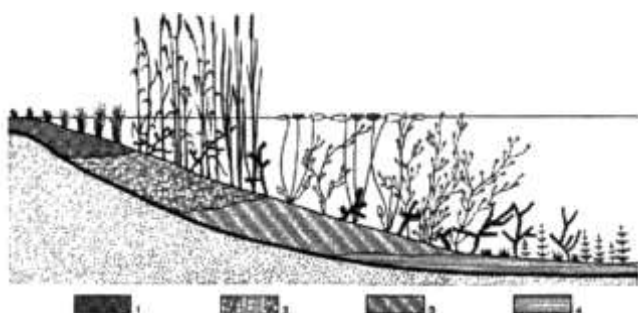


Рис. 130. Схема заращения озера (по Т.А. Работнову, 1974):
1 – осоковый торф; 2 – тростниковый и камышовый торф; 3 – сапропелевый торф;
4 – сапропелит

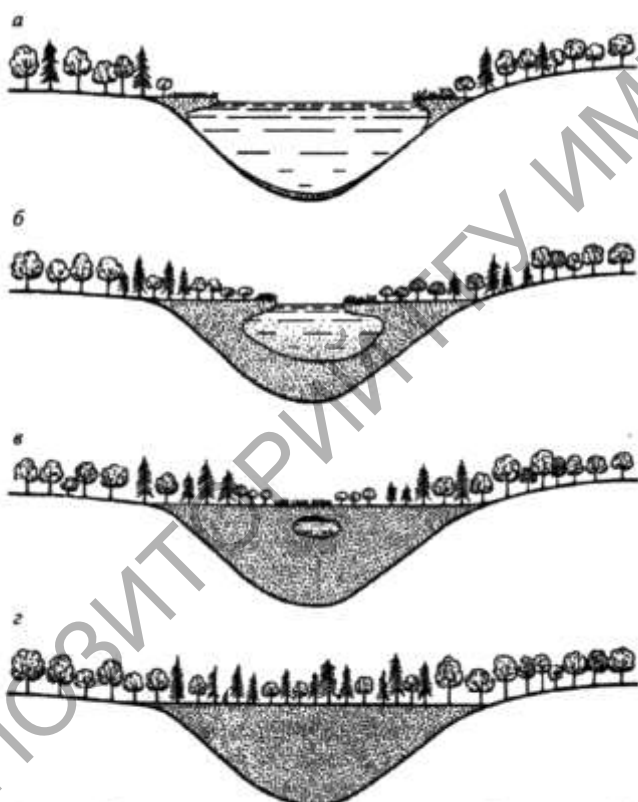


Рис. 132 (а – г). Заращение озера путем сплавины (по Р. Риклефсу, 1989)

могут уступить место сфагновым. Рельеф болота становится выпуклым. Болото переходит на питание за счет атмосферных осадков, почти лишенных примеси минеральных веществ. Спустя несколько тысяч лет оно может стать лугом, а луг сменится лесной растительностью.

Небольшие водоемы при постоянном уровне воды и отсутствии ее волнения зарастают путем образования *надводной сплавины* (рис. 132). В образовании сплавины принимают участие растения с длинными и прочными корневищами (вахта, сабельник болотный, белокрыльник болотный). Корневища, переплетаясь, образуют своего рода каркас или сеть, ячейки которых заполняются опавшими листьями, остатками растений. На сплавине поселяются другие растения (осоки, хвощи, горичник болотный, вех ядовитый, наумбургия кистецветная). В результате образуется сплошной, достаточно плотный живой ковер, продвигающийся от берега к центру озера. От нижней стороны сплавины отрываются и падают на дно остатки отмирающих растений. На дне озера образуется *торфяной ил (мутта)*.

2.1.3 Экзоэкогенез

Аллогенные, или *экзодинамические*, смены возникают под действием разных внешних факторов. Смены бывают *климатогенные* (в связи с изменением, например, температурного режима, количества осадков), *эдафогенные* (изменение почв, уровня грунтовых вод, подтопление

или затопление эдафотопов), *биогенные* (фитогенные и зоогенные) и *антропогенные*, связанные с деятельностью человека (вырубки, мелиорация, выпас скота, рекреация, техногенез, пожары и пр.).

Фитогенные смены. На почвах супесчаных и суглинистых, относительно плодородных с благоприятным гидрологическим режимом повсеместно протекает процесс смены сосняков ельниками. Сукцессия начинается под действием экзогенного (фитогенного) фактора – поселения ели, более мощного средообразователя, чем сосна, прогрессивного эдификатора. С течением времени ель формирует второй ярус или входит в состав первого древесного яруса и становится кондоминатом. Ее влияние выражается в образовании каждой особью фитогенного или экологического поля. В его пределах (оно не имеет четких границ) в процессе жизнедеятельности растения изменяется среда через перераспределение солнечной радиации, осадков, опада, питательных веществ, что вызывает в свою очередь изменения в составе и численности микроорганизмов, грибов, растений и животных. В результате взаимодействия фитогенных полей в сообществе образуется особая среда, определяющая его развитие в новом направлении. Экзодинамическая смена переходит в эндоэкогенную. Новая среда ограничивает возможности поселения сосны, а возобновлению и развитию елового древостоя благоприятствует. Соответственно существенно изменяется состав напочвенного покрова фитоценоза. Он становится более изреженным, уменьшается число видов, преобладают получают тенелюбивые растения. Сукцессионный ряд в данном случае составляют сосняк зеленомошный – сосняк елово-зеленомошный – ельник зеленомошный.

Зоогенные смены. К этому типу относятся сукцессии, вызванные деятельностью животных, и сложные сукцессии, протекающие с участием других факторов, а также животных, которые играют вторичную, но обязательную роль. Они чаще всего экзогенные, но могут носить эндогенный характер, если животные являются принадлежностью данного фитоценоза.

Сукцессии часто вызывают насекомые – филлофаги (питаются листьями) и ксилофаги (питаются корой и древесиной), реже – другие группы насекомых, например нематоды, и млекопитающие. Обычно насекомые действуют совместно с другими патогенными для дерева организмами, чаще всего грибами.

Из млекопитающих сильное воздействие на лесную растительность оказывают бобры, выпас скота, дикие копытные животные. Воздействия животных бывают прямыми (непосредственными) и косвенными (через среду).

Зоогенные сукцессии часто носят локальный катастрофический характер. Постоянной роющей деятельностью кабанов, например, вызываются в течение 5–10 лет зоогенные дигрессии в дубравах.

К **сукцессиям смешанного характера** следует отнести усыхание европейских ельников, в том числе и на территории Беларуси. В качестве первичных факторов, ведущих к ослаблению еловых древостоев, относятся техногенное загрязнение, потепление, изменение гидрологического режима экосистем.

Антропоические смены. Человек влияет на растительность путем уничтожения природных фитоценозов и создания на их месте новых, изменяя условия произрастания в результате осушения, орошения, затопления, внесения удобрений, пестицидов, а также введением или изъятием из них некоторых компонентов и прямым непосредственным воздействием (скашивание, выжигание, рубка). На вырубках (после снятия яруса древесных растений) остаются одиночные деревья, растения подлеска, травянисто-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов, а в почве, подстилке – масса зачатков, но полностью нарушается прежняя фитосреда. Меняются условия освещенности и увлажнения, улучшается прогревание приземного слоя воздуха и почвы, усиливается воздействие ветра. Происходят изменения в обеспечении растений элементами минерального питания, источником которого являются продукты минерализации большого объема растительных остатков. Верхние горизонты почвы активно обогащаются доступными формами минерального питания, особенно азотом. Все эти факторы, сохранившиеся растения и характер самой вырубki определяют ход сукцессионных процессов.

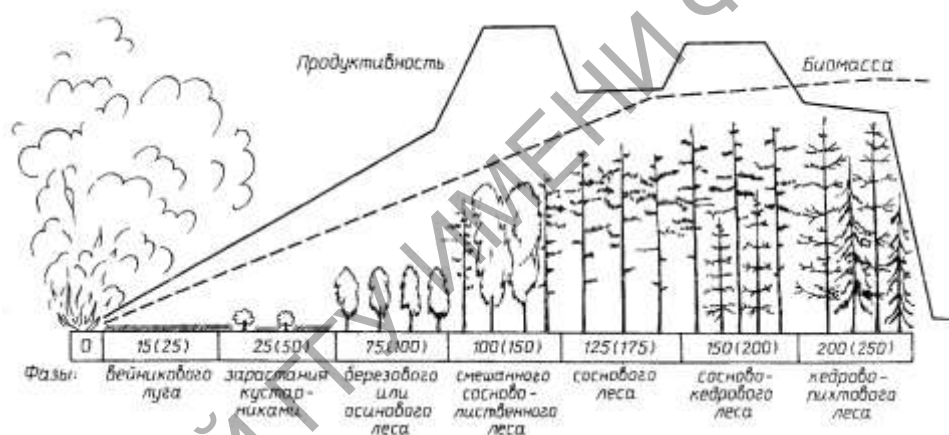


Рис. 62. Сукцессия сибирского темнохвойного леса (пихтово-кедровой тайги) после опустошительного лесного пожара (обобщенная схема)
 Числа в прямоугольниках — колебания в длительности прохождения фаз сукцессии (в скобках указан срок их окончания). Биомасса и биологическая продуктивность показаны в произвольном масштабе. Кривые отражают качественную и количественную стороны процесса (Реймерс, 1990)

К изменению наземных сообществ ведут также пожары (низовые, верховые и подземные), число и площади которых заметно возросли в последнее время по вине человека. Смешанные хвойно-широколиственные леса выгорают с частотой от 50 до 200 лет. Пожары уничтожают многолетние запасы органической массы, изменяют физические и химические свойства почв, повышают pH почвенного раствора, увеличивают подвижность катионов, фосфора и азота, ускоряют процессы микробного разложения. Выделение огромного количества энергии (температура на поверхности почвы при горении может подниматься до 700 °C, а на глубине 15 см – до 200 °C) отрицательно сказывается на жизни организмов. Смертность беспозвоночных в подстилке и почве может достигать 100%. Пожары для обитателей природных экосистем являются катастрофическим событием, ведущим к утере многих видов.

ЛЕКЦИЯ 13 УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ

- 1 Понятие о биосфере
- 2 Живое вещество в биосфере
- 3 Понятие о биологическом круговороте
- 4 Круговорот важнейших элементов в биосфере
- 5 Основные этапы в эволюции биосферы
- 6 Роль человека в эволюции биосферы
- 7 Ноосфера

1 Понятие о биосфере

Биосферой **В.И. Вернадский (1926)** назвал ту область нашей планеты, в которой существует или когда-либо существовала жизнь и которая постоянно подвергается или подвергалась воздействию живых организмов.

Биосфера представляет собой сложнейшую планетарную оболочку жизни, населенную организмами, составляющими в совокупности живое вещество. Это самая крупная (глобальная) экосистема Земли – область системного взаимодействия живого и косного вещества на планете. Совокупная деятельность живых организмов в биосфере проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба.

Современная жизнь распространена в верхней части земной коры (литосфере), в нижних слоях воздушной оболочки Земли (атмосферы) и в водной оболочке Земли (гидросфере).

В литосфере жизнь ограничивает температура горных пород и подземных вод (возрастает с глубиной и на уровне 1,5-15 км превышает 100°C), но в нефтяных месторождениях на глубине 2-2,5 км регистрируются бактерии. В океане жизнь распространена на дне океанических впадин в 10-11 км от поверхности.

Верхняя граница жизни в атмосфере определяется нарастанием с высотой ультрафиолетовой радиации. Все живое, поднимающееся выше защитного слоя озона (25–27 км), погибает. Споры бактерий и грибов обнаруживают до высоты 20–22 км, но основная часть аэропланктона сосредоточена в слое до 1–1,5 км. В горах граница распространения наземной жизни около 6 км над уровнем моря.

В планетарной биосфере выделяют *континентальную* и *океаническую* биосферы, которые отличаются геологическими, географическими, экологическими, биологическими, физическими и другими условиями.

Вещественный состав биосферы разнообразен. **По Вернадскому** выделяют 7 частей:

- живое вещество;

- *биогенное вещество* – рождаемое и перерабатываемое живыми организмами (горючие ископаемые, известняки и т.д.);
- *косное вещество* – образуемое без участия живых организмов (твердое, жидкое и газообразное);
- *биокосное вещество* - косное вещество, преобразованное живыми организмами (вода, почва, кора выветривания, илы);
- *радиоактивное вещество* (элементы и изотопы уранового, ториевого и актиноуранового ряда);
- *рассеянные атомы* земного происхождения и космических излучений;
- *вещество космического происхождения* – метеориты, космическая пыль и др.

2 Живое вещество в биосфере

2.1 Свойства живого вещества

1) *Огромная свободная энергия.* В процессе эволюции видов биогенная миграция атомов, т.е. энергия живого вещества биосферы, увеличилась во много раз и продолжает расти, ибо живое вещество перерабатывает энергию солнечных излучений, атомную энергию радиоактивного распада и космическую энергию рассеянных элементов, приходящих из нашей Галактики.

2) *Высокая скорость протекания химических реакций* по сравнению с веществом неживым, где похожие процессы идут в тысячи и миллионы раз медленнее.

3) *Слагающие его химические соединения, устойчивы только в живых организмах.* После завершения процесса жизнедеятельности исходные живые органические вещества разлагаются до химических составных частей.

4) *Существует в форме непрерывного чередования поколений,* благодаря чему вновь образовавшееся генетически связано с живым веществом прошлых эпох.

5) *Наличие эволюционного процесса.* Генетическая информация любого организма зашифрована в каждой его клетке.

2.2 Функции живого вещества

1) **Газовая функция.** Осуществляется через фотосинтез и дыхание. Основные газовые функции **по В.И. Вернадскому**, следующие:

а) *кислородно-углекислотная,* носители – хлорофилльные растения.

б) *углекислотная* (отдельная от кислородной). В результате жизнедеятельности гетеротрофов создается биогенная углекислота.

в) *озонная и перекисьводородная*. Озон, образуясь из биогенного кислорода, защищает биосферу от ультрафиолетового излучения.

г) *азотная*. Свободный азот атмосферы создается живым веществом почвы.

д) *углеводородная*. Углеводороды создаются живым веществом.

е) *водная*, проявляется в биогенном круговороте воды.

ж) *сероводородная и сульфидная*.

2) **Концентрационная функция**. Проявляется в способности живых организмов накапливать в своих телах многие химические элементы (на первом месте стоит углерод, среди металлов – кальций).

Различают:

а) *концентрационную функцию I рода* (накапливаются химические элементы, содержащиеся во всех без исключениях организмах (H, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe));

б) *концентрационную функцию II рода*, (накопление химических элементов, либо в живых организмах не встречающиеся, либо встречаются в очень малых количествах).

3) **Окислительно-восстановительная функция**. Выражается в химических превращениях веществ в процессе жизнедеятельности организмов (образуются железные и марганцевые руды, известняки и т.п.).

4) **Биохимическая функция**. Определяется как размножение, рост и перемещение в пространстве живого вещества (круговорот химических элементов в природе).

5. **Функция биогеохимической деятельности человека**. Связана с биогенной миграцией атомов, многократно усиливающейся под влиянием хозяйственной деятельности человека и его разума.

В.И. Вернадский разделял живое вещество на *однородное* (родовое, видовое и т.п.) и *неоднородное* (смеси живых веществ – биоценоз).

3 Понятие о биологическом круговороте

Под *круговоротом веществ* понимают повторяющийся процесс превращения и перемещения веществ в природе, имеющий более или менее выраженный циклический характер. В круговороте веществ принимают участие все живые организмы, поглощающие из внешней среды одни вещества и выделяющие в нее другие.

Непрерывная циркуляция химических элементов в биосфере по более или менее замкнутым путям – *биогеохимический цикл*. Необходимость такой циркуляции объясняется ограниченностью их запасов на планете. Круговорот каждого химического элемента яв-

ляется частью общего грандиозного круговорота веществ на Земле, т. е. все круговороты тесно связаны между собой.

Отличительная черта биологических круговоротов – *неполная замкнутость* (часть химических элементов и их соединений постоянно выпадает из общей циркуляции и скапливается вне организмов, создавая запасы биогенных веществ).

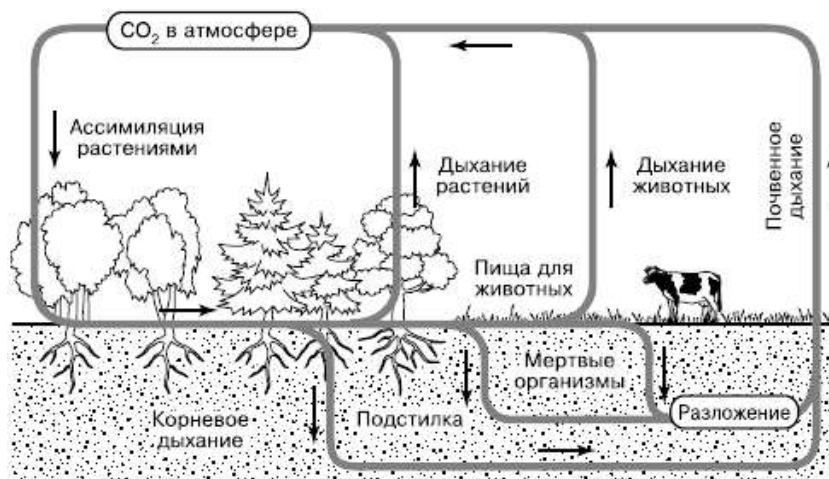
Запасы биогенных веществ, мало доступные для живых организмов и медленно вовлекающиеся в биологический круговорот – **резервный фонд** (кальций в карбонатных породах). Биогенные вещества, интенсивно циркулирующие между телами организмов и окружающей средой – **обменный фонд**.

4 Круговорот важнейших элементов в биосфере

Углерод. Углерод как химический элемент является основой жизни. Он может соединяться разными способами со многими другими элементами, образуя простые и сложные органические молекулы, входящие в состав живых клеток. По распространению на планете углерод занимает одиннадцатое место (0,35 % от веса земной коры), но в живом веществе в среднем составляет 18-45% от сухой биомассы.

В атмосфере углерод входит в состав углекислого газа CO_2 , в меньшей мере – в состав метана CH_4 или следового количества других газообразных соединений. В гидросфере CO_2 растворен в воде, и общее его содержание намного превышает атмосферное. Океан служит мощным буфером регуляции CO_2 в атмосфере: при повышении в воздухе его концентрации увеличивается поглощение углекислого газа водой. Некоторая часть молекул CO_2 реагирует с водой, образуя угольную кислоту (разлагается на ионы HCO_3^- и CO_3^{2-}). Эти ионы реагируют с катионами кальция или магния с выпадением карбонатов в осадок. Подобные реакции лежат в основе буферной системы океана, поддерживающей постоянство pH воды. При подкислении (увеличении концентрации ионов H^+) происходит сдвиг влево в цепи: CO_2 воздуха \rightarrow CO_2 воды \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ \rightarrow CaCO_3 . При подщелачивании усиливается выпадение в осадок карбонатов кальция.

Углекислый газ атмосферы и гидросферы представляет собой обменный фонд в круговороте углерода, откуда его черпают наземные растения и водоросли (рис.). Фотосинтез лежит в основе всех биологических круговоротов на Земле. Высвобождение фиксированного углерода происходит в ходе дыхательной активности самих фотосинтезирующих организмов и всех гетеротрофов – бактерий, грибов, животных, включающихся в цепи питания за счет живого или мертвого органического вещества.



Особенно активно происходит возврат в атмосферу CO₂ из почвы, где сосредоточена деятельность многочисленных групп деструкторов и редуцентов и осуществляется дыхание корневых систем растений (почвенное ды-

хание). Параллельно с процессами минерализации органического вещества в почвах образуется гумус, который является носителем почвенного плодородия, поскольку разрушается определенными группами микроорганизмов медленно и постепенно, обеспечивая равномерное питание растений.

В тех условиях, где деятельность деструкторов тормозится факторами внешней среды, органическое вещество, накопленное растительностью, не разлагается, превращаясь со временем в каменный или бурый уголь, торф, сапропели, горючие сланцы и др. (пополняют собой резервный фонд углерода). Углерод временно депонируется также в живой биомассе, мёртвом опаде, растворенном органическом веществе океана и т.п. Основной резервный фонд углерода – осадочные породы (известняки и доломиты). Углерод этих карбонатов надолго захоранивается в недрах Земли и поступает в круговорот лишь в ходе эрозии при обнажении пород в тектонических циклах.

В биологическом круговороте участвуют лишь доли процента углерода от общего его количества на Земле. Основной возврат углерода в обменный фонд происходит за счет деятельности живых организмов, и лишь небольшая часть его (тысячные доли процента) компенсируется выделением из недр Земли в составе вулканических газов.

В настоящее время мощным фактором перевода углерода из резервного в обменный фонд биосферы становится добыча и сжигание огромных запасов горючих ископаемых.

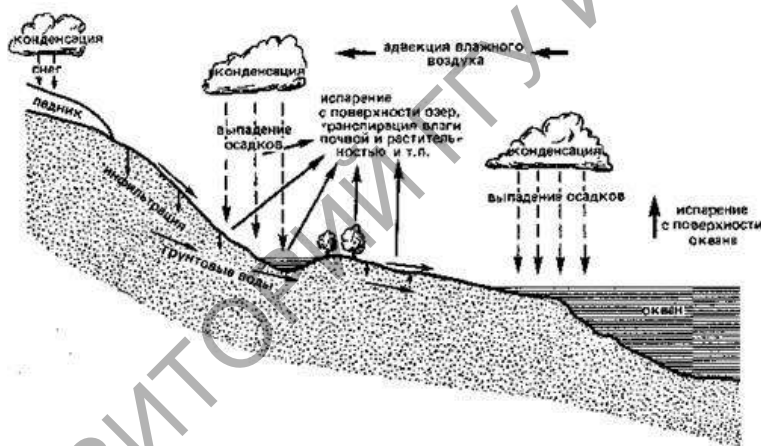
Кислород. Теснейшим образом связан с углеродным циклом. Атмосферой с высоким содержанием свободного кислорода Земля обязана процессу фотосинтеза. Кислород освобождается из молекул воды и является побочным продуктом фотосинтетической активности растений. Абиотическим путем кислород возникает в верхних слоях атмосферы за счет фотодиссоциации паров воды (тысячные доли процента от поставляемого фотосинтезом). Между содержанием кислорода в атмосфере и гидросфере существует по-

движное равновесие – в воде его примерно в 21 раз меньше на равный объем по сравнению с воздухом.

Выделившийся кислород интенсивно расходуется на процессы дыхания всех аэробных организмов и на окисление минеральных соединений. Эти процессы происходят в атмосфере, почве, воде, илах и горных породах. Обменный фонд O_2 в атмосфере составляет не более 5% от общей продукции фотосинтеза. Многие анаэробные бактерии также окисляют органические вещества в процессе анаэробного дыхания, используя для этого сульфаты или нитраты.

Накопление кислорода в атмосфере и гидросфере происходит в геологической истории в результате неполной замкнутости цикла углерода. На полное разложение органического вещества, создаваемого растениями, требуется точно такое же количество кислорода, которое выделилось при фотосинтезе. Захоронение органики в осадочных породах, углях, торфах послужило основой поддержания обменного фонда кислорода в атмосфере. Весь имеющийся в ней кислород проходит полный цикл через живые организмы примерно за 2000 лет.

Вода. В ходе фотосинтеза растения используют водород воды в построении органических соединений, освобождая молекулярный кислород. В процессах дыхания всех живых существ, при окислении органических соединений вода образуется вновь. В истории жизни вся свободная вода гидросферы многократно прошла циклы



разложения и новообразования в живом веществе планеты.

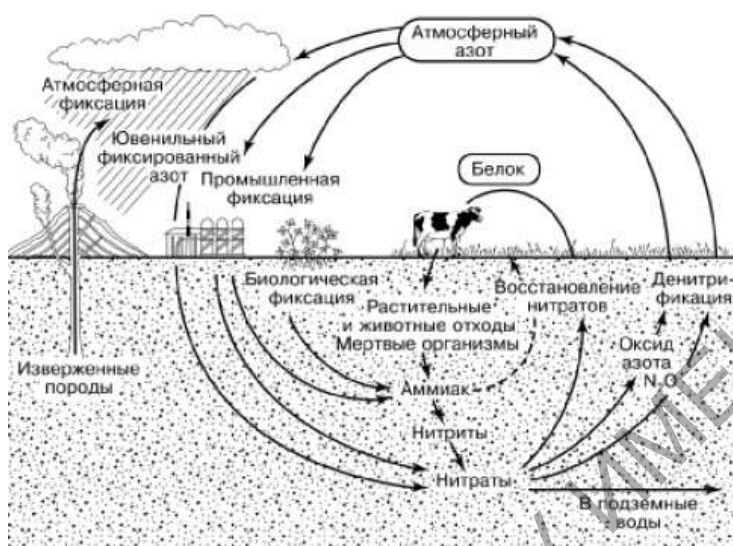
Кроме биологических циклов на Земле также осуществляется глобальный круговорот воды, движимый энергией Солнца. Вода испаряется с поверхности водоемов и суши и затем

вновь поступает на Землю в виде осадков. Над океаном испарение превышает осадки, над сушей – наоборот. Эти различия компенсируются речным стоком. В глобальном круговороте воды растительность суши играет немаловажную роль. Транспирация растений на отдельных участках земной поверхности может составить до 80–90% выпадающих здесь осадков, а в среднем по всем климатическим поясам – около 30%.

Азот. В атмосфере и живом веществе содержится менее 2% всего азота на Земле, но именно он поддерживает жизнь на планете. Азот входит в состав важнейших органических молекул (ДНК, белков, липопротеидов, АТФ, хлорофилла и др.). В растительных тканях его соотношение с углеродом составляет в среднем 1:30, а

в морских водорослях 1:6. Биологический цикл азота тесно связан с углеродным.

Молекулярный азот атмосферы недоступен растениям (усваивают его только в виде ионов аммония, нитратов или из почвенных или водных растворов). Атмосферный азот широко вовлекается в биологический круговорот благодаря деятельности прокариотических организмов (рис.). В большой мере способность к фиксации молекулярного азота развита у фотосинтезирующих сине-зеленых водорослей. Активно фиксируют азот живущие в почве бактерии рода *Azotobacter*, а также клубеньковые бактерии *Rhizobium*, живущие на корнях растений семейства бобовых. Отмирая, бактерии



обогащают почву соединениями азота, доступными для растений. Симбиотические формы снабжают хозяина и за счет прижизненных выделений.

В круговороте азота принимают большое участие также аммонифицирующие микроорганизмы (разлагают белки и другие содержащие азот органические вещества до образования аммиака). В аммоний-

ной форме азот частью вновь поглощается корнями растений, а частью перехватывается нитрифицирующими микроорганизмами. Они используют для себя химическую энергию, окисляя аммиак сначала в нитритную форму (бактерии *Nitrosomonas*), а окисление нитритов в нитраты производят бактерии рода *Nitrobacter*. Образовавшиеся нитраты вновь используются растениями в ходе фотосинтеза.

Прямо противоположна по функциям группа микроорганизмов – денитрификаторов.

В анаэробных условиях в почвах или водах они используют кислород нитратов для окисления органических веществ, получая энергию для своей жизнедеятельности. Азот при этом восстанавливается до молекулярного. Азотфиксация и денитрификация в природе приблизительно уравновешены. Объемы микробной фиксации азота составляют до 2,5 т на км² в год.

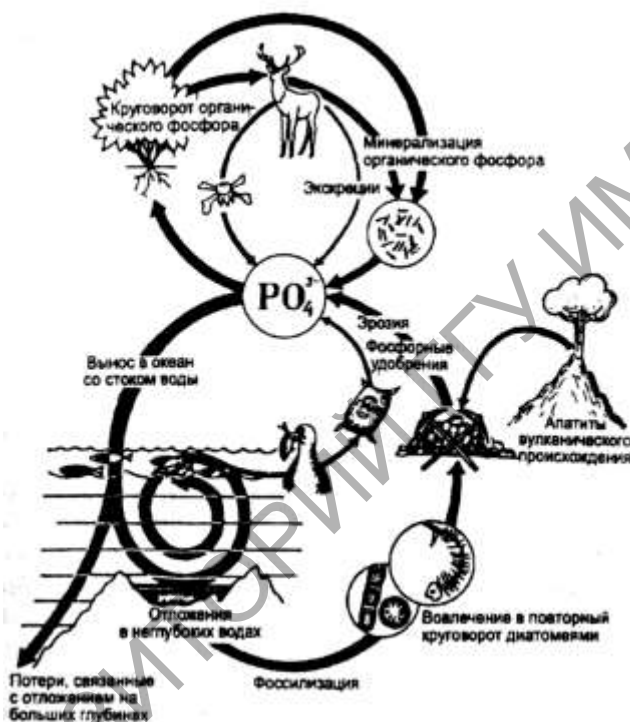
Небиологическая фиксация азота и поступление в почвы его окислов и аммиака происходит также с дождевыми осадками при ионизации атмосферы и грозových разрядах. В среднем это дает около 1 т связанного азота на км² в год.

Современная промышленность удобрений фиксирует азот атмосферы в размерах, превышающих природную азотфиксацию в целях увеличения продукции сельскохозяйственных растений.

Высокие дозы азотных удобрений приводят, однако, к вымыванию нитратов в грунтовые воды, водоемы и в конечном счете – питьевую воду, а также к избытку их в продуктах питания, что является опасным для человека. Таким же источником загрязнений служат сточные воды с высоким содержанием аммония.

Фосфор. Этот элемент необходим для синтеза многих органических веществ (АТФ, ДНК, РНК) и усваивается растениями только в виде ионов PO_4^{3-} . Круговорот этого элемента в масштабах биосферы незамкнут.

На суше растения черпают из почвы фосфаты, освобожденные редуцентами из разлагающихся органических остатков, но в щелочной или кислой почве растворимость фосфорных соединений резко падает. Основной резервный фонд фосфатов содержится в горных породах, созданных на дне океана в геологическом прошлом. В ходе выщелачивания пород часть этих запасов переходит в почву и в виде взвесей и растворов вымывается в водоемы. В гидросфере фосфаты используются фитопланктоном, переходя по цепям питания в других гидробионтов. Однако в океане большая часть фосфорных соединений захоранивается с остатками животных и растений на больших глубинах и не попадает вновь в фотическую зону, переходя с осадочными породами в большой геологический круговорот. На глубине растворенные фосфаты связываются с кальцием, образуя фосфориты и апатиты. В биосфере, по сути дела, происходит однонаправленный поток фосфора из горных пород суши в глубины океана, и обменный фонд его в гидросфере очень ограничен..



В гидросфере фосфаты используются фитопланктоном, переходя по цепям питания в других гидробионтов. Однако в океане большая часть фосфорных соединений захоранивается с остатками животных и растений на больших глубинах и не попадает вновь в фотическую зону, переходя с осадочными породами в большой геологический круговорот. На глубине растворенные фосфаты связываются с кальцием, образуя фосфориты и апатиты. В биосфере, по сути дела, происходит однонаправленный поток фосфора из горных пород суши в глубины океана, и обменный фонд его в гидросфере очень ограничен..

Наземные залежи фосфоритов и апатитов разрабатываются в качестве удобрений. Снос избыточного фосфора в пресные водоемы является одной из главных причин их «цветения» – бурной эвтрофикации.

Сера. Круговорот серы, необходимой для построения ряда аминокислот, ответственных за трехмерную структуру белков, поддерживается в биосфере широким спектром бактерий. В отдельных звеньях этого цикла участвуют аэробные микроорганизмы (окисляют серу органических остатков до сульфатов), а также анаэроб-

ные сульфатредукторы (восстанавливают сульфаты до сероводорода), кроме них – разные группы серобактерий (оξειляют сероводород до элементарной серы и далее – сульфатов), тионовые бактерии (переводят элементарную серу в соли серной кислоты). Растения усваивают из почвы и воды только ионы SO_4^{2-} , поставляемые им деятельностью прокариотов.

Основное накопление серы происходит в океане, куда сульфатные ионы непрерывно поступают с суши с речным стоком. Частично сера возвращается в атмосферу при выделении из вод сероводорода и окисляется здесь до двуокиси, превращаясь в дождевой воде в серную кислоту. Промышленное использование большого количества сульфатов и элементарной серы и сжигание горючих ископаемых поставляют в атмосферу большие объемы диоксида серы. Это вредит растительности, животным, людям и служит источником кислотных дождей, усугубляющих отрицательные эффекты вмешательства человека в круговорот серы.

5 Основные этапы в эволюции биосферы

Возраст Земли составляет около 5 млрд. лет (4,6–4,7 млрд. лет). Приблизительно таков же возраст Солнца и других планет Солнечной системы. На ранней Земле за счет лав, выплавляющихся из верхней мантии, постепенно сформировалась земная кора, а дегазация лав привела к возникновению первичной атмосферы и жидкой воды на поверхности планеты. В первый миллиард лет существования Земли океан был примерно в 5 раз меньше современного по глубине и объему (формировался за счет разрастания и слияния мелких озер на поверхности суши). Ландшафт представлял собой вулканические конусы на плоских пространствах.

Состав древней атмосферы содержал водяной пар (до 70–80%), CO_2 (6–19%), Cl (до 7%), CH_4 , NH_4 , соединения серы и многие другие компоненты. Химический анализ газовых пузырьков в древнейших породах Земли показал полное отсутствие в них свободного кислорода, около 60% CO_2 , около 35% H_2S , SO_2 , NH_3 , HCl и HF , некоторое количество азота и инертных газов.

Ранняя атмосфера Земли была бескислородной, аналогично другим планетам Солнечной системы. Ультрафиолетовое излучение Солнца свободно достигало поверхности воды и суши из-за отсутствия озонового экрана. Вулканические газы, растворяясь в воде, переходили в первичный океан, имевший в результате сильно кислую реакцию.

Возникшая на Земле жизнь постепенно изменила эти условия и преобразовала химию верхних оболочек планеты.

Историю Земли делят на 2 большие отрезка: *криптозой* (эон скрытой жизни, включавший в себя эры *архейскую* – первые 2 млрд. лет, и *протерозойскую* – следующие 2 млрд. лет и *фанерозой* (эон явной жизни), который начался около 570 млн. лет назад. Па-

леонтологическая летопись начинается лишь с фанерозоя. В более древних слоях присутствуют в основном микроископаемые.

1.1 Архейская эра

За счет химического и физического выветривания и эрозии суши началось формирование первых осадочных пород в океане, происходила их гранитизация и сформировались ядра будущих континентальных платформ. В архее в результате деятельности анаэробных железобактерий сформировались значительные толщи магнетита, гематита – руд, содержащих недоокисленное двухвалентное железо. Установлено, что кислород, имеющийся в составе этих пород, фотосинтетического происхождения. Соли древнего океана отличались повышенным содержанием магния, поэтому одни из главных осадочных пород архея – магнийсодержащие доломиты. В океане не возникали сульфатные осадки, так как не было анионов окисленной серы. В древних породах много легко окисляющихся, но не окисленных полностью веществ – графита, лазурита, пирита.

Жизнь на Земле была представлена разнообразными типами прокариот. В результате их деятельности в восстановительной среде кислород, выделяемый цианобактериями, сначала расходовался на окисление разнообразных соединений, не накапливаясь в свободном виде в атмосфере. При этом аммиак NH_3 окислялся до молекулярного азота N_2 , метан и окись углерода – до CO_2 , сера и сероводород – до SO_2 и SO_3 . Состав атмосферы постепенно изменялся.

Ранняя жизнь имела локальное распространение лишь на небольших глубинах в океане, примерно от 10 до 50 м (верхние слои пронизывались ультрафиолетовыми лучами, а ниже 50 м не хватало света для фотосинтеза).

1.2 Протерозойская эра

Суша составляла единый континент – **Мегагею**, окруженную единым океаном.

Постепенно накапливался свободный кислород в окружающей среде. Переход восстановительной атмосферы в окислительную наметился в начале *протерозоя*. Железо стало осаждаться в полностью окисленной, трехвалентной форме. Исчезают пириты, вместо них в океане начинают появляться сульфаты, морская вода из хлоридной становится хлоридно-карбонатно-сульфатной.

В истории атмосферного кислорода имеют значение несколько его пороговых величин:

- **точка Юри** (кислород образуется в атмосфере за счет фотодиссоциации молекул воды – 0,001% от современного, фотосинтеза нет, жизнь только анаэробная);

- **точка Пастера** (начало фотосинтеза – 0,01% от современного, жизнь распространяется почти до поверхности водоемов)

- **точка Беркнера-Маршалла** (соответствует 10% от современного, формируется озоновый экран.

На протяжении более 2 млрд. лет биосфера формировалась исключительно деятельностью прокариотов: сформировали кислородную атмосферу, очистили ее от токсических вулканических газов, связали и перевели в карбонатные породы огромное количество CO_2 , изменили солевой состав океана и сформировали громадные месторождения железных руд, фосфоритов и других ископаемых.

Так как кислород был токсичен и смертельно опасен для анаэробных форм жизни и они оказались оттеснены в глубь грунтов, в локальные местообитания с недостатком O_2 .

Во второй половине протерозоя в морях появились разные группы одноклеточных водорослей и одноклеточных.

В конце протерозоя (*вендский период*) наблюдался взрыв многообразия многоклеточных. Среди животных преобладали кишечнополостные и черви, были формы, напоминающие членистоногих, но в целом большинство из них отличалось своеобразным обликом и не встречалось позднее. Среди придонных водорослей было много лентовидных слоевищных форм. Отличительная черта всей вендской биоты – бесскелетность.

Органическое вещество биогенного происхождения становится постоянным и обязательным компонентом осадочных пород со второй половины протерозоя.

1.3 Палеозойская эра

Кембрий. Характеризуется взрывом биологического разнообразия. За этот период возникли практически все типы ныне существующих животных и целый ряд других, не дошедших до нашего времени. Появились археоциаты и губки, плеченогие, знаменитые трилобиты, разные группы моллюсков, ракушковые рачки, иглокожие и многие другие. Среди простейших возникли радиолярии и фораминиферы. Растения представлены разнообразными водорослями. Роль цианобактерий уменьшилась, так как строматолиты стали мельче и малочисленнее.

Ордовик и силур. Появились предки позвоночных животных. Рифообразующая роль перешла от строматолитов к коралловым полипам. Основным же событием палеозоя стало завоевание суши растениями и животными.

Первые наземные растения – псилофиты (возникают проводящие элементы, покровные ткани, устьица и т.п., но еще очень похожи на водоросли).

Девон. В сырых и приводных местообитаниях возникли леса из плауновых, хвощовых и папоротникообразных. Появились мхи.

В морях *девона*, наряду с бесчелюстными, уже господствовали разные формы рыб. Кистеперые, приобретшие ряд приспособлений

к обитанию в мелких, замусоренных отмирающими растениями водоемах, дали начало первым примитивным земноводным. В девоне существовали мелкие почвенные членистоногие, очевидно, потреблявшие гниющую органику.

Карбон. Доля кислорода достигла современного и даже превзошла его. Карбоновые леса (древовидных плауны лепидодендроны и сигиллярии, гигантских хвощи каламиты, мощные и разнообразные папоротниковые) – вершина развития споровой растительности. Высокая продукция растений стимулировалась и достаточно большим содержанием CO_2 в атмосфере, которое было примерно в 10 раз выше современного. В каменных углях карбона содержится большое количество углерода, изъятая из воздушных запасов CO_2 в тот период.

Возникли растения и животные, способные завоевывать и маловодные пространства суши: первые голосеменные (кордаиты) и первые пресмыкающиеся. Воздушную среду освоили первые летающие насекомые. В морях процветали хрящевые и костистые рыбы, головоногие моллюски, кораллы, остракоды и брахиоподы.

Пермь. Характеризовался резким изменением климатических условий. Единый континент (**Пангея**) разделился на южный (**Гондвану**) и северный (**Лавразию**). В Лавразии, в зоне засушливого климата возникают большие площади осадков испарения – гипсов, каменной и калийной соли (месторождения Соликамска), ангидритов, доломитов. В тропических районах, однако, продолжается накопление каменных углей (Кузбасс, Печора, Китай). Спорная растительность приходит в резкий упадок. Масса кислорода в атмосфере сокращается до значений, характерных для начала палеозоя.

1.4 Мезозойская эра

Триас. Произошла смена флор и глубокое обновление морской и наземной фаун. Среди растений господствуют голосеменные (цикадовые, гинкговые и хвойные). Вымирают многие группы земноводных и ранних пресмыкающихся, в морях исчезают трилобиты.

Юра. Начался распад Гондваны на отдельные континенты и расхождение их друг от друга. Снова расширяются мелководья, климат ровный и теплый. Юрские леса были по составу значительно разнообразнее карбоновых, менее влаголюбивы и произрастали не только в болотах и по краям водоемов, но и внутри континентов. По долинам и поймам рек они также оставляли залежи каменных углей. Среди позвоночных на суше господствуют рептилии, освоившие также воздушную и вторично водную среду. Возникают различные группы динозавров, птерозавры, ихтиозавры и многие другие формы.

Возникает новая группа одноклеточных водорослей – диатомовые с кремниевыми панцирями и за их счет начинают формироваться тонкие кремниевые илы и новые породы – диатомиты.

Мел. Появились покрытосеменные. Параллельно с цветковыми растениями бурно эволюционируют различные группы насекомых-опылителей и потребителей тканей покрытосеменных. В течение всего мелового периода господствовали пресмыкающиеся, многие из которых достигали гигантских размеров. Существовали также зубатые птицы, возникли плацентарные млекопитающие, ведущие свое происхождение еще от примитивных триасовых предков. К концу периода распространились птицы, близкие к современным. В морях процветали костистые рыбы, аммониты и белемниты, фораминиферы.

На границе мезозойской и кайнозойской эр произошло одно из наиболее грандиозных вымираний. С лица Земли исчезли динозавры и большинство других рептилий. В морях вымерли аммониты и белемниты, рудисты, ряд планктонных одноклеточных и многие другие группы. Началась интенсивная адаптивная радиация наиболее прогрессивных групп позвоночных – млекопитающих и птиц. В наземных экосистемах большую роль стали играть насекомые.

1.5 Кайнозойская эра

Палеоген. Характеризовался возрастанием аэробных условий в биосфере не за счет увеличения массы кислорода, а за счет изменения почвенных режимов. Увеличилась полнота биологических круговоротов. Влажные леса оставили значительные накопления каменных и бурых углей. Одновременно с этим расцвет активной растительности покрытосеменных понизил содержание CO_2 в атмосфере до современного уровня, в результате чего снизилась и общая эффективность фотосинтеза.

Неоген. Нарастающий аэриобиозис почв и водоемов прекратил процессы образования угля и нефти. В современную эпоху происходит только торфообразование в болотистых почвах. Произошли резкие смены климатов. В результате эволюции покрытосеменных в периоды иссушения в середине эры возникли травянистые растительные формации и новые типы ландшафтов – открытые степи и прерии. В конце усилилась климатическая зональность и наступил ледниковый период (плейстоцен) с распространением льдов на значительной части Северного и Южного полушарий. Последняя волна ледников отступила всего около 12 тыс. лет назад.

Антропоген. Интенсивная эволюция млекопитающих со сменой фаун и вымиранием видов. От одной из групп – приматов около 8–9 млн лет назад обособилась линия, ведущая к человеку. Первые представители рода *Ното* возникли в самом конце кайнозоя, до ледникового периода, около 2,5 млн лет назад. Весь последующий

отрезок истории Земли получил название *антропогена* вследствие особой роли человека в судьбе биосферы.

6 Роль человека в эволюции биосферы

Человек тесно связан с живой природой происхождением, материальными и духовными потребностями. Масштабы и формы этих связей неуклонно росли от локального использования отдельных видов растений и животных до практически полного вовлечения живого покрова планеты в жизнеобеспечение современного промышленно развитого общества.

Положение человека в биосфере двояко. Как биологические объекты, мы тесно зависим от физических факторов среды и связаны с ней через питание, дыхание, обмен веществ. Человеческий организм имеет свои приспособительные возможности, которые выработались в ходе биологической эволюции. Изменения физической среды – газового состава воздуха, качества воды и пищи, климата, потока солнечной радиации и другие факторы отражаются на здоровье и работоспособности людей. Однако главной особенностью человека, отличающей его от других видов, является новый способ взаимодействия с природой через создаваемую им культуру. Как мощная социальная система, человечество создает на Земле свою, интенсивно развивающуюся культурную среду, передавая от поколения к поколению трудовой и духовный опыт.

Масштабы взаимодействия современного общества с природой определяются в основном небиологическими потребностями человека. Они связаны с непрерывно нарастающим уровнем технического и социального развития. Техническая мощь человека достигла масштабов, соизмеримых с биосферными процессами. Человеческая деятельность на планете изменяет климат, влияет на состав атмосферы и Мирового океана.

В прошлом было немало примеров деградации среды и подрыва экономики целых народов в результате стихийного развития взаимоотношений с природой. В настоящее время эта опасность грозит всему человечеству.

Однако вместе с техническим оснащением растет и научная вооруженность человеческого общества. Одним из успехов естествознания XX в. явилось осознание неразрывного диалектического единства общества и природы, необходимости перехода от концепции господства человека над природой к концепции взаимодействия с ней.

7 Понятие ноосфера

В.И. Вернадский в первой половине нашего века предвидел развитие биосферы в *ноосферу* – сферу разума. Определяя сегодняшний этап развития биосферы и населяющего ее человеческого

общества, можно сказать, что в биосферных явлениях технологические и вообще антропогенные процессы будут играть все возрастающую роль.

Развитие экологии как науки, изучающей взаимоотношения организмов с окружающей средой, привело к пониманию того, что человеческое общество в своих связях с природой также должно подчиняться экологическим законам. Это резко изменило роль экологии, которая приобрела особую ответственность за решение многих проблем, связанных со способами хозяйствования человека на планете. Главные из них – проблемы рационального использования природных ресурсов и обеспечение устойчивости среды жизни.

Задача современного естествознания – разработать такую систему мероприятий, которая обеспечила бы функционирование биосферы в новых условиях и неограниченно долгое существование человечества на нашей планете.

В сложной иерархической организации живой природы заложены огромные резервы саморегуляции, но для вскрытия этих резервов необходимо грамотное вмешательство в процессы, протекающие в биосфере. Стратегию такого вмешательства может определить экология, опирающаяся на достижения естественных и социальных наук.

Глобальный характер экологических проблем приводит к тому, что при их решении сталкиваются интересы различных общественных групп, социальных институтов, отдельных стран, регионов, социально-экономических систем, поэтому они становятся объектом острой идеологической и политической борьбы, столкновения мировоззренческих установок. Дискуссии, которые ведутся вокруг экологических проблем, все больше выходят за чисто научные рамки и привлекают активное внимание мировой общественности.

В основу всех отраслей народного хозяйства должны быть положены фундаментальные экологические принципы. Это обеспечит успешное развитие всех производительных сил и получение высококачественной продукции в количестве, достаточном для всего населения.

Интенсивное развитие экологии в последнее время существенно продвинуло ее теорию и создало основу для успешного решения многих практических задач. Экология продолжает развивать свои методы и подходы, внедряясь во все формы взаимоотношения с природой и смыкаясь с широким фронтом других наук.

ЛЕКЦИЯ 14 ЭКОЛОГИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

- 1 Загрязнение атмосферы
- 2 Загрязнение гидросферы
- 3 Загрязнение почв

Загрязнение – это процесс отрицательного видоизменения окружающей среды и ее элементов (воздуха, воды, почвы) путём её интоксикации веществами, которые угрожают жизни живых организмов. Наиболее масштабным и значительным является химическое загрязнение среды несвойственными ей веществами химической природы (твердые, жидкие, газообразные и аэрозольные загрязнители промышленно-бытового происхождения).

1 Загрязнение атмосферы

В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Сейчас общепризнанно, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство.

Источники загрязнений атмосферы:

- 1) ТЭС (выбрасывают в воздух вместе с дымом сернистый и углекислый газ);
- 2) металлургические предприятия, особенно цветной металлургии (выбрасывают в воздух оксиды азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка);
- 3) химические и цементные заводы.

Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов. Атмосферные загрязнители разделяют на *первичные*, поступающие непосредственно в атмосферу, и *вторичные*, являющиеся результатом превращения последних.

Основными вредными примесями пирогенного происхождения являются следующие:

а) *Оксид углерода* (CO_2). Получается при неполном сгорании углеводородных веществ. В воздух он попадает в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий.

б) *Сернистый ангидрид* (SO_2). Выделяется в процессе сгорания серосодержащего топлива или переработки сернистых руд

в) *Серный ангидрид* (SO_3). Образуется при окислении сернистого ангидрида. Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей человека.

г) *Сероводород* (H_2S) и *сероуглерод* (CS_2). Поступают в атмосферу отдельно или вместе в другими соединениями серы. Основными источниками выброса являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара, коксохимические, нефтеперерабатывающие, а также нефтепромыслы.

д) *Оксиды азота*. Основными источниками выброса являются пред-

приятя, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вязкий шелк, целлулоид.

е) *Соединения фтора*. Источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, эмалей, стекла, керамики, стали, фосфорных удобрений. Поступают в атмосферу в виде газообразных соединений – фтороводорода или пыли фторида натрия и кальция. Соединения характеризуются токсическим эффектом.

ж) *Соединения хлора*. Поступают в атмосферу от химических предприятий, производящих соляную кислоту, хлорсодержащие пестициды, органические красители, гидролизный спирт, хлорную известь, соду.

Аэрозольное загрязнение атмосферы. Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Твердые компоненты аэрозолей в ряде случаев особенно опасны для организмов, а у людей вызывают специфические заболевания. В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в виде дыма, тумана, мглы или дымки.

Значительная часть аэрозолей образуется в атмосфере при взаимодействии твердых и жидких частиц между собой или с водяным паром. Большое количество пылевых частиц образуется также в ходе производственной деятельности людей.

Основными источниками искусственных аэрозольных загрязнений воздуха являются ТЭС, которые потребляют уголь высокой зольности, обогатительные фабрики, металлургические, цементные, магнезитовые и сажевые заводы.

Постоянными источниками аэрозольного загрязнения являются *промышленные отвалы* – искусственные насыпи из переотложенного материала, преимущественно вскрышных пород. Источником пыли и ядовитых газов служат массовые взрывные работы.

При некоторых погодных условиях могут образовываться особо большие скопления вредных газообразных и аэрозольных примесей в приземном слое воздуха. Обычно это происходит в тех случаях, когда в слое воздуха непосредственно над источниками газопылевой эмиссии существует инверсия. В результате вредные выбросы сосредотачиваются под слоем инверсии, содержание их у земли резко возрастает, что становится одной из причин образования ранее неизвестного в природе фотохимического тумана.

Фотохимический туман (смог) – это многокомпонентная смесь газов и аэрозольных частиц первичного и вторичного происхождения. В состав основных компонентов смога входят озон, оксиды азота и серы, многочисленные органические соединения перекисной природы, называемые в совокупности фотооксидантами. Возникает в результате фотохимических реакций при определенных условиях: наличии в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей, интенсивной солнечной радиации и безветрия или очень слабого обмена воздуха в приземном слое при мощной и в течение не менее суток повышенной инверсии.

По своему физиологическому воздействию на организм человека они крайне опасны для дыхательной и кровеносной системы и часто бывают причиной преждевременной смерти городских жителей с ослабленным здоровьем.

2 Загрязнение гидросферы

2.1 Воды суши

Всякий водоем или водный источник связан с окружающей его внешней средой. На него оказывают влияние условия формирования поверхностного или подземного водного стока, разнообразные природные явления, индустрия, промышленное и коммунальное строительство, транспорт, хозяйственная и бытовая деятельность человека. Последствием этих влияний является привнесение в водную среду новых, несвойственных ей веществ – загрязнителей, ухудшающих качество воды. Загрязнения, поступающие в водную среду, классифицируют по разному, в зависимости от подходов, критериев и задач. Так, обычно выделяют химическое, физическое и биологические загрязнения, как неорганической (минеральные соли, кислоты, щелочи, глинистые частицы), так и органической природы (нефть и нефтепродукты, органические остатки, поверхностноактивные вещества, пестициды).

Неорганическое загрязнение. Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями пресных и морских вод являются разнообразные химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. Это соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора. К опасным загрязнителям водной среды можно отнести неорганические кислоты и основания, обуславливающие широкий диапазон pH промышленных стоков. Среди основных источников загрязнения гидросферы минеральными веществами и биогенными элементами следует упомянуть предприятия пищевой промышленности и сельское хозяйство. Загрязнение ртутью значительно снижает первичную продукцию морских экосистем, подавляя развитие фитопланктона. Отходы, содержащие ртуть, обычно скапливаются в донных отложениях заливов или эстуариях рек.

Дальнейшая ее миграция сопровождается накоплением метиловой ртути и ее включением в трофические цепи водных организмов. Так, печальную известность приобрела болезнь Минамата, впервые обнаруженную японскими учеными у людей, употреблявших в пищу рыбу, выловленную в заливе Минамата, в который бесконтрольно сбрасывали промышленные стоки с техногенной ртутью.

Органическое загрязнение. Среди вносимых в океан с суши растворимых веществ, большое значение для обитателей водной среды имеют не только минеральные, биогенные элементы, но и органические остатки. Сточные воды, содержащие суспензии органического происхождения или растворенное органическое вещество, пагубно влияют на состояние водоемов. Осаждаясь, суспензии заливают дно и задерживают развитие или полностью прекращают жизнедеятельность данных микроорганизмов, участвующих в процессе самоочищения вод. При гниении данных осадков могут образовываться вредные соединения и отравляющие вещества (например, сероводород), которые приводят к загрязнению всей воды в реке. Наличие суспензий затрудняют также проникновение света в глубь воды и замедляет процессы фотосинтеза. Одним из основных санитарных требований, предъявляемых к качеству воды, является содержание в ней необходимого количества кислорода. Вредное действие оказывают все загрязнения, которые так или иначе содейству-

ют снижению содержания кислорода в воде.

Поверхностно активные вещества (ПАВ) – жиры, масла, смазочные материалы – образуют на поверхности воды пленку, которая препятствует газообмену между водой и атмосферой, что снижает степень насыщенности воды кислородом. Значительный объем органических веществ, большинство из которых не свойственно природным водам, сбрасывается в реки вместе с промышленными и бытовыми стоками.

В связи с быстрыми темпами урбанизации и несколько замедленным строительством очистных сооружений или их неудовлетворительной эксплуатацией водные бассейны и почва загрязняются бытовыми отходами.

Бытовые отходы опасны не только тем, что являются источником некоторых болезней человека (брюшной тиф, дизентерия, холера), но и тем, что требуют для своего разложения много кислорода.

2.2 Мировой океан

Нефть и нефтепродукты. Нефть – вязкая маслянистая жидкость темно-коричневого цвета со слабой флуоресценцией.

Нефть и нефтепродукты являются наиболее распространенными загрязняющими веществами в Мировом океане. К началу 80-ых годов в океан ежегодно поступало около 10,23% мировой добычи нефти. Наибольшие потери нефти связаны с ее транспортировкой из районов добычи. Аварийные ситуации, слив за борт танкерами промывочных и балластных вод, – все это обуславливает присутствие постоянных полей загрязнения на трассах морских путей.

Нефтяная пленка изменяет состав спектра и интенсивность проникновения в воду света. Пропускание света тонкими пленками сырой нефти составляет 1-10% (280 нм), 60-70% (400 нм). Пленка толщиной 130-40 мкм полностью поглощает инфракрасное излучение. Смешиваясь с водой, нефть образует эмульсию двух типов: прямую «нефть в воде» и обратную «вода в нефти». При удалении летучих фракций, нефть образует вязкие обратные эмульсии, которые могут сохраняться на поверхности, переноситься течением, выбрасываться на берег и оседать на дно.

Пестициды. Пестициды составляют группу искусственно созданных веществ, используемых для борьбы с вредителями и болезнями растений.

Пестициды делятся на следующие группы:

- инсектициды (борьба с вредными насекомыми);
- фунгициды (борьба с паразитическими грибами);
- бактерициды (борьба с бактериальными болезнями);
- гербициды (против сорных растений).

Установлено, что пестициды уничтожая вредителей, наносят вред многим полезным организмам и подрывают здоровье биоценозов. В сельском хозяйстве давно уже стоит проблема перехода от химических (загрязняющих среду) к биологическим (экологически чистым) методам борьбы с вредителями.

Синтетические поверхностно-активные вещества. Детергенты (СПАВ) относятся к обширной группе веществ, понижающих поверхностное натяжение воды. Они входят в состав синтетических моющих средств (СМС), широко применяемых в быту и промышленности. Вместе

со сточными водами СПАВ попадают в материковые воды и морскую среду. Наиболее распространенными среди СПАВ являются анионоактивные вещества. На их долю приходится более 50% всех производимых в мире СПАВ. Присутствие СПАВ в сточных водах промышленности связано с использованием их в таких процессах, как флотационное обогащение руд, разделение продуктов химических технологий, получение полимеров, улучшение условий бурения нефтяных и газовых скважин, борьба с коррозией оборудования. В сельском хозяйстве СПАВ применяется в составе пестицидов.

Соединения с канцерогенными свойствами. *Канцерогенные вещества* – это химически однородные соединения, проявляющие трансформирующую активность и способность вызывать канцерогенные, тератогенные (нарушение процессов эмбрионального развития) или мутагенные изменения в организмах. В зависимости от условий воздействия они могут приводить к ингибированию роста, ускорению старения, нарушению индивидуального развития и изменению генофонда организмов. К веществам, обладающим канцерогенными свойствами, относятся хлорированные алифатические углеводороды, винилхлорид, и особенно, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Основные антропогенные источники ПАУ в окружающей среде – это пиролиз органических веществ при сжигании различных материалов, древесины и топлива.

Тяжелые металлы. Тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание соединения тяжелых металлов в промышленных сточных водах довольно высокое.

Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу. Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий. Ртуть переносится в океан с материковым стоком и через атмосферу. Около половины годового промышленного производства этого металла различными путями попадает в океан. Заражение морепродуктов неоднократно приводило к ртутному отравлению прибрежного населения. Свинец – типичный рассеянный элемент, содержащийся во всех компонентах окружающей среды: в горных породах, почвах, природных водах, атмосфере, живых организмах. Наконец, свинец активно рассеивается в окружающую среду в процессе хозяйственной деятельности человека. Это выбросы с промышленными и бытовыми стоками, с дымом и пылью промышленных предприятий, с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Миграционный поток свинца с континента в океан идет не только с речными стоками, но и через атмосферу.

Сброс отходов в море с целью захоронения (дампинг). Многие страны, имеющие выход к морю, производят морское захоронение различных материалов и веществ, в частности грунта, вынутого при дноуглубительных работах, бурового шлака, отходов промышленности, строительного мусора, твердых отходов, взрывчатых и химических веществ, радиоактивных отходов.

Объем захоронений составил около 10% от всей массы загрязняющих веществ, поступающих в Мировой океан. Основанием для дампинга

в море служит возможность морской среды к переработке большого количества органических и неорганических веществ без особого ущерба воды. Однако эта способность не беспредельна. Поэтому дамлинг рассматривается как вынужденная мера, временная дань общества несовершенству технологии. Сброс материалов дампинга на дно и длительная повышенная мутность приданной воды приводит к гибели от удушья малоподвижные формы бентоса. У выживших рыб, моллюсков и ракообразных сокращается скорость роста за счет ухудшения условий питания и дыхания. Нередко изменяется видовой состав данного сообщества.

Тепловое загрязнение. Тепловое загрязнение поверхности водоемов и прибрежных морских акваторий возникает в результате сброса нагретых сточных вод электростанциями и некоторыми промышленными производствами.

Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6-8 градусов Цельсия. Растворимость кислорода уменьшается, а потребление его возрастает, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество. Усиливается видовое разнообразие фито-планктона и всей флоры водорослей.

3 Загрязнение почв

Почвенный покров Земли представляет собой важнейший компонент биосферы Земли. Именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере.

Важнейшее значение почв состоит в аккумуляции органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений. Если это звено биосферы будет разрушено, то сложившееся функционирование биосферы необратимо нарушится.

В соответствии со степенью устойчивости против загрязняющих веществ выделяются почвы:

- 1) очень устойчивые;
- 2) устойчивые;
- 3) среднеустойчивые;
- 4) малоустойчивые;
- 5) очень мало устойчивые.

По степени чувствительности к загрязняющим веществам почвы разделяются на:

- А) очень чувствительные;
- Б) чувствительные;
- В) среднечувствительные;
- Г) малочувствительные;
- Д) устойчивые.

Чувствительность, или устойчивость почв по отношению к загрязняющим веществам определяют в соответствии с:

- содержанием гумуса;
- его качеством;
- биологической активностью;
- глубиной гумусового горизонта;

- механического состава почвы;
- глинистых минералов;
- глубиной почвенного профиля.

Главными источниками загрязнения являются:

1) *Жилые дома и бытовые предприятия.* В числе загрязняющих веществ преобладает бытовой мусор, пищевые отходы, фекалии, строительный мусор, отходы отопительных систем, пришедшие в негодность предметы домашнего обихода; мусор общественных учреждений – больниц, столовых, гостиниц, магазинов и др. Вместе с фекалиями в почву нередко попадают болезнетворные бактерии, яйца гельминтов и другие вредные организмы, которые через продукты питания попадают в организм человека. В фекальных остатках могут содержаться такие представители патогенной микрофлоры, как возбудители тифа, дизентерии, туберкулеза, полиомиелита и др. Быстрота гибели в почве разных микроорганизмов неодинакова. Некоторые болезнетворные бактерии могут длительное время сохраняться и даже размножаться в почве и грунте. К ним относятся возбудители столбняка (до 12 лет), газовой гангрены, сибирской язвы, ботулизма и некоторые другие микробы. Почва является одним из важных факторов передачи яиц гельминтов, определяя тем самым возможность распространения ряда гельминтозов. Некоторые гельминты – геогельминты (аскариды, власоглавы, анкилостомы, стронгилиды, трихостронгилиды и др.) проходят одну из стадий своего развития в почве и могут длительное время сохранять жизнеспособность в ней.

2) *Промышленные предприятия.* В твердых и жидких промышленных отходах постоянно присутствуют те или иные вещества, способные оказывать токсическое воздействие на живые организмы и их сообщества. Например, в отходах металлургической промышленности обычно присутствуют соли цветных и тяжелых металлов. Машиностроительная промышленность выводит в окружающую среду цианиды, соединения мышьяка, бериллия. При производстве пластмасс и искусственных локонов образуются отходы бензола и фенола. Отходами целлюлозно-бумажной промышленности, как правило, являются фенолы, метанол, скипидар, кубовые остатки.

3) *Теплоэнергетика.* Помимо образования массы шлаков при сжигании каменного угля с теплоэнергетикой связано выделение в атмосферу сажи, несгоревших частиц, оксидов серы, в конце концов оказывающихся в почве.

4) *Сельское хозяйство.* Удобрения, ядохимикаты, применяемые в сельском и лесном хозяйстве для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Загрязнение почв и нарушение нормального круговорота веществ происходит в результате недозированного применения минеральных удобрений и пестицидов. Пестициды, с одной стороны, спасают урожай, защищают сады, поля, леса от вредителей и болезней, уничтожают сорную растительность, освобождают человека от кровососущих насекомых и переносчиков опаснейших болезней (малярия, клещевой энцефалит и др.), с другой стороны – разрушают естественные экосистемы, являются причиной гибели многих полезных организмов, отрицательно влияют на здоровье людей. Пестициды обладают рядом свойств, усиливающих их отрицательное влияние на окружающую среду.

Технология применения определяет прямое попадание на объекты окружающей среды, где они передаются по цепям питания, долгое время циркулируют по внешней среде, попадая из почвы в воду, из воды в планктон, затем в организм рыбы и человека или из воздуха и почвы в растения, организм травоядных животных и человека.

Вместе с навозом в почву нередко попадают болезнетворные бактерии, яйца гельминтов и другие вредные организмы, которые через продукты питания попадают в организм человека.

5) *Транспорт*. При работе двигателей внутреннего сгорания интенсивно выделяются оксиды азота, свинец, углеводороды и другие вещества, оседающие на поверхности почвы или поглощаемые растениями. Каждый автомобиль выбрасывает в атмосферу в среднем в год 1 кг свинца в виде аэрозоля.

Свинец выбрасывается в выхлопными газами автомобилей, оседает на растениях, проникает в почву, где он может оставаться довольно долго, поскольку слабо растворяется. Наблюдается ярко выраженная тенденция к росту количества свинца в тканях растений. Люди, живущие в городе около магистралей с интенсивным движением, подвергаются риску аккумулировать в своем организме всего за несколько лет такое количество свинца, которое намного превышает допустимые пределы. Свинец включается в различные клеточные ферменты, и в результате эти ферменты уже не могут выполнять предназначенные им в организме функции. В начале отравления отмечают повышенную активность и бессонницу, позднее утомляемость, депрессии. Более поздними симптомами отравления являются расстройства функции нервной системы и поражение головного мозга.

Почву загрязняют нефтепродуктами при заправке машин на полях и в лесах, на лесосеках и т.д.

Самоочищение почв, как правило, медленный процесс. Токсичные вещества накапливаются, что способствует постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов. Из почвы токсические вещества могут попасть в организмы животных, людей и вызвать тяжелейшие болезни и смертельные исходы.

В почвах накапливаются соединения металлов, например, железа, ртути, свинца, меди и др. Ртуть поступает в почву с пестицидами и промышленными отходами. Суммарные неконтролируемые выбросы ртути составляют до 25 кг в год.

При неправильной эксплуатации почвы безвозвратно уничтожаются в результате эрозии, засоления, загрязнения промышленными и иными отходами. Под влиянием деятельности людей возникает ускоренная эрозия, когда почвы разрушаются в 100–1000 раз быстрее, чем в естественных условиях. В результате такой эрозии за последнее столетие утрачено 2 млрд. га плодородных земельных угодий, или 27% земель сельскохозяйственного использования.

ЛЕКЦИЯ 14 ЭКОЛОГИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

- 1 Загрязнение атмосферы
- 2 Загрязнение гидросферы
- 3 Загрязнение почв

Загрязнение – это процесс отрицательного видоизменения окружающей среды и ее элементов (воздуха, воды, почвы) путём её интоксикации веществами, которые угрожают жизни живых организмов. Наиболее масштабным и значительным является химическое загрязнение среды несвойственными ей веществами химической природы (твердые, жидкие, газообразные и аэрозольные загрязнители промышленно-бытового происхождения).

1 Загрязнение атмосферы

В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Сейчас общепризнанно, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство.

Источники загрязнений атмосферы:

- 1) ТЭС (выбрасывают в воздух вместе с дымом сернистый и углекислый газ);
- 2) металлургические предприятия, особенно цветной металлургии (выбрасывают в воздух оксиды азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка);
- 3) химические и цементные заводы.

Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов. Атмосферные загрязнители разделяют на *первичные*, поступающие непосредственно в атмосферу, и *вторичные*, являющиеся результатом превращения последних.

Основными вредными примесями пирогенного происхождения являются следующие:

а) *Оксид углерода* (CO_2). Получается при неполном сгорании углеводородных веществ. В воздух он попадает в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий.

б) *Сернистый ангидрид* (SO_2). Выделяется в процессе сгорания серосодержащего топлива или переработки сернистых руд

в) *Серный ангидрид* (SO_3). Образуется при окислении сернистого ангидрида. Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей человека.

г) *Сероводород* (H_2S) и *сероуглерод* (CS_2). Поступают в атмосферу отдельно или вместе в другими соединениями серы. Основными источниками выброса являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара, коксохимические, нефтеперерабатывающие, а также нефтепромыслы.

д) *Оксиды азота*. Основными источниками выброса являются пред-

приятя, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вязкий шелк, целлулоид.

е) *Соединения фтора*. Источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, эмалей, стекла, керамики, стали, фосфорных удобрений. Поступают в атмосферу в виде газообразных соединений – фтороводорода или пыли фторида натрия и кальция. Соединения характеризуются токсическим эффектом.

ж) *Соединения хлора*. Поступают в атмосферу от химических предприятий, производящих соляную кислоту, хлорсодержащие пестициды, органические красители, гидролизный спирт, хлорную известь, соду.

Аэрозольное загрязнение атмосферы. Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Твердые компоненты аэрозолей в ряде случаев особенно опасны для организмов, а у людей вызывают специфические заболевания. В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в виде дыма, тумана, мглы или дымки.

Значительная часть аэрозолей образуется в атмосфере при взаимодействии твердых и жидких частиц между собой или с водяным паром. Большое количество пылевых частиц образуется также в ходе производственной деятельности людей.

Основными источниками искусственных аэрозольных загрязнений воздуха являются ТЭС, которые потребляют уголь высокой зольности, обогатительные фабрики, металлургические, цементные, магнезитовые и сажевые заводы.

Постоянными источниками аэрозольного загрязнения являются *промышленные отвалы* – искусственные насыпи из переотложенного материала, преимущественно вскрышных пород. Источником пыли и ядовитых газов служат массовые взрывные работы.

При некоторых погодных условиях могут образовываться особо большие скопления вредных газообразных и аэрозольных примесей в приземном слое воздуха. Обычно это происходит в тех случаях, когда в слое воздуха непосредственно над источниками газопылевой эмиссии существует инверсия. В результате вредные выбросы сосредотачиваются под слоем инверсии, содержание их у земли резко возрастает, что становится одной из причин образования ранее неизвестного в природе фотохимического тумана.

Фотохимический туман (смог) – это многокомпонентная смесь газов и аэрозольных частиц первичного и вторичного происхождения. В состав основных компонентов смога входят озон, оксиды азота и серы, многочисленные органические соединения перекисной природы, называемые в совокупности фотооксидантами. Возникает в результате фотохимических реакций при определенных условиях: наличии в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей, интенсивной солнечной радиации и безветрия или очень слабого обмена воздуха в приземном слое при мощной и в течение не менее суток повышенной инверсии.

По своему физиологическому воздействию на организм человека они крайне опасны для дыхательной и кровеносной системы и часто бывают причиной преждевременной смерти городских жителей с ослабленным здоровьем.

2 Загрязнение гидросферы

2.1 Воды суши

Всякий водоем или водный источник связан с окружающей его внешней средой. На него оказывают влияние условия формирования поверхностного или подземного водного стока, разнообразные природные явления, индустрия, промышленное и коммунальное строительство, транспорт, хозяйственная и бытовая деятельность человека. Последствием этих влияний является привнесение в водную среду новых, несвойственных ей веществ – загрязнителей, ухудшающих качество воды. Загрязнения, поступающие в водную среду, классифицируют по разному, в зависимости от подходов, критериев и задач. Так, обычно выделяют химическое, физическое и биологические загрязнения, как неорганической (минеральные соли, кислоты, щелочи, глинистые частицы), так и органической природы (нефть и нефтепродукты, органические остатки, поверхностноактивные вещества, пестициды).

Неорганическое загрязнение. Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями пресных и морских вод являются разнообразные химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. Это соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора. К опасным загрязнителям водной среды можно отнести неорганические кислоты и основания, обуславливающие широкий диапазон pH промышленных стоков. Среди основных источников загрязнения гидросферы минеральными веществами и биогенными элементами следует упомянуть предприятия пищевой промышленности и сельское хозяйство. Загрязнение ртутью значительно снижает первичную продукцию морских экосистем, подавляя развитие фитопланктона. Отходы, содержащие ртуть, обычно скапливаются в донных отложениях заливов или эстуариях рек.

Дальнейшая ее миграция сопровождается накоплением метиловой ртути и ее включением в трофические цепи водных организмов. Так, печальную известность приобрела болезнь Минамата, впервые обнаруженную японскими учеными у людей, употреблявших в пищу рыбу, выловленную в заливе Минамата, в который бесконтрольно сбрасывали промышленные стоки с техногенной ртутью.

Органическое загрязнение. Среди вносимых в океан с суши растворимых веществ, большое значение для обитателей водной среды имеют не только минеральные, биогенные элементы, но и органические остатки. Сточные воды, содержащие суспензии органического происхождения или растворенное органическое вещество, пагубно влияют на состояние водоемов. Осаждаясь, суспензии заливают дно и задерживают развитие или полностью прекращают жизнедеятельность данных микроорганизмов, участвующих в процессе самоочищения вод. При гниении данных осадков могут образовываться вредные соединения и отравляющие вещества (например, сероводород), которые приводят к загрязнению всей воды в реке. Наличие суспензий затрудняют также проникновение света в глубь воды и замедляет процессы фотосинтеза. Одним из основных санитарных требований, предъявляемых к качеству воды, является содержание в ней необходимого количества кислорода. Вредное действие оказывают все загрязнения, которые так или иначе содейству-

ют снижению содержания кислорода в воде.

Поверхностно активные вещества (ПАВ) – жиры, масла, смазочные материалы – образуют на поверхности воды пленку, которая препятствует газообмену между водой и атмосферой, что снижает степень насыщенности воды кислородом. Значительный объем органических веществ, большинство из которых не свойственно природным водам, сбрасывается в реки вместе с промышленными и бытовыми стоками.

В связи с быстрыми темпами урбанизации и несколько замедленным строительством очистных сооружений или их неудовлетворительной эксплуатацией водные бассейны и почва загрязняются бытовыми отходами.

Бытовые отходы опасны не только тем, что являются источником некоторых болезней человека (брюшной тиф, дизентерия, холера), но и тем, что требуют для своего разложения много кислорода.

2.2 Мировой океан

Нефть и нефтепродукты. Нефть – вязкая маслянистая жидкость темно-коричневого цвета со слабой флуоресценцией.

Нефть и нефтепродукты являются наиболее распространенными загрязняющими веществами в Мировом океане. К началу 80-ых годов в океан ежегодно поступало около 10,23% мировой добычи нефти. Наибольшие потери нефти связаны с ее транспортировкой из районов добычи. Аварийные ситуации, слив за борт танкерами промывочных и балластных вод, – все это обуславливает присутствие постоянных полей загрязнения на трассах морских путей.

Нефтяная пленка изменяет состав спектра и интенсивность проникновения в воду света. Пропускание света тонкими пленками сырой нефти составляет 1-10% (280 нм), 60-70% (400 нм). Пленка толщиной 130-40 мкм полностью поглощает инфракрасное излучение. Смешиваясь с водой, нефть образует эмульсию двух типов: прямую «нефть в воде» и обратную «вода в нефти». При удалении летучих фракций, нефть образует вязкие обратные эмульсии, которые могут сохраняться на поверхности, переноситься течением, выбрасываться на берег и оседать на дно.

Пестициды. Пестициды составляют группу искусственно созданных веществ, используемых для борьбы с вредителями и болезнями растений.

Пестициды делятся на следующие группы:

- инсектициды (борьба с вредными насекомыми);
- фунгициды (борьба с паразитическими грибами);
- бактерициды (борьба с бактериальными болезнями);
- гербициды (против сорных растений).

Установлено, что пестициды уничтожая вредителей, наносят вред многим полезным организмам и подрывают здоровье биоценозов. В сельском хозяйстве давно уже стоит проблема перехода от химических (загрязняющих среду) к биологическим (экологически чистым) методам борьбы с вредителями.

Синтетические поверхностно-активные вещества. Детергенты (СПАВ) относятся к обширной группе веществ, понижающих поверхностное натяжение воды. Они входят в состав синтетических моющих средств (СМС), широко применяемых в быту и промышленности. Вместе

со сточными водами СПАВ попадают в материковые воды и морскую среду. Наиболее распространенными среди СПАВ являются анионоактивные вещества. На их долю приходится более 50% всех производимых в мире СПАВ. Присутствие СПАВ в сточных водах промышленности связано с использованием их в таких процессах, как флотационное обогащение руд, разделение продуктов химических технологий, получение полимеров, улучшение условий бурения нефтяных и газовых скважин, борьба с коррозией оборудования. В сельском хозяйстве СПАВ применяется в составе пестицидов.

Соединения с канцерогенными свойствами. *Канцерогенные вещества* – это химически однородные соединения, проявляющие трансформирующую активность и способность вызывать канцерогенные, тератогенные (нарушение процессов эмбрионального развития) или мутагенные изменения в организмах. В зависимости от условий воздействия они могут приводить к ингибированию роста, ускорению старения, нарушению индивидуального развития и изменению генофонда организмов. К веществам, обладающим канцерогенными свойствами, относятся хлорированные алифатические углеводороды, винилхлорид, и особенно, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Основные антропогенные источники ПАУ в окружающей среде – это пиролиз органических веществ при сжигании различных материалов, древесины и топлива.

Тяжелые металлы. Тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание соединения тяжелых металлов в промышленных сточных водах довольно высокое.

Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу. Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий. Ртуть переносится в океан с материковым стоком и через атмосферу. Около половины годового промышленного производства этого металла различными путями попадает в океан. Заражение морепродуктов неоднократно приводило к ртутному отравлению прибрежного населения. Свинец – типичный рассеянный элемент, содержащийся во всех компонентах окружающей среды: в горных породах, почвах, природных водах, атмосфере, живых организмах. Наконец, свинец активно рассеивается в окружающую среду в процессе хозяйственной деятельности человека. Это выбросы с промышленными и бытовыми стоками, с дымом и пылью промышленных предприятий, с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Миграционный поток свинца с континента в океан идет не только с речными стоками, но и через атмосферу.

Сброс отходов в море с целью захоронения (дампинг). Многие страны, имеющие выход к морю, производят морское захоронение различных материалов и веществ, в частности грунта, вынутого при дноуглубительных работах, бурового шлака, отходов промышленности, строительного мусора, твердых отходов, взрывчатых и химических веществ, радиоактивных отходов.

Объем захоронений составил около 10% от всей массы загрязняющих веществ, поступающих в Мировой океан. Основанием для дампинга

в море служит возможность морской среды к переработке большого количества органических и неорганических веществ без особого ущерба воды. Однако эта способность не беспредельна. Поэтому дампинг рассматривается как вынужденная мера, временная дань общества несовершенству технологии. Сброс материалов дампинга на дно и длительная повышенная мутность приданной воды приводит к гибели от удушья малоподвижные формы бентоса. У выживших рыб, моллюсков и ракообразных сокращается скорость роста за счет ухудшения условий питания и дыхания. Нередко изменяется видовой состав данного сообщества.

Тепловое загрязнение. Тепловое загрязнение поверхности водоемов и прибрежных морских акваторий возникает в результате сброса нагретых сточных вод электростанциями и некоторыми промышленными производствами.

Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6-8 градусов Цельсия. Растворимость кислорода уменьшается, а потребление его возрастает, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество. Усиливается видовое разнообразие фитопланктона и всей флоры водорослей.

3 Загрязнение почв

Почвенный покров Земли представляет собой важнейший компонент биосферы Земли. Именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере.

Важнейшее значение почв состоит в аккумуляции органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений. Если это звено биосферы будет разрушено, то сложившееся функционирование биосферы необратимо нарушится.

В соответствии со степенью устойчивости против загрязняющих веществ выделяются почвы:

- 1) очень устойчивые;
- 2) устойчивые;
- 3) среднеустойчивые;
- 4) малоустойчивые;
- 5) очень мало устойчивые.

По степени чувствительности к загрязняющим веществам почвы разделяются на:

- А) очень чувствительные;
- Б) чувствительные;
- В) среднечувствительные;
- Г) малочувствительные;
- Д) устойчивые.

Чувствительность, или устойчивость почв по отношению к загрязняющим веществам определяют в соответствии с:

- содержанием гумуса;
- его качеством;
- биологической активностью;
- глубиной гумусового горизонта;

- механического состава почвы;
- глинистых минералов;
- глубиной почвенного профиля.

Главными источниками загрязнения являются:

1) *Жилые дома и бытовые предприятия.* В числе загрязняющих веществ преобладает бытовой мусор, пищевые отходы, фекалии, строительный мусор, отходы отопительных систем, пришедшие в негодность предметы домашнего обихода; мусор общественных учреждений – больниц, столовых, гостиниц, магазинов и др. Вместе с фекалиями в почву нередко попадают болезнетворные бактерии, яйца гельминтов и другие вредные организмы, которые через продукты питания попадают в организм человека. В фекальных остатках могут содержаться такие представители патогенной микрофлоры, как возбудители тифа, дизентерии, туберкулеза, полиомиелита и др. Быстрота гибели в почве разных микроорганизмов неодинакова. Некоторые болезнетворные бактерии могут длительное время сохраняться и даже размножаться в почве и грунте. К ним относятся возбудители столбняка (до 12 лет), газовой гангрены, сибирской язвы, ботулизма и некоторые другие микробы. Почва является одним из важных факторов передачи яиц гельминтов, определяя тем самым возможность распространения ряда гельминтозов. Некоторые гельминты – геогельминты (аскариды, власоглавы, анкилостомы, стронгилиды, трихостронгилиды и др.) проходят одну из стадий своего развития в почве и могут длительное время сохранять жизнеспособность в ней.

2) *Промышленные предприятия.* В твердых и жидких промышленных отходах постоянно присутствуют те или иные вещества, способные оказывать токсическое воздействие на живые организмы и их сообщества. Например, в отходах металлургической промышленности обычно присутствуют соли цветных и тяжелых металлов. Машиностроительная промышленность выводит в окружающую среду цианиды, соединения мышьяка, бериллия. При производстве пластмасс и искусственных локонов образуются отходы бензола и фенола. Отходами целлюлозно-бумажной промышленности, как правило, являются фенолы, метанол, скипидар, кубовые остатки.

3) *Теплоэнергетика.* Помимо образования массы шлаков при сжигании каменного угля с теплоэнергетикой связано выделение в атмосферу сажи, несгоревших частиц, оксидов серы, в конце концов оказывающихся в почве.

4) *Сельское хозяйство.* Удобрения, ядохимикаты, применяемые в сельском и лесном хозяйстве для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Загрязнение почв и нарушение нормального круговорота веществ происходит в результате недозированного применения минеральных удобрений и пестицидов. Пестициды, с одной стороны, спасают урожай, защищают сады, поля, леса от вредителей и болезней, уничтожают сорную растительность, освобождают человека от кровососущих насекомых и переносчиков опаснейших болезней (малярия, клещевой энцефалит и др.), с другой стороны – разрушают естественные экосистемы, являются причиной гибели многих полезных организмов, отрицательно влияют на здоровье людей. Пестициды обладают рядом свойств, усиливающих их отрицательное влияние на окружающую среду.

Технология применения определяет прямое попадание на объекты окружающей среды, где они передаются по цепям питания, долгое время циркулируют по внешней среде, попадая из почвы в воду, из воды в планктон, затем в организм рыбы и человека или из воздуха и почвы в растения, организм травоядных животных и человека.

Вместе с навозом в почву нередко попадают болезнетворные бактерии, яйца гельминтов и другие вредные организмы, которые через продукты питания попадают в организм человека.

5) *Транспорт*. При работе двигателей внутреннего сгорания интенсивно выделяются оксиды азота, свинец, углеводороды и другие вещества, оседающие на поверхности почвы или поглощаемые растениями. Каждый автомобиль выбрасывает в атмосферу в среднем в год 1 кг свинца в виде аэрозоля.

Свинец выбрасывается в выхлопными газами автомобилей, оседает на растениях, проникает в почву, где он может оставаться довольно долго, поскольку слабо растворяется. Наблюдается ярко выраженная тенденция к росту количества свинца в тканях растений. Люди, живущие в городе около магистралей с интенсивным движением, подвергаются риску аккумулировать в своем организме всего за несколько лет такое количество свинца, которое намного превышает допустимые пределы. Свинец включается в различные клеточные ферменты, и в результате эти ферменты уже не могут выполнять предназначенные им в организме функции. В начале отравления отмечают повышенную активность и бессонницу, позднее утомляемость, депрессии. Более поздними симптомами отравления являются расстройства функции нервной системы и поражение головного мозга.

Почву загрязняют нефтепродуктами при заправке машин на полях и в лесах, на лесосеках и т.д.

Самоочищение почв, как правило, медленный процесс. Токсичные вещества накапливаются, что способствует постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов. Из почвы токсические вещества могут попасть в организмы животных, людей и вызвать тяжелейшие болезни и смертельные исходы.

В почвах накапливаются соединения металлов, например, железа, ртути, свинца, меди и др. Ртуть поступает в почву с пестицидами и промышленными отходами. Суммарные неконтролируемые выбросы ртути составляют до 25 кг в год.

При неправильной эксплуатации почвы безвозвратно уничтожаются в результате эрозии, засоления, загрязнения промышленными и иными отходами. Под влиянием деятельности людей возникает ускоренная эрозия, когда почвы разрушаются в 100–1000 раз быстрее, чем в естественных условиях. В результате такой эрозии за последнее столетие утрачено 2 млрд. га плодородных земельных угодий, или 27% земель сельскохозяйственного использования.

ЛЕКЦИЯ 15 МЕТЕОРОЛОГИЯ И ЕЁ СВЯЗЬ С ДРУГИМИ НАУКАМИ

1 Общие понятия о метеорологии

2 Связь метеорологии с другими науками

1 Общие понятия о метеорологии

Метеорология – это наука об атмосфере: о ее строении, свойствах и протекающих в ней процессах. Метеорология входит в состав геофизических наук.

С момента своего зарождения человечество всегда подвергалось благоприятным и неблагоприятным воздействиям атмосферы. И в настоящее время, несмотря на высокий уровень научно-технического прогресса и, как следствие, большую защищенность людей от природных катаклизмов, такие стихийные бедствия, как засуха, катастрофические наводнения, поражают хозяйственную деятельность целых государств. Значительный урон наносят различным отраслям народного хозяйства и более локальные, но зато более часто встречающиеся явления – пыльные бури, ливни, градобития, грозы, заморозки, метели, туманы, ураганы и др.

Ход метеорологических процессов оказывает влияние на все стороны жизни: определяет гидрологический режим водных объектов; без метеорологической информации не могут обойтись авиация, морской, железнодорожный и автомобильный транспорт; от погодных условий зависят коммунальные службы городов, сельскохозяйственное производство.

Погода влияет на самочувствие людей и их работоспособность. В последние десятилетия исключительное значение приобрела проблема взаимодействия человека и природной среды. И прежде всего это относится к загрязнению атмосферы и вод промышленными выбросами.

В задачи современной метеорологии входят:

- повсеместные и непрерывные метеорологические наблюдения;
- обобщение и изучение материалов наблюдений с целью установления причин изменений метеорологических элементов и явлений погоды, установление законов, управляющих их развитием;
- разработка методов предсказания погоды;
- обеспечение отраслей народного хозяйства информацией о текущем состоянии погодных условий, их прогнозирование на будущее.

В последние годы в метеорологии решается задача активного воздействия на атмосферу с целью улучшения климата и управления погодой. Сложную проблему представляют долгосрочные про-

гнозы погоды. На метеорологию возложена также задача контроля загрязнения природной среды.

В метеорологии находят применение такие основные методы исследований, как метод наблюдений, метод эксперимента, теоретический метод. До настоящего времени преобладающим является метод наблюдений: на наземных метеорологических, аэрологических станциях осуществляются регулярные наблюдения. Для этих же целей применяются самолеты, ракеты, космические аппараты и другие средства. Полученные данные о фактическом состоянии атмосферы используются в научных целях и для обеспечения народного хозяйства информацией о текущем состоянии погоды и для ее предсказания на будущее.

Экспериментальные исследования проводятся как в лабораторных, так и в природных условиях. Опыты в лабораторных условиях позволяют детально изучить взаимосвязи между отдельными факторами, наблюдаемыми в каком-либо метеорологическом процессе. Например, в специальных камерах можно имитировать процессы облакообразования при температурах и давлениях, соответствующих высотам 5-6 км. Также исследуются электрические, акустические и другие явления.

Экспериментальные исследования в натуральных условиях по активному воздействию на метеорологические процессы выполняются с целью разработки практических методов создания и рассеяния облаков, туманов, стимулирования или предотвращения осадков, борьбы с градом и др.

Теоретические методы базируются на использовании математических моделей различных атмосферных процессов. Важнейшим направлением этого метода является совершенствование техники прогнозов погоды. Начало истории развития метеорологии уходит в глубокую древность.

Совершенствование методов прогнозирования погоды приносит большой экономический эффект. По подсчетам Всемирной метеорологической организации (ВМО), один доллар США, вложенный в метеорологическую службу, приносит десять долларов в виде экономического эффекта, в результате учета метеорологической информации при планировании хозяйственной деятельности, прежде всего в результате предупреждения о таких опасных явлениях, как наводнения, засуха, ураганы и др.

2 Связь метеорологии с другими науками

Процессы, происходящие в атмосфере, развиваются в основном в результате превращения энергии, поступающей от Солнца. При изучении этих процессов широко используются законы раз-

личных областей физики (гидромеханики, термодинамики, учения о лучистой энергии и т.д.).

На современном этапе развития метеорологии из нее выделилось несколько частных дисциплин, изучающих различные стороны атмосферных процессов. К таким дисциплинам относятся прежде всего:

- физика атмосферы, изучающая физические закономерности атмосферных явлений;
- синоптическая метеорология, изучающая формирование погоды и разрабатывающая методы ее предсказания;
- динамическая метеорология, изучающая теоретические вопросы физики атмосферы на основе решения математических уравнений гидродинамики, термодинамики и др.

Большой раздел метеорологии, посвященный климату, обособился в дисциплину «Климатология», в которой изучаются закономерности формирования климатов, их распределения по земному шару и изменения в прошлом и будущем. Климатология, являясь разделом метеорологии, одновременно входит в состав географических наук.

В процессе использования метеорологических сведений выделались прикладные разделы метеорологии. Важнейшие из них:

- сельскохозяйственная метеорология (агрометеорология);
- авиационная метеорология;
- морская метеорология;
- космическая метеорология;
- военная метеорология;
- медицинская и биометеорология и др.

ЛЕКЦИЯ 16 СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ, ЕЁ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

1 Состав атмосферы

2 Строение атмосферы

1 Состав атмосферы

Атмосфера – это газообразная воздушная оболочка, окутывающая Землю. Воздух представляет собой механическую смесь газов, с содержанием водяного пара, капель воды, кристаллов льда и других твердых частиц.

Воздух, лишенный водяного пара, – *сухой*. Состав сухого воздуха до высот 25-100 км на всём земном шаре одинаков. В нём содержится азот (78,09%), кислород (20,95%), аргон (0,93%). На все остальные газы, среди которых основную долю занимает углекислый газ, приходится 0,03%. В ничтожных количествах в воздухе присутствуют (в порядке убывания): неон, гелий, метан, водород, озон, аммиак, радон и др. Выше 100 км появляется атомарный кислород, а на высотах более 300 км он становится преобладающим. Выше 1000 км атмосфера состоит в основном из гелия и водорода, с преобладанием атомарного водорода.

Исключительно важную роль имеет *озон* (поглощает неблагоприятную для живых организмов и растений ультрафиолетовое излучение Солнца). У земной поверхности озон содержится в небольших количествах: образуется в результате грозовых разрядов. Наибольшее его количество в стратосфере (озоносфере) от 10 до 50 км с максимумом в слое на высотах 20-25 км. В этом слое под действием ультрафиолетового излучения Солнца двухатомные молекулы кислорода частично распадаются на атомы, последние, присоединяясь к нераспавшимся двухатомным молекулам кислорода и образуют трёхатомный озон. Одновременно с образованием озона идет обратный процесс. Концентрация озона зависит от интенсивности образования и разрушения молекул озона. Содержание озона увеличивается от экватора к высоким широтам.

Одной из важнейших частей воздуха является *углекислый газ*. У земной поверхности CO_2 содержится в переменных количествах, в среднем 0,03% по объему. Несмотря на относительно небольшое его содержание в атмосфере, углекислый газ оказывает большое влияние на так называемый «парниковый эффект». Пропуская к земной поверхности коротковолновую солнечную радиацию, поглощая длинноволновое (тепловое) излучение, поступающее от земной поверхности, он способствует повышению температуры воздуха в нижележащих слоях атмосферы.

В атмосферу CO_2 поступает в результате вулканической деятельности, разложения и гниения органических веществ, дыхания животных и растений, сжигания топлива. Основным регулятором содержания углекислого газа в атмосфере является мировой океан. Он поглощает и отдает в атмосферу около 20% от среднего содержания в атмосфере.

Содержание CO_2 в воздухе изменяется в зависимости от широты, местных условий, времени суток и года. Локальные концентрации углекислого газа в воздухе могут достигать 0,07%. В эпоху индустриализа-

ции отмечается повышенное содержание CO_2 антропогенного происхождения.

Под влиянием деятельности человека увеличивается содержание в атмосфере газов техногенного происхождения, например сернистого, окиси углерода, различных окислов азота.

Важная составная часть воздуха – *водяной пар*, который поступает в атмосферу в результате испарения с водной поверхности, суши, при вулканических извержениях. В нижних слоях атмосферы содержится от 0,1 до 4% водяного пара. С высотой его содержание резко убывает.

Водяной пар активно участвует во многих термодинамических процессах, связанных с образованием облаков, туманов.

В атмосфере присутствуют *аэрозоли* – это твердые и жидкие частицы, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии. Некоторые из них, являясь ядрами конденсации, участвуют в процессе образования облаков, туманов.

К *естественным аэрозолям* относятся водяные капли и кристаллы льда, образующиеся при конденсации водяного пара; пыль, сажа, возникающие при лесных пожарах, почвенная, космическая, вулканическая пыль, соли морской воды. Также в атмосферу попадает большое количество *аэрозолей искусственного происхождения* – выбросы промышленных предприятий, автотранспорта и др.

Наибольшее количество аэрозолей содержится в нижних слоях атмосферы.

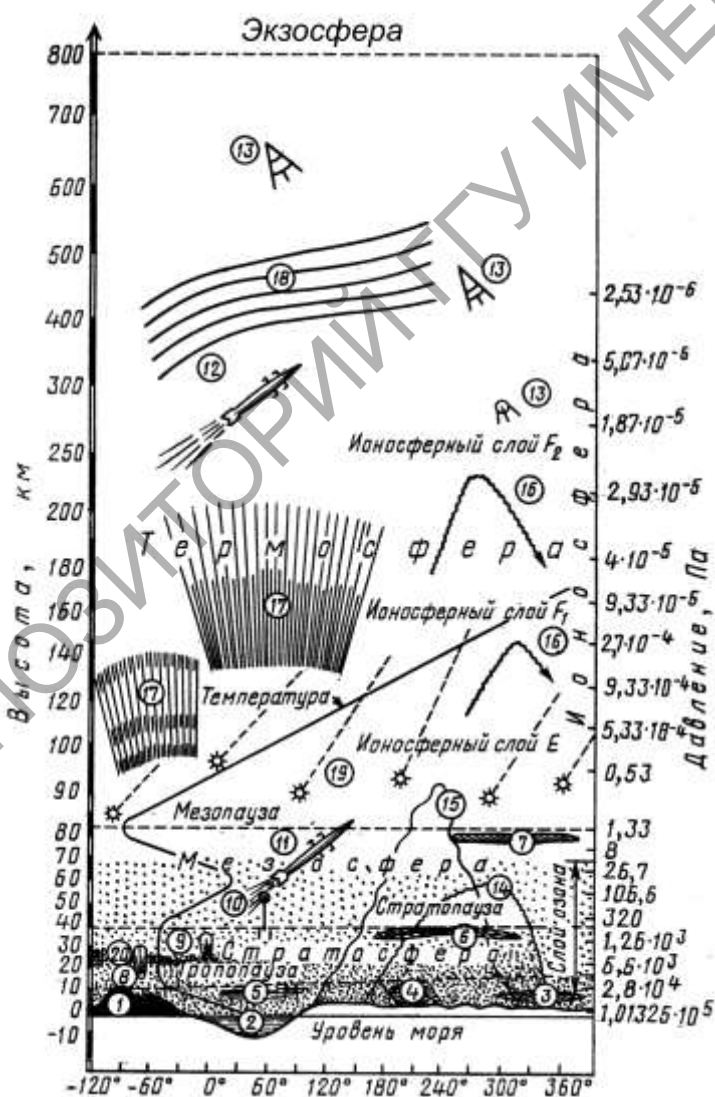


Рисунок – Вертикальное строение атмосферы:
 1 – наибольшая высота гор;
 2 – наибольшая глубина океана;
 3 – облака нижние;
 4 – облака конвекции;
 5 – облака перистые; 6 – облака перламутровые; 7 – облака серебристые; 8 – стратостат Пикара; 9 – стратостат; 10 – радиозонды; 11 – метеорологические ракеты; 12 – геофизические ракеты; 13 – искусственные спутники; 14 – отражение звуковых волн; 15 – отражение средних радиоволн; 16 – отражение коротких радиоволн; 17 – полярные сияния в нижней ионосфере; 18 – полярные сияния в верхней ионосфере; 19 – метеоры; 20 – наивысшая концентрация озона

2 Строение атмосферы

Масса атмосферы составляет $5.3 \cdot 10^{15}$ т. В слое до 5,5 км содержится 50%, до 25 км – 95% и до 30 км – 99% всей массы атмосферы. Тридцатикилометровый слой атмосферы составляет $1/200$ или 0,05 радиуса Земли. На глобусе диаметром 40 см этот 30-километровый слой имеет толщину около 1 мм, т.е. атмосфера представляет тонкую пленку, покрывающую поверхность Земли.

Нижней границей атмосферы является земная поверхность (в метеорологии – подстилающая поверхность). Чётко выраженной верхней границы атмосфера не имеет. Она плавно переходит в межпланетное пространство. За верхнюю границу атмосферы *условно* принимают высоту 1500-2000 км, выше которой находится земная корона.

Давление и плотность с высотой убывают: при давлении у земли 1013 гПа плотность равна $1,27 \cdot 10^3$ г/м³, а на высоте 750 км плотность составляет 10^{-10} г/м³.

Распределение физических свойств в атмосфере имеет слоистый характер, поскольку их изменение по высоте происходит во много раз интенсивнее, нежели в горизонтальном направлении. Так, вертикальные температурные градиенты в несколько сотен раз больше горизонтальных градиентов.

Расчленение атмосферы на слои делают по различным свойствам воздуха: по температуре, влажности, содержанию озона, электропроводимости и т.п. Наиболее отчетливо различие слоёв атмосферы проявляется в характере распределения температуры воздуха с высотой. По этому признаку выделяют пять основных слоев.

Тропосфера – самый нижний слой атмосферы, нижней границей которого является земная поверхность. Вертикальная протяженность тропосферы в умеренных широтах составляет 9-12 км, к полюсам уменьшается до 8-10 км, а к экватору увеличивается до 16-18 км. Зимой высота тропосферы ниже, чем летом. Кроме того, особенно в умеренных широтах, верхняя граница тропопаузы над определенным районом может опускаться или подниматься на несколько километров (связано с изменениями температуры при прохождении циклонов и антициклонов).

Физические свойства тропосферы в большой степени определяются влиянием земной поверхности. Для этого слоя характерно понижение температуры воздуха с высотой в среднем на $0,65^\circ\text{C}$ на 100 м высоты, хотя при этом возможны большие вариации в распределении температуры. Средняя годовая температура на верхней границе тропосферы составляет примерно -55°C в умеренных широтах, -75°C над экватором, -65°C над северным полюсом зимой и -47°C летом.

В тропосфере имеют место горизонтальные и вертикальные движения воздуха, турбулентность, возникают и развиваются все погодообразующие процессы (циклоны, антициклоны атмосферных фронтов, почти все виды облаков и осадков).

В пределах тропосферы выделяют *пограничный слой*, или *слой трения* (до высот 1-1,5 км), в котором на движение воздуха оказывают влияние силы трения о подстилающую поверхность. Высота слоя трения тем больше, чем больше шероховатость. Поэтому над водной поверхностью и равнинной степной местностью высота слоя трения меньше, чем над пересеченной местностью, покрытой лесом. В пограничном слое отмечается повышенное содержание пыли, дыма, аэрозолей.

Слои воздуха, расположенные выше слоя трения – это *свободная атмосфера*.

Самый нижний слой воздуха (от нескольких до десятков метров), прилегающий к земной поверхности – это *приземной слой*.

Верхней границей тропосферы является *тропопауза* – переходный слой 1-2 км, выше располагается стратосфера.

Стратосфера простирается до высоты 50-55 км. В стратосфере отмечается рост температуры, который объясняется поглощением солнечной радиации озоном. До высоты 35 км рост происходит очень медленно, а затем ускоряется, и на верхней границе температура достигает среднего годового значения 0°C с отклонениями $\pm 20^\circ\text{C}$. Резкие сезонные колебания температуры на верхней границе стратосферы связаны с изменениями содержания озона.

В стратосфере происходит интенсивная циркуляция воздуха с вертикальными движениями. Водяной пар содержится в ничтожном количестве и обычные облака не образуются. Только изредка на высотах 22-27 км и только в некоторых районах Земли, особенно в Северной Европе и на Аляске зимой, когда Солнце находится в нескольких градусах ниже горизонта, наблюдаются перламутровые облака, состоящие из переохлажденных капель воды. Далее по высоте следует переходный слой – *стратопауза* (толщина около 5 км), над которым располагается мезосфера.

Мезосфера – слой толщиной от 55 до 80-85 км. В этом слое температура понижается до -90°C . В мезосфере отмечаются скорости ветра до 150 м/с. Наблюдаются серебристые облака из ледяных кристаллов и вулканической пыли. Выше переходного слоя – *мезопаузы* – расположена термосфера.

Термосфера – слой, толщиной до 450 км, где температура с высотой растет и на верхней границе, на высоте 200-300 км, достигает $+1500-2500^\circ\text{C}$. Связана с крайне высокой разреженностью и увеличением расстояния между молекулами газов – молекулы сильно разгоняются, но практически не сталкиваются, поэтому высокая температура термосферы *потенциальная* и она не ощущается живыми организмами. Кроме того, в термосфере наблюдается значительная ионизация, что приводит к образованию ионосферы и возникновению различного рода полярных сияний.

Экзосфера (от 450 до 700 км) – это наружная сфера, или *сфера рассеяния*. Этот внешний слой атмосферы, простирающийся до так называемой *земной короны*, постепенно переходящий в межпланетное пространство. Температура на высоте 700 км растет до 3000 °K. В экзосфере газы находятся в очень разреженном состоянии и их частицы, двигаясь с огромными скоростями, почти не сталкиваясь друг с другом, частично покидают земную атмосферу.

В атмосфере находится слой с высокой электрической проводимостью, образующийся в результате ионизации воздуха ультрафиолетовым и корпускулярным излучением Солнца и частично космическими лучами. Это – *ионосфера*, которая располагается на высоте от 50-80 км до нескольких сотен километров.

В пределах этого слоя имеются слои с максимальной ионизацией, в особенности на высотах 100-120 и 200-400 км. Ионосфера, обладая способностью поглощать, преломлять и отражать радиоволны, оказывает большое влияние на их распространение в зависимости от длины. В ионосфере наблюдаются полярные сияния, свечение ночного неба, резкие колебания магнитного поля.

ЛЕКЦИЯ 17 РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1 Система «Солнце–Земля»

2 Солнечная радиация

1 Система «Солнце–Земля»

Солнечная система – это система небесных тел, которые движутся в области гравитационного влияния Солнца. В нее входят Солнце, 8 планет (ранее считавшаяся девятой планета Плутон недавно лишена такого статуса) с 53 спутниками, более 100000 малых планет (астероидов), сотен миллиардов комет и мелких метеоритных тел.

Солнце – это желтая звезда средней величины, возраст которой примерно 5 млрд. лет. Представляет собой раскаленный газовый шар, диаметр которого в 109 раз, а масса в 323000 раз больше Земли. Среднее расстояние от Земли до Солнца составляет 149,6 млн. км (*астрономическая единица*). Температура в недрах Солнца составляет 20 млн. градусов Цельсия, а на поверхности – около 6000°C .

В межпланетное пространство Солнце постоянно излучает энергию общей мощностью $3,83 \cdot 10^{20}$ МВт, одна двухмиллиардная доля которой приходит на Землю, однако и ее хватает для развития жизни.

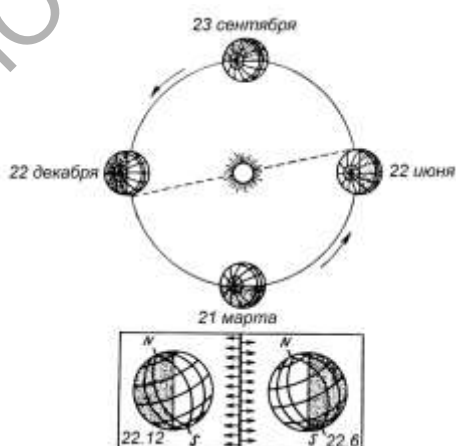
Наиболее динамичны внешние слои Солнца (*атмосфера*), которые делятся на фотосферу, хромосферу и корону.

Фотосфера – нижняя область солнечной атмосферы, толщиной до 300 км; из нее выходит все видимое излучение. Над фотосферой находится *хромосфера* – которая видна при полных затмениях Солнца как розовое кольцо толщиной 7000–8000 км. В ней наблюдаются светлые образования – *флокулы* и темные – волокна, которые выступают за диск Солнца и называются *протуберанцами*. *Солнечная корона* – внешняя и наиболее разреженная часть атмосферы Солнца, распространяется на расстояние более 10 солнечных радиусов. Из нее идут поток частиц, которые образуют солнечный ветер. Переходный слой между хромосферой и короной является источником значительной части ультрафиолетового солнечного излучения.

Активность Солнца оценивают числами Вольфа (по количеству пятен), хотя этот показатель не в полной мере отражает процессы, происходящие на Солнца в период повышенной активности. Считается несомненным существование 11-летнего цикла солнечной активности, более спорно существование 2 2-летнего цикла и мало обоснованно существование 80-90-летнего цикла.

Земля движется около Солнца по эллипсоидной орбите, поэтому расстояние до Солнца меняется от 152 млн. км (афелий – 5 июля) до 147 млн. км (перигелий – 3 января). Полный оборот вокруг Солнца земля делает за 365 суток 6 часов 9 минут и 9,6 секунды. Это *звездный (сидерический) год*.

Земная ось вращения не направлена перпендикулярно к плоскости земной орбиты (эклиптики), а наклонена под углом $66^{\circ}33'$. Благодаря этому наклону солнечный свет на протяжении года неравномерно прогревает



земную поверхность, что приводит к смене сезонов. Так 21 марта и 23 сентября солнечные лучи в полдень падают вертикально на экватор, равномерно освещают северное и южное полушарие, и в связи с суточным вращением Земли во всех широтах день равен ночи. Это дни *весеннего и осеннего равноденствия*.

22 июня солнечные лучи в полдень вертикально падают на параллель $23^{\circ}27'$ с. ш. Это *северный тропик*. В это же время над поверхностью Земли на север от параллели $66^{\circ}33'$ с. ш. Солнце совсем не заходит за горизонт и там господствует полярный день. Эта параллель называется *северным полярным кругом*, а сам день 22 июня – *днем летнего солнцестояния*. Этот период соответствует лету в северном полушарии. Поверхность Земли на юг от $66^{\circ}33'$ ю. ш. совсем не освещается Солнцем и там господствует полярная ночь. А сама параллель – *южный полярный круг*. В южном полушарии – зима.

22 декабря солнечные лучи вертикально падают в полдень на параллель $23^{\circ}27'$ ю. ш. – *южный тропик*, а сам день – *день зимнего солнцестояния*. В этот день на север от северного полярного круга наблюдается полярная ночь, а к югу от южного полярного круга – полярный день. Кроме этого в этот период в северном полушарии – зима, а в южном – лето.

В каждом полушарии выделяют 13 поясов освещенности.

2 Солнечная радиация

2.1 Понятие о солнечной радиации

Излучения Солнца, земной атмосферы и самой Земли подчиняются общим законам излучения. Так, согласно **закону Стефана-Больцмана** излучательная способность абсолютно черного тела E пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры T :

$$E = \delta \times T^4 \text{ кВт/м}^2$$

где δ – постоянная Стефана-Больцмана ($5,67 \times 10^{-11}$ кВт/м²·К⁴),

Произведение длины волны λ_m , которой соответствует максимальная энергия излучения тела, на его абсолютную температуру T есть величина постоянная (**закон Вина**):

$$\lambda_m \cdot T = 2898 \text{ мкм} \cdot \text{°K}$$

Из закона Вина следует, что при изменении температуры тела в ту или другую сторону соответственно происходит смещение максимума энергии спектра в сторону более длинных или коротких волн.

Под *солнечной радиацией* понимают спектр электромагнитных волн, излучаемых Солнцем. Спектр солнечной радиации близок к спектру излучения абсолютно черного тела с температурой около 6000°K. Этот спектр за пределами земной атмосферы делят на 3 качественно различные части: *ультрафиолетовую* (длина волн от 0,01 до 0,39 мкм), *видимую* (от 0,40 до 0,76 мкм) и *инфракрасную* (от 0,76 до 4,0 мкм). За ультрафиолетовой частью спектра находится рентгеновское излучение, а за инфракрасной – радиоизлучение Солнца. Максимум энергии излучения приходится на волну длиной 0,475 мкм (зелено-голубые лучи).

Излучение с длинами волн от 0,1 до 4,0 мкм – *коротковолновое* (99% энергии), а волны от 4 до 100 мкм – *длинноволновое*.

Интенсивность солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность при отсутствии атмосферы и при среднем расстоянии от Земли до Солнца называется *солнечной постоянной* (1,37 кВт/м²).

Из поступающей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации 43% отражается в мировое пространство, остальные 57% поглощаются Землей, в том числе 14% поглощается атмосферой и 43% доходит до Земли в виде прямой и рассеянной радиации.

Прямая солнечная радиация – это коротковолновая радиация Солнца, которая поступает от солнечного диска и околосолнечной зоны радиусом 5°.

Интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность определяется по формуле:

$$S' = S * \sin h_{\theta},$$

где S – интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность, кВт/м²; h_{θ} – высота Солнца

Рассеянная солнечная радиация – это коротковолновая радиация Солнца, которая поступает на горизонтальную поверхность от небосвода, за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны радиусом 5°. Она обуславливает солнечный свет в пасмурный день.

Общий приход на горизонтальную поверхность прямой и рассеянной радиации называется *суммарной радиацией* Q :

$$Q = S' + D,$$

где S' – интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность, кВт/м²; D – интенсивность рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, кВт/м²

Соотношение между прямой и рассеянной радиацией в составе суммарной радиации зависит от высоты Солнца, прозрачности атмосферы, т.е. от содержания в ней рассеивающих газов, аэрозоля, наличия облаков.

При ясном небе перед восходом Солнца суммарная радиация полностью состоит из рассеянной, а при низком Солнце после восхода – преимущественно из рассеянной радиации. При высоком положении Солнца при ясном небе преобладает прямая радиация. С увеличением облачности доля прямой радиации уменьшается.

Светлые и тонкие облака (перистые, высококучевые и кучевые), особенно освещенные Солнцем сбоку, могут увеличивать рассеянную радиацию в 8-10 раз по сравнению с безоблачным небом. Сильно увеличивает рассеянную радиацию снежный покров, так как отраженная от его поверхности радиация вторично рассеивается в атмосфере.

Плотная сплошная облачность прямую радиацию не пропускает. С увеличением высоты над уровнем моря при ясном небе увеличивается прямая радиация, а рассеянная – уменьшается за счет большей прозрачности воздуха и уменьшения толщины вышележащего слоя атмосферы.

2.2 Радиационный баланс подстилающей поверхности

Часть прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей к земной поверхности, ею отражается. Отражательная способность подстилающей поверхности зависит от ее физических свойств, цвета, состояния и характеризуется величиной альбедо.

Альbedo – это отношение отраженной (коротковолновой) радиации R_k к суммарной Q , поступающей на подстилающую поверхность:

$$A_k = \frac{R_k}{Q}$$

Альbedo выражается в долях единицы или в процентах. Альbedo для свежеснежного покрова – 80-95%, для темных почв – 5-10%.

Земная поверхность, поглощая суммарную солнечную радиацию (коротковолновую), в то же время сама излучает длинноволновую радиацию. Часть этой энергии уходит в мировое пространство и в значительной части поглощается атмосферой. В этом поглощении большое участие принимают водяной пар, озон, углекислый газ, пыль. Вследствие поглощения излучения Земли атмосфера нагревается и, в свою очередь, излучает длинноволновую радиацию. Часть этой радиации направлена в сторону земной поверхности.

Таким образом, в атмосфере создаются два потока длинноволновой радиации: один из них состоит из *излучения подстилающей поверхности* E_3 и направлен вверх, а другой представляет *радиацию атмосферы* E_a и направлен вниз. Разность $E_3 - E_a$ называют *эффективным излучением подстилающей поверхности* $E_{эф}$.

Радиационный баланс подстилающей поверхности представляет собой разность между приходом и расходом лучистой энергии (равен количеству энергии, поглощенной подстилающей поверхностью).

Уравнение радиационного баланса подстилающей поверхности имеет вид:

$$B = S' + D + E_a - R_k - R_a - E_3, \text{ кВт/м}^2,$$

где S' - прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт/м²; D - рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт/м²; E_a - встречное излучение атмосферы (длинноволновое излучение атмосферы, направленное в сторону подстилающей поверхности), кВт/м²; R_k - коротковолновая радиация, отраженная от подстилающей поверхности, кВт/м; R_a - длинноволновая радиация, отраженная от подстилающей поверхности, кВт/м²; E_3 - длинноволновое излучение подстилающей поверхности, кВт/м².

Величина R_a очень мала, поэтому в практических расчетах её не учитывают.

Принимая во внимание, что $Q = S' + D$; $R_k = Q \cdot A_k$, а $E_{эф} = E_3 - E_a$, получим выражение радиационного баланса в следующем виде:

$$B = Q - R_k - E_{эф} = Q(1 - A_k) - E_{эф}.$$

Разность между суммарной поступающей радиацией и отраженной представляет собой поглощенную подстилающей поверхностью коротковолновую радиацию – *коротковолновой радиационный баланс*:

$$B_k = Q - R_k = Q(1 - A_k), \text{ кВт/м}.$$

Эффективное излучение является *длинноволновым радиационным балансом*, отсюда полный радиационный баланс может быть представлен в виде разности коротковолнового и длинноволнового балансов:

$$B = B_k - E_{эф}.$$

Радиационный баланс подстилающей поверхности может быть положительным и отрицательным. В суточном ходе переход от положительных значений к отрицательным или обратно наблюдается при высотах Солнца 10-15°. Ночью приток суммарной солнечной радиации $Q = 0$, поэтому баланс отрицательный ($B = -E_{эф}$), происходит радиационное выхолаживание подстилающей поверхности.

ЛЕКЦИЯ 18 ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АТМОСФЕРЫ

- 1 *Формирование температурного режима атмосферы*
- 2 *Вертикальная стратификация температуры воздуха*
- 3 *Приборы для измерения температуры воздуха*

1 Формирование температурного режима атмосферы

Температурный режим атмосферы – это распределение температуры воздуха в пространстве и её изменение во времени.

Тепловое состояние атмосферы определяется главным образом её теплообменом с окружающей средой, т.е. с подстилающей поверхностью, соседними воздушными массами или слоями воздуха и космическим пространством.

Преобладающее значение в теплообмене имеют турбулентность и термическая конвекция. Турбулентный теплообмен является результатом перемешивания объёмов воздуха при беспорядочном, хаотическом движении. При термической конвекции происходит перенос объёмов воздуха в вертикальном направлении, возникающий при нагреве нижележащего слоя воздуха. При этом тёплые порции воздуха, как более легкие, поднимаются, а на их место опускается более холодный воздух, который затем нагревается и снова поднимается. Возникает своеобразная вертикальная циркуляция воздуха.

Некоторую роль в теплообмене между подстилающей поверхностью и прилегающими к ней слоями воздуха, а также между отдельными слоями воздуха играет лучистая энергия (длинноволновая радиация). Роль солнечной радиации в нагреве воздуха, за исключением верхних слоёв атмосферы, весьма незначительна.

Изменения температуры воздуха могут происходить также независимо от рассмотренных видов теплообмена, в результате адиабатического процесса при изменении атмосферного давления.

Изменения температуры воздуха в результате рассмотренных причин принято называть индивидуальными. Они относятся к конкретному объёму воздуха. Так, термометр на воздушном шаре, перемещающийся вместе с воздухом, показывает индивидуальную температуру.

Температура в определенной, фиксированной точке пространства может изменяться также в результате адвекции тепла или холода.

Температура воздуха в приземном слое в суточном ходе следует за температурой подстилающей поверхности. Поскольку воздух нагревается и охлаждается от земной поверхности, амплитуда суточного хода температуры в метеорологической будке (2 м над поверхностью земли) меньше, чем на поверхности почвы, в суточном ходе минимум температуры воздуха у земли (на суше) приходится на время перед восходом Солнца, а максимум - на 14-15 ч.

Над морями и океанами максимум температуры воздуха наступает на 2-3 ч раньше, чем над материками, причем амплитуда суточного хода температуры воздуха больше, чем суточная амплитуда температуры водной поверхности. Это объясняется тем, что поглощение солнечной радиации воздухом и его излучение над морем больше, чем над сушей, так как над морем в воздухе содержится больше водяного пара.

Суточный ход температуры воздуха чётко выражен и имеет периодический характер в ясную погоду. Эта периодичность может нарушаться облач-

ностью, осадками и адвекцией тепла или холода. При этом минимум температуры может сместиться на дневные часы, а максимум – на ночь.

Суточная амплитуда температуры воздуха зависит от полуденной высоты Солнца, поэтому летом она больше чем зимой. В ясную погоду амплитуда больше, чем в пасмурную.

Суточные колебания температуры воздуха, связанные с теплообменом воздуха с подстилающей поверхностью, распространяются на более высокие слои атмосферы. Но суточная амплитуда с высотой уменьшается, а максимумы и минимумы запаздывают по времени. Небольшие суточные колебания температуры обнаруживаются даже в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Но там они определяются уже процессами поглощения и излучения радиации, а не влиянием подстилающей поверхности.

Годовой ход температуры воздуха в нижней тропосфере определяется прежде всего годовым ходом температуры подстилающей поверхности. О географическом распределении, об особенностях годового хода температуры воздуха в различных климатических зонах.

Заморозки. *Заморозок на почве* – это понижение температуры почвы и растений ночью до 0°C и ниже вследствие эффективного излучения, в то время как в воздухе на высоте 2 метров (в метеорологической будке) температура остается выше 0°C .

Заморозок в воздухе – это понижение температуры воздуха до 0°C и ниже вечером и ночью при положительных средних суточных температурах. Заморозки бывают весной и осенью, когда средние суточные температуры воздуха уже или ещё положительные. Различают заморозки радиационные и адвективные. В большинстве случаев в возникновении заморозков играет роль как предварительная адвекция холодного воздуха (арктического) в данный район, так и последующее ночное излучение, охлаждающее почву, а от неё – и прилегающий к ней воздух до отрицательных температур. Осенью возможны заморозки без холодных вторжений, в результате лишь радиационного выхолаживания, понижающего температуру воздуха. Условием образования заморозков является ясная, безветренная ночь.

Распространенной мерой борьбы с заморозками является дымление, т.е. создание дымовой завесы, способствующей уменьшению эффективного излучения. Кроме того, частицы дыма, являясь ядрами конденсации, способствуют образованию в воздухе капель воды и выделению теплоты конденсации, несколько повышающей температуру воздуха.

Мерой борьбы с заморозками на больших площадях является дождевание с помощью разбрызгивающих установок.

2 Вертикальная стратификация температуры воздуха

Вертикальная стратификация температуры – это распределение температуры воздуха по высоте.

Вертикальная стратификация температуры воздуха в тропосфере определяется не только теплообменом с подстилающей поверхности, но и изменениями атмосферного давления с высотой в соответствии с адиабатическим процессом, который выражает связь между давлением и температурой газа при отсутствии теплообмена с внешней средой. Адиабатический процесс, протекающий в сухом или во влажном, но не насыщенном водяным паром воздухе, называется сухоадиабатическим. Уравнение для сухоадиабатического процесса имеет вид:

$$T/T_0 = (P/P_0)^{0,286}$$

где T_0 и P_0 – начальные температура и давление; T и P – температура и давление после адиабатического изменения состояния воздуха.

В соответствии с сухоадиабатическим процессом при подъёме некоторого объема воздуха с понижением давления его температура понижается и, наоборот, при опускании температура этого объёма повышается. Изменение температуры воздуха, приходящееся на 100 м высоты – *вертикальный температурный градиент*. При понижении температуры с высотой градиент имеет знак «+», а при повышении знак «-».

При сухоадиабатическом процессе он составляет:

$$\gamma_c = 0,98^\circ \text{C} / 100 \text{ м} \sim 1^\circ \text{C} / 100 \text{ м}$$

и называется *сухоадиабатическим вертикальным температурным градиентом*.

При подъёме воздуха, содержащего водяной пар, по мере понижения температуры происходит повышение относительной влажности воздуха, вплоть до состояния насыщения. Высота, на которой водяной пар становится – *уровень конденсации*. При подъёме воздуха выше уровня конденсации в нём происходит конденсация водяного пара с выделением тепла (скрытое теплотворение). При опускании воздуха вместе с образовавшимися в нём продуктами конденсации происходят адиабатическое повышение температуры и испарение продуктов конденсации, сопровождающееся затратой тепла. Вертикальный влажно-адиабатический градиент температуры $\gamma_{вл}$ всегда меньше сухоадиабатического градиента ($\gamma_{вл} < \gamma_c$). В среднем он составляет $0,6^\circ \text{C} / 100 \text{ м}$. Величина вертикального влажно-адиабатического градиента температуры зависит от температуры поднимающегося воздуха и давления.

По мере подъёма воздуха с насыщенным водяным паром количество выделяющейся теплоты конденсации уменьшается и влажно-адиабатический градиент увеличивается, приближаясь к сухоадиабатическому, т.е. к $1^\circ \text{C} / 100$. Следовательно, от земли до уровня конденсации температура изменяется по прямой линии (сухая адиабата), выше уровня конденсации – по кривой, с возрастающим градиентом температуры с высотой (влажная адиабата).

От величины вертикального температурного градиента зависит устойчивость воздуха в некотором слое, т.е. возможность вертикального подъёма воздуха в результате термической конвекции.

Если вертикальный градиент температуры в слое меньше влажно-адиабатического ($\gamma < \gamma_{вл}$), то этот слой абсолютно устойчив как для сухого воздуха, так и для воздуха с насыщенным водяным паром. Если вертикальный температурный градиент в слое больше влажно-адиабатического и сухоадиабатического градиентов ($\gamma > \gamma_{вл} : \gamma > \gamma_c$), то слой абсолютно неустойчив. В слое будет происходить подъём воздуха как в сухом, так и в насыщенном водяным паром воздухе. Если вертикальный градиент температуры в некотором слое меньше сухоадиабатического, но больше влажноадиабатического ($\gamma_{вл} < \gamma < \gamma_c$), то слой влажно неустойчив.

При $\gamma = \gamma_c$ имеет место безразличное равновесие, при котором некоторый объём воздуха, будучи вынужденно поднятым или опущенным, возвращаться на исходную высоту не будет.

Соответственно этим состояниям различают устойчивую, неустойчивую и безразличную стратификацию воздуха.

Летом в дневные часы, в ясную погоду, при сильном прогреве почвы вертикальный температурный градиент в нижнем 2-метровом слое воздуха

может достигать $500^{\circ}\text{C} / 100\text{ м}$. При этом в силу большой энергии неустойчивости создается мощная термическая конвекция.

Понижение температуры с высотой продолжается до верхней границы тропосферы (10-11 км в умеренных широтах), где температура находится в пределах $-50 \dots -60^{\circ}\text{C}$. Над экватором на высоте 18 км круглый год $-70 \dots -80^{\circ}\text{C}$.

Наряду с общей закономерностью понижения температуры с высотой в пределах тропосферы при определённых условиях образуются слои воздуха, в которых температура с высотой не понижается, а остается постоянной (слои изотермии) или повышается (слои температурной инверсии). Толщина этих слоев изменяется от нескольких метров до 2-3 км, а изменение температуры может составлять от 2 до 15°C и более.

Инверсии и изотермии бывают приземные и на высоте (в свободной атмосфере) (рис. 1.3).

Приземные инверсии в зависимости от условий образования разделяются на радиационные и адвективные.

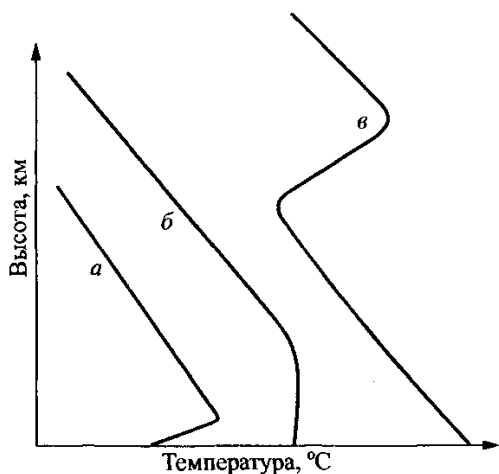


Рис. 1.3. Типы распределения температуры воздуха с высотой:

а — приземная инверсия; б — приземная изотермия; в — инверсия на высоте

Радиационные инверсии возникают при охлаждении приземного слоя воздуха, соприкасающегося с подстилающей поверхностью, которая охлаждается в результате излучения. По мере удаления от подстилающей поверхности температура воздуха повышается.

Летние (ночные) инверсии начинают развиваться после захода солнца. К утру достигают наибольшей толщины слоя воздуха и скачка температуры. После восхода Солнца подстилающая поверхность и прилегающий к ней слой воздуха прогреваются, и инверсия разрушается. Так как прогрев воздуха начинается от почвы, то на стадии разрушения могут образовываться

так называемые приподнятые инверсии (изотермии). Толщина летних (ночных) инверсий находится в пределах от 10-15 до 200-400 м. Образованию таких инверсий способствуют ясное небо и отсутствие ветра.

Зимние приземные радиационные инверсии, когда радиационное охлаждение подстилающей поверхности день ото дня увеличивается, могут сохраняться несколько суток и даже недель, немного ослабевая днем и усиливаясь ночью. Толщина таких инверсий составляет от нескольких сотен метров до 2-3 км с перепадом температуры 15°C и более.

Образованию приземных инверсий способствуют пониженные формы рельефа, куда стекает холодный и, следовательно, плотный воздух. Почти постоянно радиационные инверсии встречаются в Арктике и Антарктиде.

Адвективные приземные инверсии образуются при адвекции, т.е. натекании тёплого воздуха на более холодную подстилающую поверхность, например, вторжение тёплого морского воздуха на материк в зимнее время. Высота таких инверсий может составлять сотни метров.

К адвективным инверсиям относятся весенние (снежные) инверсии, возникающие при адвекции воздуха с температурой выше 0°C на поверхность, покрытую снегом.

Инверсии на высоте делятся на динамические, оседания (антициклонические) и фронтальные.

Динамические инверсии возникают в слоях с большими скоростями ветра. Воздушный поток, движущийся с большой скоростью, засасывает воздух из выше- и нижележащих слоев, в которых скорость ветра меньше. В результате на верхнем уровне развиваются нисходящие движения, а на нижнем – восходящие. В нисходящих потоках температура воздуха адиабатически растет на $1^\circ \text{C} / 100 \text{ м}$, а на восходящих – понижается на ту же величину. Таким образом, в средней части слоя больших скоростей развивается инверсия.

Инверсии оседания образуются в области повышенного атмосферного давления (антициклонах). В центре таких областей происходит медленное опускание воздуха (оседание) со скоростью 5-7 см/с из верхних слоев тропосферы. Опускающийся воздух сжимается и растекается по горизонтали от центра области высокого давления к периферии, не достигая земной поверхности. В результате сжатия в соответствии с адиабатическим законом его температура повышается на $1^\circ \text{C} / 100 \text{ м}$. Таким образом, на высоте 1-1,5 км образуется слой, в котором температура повышается или остается постоянной (изотермия). Поэтому инверсии оседания называют также инверсиями сжатия.

В мощных антициклонах зимой приземные радиационные инверсии могут распространяться до свободной атмосферы и переходить в инверсию оседания, как это часто наблюдается в Якутии и других районах Сибири.

Фронтальные инверсии образуются во фронтальных зонах. Инверсия или изотермия располагаются в переходном слое, отделяющем нижний холодный воздух от верхнего теплого.

Вертикальная стратификация температуры воздуха в тропосфере имеет суточный и годовой ход. Суточный ход связан с чередованием в течение суток в летнее время ночных инверсий и дневным прогревом воздуха у земли. В летнее время с восходом Солнца на начальной стадии разрушения ночной инверсии, в результате прогрева прилегающего к почве слоя воздуха, могут образовываться так называемые приподнятые инверсии. Годовой ход обусловлен чередованием зимних инверсий и летней неустойчивостью воздуха в приземном слое и нижней тропосфере.

Слои температурных инверсий оказывают большее влияние на развитие различных атмосферных процессов (образование туманов, облаков и др.). Эти слои имеют наиболее устойчивую стратификацию и препятствуют развитию восходящих движений воздуха. Инверсии способствуют накоплению вредных примесей в воздушной среде.

3 Приборы для измерения температуры воздуха

3.1 Принципы измерения, виды термометров

Для получения сопоставимых численных значений температуры используются температурные шкалы, построение которых основано на реперных (опорных) точках – точка таяния льда и точка кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

Первый термометр, изобретение которого приписывается Галилею (1598 г.), шкалы не имел. Впоследствии получили распространение шкалы, которые предложили Фаренгейт (1715 г.), Реомюр (1736 г.), Цельсий (1748 г.), Кельвин (1848 г.).

Градус температурной шкалы **Фаренгейта (F)** составляет $1/180$ интервала между точками таяния льда и кипения воды (32 и 212° соответственно); градус температурной шкалы **Реомюра (K)** – $1/80$ интервала между точками таяния льда и кипения воды (0 и 80°); градус температурной шкалы **Цель-**

сия (С) составляет 1/100 интервала между точками таяния льда и кипения воды (0 и 100°). По шкале **Кельвина** точке плавления льда соответствует температура 273,15 °К.

Связь между температурой по шкале Кельвина (Т) и температурой по шкале Цельсия (С) имеет вид:

$$t^{\circ}_C = T - 273,15$$

В большинстве стран Европы пользуются шкалой Цельсия, а в США, Англии и ряде других стран – шкалой Фаренгейта. Переход от одной шкалы к другой делается по формулам:

$$t^{\circ}_C = 5/9 (t^{\circ}_F - 32); t^{\circ}_F = 9/5 (t^{\circ}_C + 32)$$

Шкала Реомюра к настоящему времени вышла из употребления.

Принцип действия любого термометра основан на закономерной зависимости некоторого выбранного физического свойства чувствительного элемента от температуры. На метеорологической сети находят применение следующие виды термометров:

1) **Жидкостные** – действие их основано на изменении объема жидкости при изменении температуры. Наиболее распространенный тип термометров. Термометр состоит из резервуара, соединенного с капилляром, противоположный конец которого запаян. Резервуар с термической жидкостью может иметь форму цилиндрическую, шарообразную и др. У большинства термометров шкала нанесена на пластинку из матового стекла, скрепленную с капилляром. Шкала и капилляр заключены в защитную стеклянную оболочку. Объем капилляра над жидкостью может иметь вакуум или заполняться инертным газом.

При изменении температуры изменяется объем жидкости, что сказывается на высоте столбика жидкости в капилляре. Это и позволяет по шкале определять температуру. В качестве термометрической жидкости применяют ртуть, спирт, толуол.

2) **Деформационные** – действие основано на изменении линейных размеров твердых тел с изменением температуры. В основном применяются биметаллические деформационные термометры, чувствительным элементом которых является пластинка из двух металлов с различными коэффициентами теплового расширения. Обычно это инвар и сталь. Если один конец биметаллической пластинки закрепить неподвижно, то при изменении температуры ее свободный конец будет перемещаться пропорционально изменению температуры. Поэтому биметаллические термометры имеют равномерную шкалу.

Биметаллические чувствительные элементы используются в термографах, радиозондах и некоторых других приборах.

3) **Электрические:**

а) сопротивления – действие основано на изменении электропроводности тел с изменением температуры. Принцип действия термометров основан на свойстве материалов менять электрическое сопротивление (проводимость) с изменением температуры. В качестве первичных преобразователей используют металлические проволочные и полупроводниковые терморезисторы.

Датчик термометра сопротивления – тонкая проволока из чистого металла (медь, платина, никель), намотанную на каркас и помещенную в герметически защищенный кожух (длина 10-20 см, диаметр около 1 см);

б) термоэлектрические – действие основано на изменении электродвижущей силы при изменении разности температур спаёв. В этих термометрах используется термоэлектрический эффект – в замкнутой цепи из двух разнородных металлов, по концам соединенных между собой (места соединений – спаи), возникает электродвижущая сила, пропорциональная разности температур спаев. Сила тока измеряется чувствительным гальванометром.

Используются для измерения градиентов температуры, а также для измерения температуры воздуха, почвы и воды.

в) термотранзисторные – действие основано на зависимости напряжения эмиттер-база транзистора от температуры. *Термотранзисторы* – транзисторы, применяемые в качестве первичных преобразователей температуры. Температура определяется по напряжению эмиттер-база. Могут применяться при температуре от -70°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Термотранзисторы обладают стабильностью, линейностью, высокой чувствительностью.

Важными свойствами термометра являются его *термическая инерция и чувствительность*. Любой термометр показывает температуру своего чувствительного элемента. При изменении температуры среды помещенный в неё термометр должен принять температуру этой среды, но на это требуется определенное время.

Коэффициент термической инерции термометра – это время, за которое первоначальная разность температур термометра и среды уменьшается в e раз (e – основание натурального логарифма). То есть коэффициент инерции выражает скорость, с которой показания термометра приближаются к температуре среды.

Величина коэффициента инерции прямо пропорциональна массе чувствительного элемента термометра, его удельной теплоемкости и обратно пропорциональна его поверхности и коэффициенту внешнего теплообмена, который зависит от теплоемкости, вязкости окружающей среды и ее движения относительно термоприемника.

Чувствительность термометра – это величина одного градуса на шкале термометра в миллиметрах. Зависит от коэффициента объемного расширения жидкости и термометрического стекла, от объема резервуара и поперечного сечения капилляра термометра.

Цена деления – это количество градусов, приходящееся на наименьшее деление шкалы термометра.

3.2 Приборы измерения температуры воздуха

Термометр психрометрический ртутный метеорологический ТМ-

4. Предназначен для измерения температуры воздуха, а также используется в психрометре для определения влажности воздуха (отсюда и его название «психрометрический»). Это ртутный термометр со вставной шкалой, длина термометра 410 мм, диаметр 17 мм, резервуар шарообразный диаметром 9-12 мм, капилляр круглый с наружным диаметром 2,5 мм. Пространство над ртутью заполнено азотом. Пределы измерений: от -35 до $+40^{\circ}\text{C}$ или от -25 до $+50^{\circ}\text{C}$, цена деления шкалы $0,2^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения: при температуре от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$ не более $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, при температуре от 0 до -35°C не более $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Коэффициент инерции в малоподвижном воздухе составляет около 300 с.

Термометр спиртовой метеорологический низкоградусный ТМ-9.

Является дополнительным к ртутному психрометрическому. В нем используется спирт. Резервуар цилиндрический диаметром 6 мм. Пределы измерений: от -65 до $+25^{\circ}\text{C}$ или от -75 до $+25^{\circ}\text{C}$. Цена деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$. Погреш-

ность измерения при температуре от +20 до -20° С не более $\pm 0,5^\circ$ С; при температуре -70° С не более $\pm 2,5^\circ$ С.

Термометр ртутный метеорологический максимальный ТМ-1. Предназначен для определения максимального значения температуры за какой-либо промежуток времени.

Это термометр со вставной шкалой длиной 340 мм, диаметром 18 мм. Резервуар цилиндрической формы диаметром около 8 мм. В капилляре над ртутью создан вакуум. Пределы измерений от -35 до +50° С или от -20 до +70° С. Цена деления 0,5° С. Погрешность измерения: при температуре от -10 до +50° С не более $\pm 0,4^\circ$ С; при температуре -30° С не более $\pm 0,8^\circ$ С.

Термометр спиртовой метеорологический минимальный ТМ-2. Предназначен для определения минимальной температуры за какой-либо промежуток времени. Термометрическая жидкость – спирт. Это термометр со вставной шкалой, длиной 340 мм, диаметром 19 мм. Резервуар цилиндрический диаметром 7-10 мм. Пределы измерений от -75 до +21° С; от -61 до +31° С; от -51 до +31° С; от -41 до +41° С. Цена деления шкалы 0,5° С. Погрешность измерения: при температуре +40 до -20° С не более $\pm 0,5^\circ$ С; при температуре ниже -60° С не более $\pm 2,0^\circ$ С.

Термометр-пращ ртутный метеорологический ТМ-8. Предназначен для измерения температуры воздуха при метеорологических наблюдениях. Термометр палочного типа в виде толстостенного капилляра с расширенным концом, переходящим в резервуар. Шкала нанесена на наружной поверхности. Длина термометра 190 мм, диаметр 8 мм. Интервал измерений: от -30 до +50° С; от -35 до +40° С. Цена деления шкалы 1°С. Погрешность измерений: при температуре от -10 до +50° С не более $\pm 0,5^\circ$ С; при температуре -30° С не более $\pm 0,8^\circ$ С.

Термограф метеорологический М-16. Предназначен для непрерывной регистрации изменений температуры воздуха в пределах от -45 до +55° С, погрешность измерения $\pm 1^\circ$ С.

Прибор состоит из чувствительного элемента – биметаллической пластинки, передаточного механизма, регистрирующей части и корпуса.

ЛЕКЦИЯ 19 ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОЧВЫ

- 1 Температурный режим подстилающей поверхности и деятельного слоя
- 2 Приборы измерения температуры деятельного слоя

1 Температурный режим подстилающей поверхности и деятельного слоя

Подстилающая поверхность, или деятельная поверхность – это поверхность земли (почвы, воды, снега и т.д.), взаимодействующая с атмосферой в процессе тепло- и влагообмена.

Деятельный слой – это слой почвы (включая растительность и снежный покров) или воды, участвующий в теплообмене с окружающей средой, и на глубину которого распространяются суточные и годовые колебания температуры.

Тепловое состояние подстилающей поверхности оказывает значительное влияние на температуру низших слоев воздуха. Это уменьшающееся с высотой влияние может обнаруживаться даже в верхней тропосфере.

Существуют различия в тепловом режиме суши и воды, которые объясняются различием их теплофизических свойств и процессов теплообмена между поверхностью и нижележащими слоями.

В почве коротковолновая солнечная радиация проникает на глубину в десятые доли миллиметра, где она преобразуется в тепло. В нижележащие слои это тепло передается путем молекулярной теплопроводности.

В воде в зависимости от ее прозрачности солнечная радиация проникает на глубины до десятков метров, а перенос тепла в глубинные слои происходит в результате турбулентного перемешивания, термической конвекции, а также испарения.

Турбулентность в водоемах обусловлена прежде всего волнением и течениями. В ночное время суток и в холодное время года развивается термическая конвекция, когда охлажденная на поверхности вода опускается вниз вследствие возросшей плотности и замещается более теплой водой из нижних слоев. При значительном испарении с поверхности моря верхний слой воды становится более соленым и плотным, в результате чего более теплая вода опускается с поверхности в глубину. Поэтому суточные колебания температуры в воде распространяются на глубину до десятков метров, а в почве – менее метра. Годовые колебания температуры воды распространяются на глубину до сотен метров, а в почве – только на 10-20 м; т.е. в почве тепло сосредоточивается в тонком верхнем слое, который нагревается при положительном радиационном балансе и остывает – при отрицательном.

Таким образом, суша быстро нагревается и быстро остывает, а вода медленно нагревается и медленно остывает. Большой тепловой инерции водоемов способствует и то, что удельная теплоемкость воды в 3-4 раза больше, чем почвы. По этим же причинам суточные и годовые колебания температуры на поверхности почвы намного больше, чем на поверхности воды.

Суточный ход температуры поверхности почвы в ясную погоду изображается волнообразной кривой, напоминающей синусоиду. При этом минимум температуры наблюдается вскоре после восхода Солнца, когда радиационный баланс меняет знак с «-» на «+». Максимум температуры приходится на 13-14 ч. Плавность суточного хода температуры может нарушаться наличием облаков, осадков, а также адвективными изменениями.

Разность между максимальной и минимальной температурами за сутки – *суточная амплитуда температуры*.

Амплитуда суточного хода температуры поверхности почвы зависит от полуденной высоты Солнца, т.е. от широты места и времени года. Летом в ясную погоду в умеренных широтах амплитуда температуры оголенной почвы может достигать 55°C , а в пустынях – 80° и более. В пасмурную погоду амплитуда меньше, чем в ясную. Облака днем задерживают прямую солнечную радиацию, а ночью уменьшают эффективное излучение подстилающей поверхности.

На температуру почвы оказывают влияние растительный и снежный покровы. Растительный покров уменьшает амплитуду суточных колебаний температуры поверхности почвы, так как он препятствует нагреванию ее солнечными лучами днем и защищает от радиационного выхолаживания ночью. При этом понижается и средняя суточная температура поверхности почвы. Снежный покров, обладая малой теплопроводностью, предохраняет почву от интенсивной потери тепла, при этом резко уменьшается суточная амплитуда температуры по сравнению с оголенной почвой.

Разность между максимальной и минимальной средними месячными температурами в течение года называется *годовой амплитудой температуры*.

Амплитуда температуры подстилающей поверхности в годовом ходе зависит от широты (в тропиках – минимальная) и растет с широтой, что находится в соответствии с изменениями в меридианальном направлении годовой амплитуды месячных сумм солнечной радиации в солярном климате.

Распространение тепла в почве от поверхности вглубь достаточно близко соответствует **закону Фурье**. Независимо от вида почвы и ее влажности, период колебаний температуры не изменяется с глубиной, т.е. на глубине суточный ход сохраняется с периодом 24 ч, в годовом ходе – в 12 месяцев. При этом амплитуда колебаний температуры с глубиной уменьшается.

На некоторой глубине (около 70 см, разной в зависимости от широты и сезона года) начинается слой с постоянной суточной температурой. Амплитуда годовых колебаний убывает практически до нуля на глубине около 30 м в полярных районах, около 15-20 м – в умеренных широтах. Максимальные и минимальные температуры как в суточном, так и в годовом ходе наступают позднее, чем на поверхности, причем запаздывание прямо пропорционально глубине.

Наглядное представление о распределении температуры почвы по глубине и во времени дает график термоизопланет, который строится по многолетним средним месячным температурам почвы (рис. 1.2). На вертикальной оси графика отложены глубины, а на горизонтальной оси – месяцы. Линии равных температур на графике называются *термоизопланетами*.

Перемещение по горизонтальной линии позволяет проследить изменение температуры на данной глубине в течение года, а перемещение по вертикальной линии дает представление об изменении температуры по глубине для данного месяца. Из графика видно, что максимальная годовая амплитуда температуры на поверхности с глубиной убывает.

В силу рассмотренных выше различий процессов теплообмена

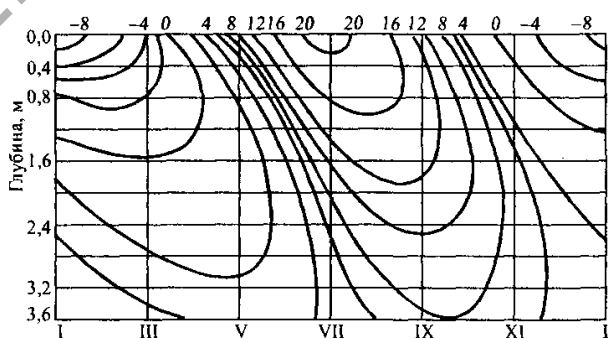


Рис. 1.2. Термоизопланеты почвы, годового хода

между поверхностью и глубинными слоями водоемов и суши суточные и годовые изменения температуры поверхности водоемов намного меньше, чем у суши. Так, суточная амплитуда изменения температуры поверхности океанов составляет около $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$ в умеренных широтах, и около $0,5^{\circ}\text{C}$ в тропиках. При этом минимум температуры отмечается через 2-3 ч после восхода Солнца, а максимум – около 15-16 ч. Годовая амплитуда колебаний температуры поверхности океана значительно больше, чем суточная. В тропиках она порядка $2-3^{\circ}\text{C}$, в умеренных широтах около 10°C . Суточные колебания обнаруживаются на глубинах до 15-20 м, а годовые – до 150-400 м.

2 Приборы измерения температуры деятельного слоя

2.1 Измерение температуры поверхности почвы, снежного покрова и определение их состояния.

Поверхность почвы и снежного покрова является подстилающей поверхностью, которая непосредственно взаимодействует с атмосферой, поглощает солнечную и атмосферную радиацию и сама излучает в атмосферу, участвует в тепло- и влагообмене и оказывает влияние на термический режим нижележащих слоев почвы.

Для измерения температуры почвы и снежного покрова в сроки наблюдений используется **термометр ртутный метеорологический ТМ-3** с пределами шкал от -10 до $+85^{\circ}\text{C}$; от -25 до $+70^{\circ}\text{C}$; от -35 до $+60^{\circ}\text{C}$, с ценой деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения при температурах выше -20°C составляет $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, при более низких температурах $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Для определения экстремальных температур между сроками используются **термометры максимальный ТМ-1** и **минимальный ТМ-2** (такие же, как для определения температуры воздуха в психрометрической будке).

Измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова производятся на незатененном участке размером 4×6 м в южной части метеорологической площадки. Летом измерения производятся на оголенной, разрыхленной почве, для чего весной участок перекапывается.

Отсчеты по термометрам берут с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. Состояние почвы и снежного покрова оцениваются визуально. Измерение температуры и наблюдение за состоянием подстилающей поверхности ведутся в течение всего года.

2.2 Измерение температуры в верхнем слое почвы.

Для измерения температуры в верхнем слое почвы применяют **термометры ртутные метеорологические коленчатые (Савинова) ТМ-5** (выпускаются комплектом по 4 термометра для измерения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15, 20 см). Пределы измерения: от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$, цена деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$, погрешность измерения $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Резервуары цилиндрические. Термометры изогнуты под углом 135° в местах, отстоящих от резервуара на 2-3 см. Это позволяет устанавливать термометры так, чтобы резервуар и часть термометра до изгиба находились в горизонтальном положении под слоем почвы, а часть термометра со шкалой располагалась над почвой.

Капилляр на участке от резервуара до начала шкалы покрыт теплоизоляционной оболочкой, что уменьшает влияние на показания термометра слоя почвы, лежащего над его резервуаром, обеспечивает более точное измерение температуры на глубине, где находится резервуар.

Наблюдения по термометрам Савинова производят на той же площадке, где устанавливаются термометры для измерения температуры поверхности почвы, в единые сроки и только в теплую часть года. При понижении темпе-

ратуры на глубине 5 см ниже 0° С термометры выкапывают, весной устанавливают после схода снежного покрова.

2.3 Измерение температуры почвы и грунта на глубинах под естественным покровом.

Для измерения температуры почвы применяется **термометр ртутный метеорологический почвенно-глубинный ТМ-10**. Его длина 360 мм, диаметр 16 мм, верхний предел шкалы от + 31 до +41° С, а нижний – от -10 до -20° С. Цена деления шкалы 0,2° С, погрешность измерения при плюсовых температурах $\pm 0,2^\circ$ С, при отрицательных $\pm 0,3^\circ$ С.

Термометр помещается в винипластовую оправу, снизу заканчивающуюся медным или латунным колпачком, заполненным вокруг резервуара термометра медными опилками. К верхнему концу оправы крепится деревянный стержень, с помощью которого термометр погружается в эбонитовую трубу, находящуюся в грунте на глубине измерения температуры почвы.

Измерения производятся на участке размером 6x8 м с естественным растительным покровом в юго-восточной части метеоплощадки. Вытяжные почвенно-глубинные термометры устанавливаются по линии восток-запад на расстоянии 50 см друг от друга на глубинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4; 3,2 м в порядке возрастания глубин.

При снежном покрове до 50 см выступающая над поверхностью земли часть трубы составляет 40 см, при большей высоте снежного покрова – 100 см. Установку наружных (эбонитовых) труб производят с помощью бура с тем, чтобы меньше нарушать естественное состояние почвы.

Наблюдения по вытяжным термометрам производят круглый год, ежедневно на глубинах 0,2 и 0,4 м – все 8 сроков (кроме периода, когда высота снега превышает 15 см), на остальных глубинах – 1 раз в сутки.

2.4 Измерение температуры воды у поверхности.

Для измерения используется ртутный термометр с ценой деления 0,2° С, с пределами шкалы от -5 до +35° С. Термометр помещен в оправу, которая предназначена для сохранения показаний термометра после его поднятия из воды, а также для предохранения от механических повреждений. Оправа состоит из стакана и двух трубок: наружной и внутренней.

Термометр в оправе помещается так, чтобы его шкала располагалась против имеющихся в трубках прорезей, а резервуар термометра – в средней части стакана. Оправа имеет дужку для крепления к тросу. При погружении термометра поворотом наружного чехла прорезь закрывают, а после подъема и для взятия отсчета – открывают. Время выдержки термометра в точке 5-8 мин, заглубление в воду – не более 0,5 м.

ЛЕКЦИЯ 20 ВОДЯНОЙ ПАР В АТМОСФЕРЕ

- 1 Атмосферная влага
- 2 Туманы и дымка
- 3 Измерение влажности воздуха

1 Атмосферная влага

1.1 Характеристики влажности воздуха

В атмосферу непрерывно поступает водяной пар, образующийся в результате испарения с поверхности воды, почвы, испарения растениями (транспирация). При конденсации водяного пара и выпадении осадков вода покидает атмосферу. В среднем на любой момент времени в атмосфере содержится 12900 км^3 воды, что составляет $0,001\%$ от всего количества воды на Земле, но в 6 раз больше воды, содержащейся в руслах рек мира.

В атмосфере вода содержится в газообразном (водяной пар), капельно-жидком и твёрдом (кристаллики льда) состояниях. Для оценки содержания водяного пара в воздухе используются характеристики влажности воздуха.

Абсолютная влажность воздуха (a) – это количество водяного пара в граммах, содержащееся в 1 м^3 воздуха.

Парциальное давление (упругость) водяного пара (e) – это давление, которое имел бы водяной пар, если бы он один занимал объём газовой смеси при той же температуре (измеряется в гПа).

Зная e , можно определить абсолютную влажность по формуле:

$$a = 0,8 \frac{e}{1 + \alpha t}, \text{ г / м}^3$$

где α – коэффициент расширения воздуха; t – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$

Относительная влажность воздуха (f) – это отношение фактического парциального давления водяного пара в воздухе к парциальному давлению насыщенного водяного пара при той же температуре, выражается в процентах:

$$f = \frac{e}{E} 100\%$$

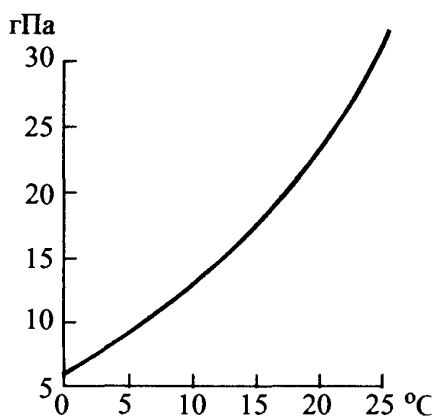
Дефицит насыщения (d) – недостаток водяного пара до насыщенного состояния, т.е. разность между E и e :

$$d = E - e, \text{ гПа}$$

Абсолютная влажность воздуха и парциальное давление водяного пара характеризуют содержание водяного пара в воздухе (*влажностное содержание*), а относительная влажность и дефицит насыщения – соотношение между фактическим влажностным содержанием воздуха и предельно возможным (*насыщенным состоянием*).

Точка росы (t_d) – температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе при данном атмосферном давлении, становится насыщенным.

Дефицит точки росы (D) – разность между температурой воздуха и точкой росы:



$$D = t - t_d$$

Рис. 1.5. Парциальное давление насыщенного водяного пара в зависимости от температуры

Парциальное давление насыщенного водяного пара E сильно зависит от температуры воздуха, увеличиваясь с ростом температуры (рис.). Т.е. с ростом температуры воздух способен содержать большее количество водяного пара. Поэтому при той же величине e с увеличением температуры относительная влажность уменьшается, а с понижением температуры увеличивается и при определенной температуре может достигнуть 100%, что соответствует стадии насыщения водяного пара, а температура – точке росы.

1.2 Испарение и конденсация водяного пара

Физическая сущность процесса испарения – молекулы воды, находясь в беспорядочном движении, отрываются от испаряющей поверхности. Совокупность молекул воды в воздушном пространстве образует водяной пар. Двигаясь над испаряющей поверхностью в различных направлениях, часть молекул возвращается в воду. Данная система имеет ряд состояний:

- 1) *испарение* – число вылетающих молекул больше числа возвращающихся.
- 2) *насыщение* – количество вылетающих молекул равно количеству возвращающихся в воду.
- 3) *конденсация* – число возвращающихся молекул превышает число отрывающихся.
- 4) *сублимация* – переход водяного пара из газообразного состояния в лёд, минуя жидкую фазу при низких температурах.

Скорость испарения увеличивается с повышением температуры испаряющей поверхности (с повышением температуры увели-

чивается число быстро движущихся молекул, способных оторваться от испаряющей поверхности).

Для поддержания процесса испарения требуется тепло – *теплотой испарения*. В отсутствии тепла испаряющее тело охлаждается. При конденсации происходит выделение этого тепла.

Скорость испарения выражается слоем воды (в миллиметрах), испарившейся за единицу времени, и может быть представлена зависимостью

$$V = K \frac{E - e}{p} g(v),$$

где E – парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре подстилающей поверхности; e – парциальное давление водяного пара, находящегося в воздухе над подстилающей поверхностью; p – атмосферное давление; $g(v)$ – функция скорости ветра; K – коэффициент пропорциональности.

Разность ($E - e$) выражает **закон Дальтона** и является основным фактором интенсивности испарения, т.е. *чем меньше водяного пара над испаряющей поверхностью при той же величине E , тем больше скорость испарения*.

Испарение зависит от скорости ветра, поскольку ветер и связанная с ним турбулентность относят водяной пар от испаряющей поверхности и создают дефицит насыщения.

Конденсация и сублимация происходят при наличии ядер конденсации. *Ядра конденсации* – это взвешенные в воздухе мельчайшие частицы почвы, горных пород, органических веществ, вулканической и космической пыли (поступают в атмосферу в большом количестве при её турбулентном перемешивании и под воздействием восходящих движений воздуха). В атмосфере водяные капельки воды не замерзают, находясь в переохлажденном состоянии в облаках и туманах при температуре до -40 °С. Однако большая часть капель переходит в твердое состояние уже при температурах от -12 до -17 °С.

1.3 Суточный и годовой ход характеристик влажности воздуха

Влагосодержание воздуха у земной поверхности имеет суточный и годовой ход. Суточный ход опосредованно определяется суточным ходом температуры, поскольку от температуры зависят, с одной стороны, количество влаги, поступающей в воздух от испарения, а с другой – турбулентный и конвективный перенос пара от подстилающей поверхности в вышележащие слои воздуха.

Суточный и годовой ход абсолютной влажности и парциального давления полностью взаимно идентичны. В тёплое время года над сушей в ясную погоду в суточном ходе парциальное давление имеет 2 минимума и 2 максимума.

Первый минимум (5-6 ч) – минимум температуры подстилающей поверхности и минимальное поступление влаги от испарения.

Первый максимум (8-10 ч) – с увеличением высоты Солнца повышается температура подстилающей поверхности и парциальное давление быстро растет, пока испарение преобладает над переносом пара вверх.

Второй минимум (15-16 ч) – после полудня турбулентный перенос влаги в вышележащие слои воздуха превышает поступление влаги от испарения и парциальное давление пара понижается.

Второй максимум (20-22 ч) – к вечеру при ослабевающей турбулентности земная поверхность остаётся еще достаточно тёплой, что обеспечивает превышение испарения над переносом влаги вверх. При этих условиях парциальное давление пара продолжает расти, достигая максимума, после чего испарение уменьшается до полного прекращения и парциальное давление также понижается до утреннего минимума.

Над морями суточный ход парциального давления следует за суточным ходом температуры.

Годовой ход парциального давления параллелен годовому ходу температуры. Большой годовой амплитуде температуры соответствует и большая годовая амплитуда парциального давления.

Суточный ход относительной влажности воздуха зависит от суточного хода парциального давления водяного пара и от суточного хода парциального давления насыщенного водяного пара E , которое, в свою очередь, зависит от суточного хода температуры воздуха. Величина E в суточном ходе изменяется намного больше, чем фактическое парциальное давление пара. Поэтому суточный ход относительной влажности с достаточным приближением обратен суточному ходу температуры воздуха. При этом **максимум относительной влажности** соответствует по времени **минимуму температуры воздуха**, а **минимум** приходится на время **максимальной суточной температуры воздуха**, т.е. на 14-15 ч.

В годовом ходе между относительной влажностью и температурой воздуха наблюдается обратная зависимость.

Распределение влагосодержания по высоте характеризуется тем, что наибольшее количество водяного пара сосредоточено в приземных слоях воздуха – по мере удаления от подстилающей поверхности содержание влаги резко уменьшается (на высоте 5 км парциальное давление водяного пара в 10 раз меньше, чем у земли).

В верхние слои атмосферы водяной пар доставляется в результате турбулентного и конвективного перемешивания воздуха и проникает даже в стратосферу.

С высотой парциальное давление водяного пара изменяется неравномерно: убывание его может чередоваться с ростом, например в подынверсионном слое.

Еще менее равномерно изменяется с высотой относительная влажность – с высотой убывает, но на уровнях облакообразования повышена. В слоях с температурными инверсиями относительная влажность уменьшается очень резко вследствие повышения температуры.

В горизонтальном направлении водяной пар переносится воздушными потоками на большие расстояния.

2 Туманы и дымка

Туман – это скопление продуктов конденсации или сублимации водяного пара, взвешенных в воздухе над поверхностью земли и вызывающих помутнение атмосферы (видимость составляет до 1 км).

Туманы делят:

I. По видимости:

- 1) *сильные* – дальность видимости менее 50 м;
- 2) *умеренные* – 50-500 м;
- 3) *слабые* – 500-1000 м;
- 4) *умеренная дымка* – 1-2 км;
- 5) *слабая дымка* – 2-10 км.

Дымку не следует путать с мглой. **Мгла** – это сплошное помутнение атмосферы, которое наблюдается в сухую погоду и вызывается множеством находящихся в воздухе мелких твердых частиц – пыли, дыма.

II. По агрегатному состоянию водяного пара:

- а) *водяные* (до -20°)
- б) *ледяные*.

III. По происхождению:

- 1) *туманы охлаждения:*

а) радиационные (образуются в результате радиационного выхолаживания подстилающей поверхности, от которой охлаждается прилегающий к ней слой воздуха до стадии конденсации водяного пара).

Благоприятными условиями на суше летом являются:

- ясная или малооблачная ночь;
- относительная влажность воздуха более 60%;
- инверсионное распределение температуры в слое 50-300 м;
- вогнутая поверхность рельефа, способствующая накоплению холодного воздуха в низине;
- слабый ветер (не более 2 м/с).

При полном штиле вместо тумана образуется **роса**.

Летом радиационные туманы поземные и низкие, вскоре после восхода Солнца. Зимой может сохраняться в течение всего дня, высота может достигать от сотен метров до километра.

б) адвективные (возникают при адвекции тёплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность). Образуются:

- при перемещении тропического морского воздуха в более высокие широты;
- летом при перемещении тёплого континентального воздуха на холодную поверхность моря;
- при перемещении тёплого морского воздуха на холодную поверхность континента в холодное время года;
- при перемещении воздуха с тёплой водной поверхности на холодную водную поверхность.

Адвективные туманы высокие, образуются в любое время суток и могут существовать при значительных скоростях ветра.

2) *туманы испарения* (наблюдаются над водной поверхностью при температуре воды выше температуры прилегающего к ней воздуха). Образование обусловлено охлаждением и конденсацией пара, поступающего с водной поверхности в воздух. Часто образуются осенью над реками и озерами. В холодное время года – над польнями среди льдов.

IV. По высоте:

- поземные (до 2 м);
- низкие (2-10 м);
- средние (10-100 м);
- высокие (более 100 м).

3 Измерение влажности воздуха

Наиболее распространенными методами измерения влажности воздуха являются психрометрический и гигрометрический, а приборами соответственно являются психрометр и гигрометр.

3.1 Психрометрический метод

Метод основан на измерении влажности воздуха по понижению температуры тела при испарении с его поверхности, за счёт затраты тепла на испарение воды. Приборы, основанные на психрометрическом методе – **психрометры**.

В психрометре используются 2 термометра, у одного из которых (смоченный термометр) резервуар обернут смачиваемым батистом. Вследствие испарения с поверхности батиста температура смоченного термометра будет ниже температуры сухого термометра, показывающего температуру воздуха, и тем ниже, чем меньше влажность воздуха.

Парциальное давление водяного пара в воздухе определяется по психрометрической формуле, на основании которой составлены психрометрические таблицы:

$$e = E' - AP(t-t') \cdot (1 + 0,0015 \cdot t'), \text{ гПа}$$

где E' – парциальное давление водяного пара, насыщающего пространство, при температуре смоченного термометра; A – психрометрический коэффициент, учитывающий скорость движения воздуха; P – атмосферное давление, гПа; t и t' – соответственно температура сухого и смоченного термометров, °С; $(1 + 0,00115 \cdot t')$ – учитывает зависимость теплоты испарения от температуры.

Станционный психрометр. Психрометр состоит из 2 психрометрических термометров ТМ-4 – один из них является сухим, второй – смоченным. Оба термометра закрепляются в штативе в вертикальном положении. Резервуар смоченного термометра обертывается батистом, конец которого погружен в стаканчик с дистиллированной водой. Стаканчик закрыт крышкой с прорезью, через которую пропущен батист.

Для станционного психрометра, установленного в жалюзийной будке, психрометрический коэффициент принят: $A = 7,947 \times 10^{-4}$, что соответствует скорости вентиляции в будке 0,8 м/с. При соблюдении определенных правил влажность воздуха психрометром можно измерять при отрицательных температурах воздуха до -10°C .

Психрометр аспирационный МВ-4М. Предназначен для измерения температуры и влажности воздуха в стационарных, экспедиционных условиях, а также в промышленных и бытовых помещениях. Физический принцип действия аспирационного психрометра такой же, как и станционного, но он содержит аспирационное устройство (вентилятор), создающее протяжку воздуха у резервуаров термометров с постоянной скоростью 2 м/с.

Пределы шкал термометров от -31° до $+51^\circ \text{C}$, цена деления шкал $0,2^\circ \text{C}$.

Парциальное давление водяного пара определяется по психрометрической формуле с аспирационным коэффициентом $A=6,620 \times 10^{-4}$ или по психрометрическим таблицам.

3.2 Гигрометрический метод

Метод основан на способности тел поглощать водяной пар из воздуха и в результате этого деформироваться или менять физические свойства. Приборы, основанные на гигрометрическом методе – **гигрометры**.

Различают гигрометры:

- деформационные;
- весовые (абсолютные);
- диффузионные;
- конденсационные;

- электролитические.

Наиболее применяемыми являются волосной и пленочный гигрометры.

Гигрометр волосной метеорологический М-19 (МВ-1).

Предназначен для измерения относительной влажности воздуха. Действие прибора основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину в зависимости от относительной влажности воздуха.

Гигрометр рассчитан на работу при температуре от -50 до $+55^{\circ}\text{C}$. Пределы измерения влажности от 30 до 100 %, погрешность измерения $\pm 10\%$. Цена деления шкалы 1%. Отсчеты делаются до целого деления шкалы.

При температуре воздуха ниже -10°C гигрометр служит основным прибором для измерения влажности воздуха.

Гигрометр пленочный метеорологический М-39. Предназначен для измерения относительной влажности воздуха. Принцип действия прибора основан на свойстве гигроскопической органической пленки изменять свои линейные размеры в зависимости от относительной влажности воздуха.

Гигрометр рассчитан на работу при температуре воздуха от -60 до $+35^{\circ}\text{C}$. Пределы измерения от 30 до 100%, погрешность измерения $\pm 10\%$, цена деления шкалы 1%.

Гигрограф метеорологический М-21. Предназначен для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха. Чувствительным элементом прибора является пучок волос, который с двух концов закреплен в цапфах кронштейна.

Гигрограф не является абсолютным прибором, и для определения по нему относительной влажности воздуха вводят поправки, которые определяют по графику, составленному на основании сравнения значений относительной влажности воздуха в срочные часы, полученные по психрометру, и значений, снятых с ленты гигрографа с точностью до 1%.

Гигрограф метеорологический М-39. В качестве чувствительного элемента используется круглая мембрана из гигроскопической органической пленки, как и в пленочном гигрометре. В остальном конструкция аналогична волосному гигрографу.

ЛЕКЦИЯ 21 ОБЛАКА И АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

1 Облака

2 Атмосферные осадки и их измерение

1 Облака

Облако – это видимое скопление продуктов конденсации или сублимации водяного пара на некоторой высоте. Из облаков выпадают осадки, в них возникают грозы, они влияют на приток лучистой энергии к подстилающей поверхности и, следовательно, на температурный режим почвы, водоемов и воздуха.

Облака образуются только в случае подъёма воздуха и его адиабатического охлаждения. При опускании воздуха, в результате адиабатического разогрева, облака исчезают.

К процессам, порождающим облака, относятся:

а) наклонно восходящие движения тёплого воздуха поверх более холодного потока. При этом образуются слоистообразные облака (перистые, перисто-слоистые, высокосоистые и слоисто-дождевые);

б) волнообразные движения воздуха, приводящие к образованию волнистообразных облаков (перисто-кучевые, высококучевые и слоисто-кучевые);

в) вертикально восходящее движение воздуха, порождающее кучевообразные облака (кучевые и кучево-дождевые).

Высота облаков и их строение зависят от положений уровней конденсации, нулевой изотермы, замерзания и конвекции. *Уровень конденсации* совпадает с нижней границей облаков. Между уровнем конденсации и уровнем нулевой изотермы облако состоит из водяных капель, а в отдельных случаях – из тающих снежинок. Выше уровня нулевой изотермы облака состоят преимущественно из переохлажденных водяных капель, которые наблюдаются до уровня замерзания. *Уровень замерзания* располагается на высоте, где температура составляет от -12 до -17° C. Выше этого уровня происходит сублимация водяного пара, а также замерзание переохлажденных капель воды. В отдельных случаях вода в виде капель может находиться при температуре до -40° C. Выше уровня замерзания облака состоят в основном из ледяных кристаллов.

Международная классификация облаков:

1) **Облака верхнего яруса** ($h > 6$ км), состоят из мельчайших кристалликов льда:

а) *перистые* (cirrus, Ci) – отдельные белые волокнистые облака, обычно прозрачные. Сквозь них просвечивают Солнце и Луна, яркие звезды. Осадков не дают. Разновидность – перистые когтевидные – cirrus uncinus (Ci imc);

б) *перисто-кучевые* (cirrocumulus, Cc) – белые тонкие облака в виде мелких волн, ряби, без серых оттенков. Осадков не дают;

в) *перисто-слоистые* (cirrostratus, Cs) – беловатая или голубоватая пелена слегка волокнистого строения, сквозь которую просвечивают Солнце и Луна. Вокруг светил образуется гало. В Арктике могут давать осадки в виде мелкого снега. Как правило пелена, надвигаясь, постепенно закрывает все небо.

2) **Облака среднего яруса** ($h=2-6$ км):

а) *высококучевые* (altocumulus, Ac) – белые, иногда сероватые облака в виде волн или гряд, состоящие из отдельных пластин или хлопьев, иногда сливающихся в сплошной покров. Состоят преимущественно из переохлажденных капель воды.

Высококучевые облака бывают:

- просвечивающие (Alto cumulus translucidus, Ac trans);

- плотные (Alto cumulus opacus, Ac op), в виде сплошного покрова, на нижней поверхности которого рельефно выступают темные волны, гряды или пластины;

б) *высокослоистые* (altostratus, As) – серая или синеватая однородная пелена слегка волокнистого строения. Как правило, постепенно закрывают все небо. большей частью состоят из переохлажденных капель воды и ледяных кристаллов. Могут выпадать слабые осадки, достигающие поверхности земли в виде редких капель или снежинок. Эти облака могут быть:

- просвечивающие (Altostratus translucidus, As trans) – Солнце и Луна просвечивают, как через матовое стекло, с образованием венцов вокруг светил;

- плотные (Altostratus opacus, As op) – Солнце и Луна не просвечивают, но их местоположение на небе можно определить по расплывчатому пятну.

3) **Облака нижнего яруса** ($h < 2$ км):

а) *слоисто-кучевые* (stratocumulus, Sc) – серые облака, состоящие из крупных гряд, волн, пластин, разделенных просветами или сливающихся в сплошной серый волнистый покров. Состоят преимущественно из капель воды. В зимнее время состоят из переохлажденных капель воды, иногда встречается некоторое количество ледяных кристаллов и снежинок. Зимой из облаков могут выпадать осадки в виде снега;

б) *слоистые* (stratus, St) – однородный слой серого цвета, сходный с туманом, но расположенный на некоторой высоте. Состоят из капель воды, при температуре ниже 0° C капли в переохлажденном состоянии. Из облаков могут выпадать осадки в виде мороси;

в) *слоисто-дождевые* (nimbostratus, Ns) – темно-серый облачный покров, иногда с синеватым оттенком. Обычно закрывает всё небо сплошным слоем без просветов. Из облаков выпадают осадки в виде обложного дождя или снега.

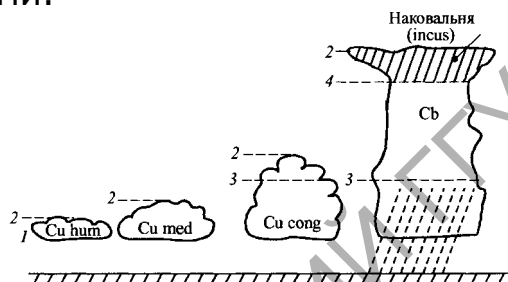
4) **Облака вертикального развития (конвективные облака):**

а) **кучевые** (cumulus, Cu) – плотные, развитые по вертикали облака с белыми куполообразными вершинами и плоским сероватым основанием. Могут представлять собой отдельные, редко расположенные облака или образовывать скопления, закрывающие почти все небо. Облака состоят в основном из капель воды, при температуре ниже 0 °С капли воды находятся в переохлажденном состоянии.

Кучевые облака подразделяются на:

- плоские кучевые (cumulus humilis, Cu hum) – толщина меньше горизонтальной протяженности;
- кучевые средние (cumulus mediocris, Cu med);
- мощные кучевые (cumulus congestus, Cu cong) – сильно развиты по высоте. Изредка из них могут выпадать отдельные капли дождя. В тропиках могут давать ливни;

б) **кучево-дождевые** (cumulonimbus, Cb) – мощные белые облачные массы с темным основанием. Поднимаются в виде гор или башен, верхние части которых имеют волокнистую структуру. Верхняя часть облака состоит из кристаллов льда (наковальня - incus). Из облаков выпадают ливневые осадки, летом часто с грозами.



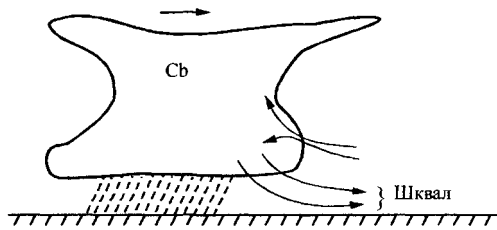
Стадии развития конвективных облаков: уровни: 1–конденсации, 2–конвекции, 3–нулевой изотермы, 4–кристаллизации

Облака вертикального развития образуются при вертикальном подъёме воздуха (конвекции) и связанного с этим адиабатического охлаждения воздуха до стадии конденсации и сублимации водяного пара. Конвекция может быть *термическая* в неустойчивом слое воздуха и *динамическая* при натекании воздуха на горный хребет или при прохождении атмосферного фронта (холодного), когда холодный воздух клином подтекает под тёплый, вынуждая его к бурному восходящему движению.

Внутримассовые конвективные облака на суше летом имеют суточный ход, появляются вскоре после восхода Солнца, наибольшего развития достигают в полуденные часы и с заходом Солнца растекаются. В тропиках над океанами кучевые облака имеют обратный суточный ход, т.е. развиваются в ночное время (рис.).

При прохождении атмосферного фронта эти облака могут быть в любое время суток.

Если уровень температурной инверсии находится ниже уровня конденсации, то облака не образуются.



Шквал при прохождении кучево-дождевого облака

части облака (рис.).

При изменении условий образования облаков (вертикальная температурная стратификация, влажность, уровень конденсации, уровень замерзания) облака могут видоизменяться.

Перистые облака могут преобразоваться в перисто-слоистые. Перисто-слоистые облака при значительном уплотнении и снижении переходят в высокосоистые, которые при уплотнении и опускании нижней границы переходят в слоисто-дождевые. Высококучевые часто переходят в слоисто-кучевые. Слоисто-кучевые при снижении могут перейти в слоистые и в слоисто-дождевые. Также возможен обратный переход облаков.

2 Атмосферные осадки и их измерение

2.1 Атмосферные осадки и их виды

Атмосферные осадки – это капли воды и кристаллы льда, выпадающие из облаков или осаждающиеся из воздуха на поверхности земли и предметах.

При *визуальной* оценке осадки, выпадающие из облаков, делят на:

- слабые,
- умеренные
- сильные.

Различают следующие **виды осадков, выпадающих из облаков**:

1) *Твёрдые осадки*:

а) снег – ледяные или снежные кристаллы (снежинки), чаще всего имеющие форму звездочек или хлопьев;

б) снежная крупа – непрозрачные сферические крупинки белого или матово-белого цвета диаметром 2-5 мм;

в) снежные зёрна – непрозрачные матово-белые палочки или крупинки диаметром менее 1 мм;

г) ледяная крупа – ледяные прозрачные крупинки диаметром до 3 мм с непрозрачным ядром в центре;

д) ледяной дождь – прозрачные ледяные шарики размером 1-3 мм;

е) град – кусочки льда различных форм и размеров. Чаще всего диаметр градин составляет 1-3 см, но в отдельных случаях

Прохождение крупных кучево-дождевых облаков летом часто сопровождается шквалом, сильным, продолжительностью в несколько минут, ветром со скоростью до 20-30 м/с. Шквалы возникают в результате образования вихревого движения воздуха с горизонтальной осью в передней по ходу движения

может превышать 10 см.

2) *Жидкие осадки:*

а) дождь – капли диаметром от 0,5 до 7,0 мм;

б) морось – капли диаметром 0,05-0,5 мм, находящиеся как бы во взвешенном состоянии, так что падение их почти незаметно.

3) *Смешанные осадки* – мокрый снег – тающий снег или смесь снега с дождем.

По характеру выпадения различают осадки:

- обложные (выпадают обычно из системы фронтальных слоисто-дождевых и высокостроистых облаков, а иногда и из слоисто-кучевых; характеризуются умеренной, мало меняющейся интенсивностью, охватывают большие площади и могут непрерывно или с короткими перерывами продолжаться в течение нескольких часов и даже десятков часов);

- ливневые (выпадают из кучево-дождевых облаков, в тропических районах могут выпадать из мощных кучевых облаков; отличаются внезапностью начала и конца выпадения, резкими колебаниями интенсивности и сравнительно малой продолжительностью);

- морозящие (выпадают из слоистых и изредка из слоисто-кучевых облаков; это может быть морось, мельчайшие снежинки или снежные зерна. Интенсивность морозящих осадков очень мала).

Выделяют **осадки, образующиеся на поверхности земли и предметах.**

1) *Жидкие осадки:*

- роса – капельки воды, осевшие на внешней стороне листьев растений и различных предметах (образуется в результате конденсации водяного пара непосредственно на поверхности предмета в ясные тихие ночи, благоприятствующие охлаждению лучеиспусканием).

2) *Твёрдые осадки:*

- иней (имеет вид очень тонкого слоя снежных кристаллов на открытых поверхностях. Образуется при тех же условиях, что и роса, но при температуре ниже 0° С);

- изморозь (снеговидный рыхлый осадок, нарастающий на ветвях деревьев, проводах, на острых выступах предметов с наветренной стороны; толщина отложения может достигать нескольких сантиметров, образуется в туманную морозную погоду).

- гололед (слой льда, образующийся на деревьях, проводах, столбах, на поверхности земли от намерзания капель переохлажденного дождя; обычно наблюдается при температурах от 0 до -3°С, реже при более низких температурах).

2.2 Наблюдение за осадками и измерение их количества

Количество жидких и твёрдых атмосферных осадков измеряют высотой слоя воды (в мм), образованного осадками на горизон-

тальной (непроницаемой) поверхности. Интенсивность осадков измеряется в миллиметрах в минуту. Для измерения осадков используют осадкомер и плювиограф.

Осадкомер Третьякова 0-1. Предназначен для сбора жидких и твёрдых осадков для их последующего измерения.

Приёмный сосуд осадкомера выполнен в виде цилиндрического ведра, перегороженного в средней его части конусообразной диафрагмой с отверстием посередине. Площадь приёмного отверстия – 200 см². В летнее время для уменьшения испарения собранной воды в диафрагму вставляется воронка, через которую жидкие осадки поступают в нижнюю часть ведра. Для слива собранных осадков имеется носик, который при рабочем положении осадкомера закрыт съёмным колпачком. Колпачок на носике и диафрагма с вставленной в неё воронкой служат для предохранения собранных осадков от испарения, что особенно важно в жаркие летние дни, когда ведро сильно нагревается. В зимнее время воронкой не пользуются.

Для уменьшения искажений показаний осадкомера вследствие как надувания в него, так и выдувания из него твёрдых осадков предусмотрена планочная защита, состоящая из 16 изогнутых металлических пластин, собранных вокруг ведра конусом.

Измерение осадков производится 2 раза в сутки для получения количества осадков за дневную и ночную половину суток – в 8 и 20 часов поясного зимнего времени.

Съёмку данных производят в помещении, где сливают воду в измерительный стакан и по положению уровня воды относительно шкалы стакана отсчитывают число делений стакана, округляя до целых делений (1 деление шкалы стакана – 0,1 мм осадков).

Если осадки твёрдые или смешанные, то измерения производят после того, как осадки растают. Сумму осадков за сутки вычисляют как сумму результатов измерений за 2 срока.

Плювиограф П-2. Предназначен для регистрации количества и интенсивности жидких осадков. В качестве приёмника осадков служит открытый цилиндрический сосуд с воспринимающей площадью 500 см². Собирающаяся в этом сосуде вода стекает по трубке в расположенный ниже водосборный сосуд, в котором помещён поплавок с вертикальным стержнем со стрелкой и пером на верхнем конце. Поплавок поднимается по мере накопления осадков в сосуде, и перо вычерчивает линию на диаграммной ленте, укрепленной на вращающемся барабане (с суточным оборотом). При наполнении водосборного сосуда вода автоматически сливается через стеклянную трубку-сифон. В момент слива перо опускается по отвесной линии на нулевую отметку графика.

Росограф. Основан на принципе взвешивания росы, выпавшей на приёмную поверхность. Измерительным прибором являются

весы. Росограф размещен в стандартном корпусе, как термограф и другие самописцы.

Наблюдения за снежным покровом. Это ежедневные наблюдения за изменениями снежного покрова и периодические ландшафтно-маршрутные снегомерные съёмки для определения снегонакопления и запаса воды в снеге на элементах природного ландшафта.

Ежедневные наблюдения ведутся с момента образования снежного покрова до его исчезновения. При этом определяют:

а) *степень покрытия снежным покровом земли* – оценивают по 10-балльной шкале (0,1 часть видимой поверхности соответствует 1 баллу);

б) *характер залегания визуальным осмотром окрестности:*

- равномерный (без сугробов);
- неравномерный (небольшие сугробы);
- очень неравномерный (большие сугробы);

в) *состояние поверхности почвы:*

- замерзшая;
- оттаявшая;

г) *структуру снега:*

- снег свежий;
- пушистый;
- липкий;
- рассыпчатый.

Высоту снежного покрова при ежедневных наблюдениях измеряют по 3 постоянным снегомерным рейкам, установленным в вершинах треугольника со сторонами около 10 м. Одна из реек располагается вблизи почвенно-глубинных термометров. Отсчеты берут с точностью до 1 см. Высота снежного покрова вычисляется как средняя из отсчетов по трем рейкам.

Ежедневные наблюдения производятся в срок, ближайший к 8 ч поясного декретного (зимнего) времени.

Основная цель маршрутных снегосъёмок – определение запасов воды в снежном покрове. На маршруте измеряют высоту снежного покрова и плотность снега. Съёмки проводятся на основных формах ландшафта, характерных для окружающей местности: поле, лес, овраги, лога и др. Длина полевого маршрута 2000 или 1000 м. Маршруты располагаются на расстоянии не более 5 км от станции.

В лесных районах и в местности с ровным рельефом, на небольших полях, располагающихся среди лесов, длина маршрута 1000 м. На таком маршруте высоту снежного покрова измеряют через 20 м, а плотность снега – через 100 м.

Высоту снежного покрова при снегомерных съёмках измеряют *переносной снегомерной рейкой*, плотность снега – *весовым снегомером*.

Снегомер состоит из снегозаборника, весов и лопатки. Снегозаборник выполнен в виде металлического цилиндра, который с одного конца закрывается крышкой, а с другого оканчивается кольцевым утолщением с пилообразной режущей кромкой. Вдоль цилиндра нанесена шкала от 0 до 50 см. Высота цилиндра 60 см, площадь внутреннего поперечного сечения 50 см. На цилиндре находится подвижное кольцо с дужкой для подвешивания к весам.

Наблюдения за гололедно-изморозевыми отложениями. К гололедно-изморозевым отложениям относятся отложения льда (стекловидного, кристаллического, снеговидного) на поверхности сооружений, ветвях деревьев, проводах.

Определяются следующие характеристики гололедно - изморозевых отложений:

- вид гололедно-изморозевого отложения;
- продолжительность обледенения (время начала и окончания явления);
- размеры отложения на проводе;
- масса отложения на одном метре провода;
- ход развития процесса гололедно-изморозевого отложения.

Наблюдения проводятся на гололедном станке. Станок состоит из 3 стоек с укрепленными на них 2 парами проводов, которые служат приёмниками отложений льда.

Наблюдения проводят каждые 2 часа.

ЛЕКЦИЯ 22 БАРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

- 1 Понятие об атмосферном давлении
- 2 Распределение давления в пространстве
- 3 Измерение атмосферного давления

1 Понятие об атмосферном давлении

Атмосфера, окружающая земной шар, оказывает давление на поверхность земли и на все предметы, находящиеся над землей. В покоящейся атмосфере давление в любой точке равно весу вышележащего столба воздуха, простирающегося до внешней периферии атмосферы и имеющего сечение, равное единице.

В метеорологии давление выражают в гектопаскалях (гПа) с точностью до десятых долей. Но так как атмосферное давление измеряется высотой ртутного столба, уравнивающего это давление, то применяется еще и внесистемная единица – миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.): 1 мм рт. ст. = 1,333 гПа; 1 гПа = 0,75 мм рт. ст.

Давление, измеренное на метеорологических станциях ртутным барометром, приводят к температуре 0 °С, ускорению свободного падения на широте 45° и к уровню моря.

С высотой атмосферное давление понижается. Изменение давления на единицу высоты называется вертикальным градиентом атмосферного давления:

$$G_B = - \Delta P / \Delta Z$$

где ΔP – разность давления на двух уровнях; ΔZ – разность высот

При определении вертикального градиента давления за единицу высоты принимают 100 м.

Величина градиента зависит от давления и температуры воздуха. Поэтому наибольшие вертикальные градиенты давления наблюдаются в нижнем слое атмосферы, особенно при низких температурах, а с высотой они быстро уменьшаются.

Величина, обратная вертикальному градиенту давления – барическая ступень. *Барическая ступень* – это высота h , на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на единицу давления, и выражается в м/гПа или м/мм рт. ст.:

$$h = - (\Delta Z / \Delta P)$$

При одном и том же давлении барическая ступень больше в теплом воздухе, чем в холодном.

При помощи барической ступени можно вычислить относительную высоту местности или построек:

$$h = DH (P_1 - P_2),$$

где h – высота; DH – барическая ступень, P_1 – давление у подножья, P_2 – давление у вершины

Разность давления на разных высотах можно определить с помощью барометрической формулы:

$$Z_2 - Z_1 = 18400 (1 + \alpha t) \lg P_1 / P_2$$

где Z_2 и Z_1 – высоты верхней и нижней точек; α – коэффициент расширения воздуха (=0,004); t – средняя по высоте слоя температура воздуха, °С; P_1 и P_2 – давление на верхнем и нижнем уровнях.

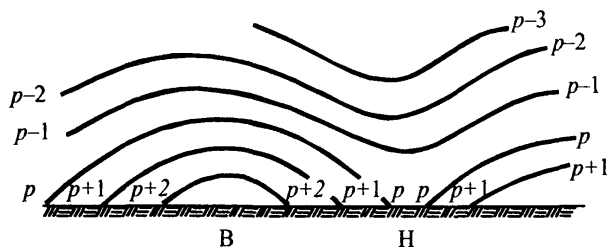


Рис. 1.9. Вертикальный разрез изобарических поверхностей в циклоне (Н) и антициклоне (В)

С помощью барометрической формулы решаются следующие задачи:

- приведение давления к уровню моря;
- вычисление распределения давления по высоте;
- определение превышений по разности давления (барометрическое нивелирование).

2 Распределение давления в пространстве

Распределение давления в пространстве представляют с помощью изобарических поверхностей.

Изобарическая поверхность – это поверхность, давление всех точек которой одинаково. Вследствие изменения температуры и давления в горизонтальном направлении изобарические поверхности не параллельны друг другу и земной поверхности и по своей форме очень разнообразны. В одних местах изобарические поверхности прогибаются вниз, образуя «котловины», в других – они выгибаются вверх, образуя «холмы» (рис.).

Изобары – это линии пересечения изобарических поверхностей с горизонтальной поверхностью, т.е. это линии, соединяющие точки с одинаковым давлением. На синоптических картах изобары проводят через равные интервалы давления, обычно через 5 гПа.

В зависимости от формы изобар и распределения давления различают следующие виды барических образований (рис.).

Области замкнутых изобар с минимальным давлением – *барические минимумы*, или *циклоны*. В области барического минимума давление возрастает от центра к периферии. Области замкнутых изобар с повышенным давлением в центре – *барические максимумы*, или *антициклоны*. В области барического максимума давление от центра к периферии убывает.

Ложбина – это связанная с циклоном и вытянутая от его центра полоса пониженного давления, вклинивающаяся между двумя областями повышенного давления.

Гребень – это связанная с антициклоном и вытянутая от его центра полоса повышенного давления, расположенная между двумя областями пониженного давления.

Седловина – это барическая область, заключенная между двумя циклонами и двумя антициклонами, расположенными в шахматном порядке.

Горизонтальные размеры барических образований составляют от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. Их вертикальная протяженность достигает нескольких километров.

В циклоне изобарические поверхности прогнуты вниз в виде воронок, а в антициклоне – выгнуты вверх в виде куполов.

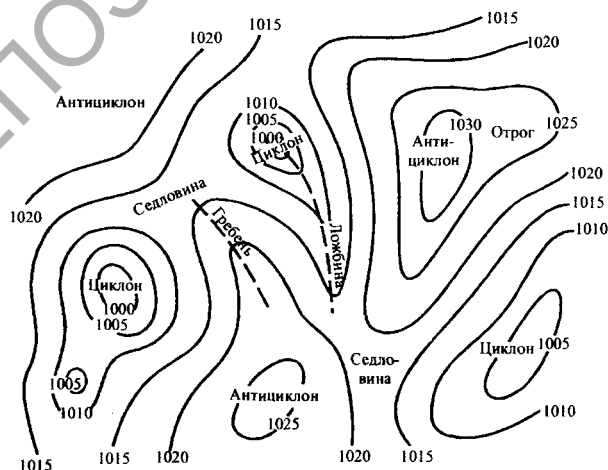


Рис. 1.10. Барические системы

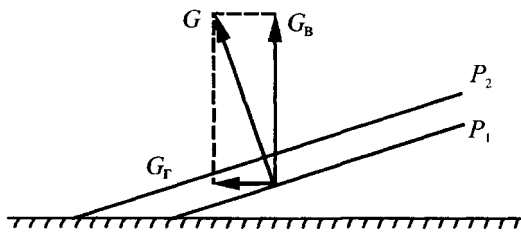


Рис. 1.12. Полный градиент давления, его горизонтальная и вертикальная составляющие

На расположение изобарических поверхностей в пространстве большое влияние оказывает температура воздуха. При одинаковом давлении у земной поверхности одни и те же изобарические поверхности в тёплом воздухе лежат выше, чем в холодном и имеют наклон в сторону холодного воздуха (в холодном воздухе, как более плотном, давление с высотой уменьшается быстрее, чем в тёплом).

Количественное изменение давления в пространстве характеризуется полным градиентом давления G , который представляет собой вектор, направленный по нормали к изобарической поверхности в сторону убывания давления, а по величине равный изменению давления на единицу расстояния (рис.). Полный градиент давления можно разложить на вертикальную и горизонтальную составляющие.

В атмосфере давление в вертикальном направлении изменяется во много раз быстрее, чем в горизонтальном. Поэтому изобарические поверхности наклонены к горизонту под углом, составляющим всего несколько секунд и лишь иногда минут.

Горизонтальный градиент давления характеризует изменение давления в горизонтальном направлении. Так как линии пересечения изобарических поверхностей с горизонтальной поверхностью являются изобарами, то можно сказать, что горизонтальный градиент давления на определенном уровне представляет собой вектор, направленный по нормали к изобаре в сторону низкого давления, а по величине равный изменению давления на единицу расстояния:

$$\mathbf{G} = - (\Delta P / \Delta n)$$

где ΔP – разность давления между двумя точками, находящимися на нормали к изобаре; Δn – расстояние между ними. Знак «-» показывает, что в горизонтальном направлении давление убывает.

Чем меньше расстояние между изобарами, тем больше горизонтальный градиент давления. За единицу горизонтального расстояния при определении градиентов принимается расстояние на уровне моря, соответствующее 1° по меридиану, т.е. 111 км (в практических расчетах – 100 км). Тогда горизонтальный градиент давления имеет размерность гПа/100 км.

Атмосферное давление в каждой точке земной поверхности не остается постоянным. Наиболее явно наблюдаются непериодические изменения давления, причиной которых являются перемещения барических образований, а также адвекция тепла или холода. Эти изменения могут быть плавными и небольшими или большими и резкими. За сутки давление может меняться на 20-30 гПа.

На фоне непериодических изменений давления выделяются также и периодические суточные, и годовые его колебания.

В суточном ходе давления обнаруживаются два максимума и два минимума. **Максимумы** отмечаются в 10 и 22 ч, а **минимумы** – в 4 и 16 ч. Суточный ход давления наиболее четко выражен в тропических широтах, где его амплитуда составляет 3-4 гПа. В умеренных широтах – 0,3-0,6 гПа (суточный ход давления сильно перекрывается непериодическими изменениями, связанными с прохождением циклонов и антициклонов).

Годовой ход давления обнаруживается по средним месячным его значениям. В средних широтах амплитуда годового хода давления больше, чем в экваториальных.

Над континентами в соответствии с годовым ходом температуры годовой ход давления выражен сильнее, чем над океанами, а характер его обратен океаническому.

Над континентами максимум давления отмечается зимой, а минимум – летом. Над океанами – наоборот.

Глобальное распределение атмосферного давления на Земле характеризуется чередованием четко определенных зон высокого (тропики, полюса) и низкого (экватор, умеренные широты) давления. Эти зоны распадаются на замкнутые области – высокого давления (*барические максимумы*) и низкого давления (*барические минимумы*). Барические максимумы (Азорский, Гавайский, Азиатский и др.) и минимумы (Исландский, Алеутский и т.д.) играют значительную роль в циркуляции атмосферы и установлении климата и погодных условий той или иной области Земли.

3 Измерение атмосферного давления

Барометры стационарные чашечные ртутные СР-А и СР-Б. Пределы измерений для первой модели от 810 до 1070 гПа, для второй – от 680 до 1070 гПа. Максимальная погрешность измерения не более $\pm 0,5$ гПа.

Эти барометры имеют калиброванную стеклянную трубку диаметром 7,2 мм, длиной 800 мм, запаянную с верхнего конца и заполненную под вакуумом очищенной ртутью. Нижний конец трубки подсоединен к чашке, состоящей из трех частей. Средняя часть чашки имеет диафрагму с отверстиями, которая служит для гашения колебаний ртути, что исключает попадание воздуха в барометрическую трубку. С атмосферным воздухом барометр сообщается через отверстие в крышке чашки, закрываемое винтом. Трубка защищена металлической оправой, на которой нанесена шкала.

В прорези оправы имеется подвижный нониус, который перемещается вращением кремальеры. Нониус позволяет брать отсчеты с точностью до 0,1 деления основной шкалы. На оправе укреплен термометр (термометр-атташе) для определения температуры ртути барометра, а сверху на оправе имеется кольцо для подвешивания барометра на месте установки.

Барометр-анероид. Относится к деформационному виду приборов для измерения атмосферного давления. Чувствительным элементом в таких барометрах является анероидная коробка (барокоробка), преобразующая изменения атмосферного давления в линейные перемещения (деформации).

Анероидная коробка состоит из 2 спаянных или сваренных по периметру круглых мембран (диаметром 30-80 мм), имеющих жесткие центры с крепёжными ножками. Из отдельных коробок, скреплённых между собой, могут собираться блоки. Чувствительность блока равна суммарной чувствительности составляющих её коробок. Деформации коробки при изменении атмосферного давления через передаточный механизм вызывают перемещение стрелки относительно делений шкалы.

Барометры-анероиды уступают в точности ртутным.

Наиболее распространены барометры-анероиды **БАММ** (погрешность измерения $\pm 2,5$ гПа при температуре от -10° до $+40^{\circ}\text{C}$; и **МД-49-2** (погрешность измерения $\pm 0,8$ гПа при температуре от -40° до $+40^{\circ}\text{C}$).

Барограф метеорологический М-22. Предназначен для непрерывной регистрации атмосферного давления. Пределы измерения от 780 до 1060 гПа, погрешность измерения $\pm 1-2$ гПа. Может работать при температуре воздуха от -10 до $+45^{\circ}\text{C}$. Чувствительный элемент – блок из анероидных коробок.

Механизм вращения барабана такой же, как у термографа и гигрографа. В барографах обычно применяется недельный часовой механизм (один оборот барабана за 176 ч).

ЛЕКЦИЯ 23 ВЕТЕР И ОБЩАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ

- 1 Общая циркуляция атмосферы
- 2 Местные ветры
- 3 Суточный и годовой ход ветра
- 4 Измерение параметров ветра

1 Общая циркуляция атмосферы

Общая циркуляция атмосферы – это система крупномасштабных воздушных течений, по размерам соизмеримых с большими частями материков и океанов. Она является важным климатообразующим фактором – обеспечивает обмен воздушными массами между низкими и высокими широтами, между континентами и океанами, перенос влаги с океанов на материки.

Главная причина возникновения воздушных течений – неравномерное распределение атмосферного давления, которое, в свою очередь, обусловлено неравномерным распределением по поверхности Земли тепла, получаемого от Солнца. При этом большое значение имеет распределение суши и океанов.

На полюсах обоих полушарий располагаются области высокого давления, на широте 65° с. и ю. ш. – субполярные пояса низкого давления; на широте 35° – субтропические пояса высокого давления, на экваторе – пояс низкого давления (*экваториальная депрессия*).

Соответственно поясному распределению давления, под действием градиентной силы, силы Кориолиса, а в слое трения также силы трения воздуха о подстилающую поверхность, возникает система воздушных течений, опоясывающих земной шар. При этом следует иметь в виду, что под влиянием силы Кориолиса ветер отклоняется в северном полушарии вправо, а в южном полушарии – влево. В результате образуется поясное распределение ветров:

- 1) *В слое трения:*
 - а) от полюса до 65° широты: в северном полушарии ветры северо-восточные, в южном полушарии – юго-восточные;
 - б) от 65° до 35° широты: в северном полушарии юго-западные ветры, а в южном – северо-западные;
 - в) от 35° широты до экватора: в северном полушарии – северо-восточные ветры, в южном – юго-восточные.
- 2) *В нижней и средней тропосфере:*
 - а) от полюса до 65° широты: ветры дуют с востока на запад (зона восточного переноса);
 - б) от 65° до 35° широты: ветры имеют направление с запада на восток (зона западного переноса);
 - в) от 35° широты до экватора: зона восточного переноса.
- 3) *В верхней тропосфере выше 4-5 км и нижней стратосфере до 12-14 км:*

- а) экватор – восточный перенос;
 - б) остальные области – западный перенос.
- 4) *В стратосфере выше 20 км:*

а) летнее полушарие: полярный антициклон с восточным переносом;

б) зимнее полушарие: полярный циклон с западным переносом. За год из северного полушария в южное и обратно переносится 1013 т воздуха, что составляет 1/500 всей массы атмосферы.

В реальности широтные зоны давления сохраняются, но они образованы не в виде сплошных поясов, охватывающих земной шар, а представлены в виде отдельных больших циклонов (минимумы давления) и антициклонов (максимумы давления) – это *центры действия атмосферы*, которые бывают *постоянные* (перманентные) и *временные* (сезонные).

Центры действия атмосферы:

1) *Экваториальная зона* – пояс пониженного давления (экваториальная депрессия).

2) *Субтропические пояса высокого давления* (30-35° широты):

а) северное полушарие: в Атлантическом океане – азорский максимум, в Тихом океане – гавайский максимум.

б) южное полушарие: южно-тихоокеанский, южно-индийский и южно-атлантический максимумы.

3) *Внетропические широты на материках* (зимой охлаждаются сильнее, чем океаны) – азиатский максимум, канадский зимний антициклон.

4) *Субполярные пояса пониженного давления* (60-65° широты):

а) северное полушарие: исландский минимум, алеутский минимум

б) южное полушарие: циклоны, окаймляющие побережье Антарктиды.

5) *Районы повышенного давления северного и южного полюсов.*

В соответствии с распределением атмосферного давления у земной поверхности возникает система воздушных течений:

1) *В полярных районах* воздушные потоки направлены с востока на запад.

2) *В умеренных широтах* воздушные потоки направлены с запада на восток (западный перенос), а у земной поверхности (под влиянием силы трения), в северном полушарии – юго-западное, в южном – северо-западное. В этой зоне постоянно возникают циклоны и антициклоны, которые перемещаются в направлении общего переноса и способствуют интенсивному межширотному обмену воздушных масс.

Особенно сильными ветрами с большой повторяемостью отличается зона западного переноса южного полушария. Часто эти ветры достигают сильного шторма (отсюда название «ревущие сороковые»).

3) В тропических широтах образуются пассаты – постоянные в течение года ветры со скоростью 5-6 м/с, имеющие северо-восточное направление в северном полушарии, и юго-восточное – в южном. В области пассатов господствует ясная сухая погода.

4) В полосе экватора, являющейся зоной сходимости (конвергенции) пассатов, находится пояс пониженного давления (экваториальная депрессия). Здесь наблюдаются слабые ветры переменных направлений или отсутствие ветра – штиль. Эта зона характеризуется мощной конвективной облачностью, обильными осадками и частыми грозами.

В некоторых районах Земли создаются условия для образования муссонов (от арабского «маусим» – время года) – устойчивых воздушных течений, дважды в год меняющих свое направление на противоположное (летний и зимний муссоны). Различают тропические и внетропические муссоны.

Тропические муссоны возникают в результате сезонного неравномерного нагрева океана и континентов. Тропические муссоны хорошо выражены в Южной и Юго-Восточной Азии.

Тропические муссоны создают особый тип погоды. При летнем муссоне, дующем с океана, устанавливается пасмурная, с большим количеством осадков погода, при зимнем муссоне – ясная сухая.

Внетропические муссоны распространены в районах восточных побережий материков в умеренных широтах. При летнем муссоне ветры дуют с океана на материк, зимой – с материка на океан, что обусловлено различием нагревания и охлаждения материков и океанов в течение года и связанным с этим распределением давления воздуха. Хорошо выражены внетропические муссоны на Дальнем Востоке России, в Китае, Японии.

Важным фактором межширотного обмена энергией являются тропические циклоны, которые отличаются от внетропических меньшими размерами (в поперечнике обычно 400-600 км, редко до 1000 км), большими перепадами давления воздуха между периферией и центром и, следовательно, большими горизонтальными градиентами давления, большими скоростями ветра (25-30 м/с, до 50-100 м/с), обильными ливневыми осадками с сильными грозами. По существу это сплошное грозовое облако.

Зарождаются в тропической зоне над океанами в широтах от 0 до 20° обоих полушарий. Условиями образования их являются высокая температура на поверхности океана (не ниже 27 °С) и большая влажность воздуха, что обеспечивает большую энергию неустойчивости воздуха, необходимую для развития циклона.

Тропические циклоны, возникающие на востоке Азии – *тайфуны*, в Индийском океане – *орканы*, в Атлантическом океане – *ураганы*.

Зарождаясь в тропиках, циклоны перемещаются в северо-западном направлении к высоким широтам со скоростью 10-15 км/ч. Переходя в умеренные широты, они меняют направление движения на северо-восточное, при этом скорость их возрастает. При выходе на сушу быстро затухают. На земном шаре в среднем за год возникает от 80 до 120 тропических циклонов.

Межширотный перенос воздуха в умеренных широтах осуществляется при помощи *внетропических циклонов* и *антициклонов*.

Циклон умеренных широт – это область пониженного атмосферного давления, в которой воздух движется от периферии к центру против часовой стрелки в Северном полушарии и по часовой стрелке в Южном. Воздух засасывается в центр депрессии и поднимается вверх. Они сопровождаются ветреным, в большей части облачной с осадками погодой, летом прохладной, зимой – относительно теплой, часто с оттепелями. Продолжительность существования – около недели.

Антициклон – это область высокого атмосферного давления, в которой воздух движется от центра к периферии сверху вниз. По мере движения вниз воздух разогревается, теряет влагу и отдаляется от точки конденсации, поэтому в антициклоне формируется ясная сухая погода, с высокой летней и низкой зимней температурой.

Важной составляющей общей циркуляции атмосферы являются *струйные течения*, представляющие собой сравнительно узкие потоки воздуха, с почти горизонтальной осью, характеризующиеся большими горизонтальными и вертикальными сдвигами ветра. Протяженность струйных течений – тысячи километров (иногда опоясывают земной шар), ширина – несколько сотен, а толщина – несколько километров.

Струйные течения переносят по земному шару различные примеси: продукты распада радиоактивных веществ, частицы пыли, вулканического пепла. Особое значение они имеют для авиации.

2 Местные ветры

Ветер – это горизонтальное движение воздуха из области с высоким давлением в область с низким давлением. Ветер характеризуется скоростью, силой, направлением.

Скорость ветра измеряется в м/сек, км/ч, узлах или баллах. Она зависит в первую очередь от величины барического градиента: чем он больше, тем выше скорость ветра.

Сила ветра определяется давлением, которое оказывает воз-

дух,двигающийся на предметы и измеряется в кг/см². Она зависит от скорости:

$$P = 0,25 \cdot V^2 \text{ кг/м}^2$$

где P – сила ветра, V – скорость, 0,25 – коэффициент

Направление ветра определяется той точкой горизонта, откуда он дует (западный – с запада, южный – с юга и т.д.). Направление ветра часто изменяется как во время суток, так и во время года. Для отражения частоты повторяемости ветров различных направлений используют векторную диаграмму – розу ветров.

Местный ветер – это ветер в определенном ограниченном районе, обладающий характерными особенностями, связанными с географией этого района.

Он может быть:

- проявлением местной циркуляции, независимой от общей циркуляции атмосферы (бризы, горно-долинные ветры);
- результатом воздействия местной топографии на течения общей циркуляции атмосферы (фён, бора и др.);
- проявлением конвекции, иногда вихревого характера (пыльная буря);
- течением общей циркуляции с такими особыми для данного района свойствами, как сухость, запыление, низкая температура и др. (афганец, хамсин).

Бризы. Это ветры, возникающие возле береговой линии моря и крупных водоемов и имеющие отчетливо выраженную суточную смену направления. Днём ветер дует с моря на сушу (морской бриз), а ночью с суши на море (береговой бриз) (рис.). Причина бриза – разность температуры воздуха над морем и над сушей, вследствие которой и возникает замкнутая термическая циркуляция.

Склоновые ветры, как и горно-долинные, наблюдаются в горных местностях, дуют вдоль склонов днём вверх, а ночью вниз (рис.). Имеют суточную периодичность: днём воздух, прилегающий к склону горы или долины, нагревается сильнее, чем воздух на той же высоте, но удаленный от склона. Тёплый воздух поднимается по склону и всасывает воздух из долины, а на смену ему опускается воздух из свободной атмосферы. Ночью при охлаждении склонов происходит обратная циркуляция.

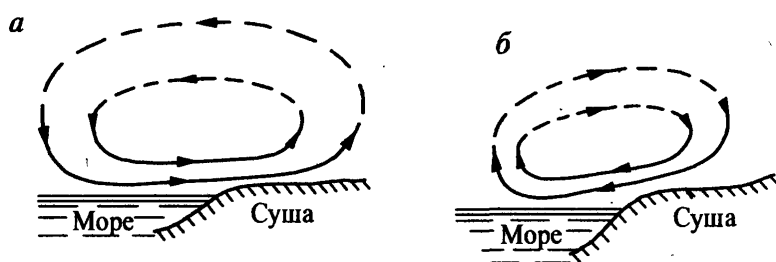


Рис. 2.10. Морской (а) и береговой (б) бризы

Горно-долинные ветры возникают в больших глубоких долинах, выходящих на равнины. Днём ветер дует вверх по долине, а ночью с гор – вниз к равнине. На некоторой

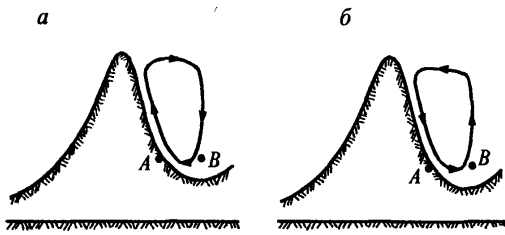


Рис. 2.11. Склоновые ветры днем (а) и ночью (б):

A – точка у поверхности Земли; B – удалена от поверхности

высоте ветер меняет направление на обратное. Наибольшей силы эти ветры достигают днём, когда велик контраст между температурами воздуха над ледником и в свободной атмосфере.

Фён – это тёплый сухой и порывистый ветер, который дует с высоких гор. Возникает при большой разнице в давлении воздуха на одной и другой стороне горного хребта. На наветренном склоне, где более высокое давление, воздух поднимается по склону и остывает, теряет влагу (образуются облака, выпадают осадки). При достижении горного перевала, нагревается и всё больше удаляется от возможности конденсации осадков. Поэтому он тёплый и сухой.

Суховея – ветер при температуре выше 25° С (часто до 35-40° С), относительной влажности воздуха менее 30 %, большом дефиците насыщения, имеющий скорости выше 5 м/с (часто до 20 м/с). Образуются в результате трансформации воздушных масс, чаще всего арктического происхождения.

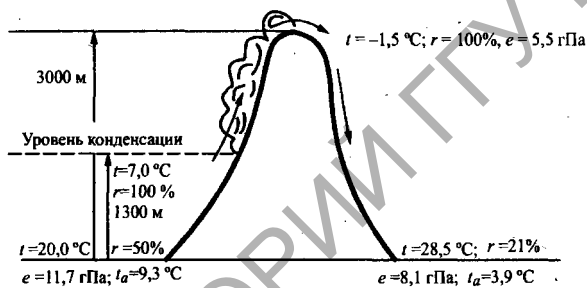


Рис. 2.12. Схема образования фена

Арктический воздух вторгается с севера по восточной периферии антициклона, имея низкую температуру и абсолютную влажность. Перемещаясь над континентом в низкие широты, он сильно прогревается и становится еще более сухим. Продолжая свой путь по южной и юго-западной периферии антициклона, арктический воздух поступает в лесостепные и степные районы уже горячим и сухим.

Жаркие ветры, подобные суховеям, наблюдаются в тропических и субтропических районах и имеют местные названия.

Самум – местный ветер в пустынях Аравии и Северной Африки, имеющий характер шквала с сильной песчаной бурей, нередко с грозой.

Хамсин – сухой и жаркий ветер южных направлений на северо-востоке Африки, особенно частый в весенние месяцы, переносит в больших количествах пыль и песок, сильно снижающих видимость.

Сирокко – итальянское название для теплых и влажных ветров, в Аравии и Палестине и Месопотамии ветры этого типа очень сухи и несут тучи песчаной пыли.

Борá – холодный мощный ветер, который дует с невысоких прибрежных гор в сторону моря. Он возникает в том случае, когда холодный воздух над сушей отделен от теплого над водой небольшим горным хребтом. Холодный воздух постепенно накапливается на суше перед склоном, достигает горного перевала и скатывается вниз. Так как горы невысоки, то воздух не успевает прогреться.

В Гренландии и особенно в Антарктиде наблюдаются стоковые ветры – это движение охлажденного воздуха под действием силы, тяжести по достаточно длинному пологому склону.

Шквалы – резкие кратковременные усиления ветра на ограниченных территориях. В большинстве случаев шквалы образуются при прохождении кучево-дождевых облаков местной конвекции либо холодного фронта. Скорость ветра 20 м/с и более.

Смерч – вихрь с вертикальной осью, возникающий во время шквала или грозы и имеющий очень большую скорость вращения. Соединяя облако с землей или водой, он перемещается со значительной скоростью и обладает большой разрушительной силой. Смерч над сушей – тромб, в Америке – торнадо. Скорость движения воздуха в этих вихрях 50-100 м/с, а в особо интенсивных торнадо достигает 250 м/с, причем имеется большая вертикальная составляющая скорости, равная 70-90 м/с. Внутри вихря очень низкое давление.

3 Суточный и годовой ход ветра

При хорошей установившейся погоде в пограничном слое атмосферы над сушей отчетливо проявляется **суточный ход скорости и направления ветра**, в приземном слое и вышележащих слоях пограничного слоя этот ход различен.

В приземном слое минимум скорости наблюдается ночью. После восхода Солнца ветер усиливается и происходит небольшое его вращение вправо. В 13-14 ч скорость ветра максимальна. Затем ветер постепенно ослабевает и поворачивает обратно, возвращаясь к исходному направлению. Подобное в приземном слое отмечается летом до высоты 100-300 м, а зимой – до высоты 20-30 м.

В вышележащих слоях наблюдается обратный суточный ход ветра (максимум скорости отмечается ночью). После восхода Солнца скорость ветра уменьшается, и он медленно поворачивает влево. В 13-14 ч скорость ветра минимальна, после чего она увеличивается, и ветер поворачивает вправо до исходного направления ночью.

Высота, на которой один тип суточного хода ветра сменяется другим – *высота обращения ветра*.

Правильный суточный ход ветра нарушается при прохождении фронтов, циклонов и антициклонов. Над океанами суточный ход ветра

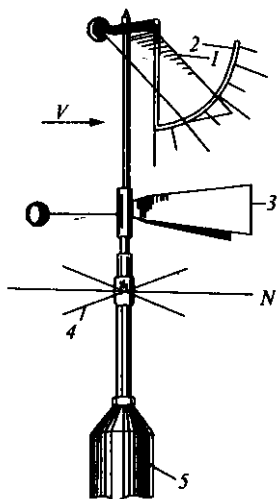


Рис. 3.22. Флюгер:

1 – доска-приемник скорости ветра; 2 – указатель скорости ветра; 3 – флюгарка; 4 – указатель направления ветра; 5 – столб

почти не заметен.

Годовой ход средней скорости ветра относится к климатическим характеристикам и зависит от географического положения пункта.

В умеренных и полярных широтах на западных окраинах материков северного полушария наибольшая скорость ветра наблюдается зимой, когда разность температур между этими широтами наиболее велика и соответственно велика разность давления. К лету, с уменьшением контраста температур и, следовательно, градиентов давления, ветер ослабевает. Однако в центре крупного Евро-Азиатского материка, в Сибири, зимой в области мощного антициклона отмечаются наименьшие скорости ветра и даже штили, а летом скорости ветра наибольшие.

4 Измерение параметров ветра

Характеристики ветра измеряются на высоте 10-12 м. Приборы для измерения скорости ветра – **анемометры**; приборы для измерения скорости и направления ветра – **анеморумбометры**.

Флюгер (рис.). Флюгер, предложенный Вильдом в конце XIX в., является одним из простейших приборов. До настоящего времени он применяется в качестве запасного прибора, а на техстанциях, где нет электрической сети, – в качестве основного. Флюгер дает возможность измерять среднюю скорость, максимальные порывы и направление ветра.

Анеморумбометры М-63М-1 и М-63М-1М. Предназначены для измерения средней за 10 мин, мгновенной и максимальной скорости ветра и определения осредненного направления ветра. Оба прибора относятся к дистанционным устройствам и на сети метеорологических станций являются основным средством для измерения характеристик ветра.

Пределы измерения скорости ветра от 1,5 до 60 м/с; погрешность измерения скорости $\pm(0,5 + 0,052v)$, м/с; направления $\pm 10^\circ$, начальная чувствительность по скорости 0,6 м/с, по направлению – 1° . Дистанционность 5 км.

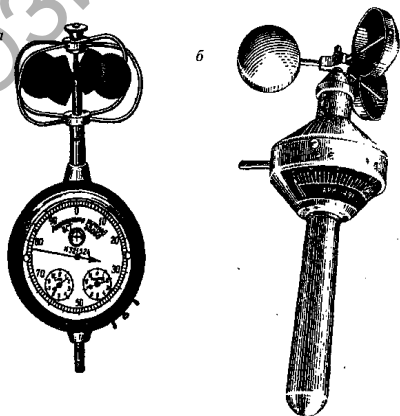


Рис. 3.25. Анемометры ручные:

а – механический (М-13); б – индукционный (АРИ-49)

Анемометр ручной механический МС-13. Предназначен для измерения средней скорости ветра за некоторый промежуток времени, определяемый по секундомеру. Пределы измерения 1-20 м/с; начальная чувствительность 0,8 м/с; погрешность измерения $\pm (0,3 + 0,06v)$ м/с.

ЛЕКЦИЯ 24 ПОГОДА И ЕЁ ПРОГНОЗ

- 1 Воздушные массы
- 2 Атмосферные фронты
- 3 Прогноз погоды

1 Воздушные массы

Погода – это состояние атмосферы в определенном месте в некоторый момент времени (сутки, месяц и др.). Погода постоянно изменяется и периодичность изменений связана с вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, а непериодичность – адвекцией воздушных масс, действием циклонов и антициклонов.

Тропосфера расчленяется на ряд воздушных масс, каждая из которых имеет определённые *свойства*:

- температура;
- влагосодержание;
- прозрачность;
- облачность.

Свойства воздушных масс зависят от мест их образования.

Различают:

- *арктическую* воздушную массу (АВМ);
- *умеренную* (УВМ);
- *тропическую* (ТВМ);
- *экваториальную* (ЭВМ).

Каждая из них, в свою очередь, подразделяется на морскую и континентальную.

Формирование воздушных масс происходит над однородной подстилающей поверхностью в антициклонах.

По термическому состоянию воздушные массы делят на:

- *тёплые* (в данном месте охлаждаются);
- *холодные* (в данном месте прогреваются);
- *местные* (температура их со временем не меняется).

Превращение пришедшей в данный район массы в местную – *трансформация воздушной массы*.

Воздушные массы также бывают:

а) *устойчивые* (вертикальный температурный градиент менее $0,6^{\circ} \text{C}/100 \text{ м.}$):

- тёплая (образуется при адвекции тепла на холодную подстилающую поверхность). При этом могут наблюдаться адвективные туманы, который переходит в слоистую облачность, а при наличии ветра могут образовываться слоистые или слоисто-кучевые облака с морозящими осадками.

- местная (возникает в результате сильного радиационного выхолаживания подстилающей поверхности и нижнего слоя воздуха). Характерны низкие температуры воздуха, малая удельная и

большая относительная влажность воздуха, преобладание слабого ветра. Могут быть радиационные туманы.

б) *неустойчивые* (вертикальный температурный градиент более $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). Летом характерны слоисто-кучевые, кучевые и кучево-дождевые облака. Скорость ветра больше, а дальность видимости выше, чем в устойчивой:

- холодная (возникает при адвекции холода). Отличается пониженной температурой воздуха, порывистым ветром, меняющейся конвективной облачностью (кучево-дождевые облака, внешне напоминающие слоисто-кучевые). Выпадают кратковременные и не интенсивные осадки без гроз (могут повторяться по несколько раз в день).

- местная (возникает над сушей летом в жаркую погоду при малоградиентных барических полях). Ветры слабые, с хорошо выраженным суточным ходом. Во второй половине дня образуются кучевые облака, переходящие в кучево-дождевые (выпадают ливневые осадки в виде крупнокапельного дождя или града, сопровождаемые сильными грозами и шквалами). К ночи облачность резко уменьшается, часто до полного прояснения.

2 Атмосферные фронты

Воздушные массы отделяются друг от друга переходными слоями воздуха – *атмосферными фронтами*. Более холодная воздушная масса лежит под переходным слоем, а более тёплая – над ним. Ширина переходного слоя у земли – от нескольких до десятков километров; толщина – от 100 м у земли до 1000 м на высоте. На синоптических картах фронты изображаются одной линией.

По характеру движения атмосферные фронты делят на:

- *стационарные*;
- *перемещающиеся*.

По виду смены воздушных масс:

- *тёплые* (холодная воздушная масса отступает, а тёплая – приходит на её место)
- *холодные* (приводят к смене тёплого воздуха холодным).

Различают также фронты:

- *главные* – арктический (отделяет АВМ от УВМ) и умеренный, или полярный (отделяет УВМ от ТВМ);
- *вторичные* – разделяют разновидности воздушных масс одного и того же широтного типа (например, МУВМ и КУВМ) или 2 массы одного и того же географического наименования (порции).

2.1 Тёплый фронт

Тёплый фронт проявляется, когда тёплый воздух натекает на холодный. В результате адиабатического охлаждения воздуха при подъёме содержащийся в нем водяной пар конденсируется и образуется система облаков тёплого фронта, включающая слоисто-дождевые (Ns), высоко-слоистые плотные (As op), высоко-

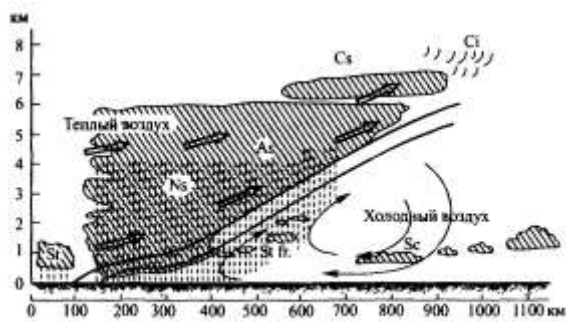


Рис. 1.16. Теплый фронт

слоистые просвечивающие (As trans), перисто-слоистые (Cs), перистые, обычно перистые когтевидные (Ci unc), облака.

Осадки обложные и их зона располагается перед линией фронта и шириной: летом при дожде – 300 км, а зимой при снеге – 400 км. При скорости фронта

20-40 км/ч продолжительность осадков может составлять от 7 до 15 ч.

Изменения погоды в тёплом фронте:

Вначале над пунктом наблюдения появляются перистые когтевидные (Ci unc) облака, за которыми следуют перисто-слоистые (Cs). Эти облака сменяются высокостроистыми (As), из которых могут выпадать отдельные капли дождя (летом) и мелкий снег (зимой), и в завершении следуют слоисто-дождевые (Ns) облака с обложными осадками. От появления первых перистых облаков до начала осадков проходит от 15 до 30 ч.

Ширина облачного массива фронта вблизи центра циклона – 800-900 км, протяжённость вдоль линии фронта – тысячи километров.

При большой сухости осадков перед фронтом может не быть даже в пределах циклона (отсутствуют облака Ns, а иногда даже As).

Летом активность тёплых фронтов выше в ночные и утренние часы, когда облачная полоса тёплого фронта включает кучево-дождевые облака (Cb) с ливневыми осадками и грозами.

Активность тёплых фронтов зависит от времени года: зимой их прохождение проявляется в явлениях погоды более резко, чем летом, и сопровождается снегопадами, метелями.

2.2 Холодные фронты

Проявляются, когда холодный воздух подтекает под теплый, вынуждая его подниматься по поверхности раздела. Холодный воздух испытывает трение о земную поверхность, и его нижние слои отстают от верхних. В результате этого фронтальная поверхность в пределах слоя трения имеет крутой наклон.

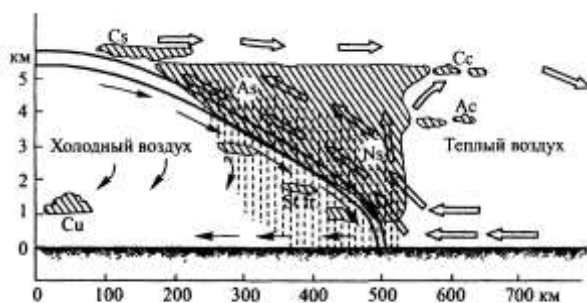


Рис. 1.17. Холодный фронт 1-го рода

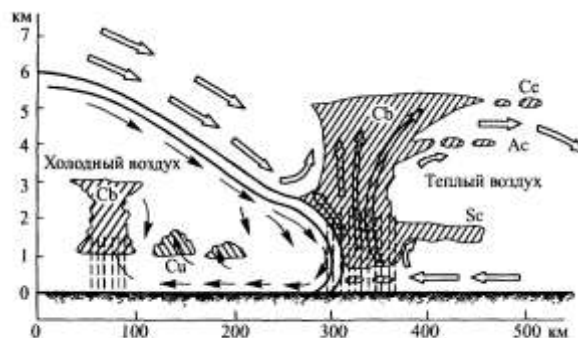


Рис. 1.18. Холодный фронт 2-го рода

Различают 2 рода холодного фронта.

Холодный фронт 1-го рода – это медленно перемещающийся холодный фронт при малой энергии неустойчивости тёплого воздуха в зоне прохождения фронта. Характерно спокойное, упорядоченное, восходящее наклонное натекание тёплого воздуха по всей фронтальной поверхности до больших высот (рис.). Облачная система аналогична системе облаков тёплого фронта, но располагающихся в обратном порядке. Над передней крутой частью фронта при неустойчивом тёплом воздухе могут развиваться кучево-дождевые облака, впереди которых обычно облака As и Cs.

Холодный фронт 2-го рода – это быстро перемещающийся холодный фронт, вклинивающийся под тёплый воздух с достаточной энергией неустойчивости. Отличается от фронта 1-го рода тем, что восходящее движение тёплого воздуха сосредоточено в узкой зоне у передней части фронтальной поверхности и имеет характер мощного конвективного потока, приводящего к развитию Cb. Над остальной поверхностью холодного фронта, лежащей выше 2-3 км над земной поверхностью, тёплый воздух опускается вниз (рис.).

Ливневые осадки холодного фронта 2-го рода непродолжительные (от нескольких минут до часа), сопровождаются грозами и шквалами. Грозы развиваются на отдельных участках фронта в виде «грозовых очагов» и могут, затухнув на одних участках, появиться на соседних.

Перед приближением фронта давление понижается, ветер усиливается, за фронтом отмечается интенсивный рост давления и правый поворот ветра обычно с юго-западного на северо-западный или северный с понижением температуры, уменьшается парциальное давление водяного пара.

Летом активность холодных фронтов имеет суточный ход и они проявляют свою деятельность более активно.

2.3 Фронты окклюзии

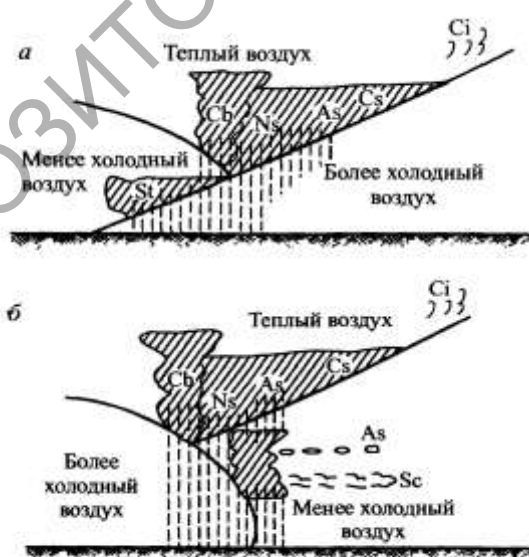


Рис. 1.20. Теплый (а) и холодный (б) фронты окклюзии

Фронты в системе циклонов в умеренных широтах перемещаются с запада на восток. Между впереди идущим тёплым и за ним следующим холодным фронтами находится тёплый воздух. Скорость смещения холодных фронтов больше, чем тёплых, и со временем холодный фронт нагоняет тёплый – происходит их смыкание – *окклюзия*. В зависимости от соотношения температур воздуха в холодной воздушной массе перед прежним тёплым и за преж-

ним холодным фронтами различают:

- *тёплый фронт окклюзии* (за холодным фронтом следует менее холодный воздух, чем перед тёплым фронтом);

- *холодный фронт окклюзии* (соотношение температур обратное);

- *нейтральный фронт окклюзии* (температура одинакова, фронтального раздела у земли не обнаруживается);

Имеют сложные облачные системы. Как в тёплом, так и в холодном фронтах окклюзии имеются 3 облачные системы:

- прежнего тёплого;

- прежнего холодного;

- вновь возникшего нижнего фронта.

Две первые системы постепенно размываются, начиная снизу, третья же разрастается вверх и вширь одновременно с ростом вертикальной протяженности нижнего фронта. Соответственно изменяются вместе с ними области осадков.

В тёплом фронте окклюзии на ранней стадии его развития сохраняются облака прежних тёплого и холодного фронтов и осадки из них не прекращаются, облачная система нижнего тёплого фронта состоит из слоистых облаков, дающих морозящие осадки. В дальнейшем осадки верхнего фронта прекращаются, размываются кучево-дождевые, слоисто-дождевые и высокосоистые облака прежних тёплого и холодного фронтов. Дольше всех сохраняются перисто-слоистые и перистые облака. Слоистые облака нижнего тёплого фронта трансформируются в слоисто-дождевые, а осадки переходят в обложные. В результате тёплый фронт окклюзии приближается к простому тёплому фронту.

В холодном фронте окклюзии на ранней стадии на нижнем холодном фронте возникают кучевые облака, переходящие затем в кучевые и кучево-дождевые (лишь после того, как прежний, тёплый фронт поднимется выше уровня кристаллизации в предфронтальной массе). Верхний фронт сопровождается обложными и ливневыми осадками, которые в дальнейшем прекращаются. С течением времени холодный фронт окклюзии становится обычным холодным фронтом.

В условиях Европы и Западной Сибири тёплые фронты окклюзии наблюдаются преимущественно зимой, холодные – летом.

3 Прогноз погоды

Прогноз (предсказание) погоды – это научно обоснованные предположения о будущем состоянии погоды. Согласно принятой классификации метеорологические прогнозы по заблаговременности подразделяются на:

- *сверхкраткосрочные* – от десятков минут до нескольких часов (применяются при метеорологическом обслуживании авиации);

- *краткосрочные* – до 48 часов;

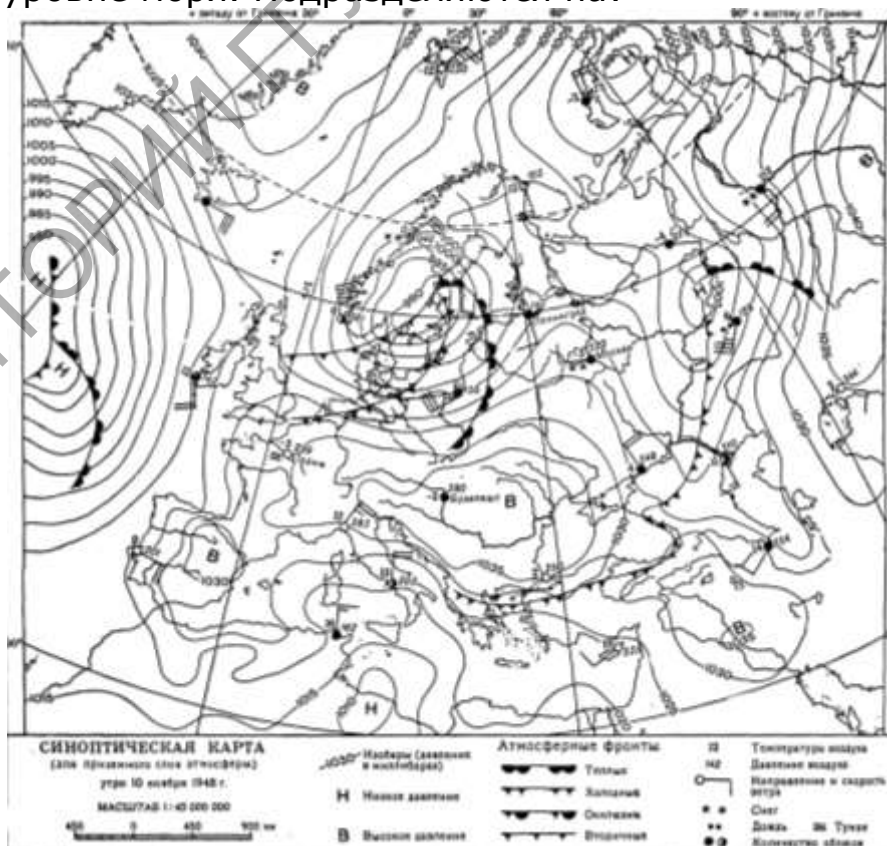
- *среднесрочные* – 3-10 суток;
- *долгосрочные* – на месяц, сезон.

В зависимости от заблаговременности прогноза применяются соответствующие методы.

1) *Синоптический метод* (греч. «синоптика» – единовременный обзор) – это обзор состояния атмосферы над большими пространствами Земли на какой-либо момент времени. Используется для составления краткосрочных и среднесрочных прогнозов.

Метод базируется на построении и анализе *синоптических карт* – географических карт в виде бланков, на которых символами и цифрам представлены результаты наблюдений на сети метеорологических станций в сроки наблюдений. Составляются по несколько раз в сутки и на них выделяются синоптические объекты, каждому из которых свойственны определенные типы погодных условий. Карты подразделяются на:

а) *приземные* (рис.) – отображают погоду у земли, составляются по данным наблюдений на сети приземных метеорологических станций. Для каждой станции даются облачность, скорость и направление ветра, температура воздуха, точка росы, метеорологическая дальность видимости, атмосферное давление, барическая тенденция и её форма, количество осадков, погода в срок и между сроками наблюдений, форма облаков верхнего, среднего и нижнего ярусов, высота нижней границы облаков нижнего яруса, с помощью изобар (через 5 гПа) дано распределение атмосферного давления на уровне моря. Подразделяются на:



- основные (составляются в масштабе 1:150 000 000 и охватывают территорию, простирающуюся на 4-5 тыс. км в меридиональном и широтном направлениях);

- дополнительные, или кольцевые (выполняются в более крупном масштабе и охватывают территорию 1000 x 1000 км, служат для детализации синоптического положения).

Синоптическое положение – это совокупность взаимно связанных воздушных масс, фронтов, циклонов, антициклонов и других объектов над некоторым участком земной поверхности, определяющее состояние погоды на этом участке.)

б) *высотные* – составляют по данным аэрологических наблюдений и характеризуют состояние атмосферы (температуру, влажность, ветер, давление) на разных высотах (до 30-40 км);

в) *вспомогательные* – могут выполняться в различных масштабах, и на них показывают распределение опасных явлений (грозы, пыльные бури, ливни, экстремальные температуры, осадки и др.), состояние снежного покрова, облачности, состояние тропопаузы и многое другое.

Кроме синоптических карт для прогноза погоды применяют аэрологические диаграммы, отражающие термодинамическое состояние атмосферы по высотам, вертикальные разрезы атмосферы.

Синоптический метод прогноза погоды состоит из 2 основных этапов: 1) прогноз синоптического положения, 2) составление собственно прогноза погоды, т.е. определение значений метеорологических величин, и хода метеорологических процессов, результатом которых являются выпадение осадков, туманообразование, грозы, метели и т.п.

2) *Гидродинамический метод*. Это получение представления о будущем состоянии атмосферы на основе решения системы дифференциальных уравнений гидродинамики и термодинамики. Использование метода связано с обработкой большого количества цифровой информации в сжатые сроки, поэтому стало возможным лишь с применением мощных быстродействующих ЭВМ. Работы по использованию численных методов ведутся для долгосрочных прогнозов.

3) *Прогноз погоды по местным признакам*. К местным признакам погоды относятся некоторые особые явления и отдельные метеорологические элементы, наличие или характерные изменения которых свидетельствуют о предстоящих изменениях погоды или ее сохранении в данной местности. По местным признакам можно судить о предстоящей погоде на непродолжительное время, иногда – на 2 суток.

Признаки наступления ненастной погоды:

а) появление и увеличение количества перистых облаков в виде нитей, перьев, часто с коготками. Переход их в перисто-слоистые облака, которые постепенно затягивают всё небо. Наличие у появившихся перистых облаков «базы», т.е. места на горизонте, где отдельные полосы облаков сходятся вместе. Ненастье наступает через 12-24 ч;

б) падение атмосферного давления, усиливающееся с течением времени;

в) нарушение нормального суточного хода температуры воздуха, ветра, облачности;

г) усиление ветра вечером или ночью, заметное по движению облаков усиление ветра на высотах, особенно при изменении его направления;

д) красный цвет вечерней зари, особенно если накануне заря была оранжевой; появление гало в тонкой пелене перисто-слоистых облаков.

Признаки сохранения облачной погоды с осадками:

а) слабо выраженный суточный ход температуры воздуха;

б) атмосферное давление мало меняется или наблюдается медленное повышение его при выпадающих осадках и слабых ветрах;

в) если зимой при наступлении оттепели, сопровождающейся низкой сплошной облачностью, морозящими осадками и туманами, наблюдается устойчивый западный ветер, ненастная погода удержится длительное время, до тех пор, пока не изменится направление ветра.

Признаки улучшения погоды:

а) устойчивый рост атмосферного давления;

б) усиление ветра и изменение его направления, чаще всего на северное и северо-западное;

в) резкое понижение температуры, которое после перехода ветра к северным направлениям сопровождается прекращением осадков.

Признаки сохранения малооблачной погоды:

а) атмосферное давление либо продолжает расти, либо остается без изменения, если малооблачная погода стоит уже несколько дней. Если же малооблачная погода только что сменила ненастье, то отсутствие устойчивого роста давления приведет лишь к установлению непродолжительной хорошей погоды;

б) хорошо выраженный суточный ход всех метеорологических элементов, особенно ветра, температуры и облачности;

в) образование в летние ясные ночи приземных туманов или росы, а осенью – инея;

г) вечером заря, летом окрашенная в золотисто-желтый цвет, а в холодное время года - красная.

Признаки предгрозового состояния:

а) после сухого периода значительное увеличение абсолютной и относительной влажности, повышение температуры воздуха (жарко, душно - «парит»);

б) появление утром и быстрое развитие по высоте кучевых облаков, переходящих в мощные кучевые;

в) появление кучевой облачности перед вечером часто предвещает ночную грозу;

г) появление башенкообразных высококучевых облаков;

д) появление чечевицеобразных высококучевых облаков - хороший признак прохождения через 6-12 ч холодного фронта.

ЛЕКЦИЯ 25 ОСНОВЫ КЛИМАТОЛОГИИ

- 1 Климатообразующие факторы
- 2 Классификация климата
- 3 Климат Беларуси и его особенности

1 Климатообразующие факторы

Климат – это многолетний режим погоды, характерный для данной местности. Он формируется под воздействием различных факторов. Среди таких факторов выделяются, в первую очередь, взаимодействие солнечной радиации, общей циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности.

Так, зональное распределение солнечной радиации обуславливает существование климатической зональности (от полюсов к экватору). Общая циркуляция атмосферы обуславливает характер господствующих в данной местности ветров и воздушных масс, перенос и распределение тепла и водяного пара. Подстилающая поверхность (вода, суша, растительность, снег, экспозиция склонов), в свою очередь, своеобразно изменяют действие предыдущих факторов при формировании климата различной местности.

В качестве климатических показателей используются:

- продолжительность вегетационного периода (устанавливается по числу дней с активными (эффективными) температурами почвы более +5° С и воздуха более +10° С;
- сумма активных температур (более +10° С) за вегетационный период (900–2500° С в лесной зоне);
- количество атмосферных осадков за год;
- минимальное количество осадков за вегетационный период;
- радиационный баланс.

В описаниях климата чаще приводятся средние многолетние показатели, но более важное значение могут иметь экстремальные показатели, отображающие, например, пережитую засуху.

Лучше отображают климат совокупные показатели (индексы), объединяющие температуру и осадки, поскольку их влияние взаимосвязано. Так, высокая температура оказывает лимитирующее влияние на лес, если влажность воздуха близка к минимуму. Высокая влажность воздуха при высокой температуре, например, в тропическом дождевом лесу, имеет положительный эффект. Наибольшую известность получили коэффициент увлажнения (КУ) Г.Н. Высоцкого и гидротермический коэффициент (ГК) Г.Т. Селянинова.

$$КУ = \frac{\text{Сумма осадков за год}}{\text{Суммарное испарение за год}}$$

Коэффициент увлажнения в лесостепи равен 1, в лесной зоне – более 1, в полупустыне – 0,5.

$$ГК = \frac{\text{Сумма осадков за вегетационный период}}{\text{Сумма средних температур воздуха за вегетационный период}} \cdot 10.$$

В районах достаточного увлажнения гидротермический коэффициент равен 1–2, чрезмерного увлажнения 3–4, недостаточного увлажнения – менее 1.

Зависимость роста леса от климата

Для установления потенциальной продуктивности леса предложены модели (уравнения), включающие разные климатические показатели. В этих моделях учитываются средняя продолжительность дня в вегетационном периоде, сумма осадков за год, средняя температура самого холодного и самого теплого месяцев и другие показатели. Однако и более сложные модели плохо работают, поскольку отдельные показатели климата в разных географических условиях неравнозначны. Кроме того, рост леса зависит от всех экологических факторов, и не только от них.

К.Б. Лосицкий и В.С. Чуенков вычислили показатель потенциальной продуктивности (годовой прирост) для древесной породы на 1 кДж/см²/год или на 100° С активных температур при обеспеченности влагой. Этот показатель, по их мнению, не зависит от климатической зоны, хотя сама зональность с ним связана. Закономерность не является строгой, и ее авторы объясняют это неточностью вычисления радиационного баланса или продуктивности. Но, может быть, более важной причиной здесь является разнообразие набора эдафических и других факторов.

2 Классификация климата

Классификации климата основаны на измерениях показателей температуры и осадков. Известны несколько классификации. В **первой** из них выделены климатические провинции и 5 типов климата:

- тропический дождливый;
- сухой;
- умеренно тёплый с достаточным увлажнением;
- умеренно холодный с достаточным увлажнением;
- снеговой.

Типы климата, кроме последнего, в зависимости от годового хода осадков разделены на подтипы с равномерным увлажнением f , относительно сухим летом S и сухой зимой W . В подтипах выделены еще вариации климата, в зависимости от летней температуры воздуха. Тип климата обозначается 3 кодовыми буквами, например: Csb – влажный умеренно теплый климат с сухим летом. По сравнению с другими классификациями, эта более тесно увязана с основными типами растительности, хотя и слабо коррелирует с действительным распространением растительного покрова в том или ином ареале. В США подобные характеристики климата связывают с распространением древесных пород.

Во **второй** классификации за основу взято соотношение между суммой осадков и *эвапотранспирацией* (транспирация + физическое

испарение). Выделены *аридная зона* (с нехваткой осадков), *гумидная* (с избытком осадков) и *промежуточные зоны* (субгумидная, супергумидная, супераридная). Зоны представлены в виде графиков, на которых разница между кривой осадков во времени (за год) и кривой потенциальной эвапотранспирации (за год) означает сезонный избыток или недостаток влаги.

Нужно иметь в виду, что малое количество осадков само по себе еще не означает аридности: холодные полярные зимы тоже бедны осадками, но они не являются аридными, т.к. здесь низка и испаряемость. Осадки, выпавшие в твердой форме, поглощаются растениями не сразу, поэтому для растений, возвышающихся над снегом, зима – это не только холодное, но и сухое время года. Напротив, под снегом царят условия, сходные с морским климатом: растения защищены здесь не только от испарения, но и от колебаний температуры.

Отношение годового количества осадков к годовому испарению носит обобщенный характер, указывающий на гумидный или аридный характер обширной территории.

Распределение растительности по зонам связано с климатом в самом общем виде и за длительный период. Потенциальный ареал видов гораздо шире, чем фактический. Имеют значение история расселения и миграции видов, межвидовая конкуренция. Распространение растительности зависит не только от климата, но и от почвы и других факторов. Поэтому на севере хвойный лес вдоль рек нередко далеко заходит в тундру. В Восточной Европе хвойные леса могут глубоко внедряться в степную зону, где растут на песчаных почвах. На картах такие небольшие отклонения обычно не указываются. Гораздо существеннее могут быть изменения, вызванные воздействием человека.

Наряду с почвенными и биотическими факторами (включая межвидовую конкуренцию), климат как доминирующий фактор оказывает воздействие на процессы, происходящие в растениях и почвах, на генетическую дифференциацию и межвидовую конкуренцию. Кроме того, велико влияние климата как фактора, вызывающего пожары, ветровалы и буреломы.

Третья классификация – это ландшафтно-ботаническая классификация климатов Л.С. Берга

Классификация охватывает сушу. В соответствии с данной классификацией различаются климаты:

- вечног мороза;
- тундры;
- тайги;
- лиственных лесов,
- умеренной зоны;
- муссонный климат умеренных широт;
- степей;
- средиземноморский;
- субтропических лесов;
- внетропических пустынь;

- субтропических пустынь;
- саванн;
- влажного тропического леса.

Климат вечного мороза создается в Арктике (ледяные плато Гренландии, Земля Франца-Иосифа, часть Новой Земли, Северная Земля), в Антарктиде. Годовой радиационный баланс отрицательный. Наиболее тёплой является атлантико-европейская часть Арктики. Средняя температура января на Шпицбергене $-13,5^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля от 2 до 10°C . Климат азиатского сектора Арктики отличается большей континентальностью. Средняя температура января ниже -30°C , июля $2-8^{\circ}\text{C}$. Наиболее суровые климатические условия в Гренландии. Толщина льда в центральной части острова 3400 м. Температура января -49°C , июля -13°C , минимальные температуры могут опускаться до -64°C .

Климат Антарктиды более суровый, чем Арктики. Средние температуры в июле-августе на побережье от -15 до -25°C , во внутренних районах $-50 \dots -70^{\circ}\text{C}$ и ниже. Летом на побережье -5°C (в глубине $-28 \dots -35^{\circ}\text{C}$). Осадков на побережье выпадает от 400 до 600 мм в год, во внутренних районах - от 75 мм и менее в год.

Климат тундры. Распространен в крайней северной части Северной Америки, Евразии, на островах Арктического бассейна, в южном полушарии – на Огненной Земле, Фолклендских островах. Нижняя граница совпадает с изотермой $10-12^{\circ}\text{C}$ самого тёплого месяца в году. Тундра и лесотундра входят в зону арктического воздуха. Большое распространение имеет многолетняя мерзлота. Средняя температура самого холодного месяца от -25 до -35°C , тёплого месяца - не выше 12°C . Осадков выпадает менее 200 мм в год.

Климат тайги. Эта зона в северном полушарии занимает огромное пространство: в Северной Америке – Аляска, Канада, полуостров Лабрадор, в Евразии – Скандинавский полуостров, Финляндия, северо-запад европейской части России, Западная и Восточная Сибирь, за исключением южных районов. Отмечается большая континентальность климата, в Евразии континентальность увеличивается с запада на восток. Зимы суровые. В Верхоянске средняя температура января -50°C , абсолютный минимум – $-65\dots-68^{\circ}\text{C}$. Лето сравнительно тёплое. Средняя температура июля выше $10-12^{\circ}\text{C}$, в южной части зоны – до $18-20^{\circ}\text{C}$. Осадков выпадает $300-600$ мм в год.

Климат лиственных лесов умеренной зоны распространен в Северной Америке южнее 50° с.ш. и восточнее 100° з.д., Великобритании, южной части Скандинавского полуострова, в Западной Европе (за исключением Средиземноморья), в восточной Европе, на европейской части России, в южной Америке, Австралии, Новой Зеландии. Лето более тёплое, а зима менее холодная, чем в зоне тайги. Температура самого теплого месяца не выше 20° , осадки – $500-600$ мм в год.

Климат степей. Лето в степях жаркое, сухое, осадков не более 450 мм в год, испарение значительное. Степи делятся на степи умеренных широт с прохладной или холодной зимой, степи субтропических и

тропических широт с тёплой зимой. В летнее время осадки выпадают в виде ливней. В степях умеренных широт средняя температура самого тёплого месяца достигает 22-24 °С, годовая сумма осадков 200-400 мм, зимой устанавливается снежный покров. Преобладающей воздушной массой в степной зоне является континентальный воздух умеренных широт, трансформирующийся в летнее время в континентальный тропический воздух. Последний преобладает в субтропических и тропических степях.

Средиземноморский климат. Это особый тип климата, создающийся в районе Средиземного моря, а также в других местах земного шара, расположенных на западных побережьях субтропической зоны северного и южного полушарий (на тихоокеанском побережье Калифорнии, в районе Сан-Франциско, на побережье Чили, на южном побережье Австралии и Африки, на южном берегу Крыма). Произрастают кипарис, лавр, магнолии и др. Лето сухое, осадки выпадают зимой – от 300 до 1000 мм в год. Средняя температура самого холодного месяца выше 0 °С, самого теплого – 22-28°С.

Муссонный климат умеренных широт охватывает Приморский край, Сахалин в России, северную половину Японии, Восточный Китай, северную часть Кореи. Летом господствует летний муссон в виде южного и юго-восточного ветра, приносящий влажные массы воздуха с океана. Зимой муссон представляет северный и северо-западный поток холодного воздуха из Сибири, где в это время формируется мощный антициклон. Воздух сухой. Поэтому зимы обычно с ясной и сухой погодой. Средние температуры января до -20° С. Лето тёплое, влажное со средней температурой июля 20-25° С, годовая сумма осадков -600-1000 мм и выше. Южные районы этой зоны теплее.

Климат субтропических лесов. К этой зоне относятся: побережье Мексиканского залива, юго-восточные штаты США; в Южной Америке Боливия, Парагвай, юго-восточная часть Бразилии, Африка, северная Индия, южный Китай, южная Япония, юг Южной Кореи, на северо-восточном берегу Австралии, на Кавказском побережье Черного моря от Сочи к Турции, на южном берегу Каспийского моря. Лето жаркое, сырое. Средняя температура самого холодного месяца не ниже 2° С. Годовая сумма осадков превышает 1000 мм. Максимум осадков приходится преимущественно на летние месяцы, растительность представлена лесами из широколиственных пород с примесью вечнозеленых растений, встречаются лианы.

Климат внетропических пустынь. В эту зону входят Терско-Кумская и Астраханская полупустыни, среднеазиатские пустыни и полупустыни, пустыня Гоби в Азии, пустыни Северной Америки по среднему течению р. Колорадо, полупустыня в Восточной Патагонии (Южная Америка).

Климат характеризуется большой сухостью, осадков – менее 250-300 мм в год. Лето жаркое, сухое, с малой облачностью, но зимы прохладные или холодные. В пустынях Средней Азии средняя температура

января от -12°C в северной части до 3°C в южной, средняя температура июля $-25-30^{\circ}\text{C}$, максимальная – до 45°C .

Растительность – полынь, солянка, саксаул. При искусственном орошении разводят хлопчатник, рис, виноград, урюк, бахчевые и др.

Климат субтропических пустынь. Распространение: пустыни Сахара, Намиб, пустыни Аравии, Атакама (Южная Америка), пустыни в нижнем течении р. Колорадо и в Калифорнии (Северная Америка), пустыня в центральной Австралии. Преобладающей воздушной массой является континентальный тропический воздух. Средняя годовая температуры выше 18°C , местами до 25°C . Лето жаркое, средняя температура самого тёплого месяца $32-38^{\circ}\text{C}$ и более.

Средняя температура самого холодного месяца не ниже 18°C . Осадков – менее 250 мм за год. В отдельных местах иногда за несколько лет не бывает ни одного дождя. Осадки преимущественно в виде ливней. Часто образуются песчаные бури, сопровождающиеся очень высокой температурой и большой сухостью воздуха. Например, в Сахаре растительность появляется только после сильных ливней. В оазисах произрастает финиковая пальма.

Климат саванн. *Саванна* – это тропическая лесостепь. Деревья располагаются в виде редкостоя. В сухое время года деревья обычно сбрасывают листву. В начале дождливого периода развивается мощный травянистый покров. Саванны занимают огромные пространства в тропической части Африки и Южной Америки, встречаются на побережье Центральной Америки, в западной части Мадагаскара, в Индостане от 22°с.ш. на юг, на о. Шри-Ланка, на Индокитайском полуострове, в северной части Австралии, на Гавайских островах.

Климат характеризуется сезонной сменной воздушных масс. В летнее время преобладает влажный воздух, приходящий с экватора, в зимнее время – сухой континентальный тропический воздух, приносимый пассатами. Поэтому в летнее время наблюдается влажная с обильными осадками погода, зимой – засушливая. Суточные амплитуды температуры летом малы, зимой увеличиваются. Средняя температура самого теплого месяца в году $25-30^{\circ}\text{C}$ и выше, самого холодного – не ниже $15-18^{\circ}\text{C}$. Годовая сумма осадков – 1000 мм. На склонах гор, обращенных в сторону влажных ветров, осадков до 2000 мм и более.

Характерным деревом является баобаб. Возделывают кофе, бананы, сахарный тростник, хлопчатник.

Климат влажного тропического леса. Распространение: Экваториальная Африка, Южная Америка – бассейн р. Амазонки, Большие Антильские острова, восточное побережье Мадагаскара, юго-западное побережье Индии, западное побережье полуострова Индокитай, полуостров Малакка, Большие Зондские острова, Филиппинские острова, Новая Гвинея.

Климат характеризуется высокой постоянной температурой, обильными осадками, выпадающими в течение большей части года. Средняя температура самого холодного месяца выше 18°C , а самого тёплого $26-32^{\circ}\text{C}$. Годовые амплитуды температуры очень малы – 1-

6°C. Годовое количество осадков 2500-4000 мм, в отдельных районах больше.

Растительность представлена вечнозелеными растениями – кокосовая, саговая пальма, деревья какао, кофейное дерево, каучуконосы и др., деревья, перевитые лианами.

И, наконец, **четвёртая** классификация – классификация климатов Б.П. Алисова, который предложил выделять климатические зоны и области исходя из условий общей циркуляции атмосферы. 7 основных климатических зон – экваториальную, 2 тропические, 2 умеренные и 2 полярные (по одной в каждом полушарии) – он выделяет как зоны, в которых климатообразование круглый год происходит под преобладающим воздействием воздушных масс только одного типа: экваториального, тропического, умеренного и арктического (в южном полушарии антарктического) воздуха.

Между ними имеется 6 переходных зон (по 3 в каждом полушарии), в которых происходит сезонная смена преобладающих воздушных масс. Это 2 субэкваториальные зоны, или зоны тропических (экваториальных) муссонов, в которых летом преобладает экваториальный, а зимой тропический воздух; 2 субтропические зоны, в которых летом преобладает тропический, а зимой умеренный воздух; субарктическая и субантарктическая зоны, в которых летом преобладает умеренный, а зимой арктический или антарктический воздух.

Границы зон определяются по среднему положению климатологических фронтов. Так, тропическая зона находится между летним положением тропического фронта и зимним положением полярного фронта. Поэтому она круглый год будет занята преимущественно тропическим воздухом. Субтропическая зона находится между зимним и летним положением полярного фронта, поэтому зимой она будет находиться под преобладающим действием умеренного воздуха, а летом – тропического. Аналогично определяются границы других зон.

В каждой из широтных зон различаются 4 основных типа климата: *материковый, океанический, климат западных берегов, климат восточных берегов*. Различия между материковым и океаническим климатами обусловлены главным образом различиями в свойствах подстилающей поверхности; в первом случае эти свойства создают континентальные воздушные массы, во втором – морские. Различия между климатами западных и восточных берегов континентов связаны преимущественно с различиями в условиях общей циркуляции атмосферы и, отчасти, с распределением океанических течений.

3 Климат Беларуси и его особенности

Климат Беларуси умеренно-континентальный и его особенности определяются положением территории страны в умеренных широтах, отсутствием горных препятствий, преобладанием равнинного рельефа и преобладанием западных ветров.

Беларусь размещается между 56° и 51° с.ш., что определяет угол падения солнечных лучей, протяженность дня и солнечного освещения.

Высота Солнца над горизонтом в течение года изменяется на 47° . Годовая суммарная солнечная радиация составляет $84\text{--}97$ ккал/см² и увеличивается с севера на юг.

Циркуляция атмосферы над территорией Республики Беларусь характеризуется западным переносом, который может периодически нарушаться меридиональным переносом с севера на юг или с юга на север. Так, зимой западные и северо-западные ветры приносят в основном теплый морской ветер с циклонами, сформированными над Атлантикой, который сопровождается оттепелями, облачностью и осадками. Летом такой воздух также приносит много влаги, но температуру понижает.

Континентальный сухой воздух в Беларусь приходит с востока и юго-востока. Зимой он обуславливает похолодание, а летом – теплую и сухую погоду.

Арктический воздух в Беларусь проникает с циклонами, которые образуются на севере и двигаются на восток. Его поступление характеризуется резким похолоданием. Тропический воздух достигает территории страны значительно реже, но его воздействие приносит потепление весной и в начале осени («бабье лето»).

Среднегодовая скорость ветра в Беларуси составляет на открытых участках 4 м/сек., а в котловинах – около 3 м/сек. Бури и смерчи – редкое явление в Беларуси, но в каждом пункте наблюдается хотя бы раз в год ветер со скоростью $18\text{--}20$ м/сек.

Температурный режим страны характеризуется положительными среднегодовыми температурами, которые постепенно повышаются с севера на юг (диапазон составляет $4,4^\circ\text{C}$). Температура (средняя) самого холодного месяца (январь) изменяется от $-4,1^\circ\text{C}$ на северо-западе до $-8,4^\circ\text{C}$ на северо-востоке. В отдельные дни температура может понижаться до $-22\text{--}30^\circ\text{C}$. Средняя температура самого теплого месяца (июль) изменяется от 17°C на севере до $19,7^\circ\text{C}$ на юго-востоке. В некоторые дни температура повышается до $28\text{--}32^\circ\text{C}$.

Беларусь находится в зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма осадков зависит от местности и достигает $500\text{--}600$ мм на низинах и $600\text{--}700$ мм на равнинах и возвышенностях. Около 70% осадков выпадает в теплое время года (с апреля по октябрь).

Значительное количество осадков и сравнительно невысокая температура воздуха обуславливают повышенную влажность воздуха. Относительная влажность воздуха превышает 80% в поздне-осенний и зимний периоды во все время суток, а в остальные сезоны – в темное время суток. В весенне-летний период влажность уменьшается и в 13 часов составляет $50\text{--}70\%$. Высокая влажность воздуха обуславливает частое образование туманов.

В отдельные годы в начале лета могут наблюдаться засухи. В среднем за год количество сухих дней (с влажностью 30% и менее) составляет $3\text{--}5$ на северо-востоке и $17\text{--}19$ на крайнем юго-востоке.

2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Перечень лабораторных работ

- Лабораторная работа 1 «Свет как экологический фактор»
- Лабораторная работа 2 «Влажность как экологический фактор»
- Лабораторная работа 3 «Популяции и их взаимоотношения»
- Лабораторная работа 4 «Пространственная структура биоценоза»
- Лабораторная работа 5 «Солнечная радиация»
- Лабораторная работа 6 «Атмосферное давление»
- Лабораторная работа 7 «Гидросфера, вода в атмосфере»
- Лабораторная работа 8 «Погода»
- Лабораторная работа 9 «Климат»

2.2 Задания к лабораторным работам

Файлы прилагаются

2.3 Перечень практических работ

- Практическая работа 1 «Классификация экологических факторов»
- Практическая работа 2 «Жизненные формы растений»
- Практическая работа 3 «Жизненные формы животных»
- Практическая работа 4 «Возрастная структура популяций»
- Практическая работа 5 «Видовая структура биоценоза»
- Практическая работа 6 «Трофическая структура биоценоза»
- Практическая работа 7 «Типы экосистем»
- Практическая работа 8 «Учение о биосфере В.И. Вернадского»
- Практическая работа 9 «Особо охраняемые природные территории»

2.4 Задания к практическим работам

Файлы прилагаются

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 СВЕТ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Цель: изучить адаптивные реакции растений на свет

Материал и оборудование: зафиксированные в спирте листья кислицы, майника, мать-и-мачехи, пижмы; живые или фиксированные в спирте листья сирени (липы, вяза), собранные с наружной части кроны и внутри ее; гербарные образцы этих же листьев. Микроскопы, предметные и покровные стекла, флороглюцин, судан III, лезвия безопасной бритвы, карандаши, альбомы.

Ход работы:

1 Приготовьте поперечные срезы, рассмотреть под микроскопом. По анатомическому строению листа выделите гелиофиты и сциофиты.

2 Свяжите строение листьев с условиями мест обитания растений. Найдите сходные черты у растений одной экологической группы и черты различий у этих же представителей. Сравните детали строения эпидермы у листьев пижмы и мать-и-мачехи. Объясните, в чем их адаптивность.

3 Составьте и заполните таблицу, внося в нее названия исследованных растений и характеристики отдельных признаков строения листьев: толщины листа, строения эпидермы, губчатой, палисадной, механической ткани.

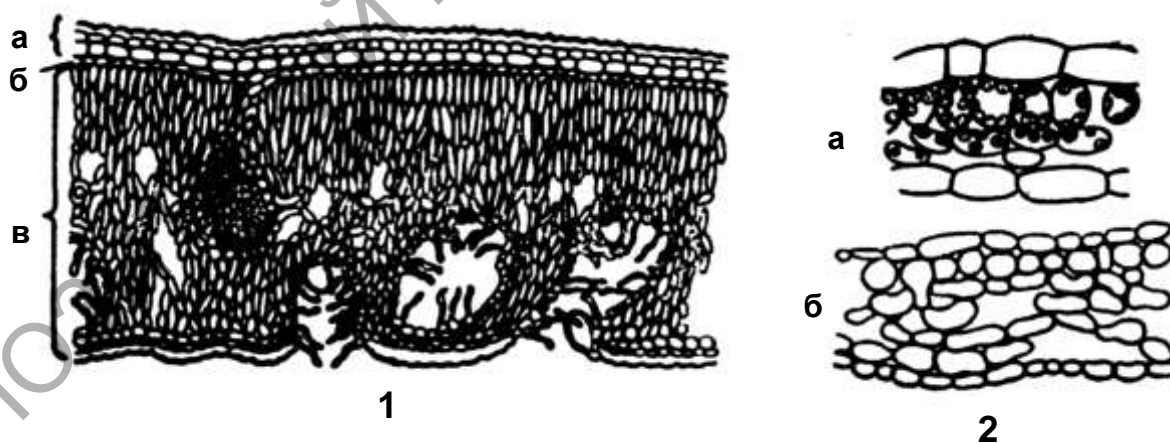


Рисунок 1 – Структура листьев гелиофитов и сциофитов: 1 – участок поперечного среза листа олеандра: (а – двуслойный эпидермис с кутикулой, б – гиподерма, в – изопалисадный мезофилл; углубления нижней стороны листа с устьицами и волосками); 2 – поперечные срезы частей листа кислицы (а) и майника двулистного (б).

4 Зарисуйте рисунок 1 в лабораторный альбом.

5 Ответьте на следующие вопросы и запишите ответы в альбом:

а) Какие особенности строения эпидермиса есть у растений-гелиофитов? Какую экологическую роль они выполняют?

б) Какие особенности строения эпидермиса есть у растений-сциофитов? Какую экологическую роль они выполняют?

6 Сравните внешний вид теневых и световых листьев сирени, обратите внимание на степень развития жилок, толщину и окраску листа.

7 Сделайте поперечные срезы теневых и световых листьев. Обработайте флороглюцином и суданом III. Рассмотрите под микроскопом, отмечая относительную толщину листовой пластинки, степень развития эпидермы и кутикулы, механической, палисадной и губчатой ткани, степень развития межклетников.

8 Перерисуйте рисунок 2 в альбом.

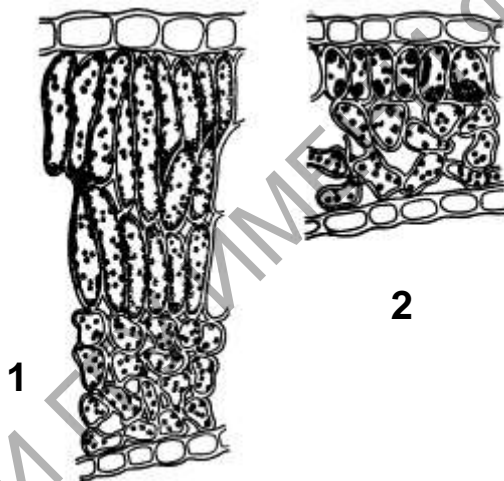


Рисунок 2 – Поперечный срез светового (1) и теневого (2) листа сирени

9 Ответьте письменно на следующие вопросы:

а) В чем адаптивный смысл наличия у одного и того же древесного растения одновременно и теневых, и световых листьев?

б) У каких видов деревьев можно предполагать больший диапазон различий между теневыми и световыми листьями – белой акации, дуба, бука? Объясните почему.

в) Можно ли ожидать таких же различий в структуре листьев травянистых растений? У каких в большей мере?

г) Станут ли теневые листья световыми, если удалить затеняющую их часть кроны дерева?

10 Сделайте вывод о влиянии света на жизнедеятельность растений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ВЛАЖНОСТЬ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Цель: выявить морфоанатомические приспособления у растений к условиям обитания с различным режимом увлажнения

Материал и оборудование: рдест курчавый (подводный стебель и листья), клевер луговой, ковыль, алоэ (листья). Микроскопы, предметные и покровные стекла, лезвие безопасной бритвы, карандаши, альбомы.

Ход работы:

1 Приготовьте поперечные срезы частей растений. Для рдеста выбирайте участки в центральной части листа, а у листа алоэ срежьте краевую часть с участком прилегающих мягких тканей.

2 Последовательно рассмотрите поперечные срезы, обращая внимание на степень развития признаков, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Морфоанатомические адаптации растений для обитания в условиях с разным характером увлажнения

Характеристика растений	Рдест	Клевер	Ковыль	Алоэ
Толщина эпидермиса с кутикулой				
Развитие механической ткани				
Палисадная ткань (число слоев, величина и форма клеток)				
Губчатая паренхима (степень развития)				
Аэренхима				
Положение устьиц				
Наличие волосков на поверхности листа				
Условия обитания растения				
Экологическая группа растений				

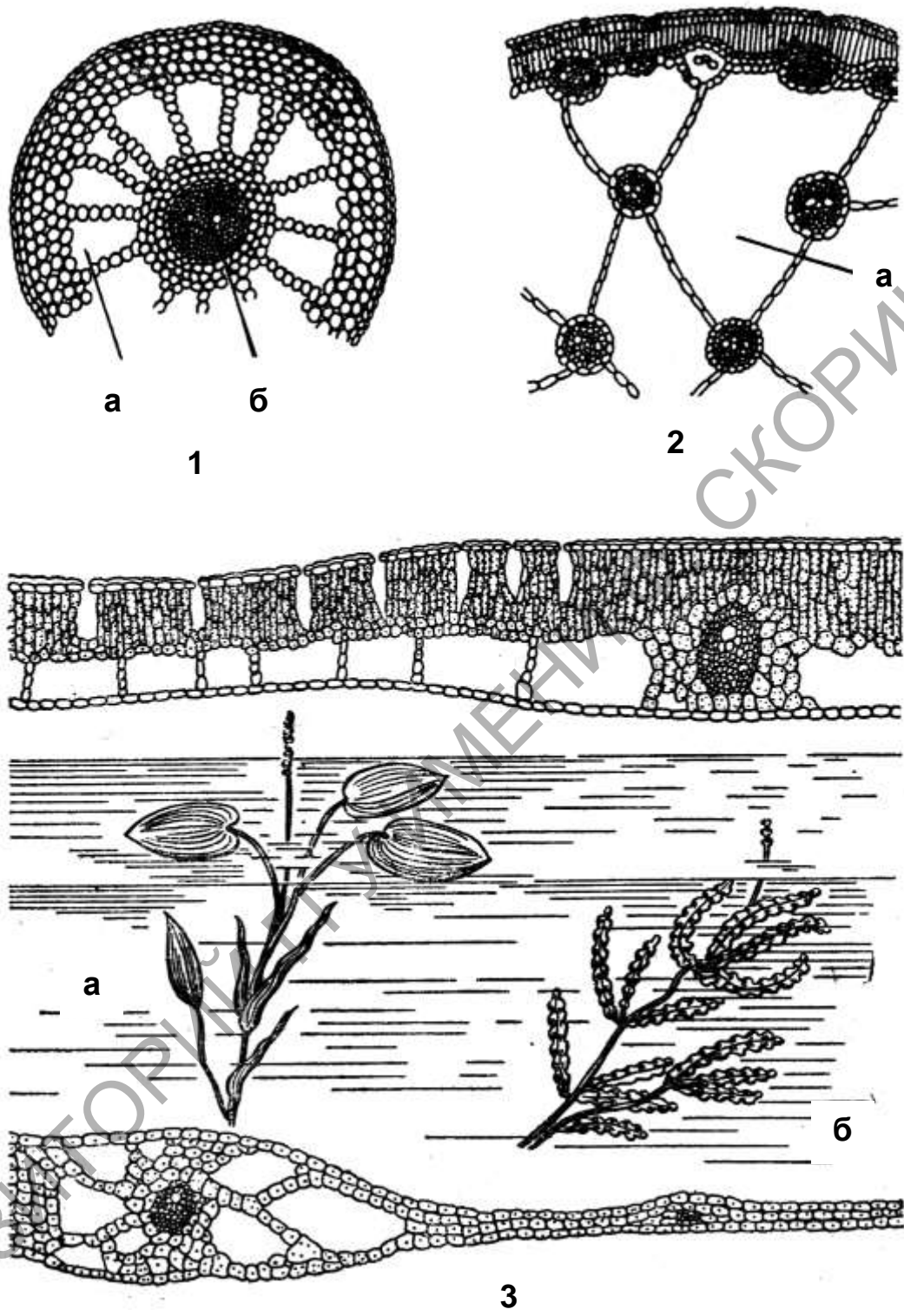


Рисунок 1 – Анатомические особенности гидатофитов и гидрофитов: 1 - поперечный срез стебля урути (а - межклеточник в первичной коре, б - сосуды центрального цилиндра); 2 - часть поперечного среза стебля камыша озерного: (а - крупные полости аэренхимы); 3 - части побегов рдеста плавающего (а) и рдеста курчавого (б). Вверху и внизу участки поперечных срезов их листьев.

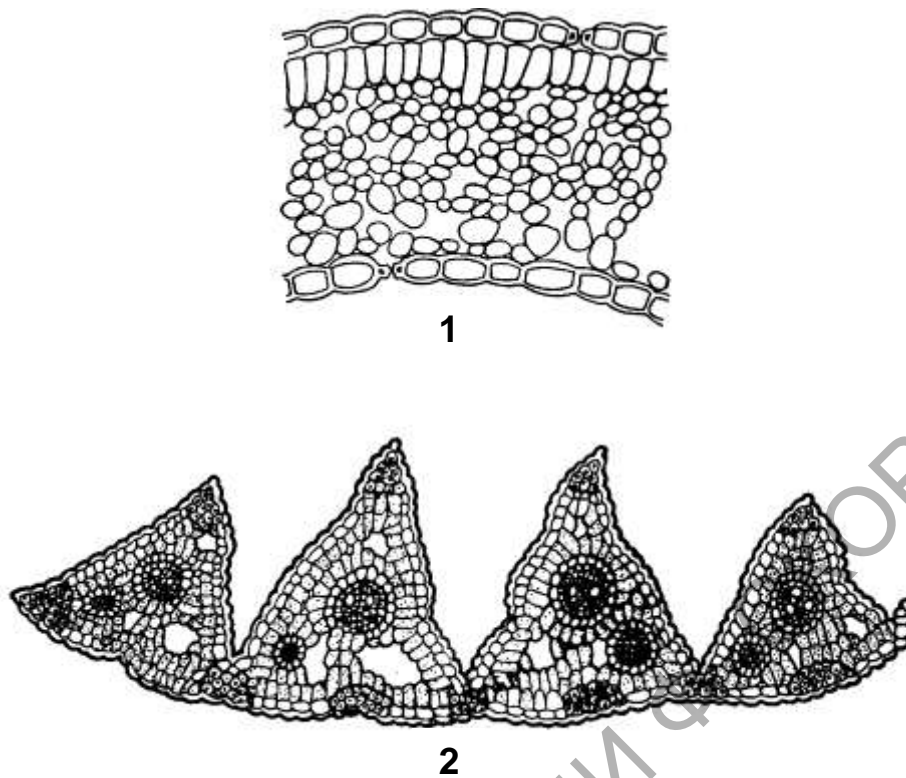


Рисунок 2 – Анатомия листа мезофитов: 1 – клевер луговой; 2 – щучка

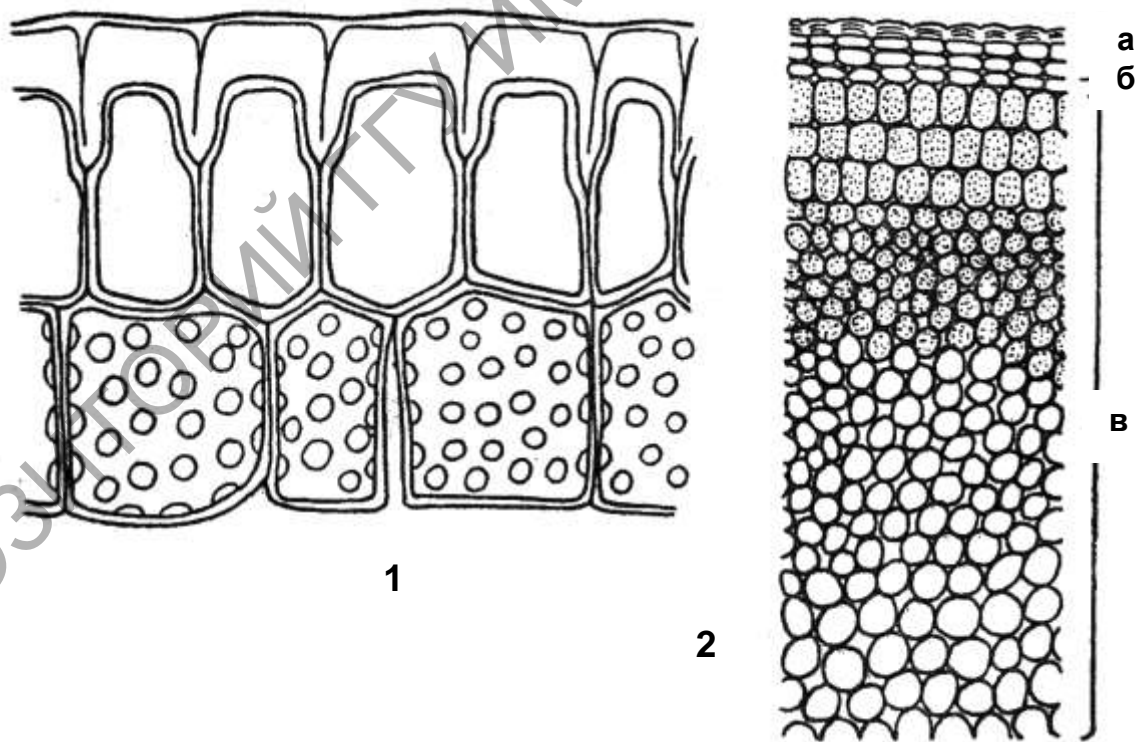


Рисунок 3 – Эпидермис листа алоэ (1) и часть поперечного среза стебля кактуса (2): а – эпидермис, б – гиподерма, в – первичная кора

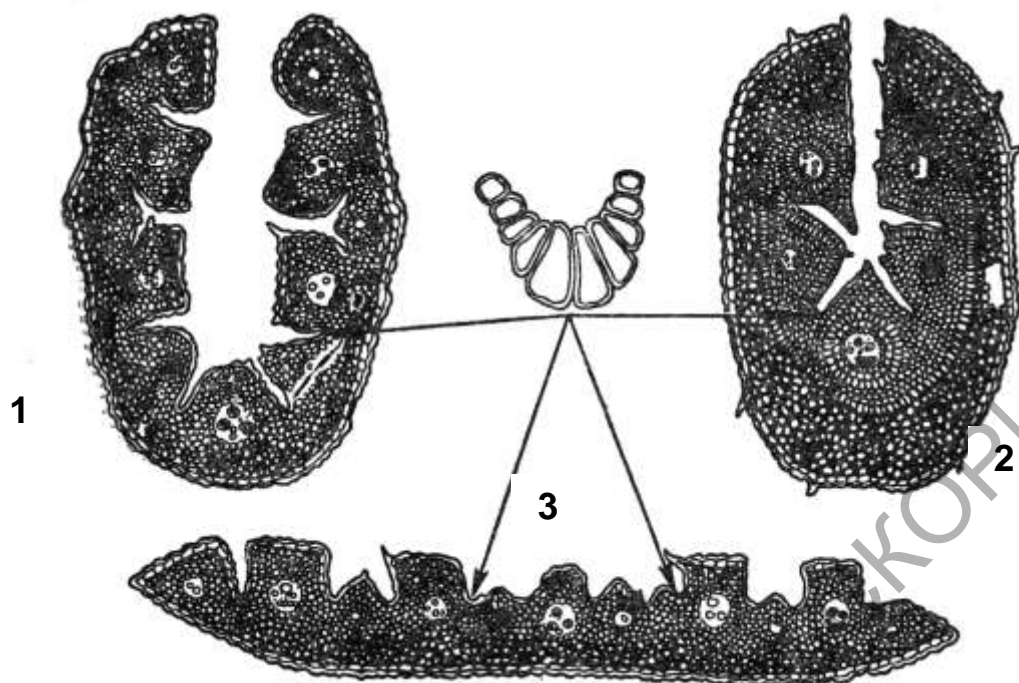


Рисунок 4 – Поперечный срез листа ковыля (1) и типчака (2), лист ковыля в развернутом виде (3). Стрелками показаны сочленовные клетки. В центре – то же, увеличено

3 Используя данные выполненных срезов, а также рисунков 1-4 составьте и заполните таблицу 1.

4 Перерисуйте поперечные срезы растений, указанных в таблице, в лабораторный альбом.

5 Ответьте письменно на следующие вопросы:

а) В каких особенностях анатомического строения выражается приспособленность водных растений к среде?

б) В каких признаках выражается ксероморфность растений?

в) Чем объяснить различия в строении листьев двух ксерофитных растений – ковыля и алоэ?

г) Какое экологическое значение имеет положение устьиц?

6 Сделайте вывод о влиянии влажности на жизнедеятельность растений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ПОПУЛЯЦИИ И ИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ

Цель: рассмотреть особенности обитания популяции мучного хрущака, а также оценить степень взаимосвязи и взаимоотношений с другими популяциями

Материал и оборудование: табличные данные о развитии мучного хрущака в лаборатории совместно с паразитом и без него, калькуляторы, альбомы, ручки, простые и цветные карандаши.

Ход работы:

1 Рассмотрите таблицу количества жуков мучного хрущака в различные сроки проведения опыта (таблица 1):

Таблица 1 – Численность жуков мучного хрущака в различные сроки проведения опыта

Условия опыта и вид жуков	Количество жуков через дней												
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780
Без паразита													
<i>Tribolium confusum</i>	16	52	52	42	35	24	15	11	8	3	4	3	0
<i>Tribolium castaneum</i>	80	76	70	88	88	92	120	142	210	172	120	64	122
С паразитом													
<i>Tribolium confusum</i>	50	46	42	44	50	70	46	68	52	50	52	46	48
<i>Tribolium castaneum</i>	42	120	104	52	8	4	3	3	5	3	2	8	3

2 Начертите график численности жуков двух видов в культуре **без паразита**.

3 Ответьте письменно на следующие вопросы:

- а) Какой вид более конкурентоспособен при этих условиях?
- б) Сколько времени жуки могут существовать совместно?
- в) Какие закономерности можно отметить в динамике численности более конкурентоспособного вида?

4 Начертите график численности жуков двух видов в культуре **с паразитом**.

5 Ответьте письменно на следующие вопросы:

а) Чем можно объяснить ход численности обоих видов при распространении в культуре паразита?

б) Каковы особенности кривой численности более конкурентоспособного в этих условиях вида?

в) Случаен ли ход кривых при стабильной численности популяции?

6 Сделайте вывод об особенностях взаимоотношений популяций различных видов организмов в разных условиях.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

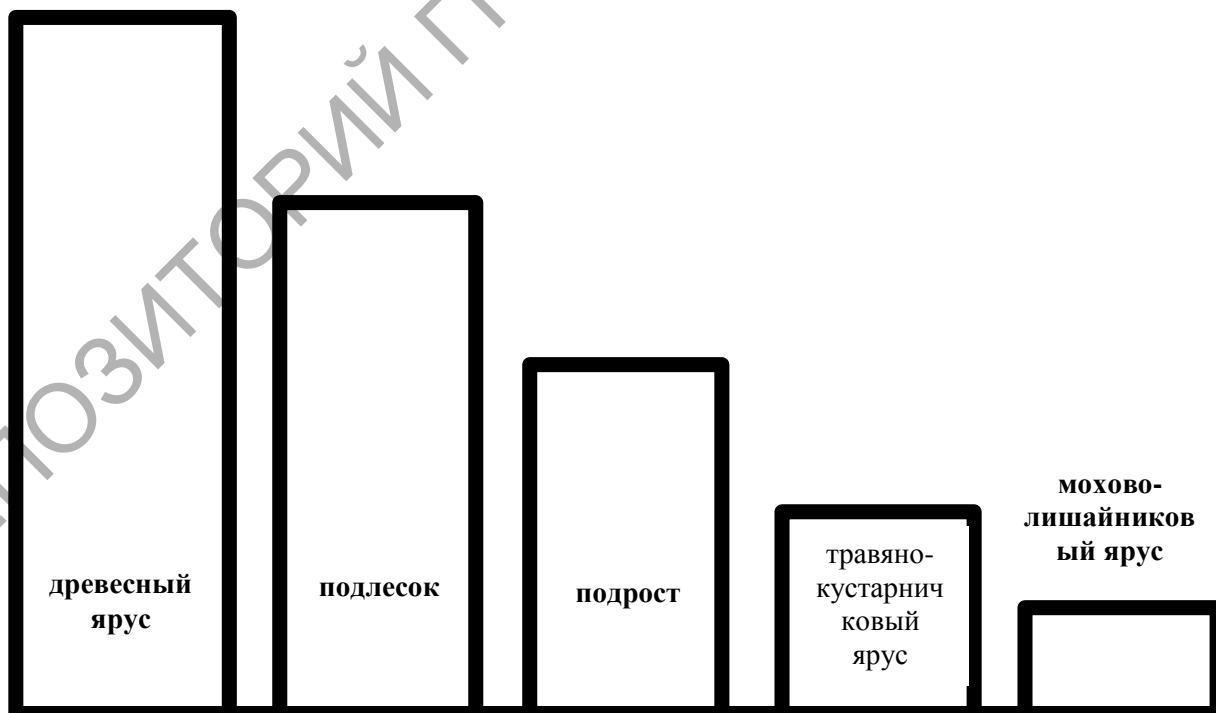
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Цель: ознакомиться с пространственной структурой биоценоза смешанного леса

Материал и оборудование: рисунки биоценоза, списки видов растений, альбомы, ручки, простые и цветные карандаши.

Ход работы:

1 Используя приведенный список видов растений, распределите их согласно принадлежности их к соответствующему ярусу смешанного леса, вписав их в столбики диаграммы: плевроциум Шребера, ель (40 лет), брусника, осина (12 лет), дуб (56 лет), орешник, яблоня лесная, береза (25 лет), крушина ломкая, граб (34 года), лещина обыкновенная, волчье лыко, бересклет бородавчатый, ель (7 лет), ксантория, сосна (5 лет), гилокомиум блестящий, граб (13 лет), ясень (9 лет), ландыш майский, ольха (20 лет), кислица обыкновенная, ожика волосистая, можжевельник обыкновенный, земляника лесная, ива, черника обыкновенная, рябина, ясень (25 лет), дикранум метловидный, сосна (20 лет), брахитемиум укороченный, майник двулистный, птилиум гребенчатый (страусово перо), кукушкин лен обыкновенный, дуб (12 лет), кладония, жимолость лесная:



2 Используя справочные данные, оформите подписи к элементам пространственной структуры биоценозов, показанных на рисунке 1, предварительно перерисовав рисунок в альбом

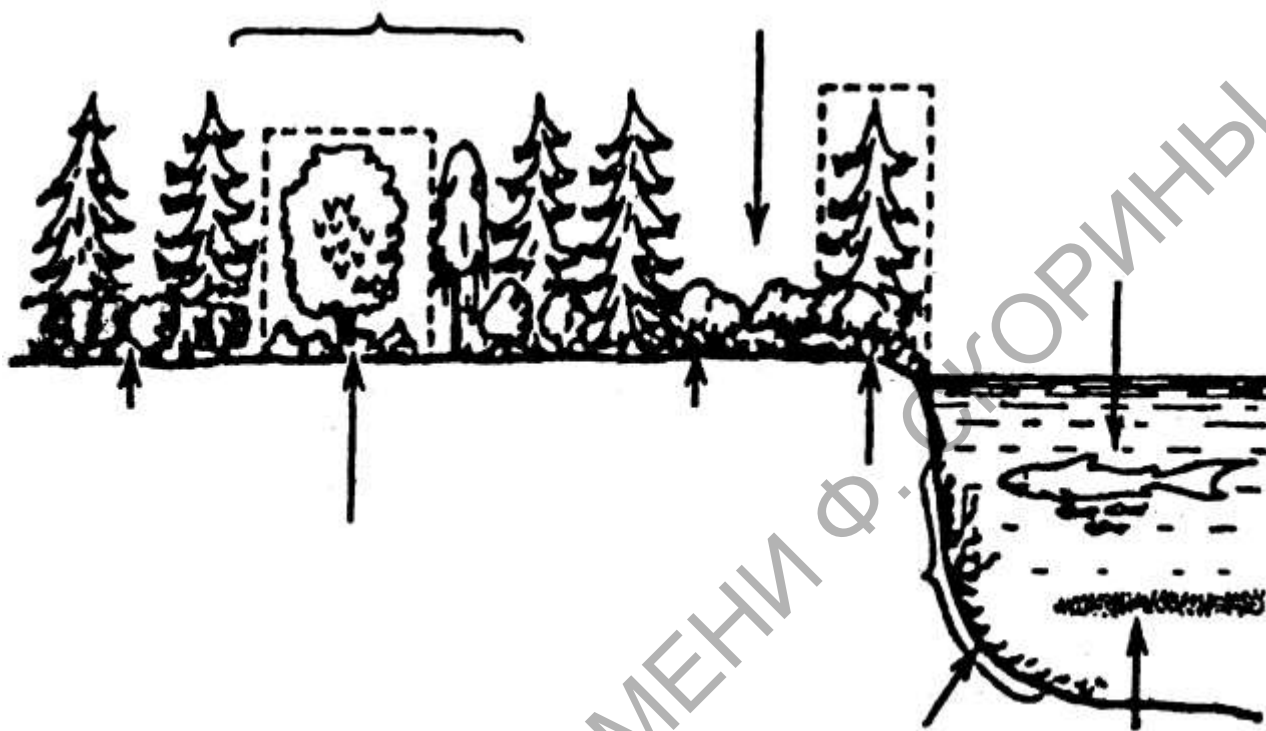


Рисунок 1 – Элементы горизонтальной структуры биоценоза

Справочные данные: синузия трав, биоценоз дна водоема, парцелла с другим составом пород, консорция лиственного дерева, синузия кустарников, лесной биоценоз, синузия планктона, консорция хвойного дерева, консорция акулы, парцелла «лесного окна».

3 Ответьте письменно на следующие вопросы:

а) В чем сущность организации пространственной структуры в биоценозах?

б) Охарактеризуйте вертикальная ярусность и ее виды в различных биоценозах.

в) Горизонтальная пространственная структура биоценоза. В чем ее особенности?

4 Сделайте вывод о пространственной структуре биоценоза.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Цель: ознакомиться с понятиями «солнечная радиация», проанализировать тепловой баланс атмосферы и выявить взаимосвязь между интенсивностью поступления суммарной солнечной радиацией и температурным режимом планеты.

Материал и оборудование: схема среднегодового радиационного баланса атмосферы, карты изотерм июля и января, альбомы, ручки, простые и цветные карандаши.

Ход работы:

1 Воспроизведите в лабораторном альбоме схематично рисунок 1.

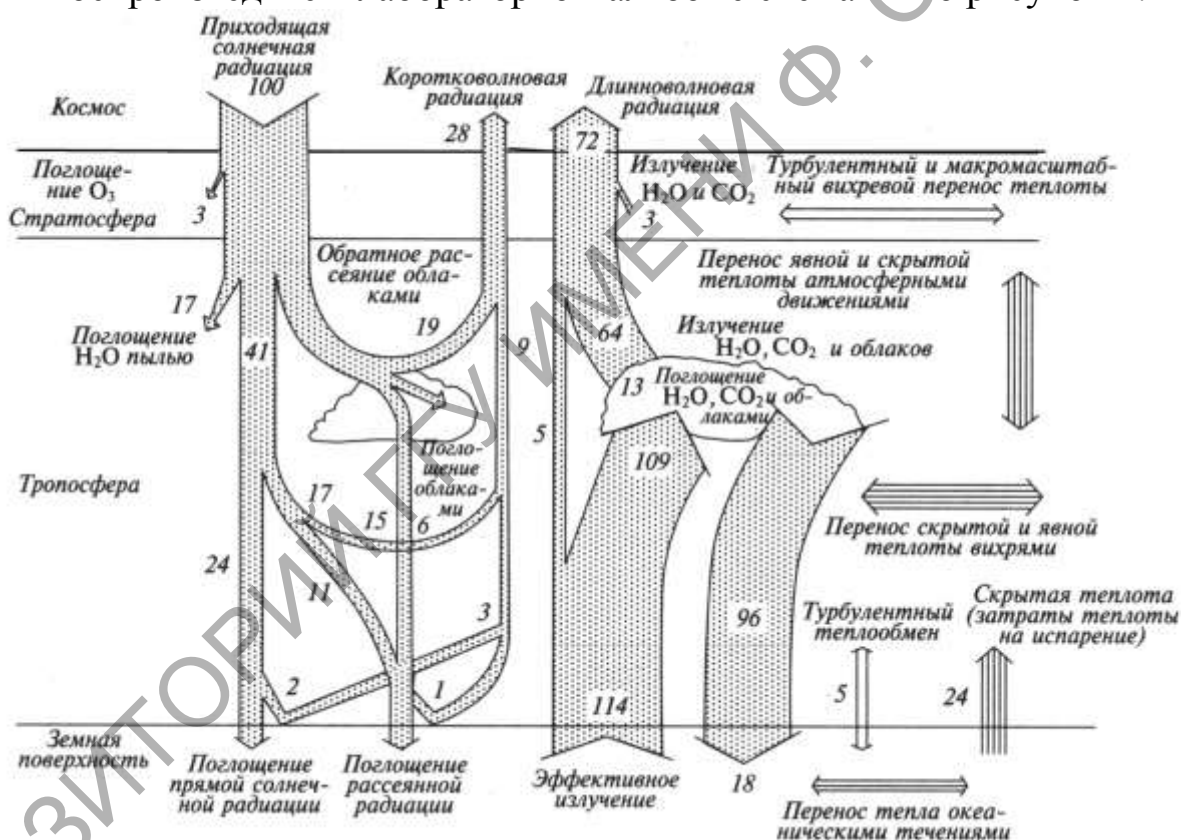


Рисунок 1 – Схема среднегодового теплового баланса (%)

2 Определите, что играет большую роль в нагревании атмосферы: непосредственное поглощение солнечной радиации или тепло, поступающее от земной поверхности? Ответ запишите в альбом.

3 Проанализируйте на карте мира (рисунки 2 и 3) ход июльских и январских изотерм.

4 Постройте совмещенные графики изменения температур воздуха в январе и июле по меридианам 20° з. д. и 120° в. д. По оси абсцисс откладываются точки пересечения меридиана изотермами, по оси ординат

– температуру (положительную – вверх, отрицательную – вниз от горизонтальной оси). Рекомендуемый масштаб осей: абсцисс – 1 см=10°, ординат – 1 см=5°.

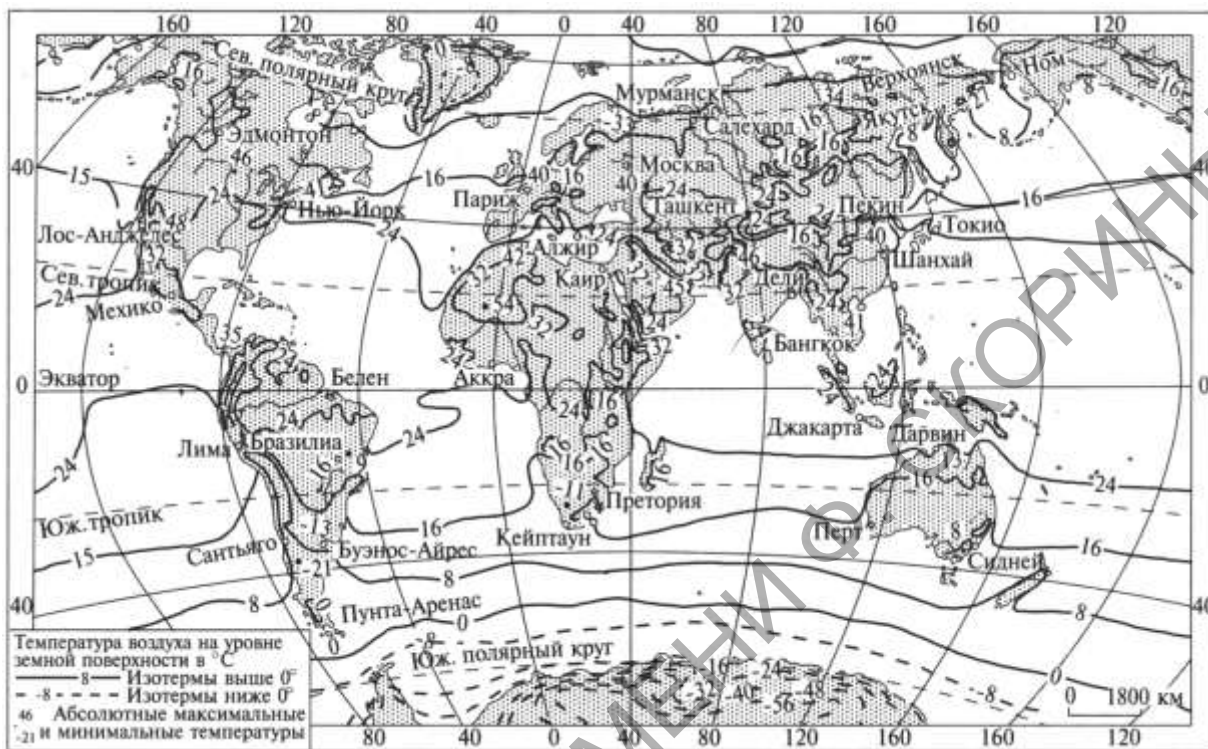


Рисунок 2 – Карта изотерм июля

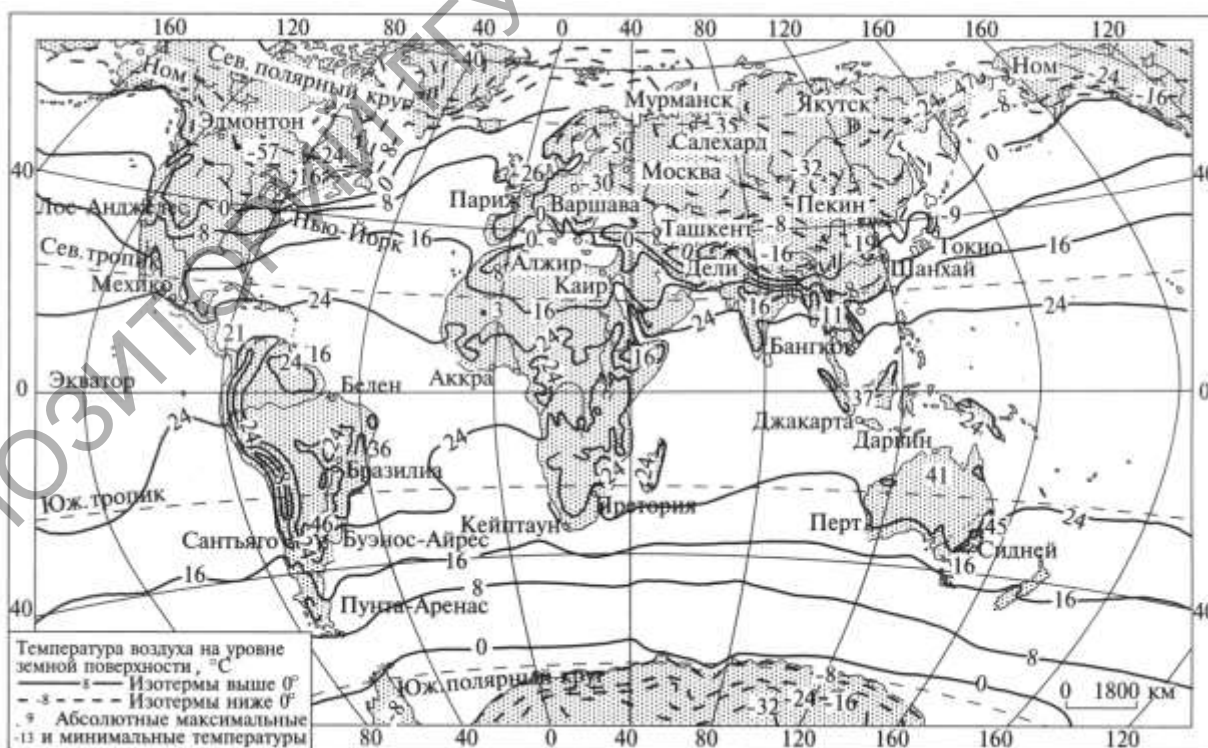


Рисунок 3 – Карта изотерм января

5 На основании анализа построенных графиков выясните:

а) Как изменяется годовая амплитуда температуры воздуха над Атлантическим океаном в северном и южном полушариях.

б) Как изменяется годовая амплитуда температуры воздуха по меридиану 120° в. д. в северном и южном полушариях?

в) Где годовые амплитуды наибольшие и где наименьшие? Почему?

Ответы запишите в лабораторный альбом.

б) Сделайте вывод по занятию.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Цель: ознакомится с понятием «атмосферное давление» и его проявлением – ветром, научиться анализировать высоту местности при помощи атмосферным давлением.

Материал и оборудование: данные по давлению на различных высотах, данные по преобладающим ветрам, альбомы, ручки, простые и цветные карандаши.

Ход работы:

1 Рассмотрите ниже приведенные данные по атмосферному давлению:

750, 783, 775, 790, 763 мм.

1030, 1005, 989, 1013 гПа.

2 Давление, выраженное в миллиметрах, выразите в гектопаскалях, а давление, выраженное в гектопаскалях, выразите в миллиметрах.

3 Определите относительную высоту холма. У подножья холма давление 1017,9 гПа, а на вершине 1013,5 гПа, температура воздуха 16,4°C (барическая ступень определяется по таблице 1).

Таблица 1 – Величина барической ступени

Температура, °C	Давление воздуха, гПа						
	960	973	987	1000	1013	1027	1040
1	2	3	4	5	6	7	8
+30	12,43	12,25	12,10	11,94	11,78	11,63	11,48
+28	12,35	12,17	12,01	11,85	11,70	11,55	11,40
+26	12,26	12,08	11,93	11,77	11,61	11,46	11,31
+24	12,17	11,99	11,84	11,68	11,53	11,38	11,23
+22	12,08	11,90	11,75	11,60	11,44	11,29	11,14
+20	11,99	11,82	11,67	11,51	11,36	11,21	11,06
+18	11,90	11,73	11,58	11,43	11,27	11,12	10,97
+16	11,81	11,64	11,49	11,34	11,19	11,04	10,89
+14	11,72	11,55	11,41	11,25	11,11	10,96	10,82
+12	11,63	11,47	11,32	11,17	11,02	10,88	10,74
+10	11,56	11,38	11,23	11,08	10,93	10,80	10,66
+8	11,46	11,29	11,15	11,00	10,85	10,71	10,57
+6	11,37	11,20	11,06	10,91	10,77	10,63	10,49
+4	11,28	11,12	10,97	10,83	10,69	10,55	10,41

1	2	3	4	5	6	7	8
+2	11,19	11,03	10,89	10,74	10,60	10,46	10,32
0	11,10	10,94	10,80	10,66	10,52	10,38	10,24
-2	11,01	10,85	10,71	10,58	10,44	10,30	10,16
-4	10,92	10,76	10,63	10,49	10,35	10,21	10,07
-6	10,83	10,68	10,54	10,41	10,28	10,13	9,99
-8	10,74	10,59	10,45	10,32	10,20	10,05	9,91
-10	10,74	10,50	10,37	10,24	10,11	9,96	9,82

4 Постройте розу ветров по данным таблицы 2.

Таблица 2 – Повторяемость ветра по румбам

Направление ветра по 16 румбам	Повторяемость ветра по 16 румбам
С	2
ССВ	7
СВ	3
ВСВ	3
В	0
ВЮВ	12
ЮВ	1
ЮЮВ	5
Ю	12
ЮЮЗ	14
ЮЗ	17
ЗЮЗ	10
З	9
ЗСЗ	5
СЗ	3
ССЗ	20

Розу ветров строят по восьми основным румбам (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ). Данные промежуточных румбов (ССВ, ВСВ, ЮЮВ и т.д.) разбиваются между основными соседними румбами. Из центральной точки по направлению основных румбов проводят прямые линии. На линиях от центра откладывают отрезки, соответствующие по величине частоте повторяемости ветра того или иного направления (повторяемость выражается в процентах или количестве повторений). Концы отрезков соединяют.

Предварительно разбейте повторяемость ветров промежуточных румбов (ССВ, ВСВ и т.д.) между соседними основными румбами (С, СВ

и т.д.). Нечетные числа разбиваются так, что большее число относится к румбу с большей повторяемостью. Например, ветер С румба повторяется 3 раза, ветер ССЗ – 9 раз, СВ – 5 раз, тогда при разбивке повторяемости промежуточного (ССЗ) румба к северному добавляют 4 ($3+4=7$), а к северо-западному 5 ($5 + 5 = 10$).

5 Сделайте вывод по занятию.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ГИДРОСФЕРА, ВОДА В АТМОСФЕРЕ

Цель: ознакомиться с влагооборотом Земли, выявить влагосодержание воздуха при различной температуре.

Материал и оборудование: данные по влагообороту, влажности воздуха и температуре окружающей среды, альбомы, ручки, простые и цветные карандаши.

Ход работы:

1 Начертите схему мирового влагооборота (рисунок 1) в лабораторном альбоме.

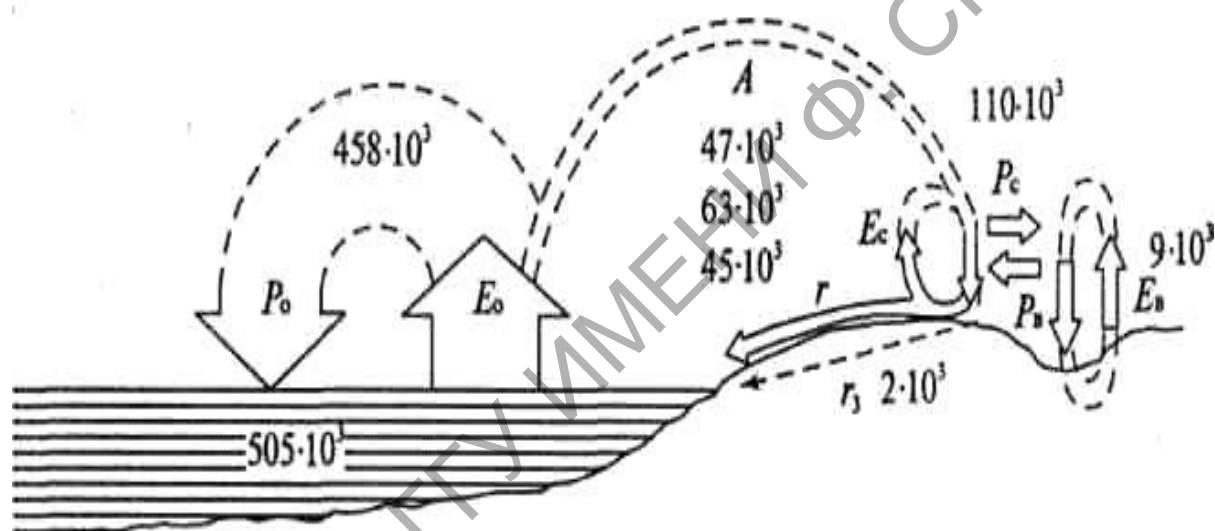


Рисунок 1 – Влагооборот (тыс. км³) в системе «Мировой океан-атмосфера-суша»:

P_0 – осадки на поверхности океана; E_0 – испарение с поверхности океана;
 A – перенос водяного пара в атмосфере; E_c – испарение с поверхности суши;
 P_c – осадки над поверхностью суши; P_v – осадки в областях внутреннего стока; E_v – испарение в областях внутреннего стока; r – поверхностный сток;
 r_3 – подземный сток

2 Используя данные рисунка и уравнения водного баланса, рассчитайте водный баланс значения величины осадков и испарения, а также столбиковыми диаграммами изобразите соотношения величины осадков и испарения:

- над океаном;
- над сушей.

3 Проанализируйте данные ниже приведенной таблицы 1 и ответьте письменно на следующие вопросы:

- при какой температуре воздух с абсолютной влажностью $1,6 \text{ г/м}^3$, $9,4 \text{ г/м}^3$ окажется насыщенным?

- воздух имеет абсолютную влажность $12,8 \text{ г/м}^3$, $30,0 \text{ г/м}^3$. При какой температуре его относительная влажность будет равна 100%?

Таблица 1 – Зависимость величины максимального влагосодержания от температуры воздуха

Температура, °С	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
Максимальное влагосодержание, г/м ³	1,1	1,6	2,4	3,4	4,9	6,8	9,4	12,8	17,3	23,1	30,0

4 Решите задачи:

1) Воздух поднимается от абсолютной отметки 100 м до высоты 2100 м. Температура воздуха $+20^\circ\text{C}$, абсолютная влажность $9,4 \text{ г/м}^3$. Определите:

а) максимальное влагосодержание и относительную влажность воздуха на исходной высоте;

б) на какой высоте воздух станет насыщенным (какова высота границы конденсации)?

в) какова будет его температура, абсолютная и относительная влажность на высоте 2100 м?

2) Температура воздуха $+15^\circ\text{C}$ и абсолютная влажность $6,8 \text{ г/м}^3$, воздух поднимается вверх. Определите высоту границы конденсации.

3) Температура воздуха $+30^\circ\text{C}$, абсолютная влажность $9,4 \text{ г/м}^3$, воздух переваливает через хребет высотой 1000 м. Определите, достигнет ли он границы конденсации, если подъем начинается с высоты 0 м над уровнем моря?

5 Сделайте вывод по лабораторному занятию.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ПОГОДА

Цель: ознакомится с правилами оформления и чтения синоптических карт, научиться характеризовать погодные условия на местности.

Материал и оборудование: синоптическая карта, альбомы, ручки, простые и цветные карандаши.

Ход работы:

- 1 Рассмотрите синоптическую карту (рисунок 1).
- 2 Перепишите легенду карты, заполнив следующую таблицу:

Атмосферное явление	Условное обозначение

3 Используя карту, изображенную на рисунке подробно охарактеризуйте, как изменяется погода при продвижении:

- а) с запада на восток по 60-й параллели;
- б) с севера на юг по Гринвичскому меридиану;
- в) на территории Беларуси.

4 Запишите характеристику изменений в лабораторный альбом.

5 Опишите погоду текущего дня, объясните причины ее проявления. Запишите проявления и причины в лабораторный альбом.

6 Сделайте вывод по занятию.

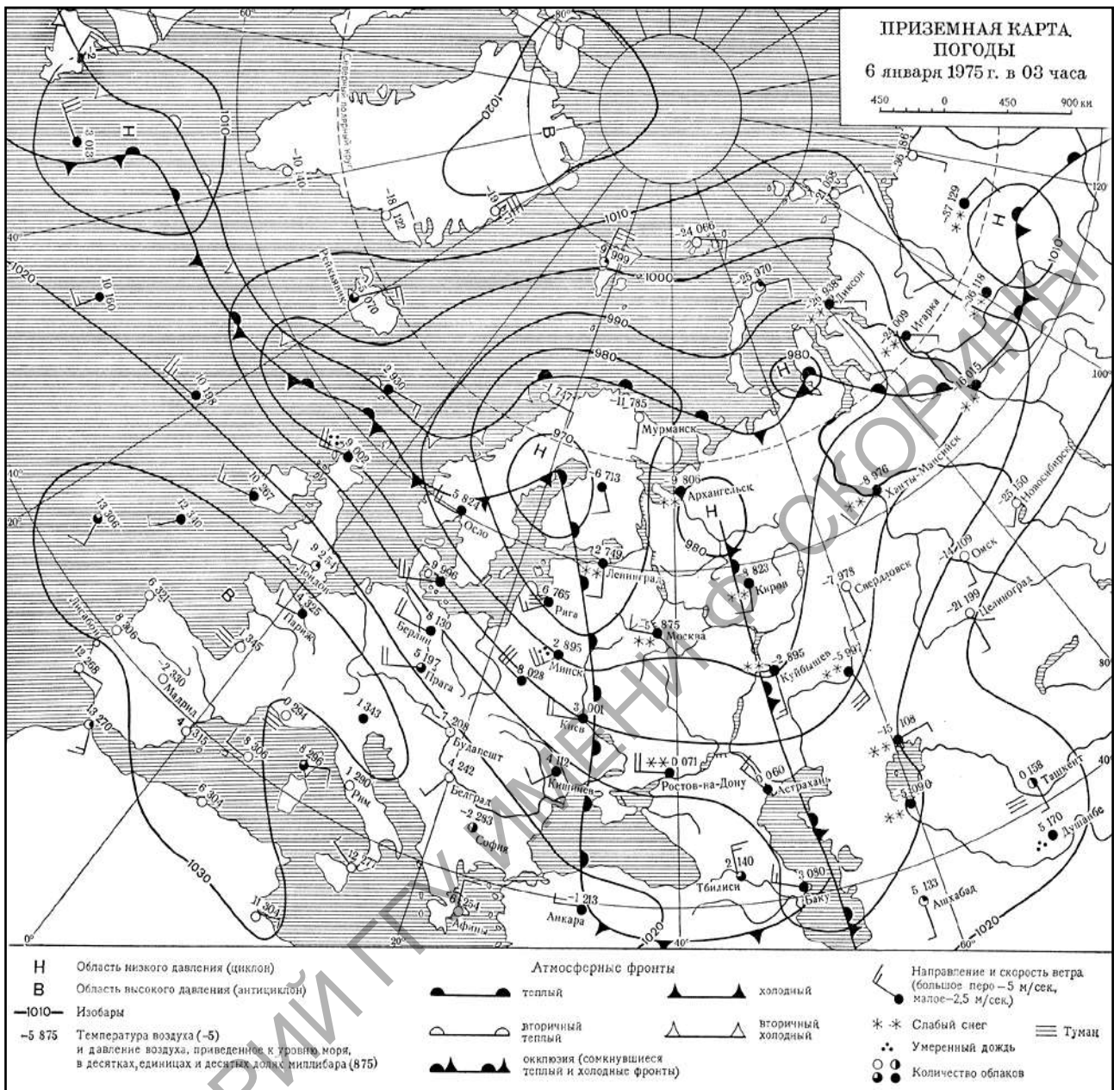


Рисунок 1 – Синоптическая карта

Примечание: Для того чтобы отложить повторяемость классов погод в каком-либо месяце, нужно из середины отрезка горизонтальной оси данного месяца восстановить перпендикуляр. На этой прямой отмечают повторяемость погод в определенной последовательности: для летних месяцев от оси абсцисс снизу вверх откладываются погоды, начиная с самых засушливых, в порядке их расположения сверху вниз в таблице, для зимних месяцев погоды откладываются в обратном порядке. Полученные на графике точки, соответствующие проценту повторяемости одних и тех же классов погод в разные месяцы, соединяют плавными линиями. Каждый класс погоды закрашивают особым цветом.

4 Сделайте вывод по лабораторному занятию.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРНИЦЫ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Задание 1. В таблице 1 представлена классификация экологических факторов. Приведите примеры факторов среды, окружающей любой вид организма (муравья в городском парке, березы в березовой роще и т. д.). При этом антропогенные факторы можно также, как и природные, разделять на абиотические и биотические.

Таблица 1 – Классификация экологических факторов

Экологические факторы			Примеры
Природные	Абиотические	Климатические	
		Эдафические	
		Гидрологические	
		Топографические	
	Биотические	Зоогенные	
		Фитогенные	
Микробогенные			
Антропогенные	Абиотические	Физические	
		Химические	
	Биотические		

Задание 2. Какой из приведенных факторов можно считать лимитирующим (ограничивающим) для организмов в определенных условиях:

а) для травянистых растений в густом лесу: влага, свет, плодородие почвы, рН среды;

б) для травянистых растений в горах на высоте более 6 км: влага, свет, температура, плодородие субстрата, концентрация углекислого газа;

в) для дождевых червей в песчаных субстратах: температура, влажность, содержание гумуса;

г) для рыб, зимующих в замерзающих водоемах: температура, наличие пищи, содержание кислорода в воде.

Задание 3. Какие факторы, на Ваш взгляд, могут компенсировать неблагоприятное действие:

- а) низких температур на зимующих птиц;
- б) высоких температур на животных пустыни;
- в) отсутствие дождей на растения.

Задание 4. В таблице 2 приведены экспериментально определенные диапазоны толерантности (устойчивости) видов пресноводных беспозвоночных животных по отношению к реакции водной среды (рН).

Таблица 2 – Диапазоны толерантности пресноводных беспозвоночных к реакции водной среды (по Березиной, 2001)

Вид	Группа	Диапазон толерантности к рН
<i>Palmomyia lineata</i>	Мокрецы	2,0–11,0
<i>Asselus aquatic</i>	Ракообразные	4,5–11,0
<i>Oligotricha striata</i>	Ручейники	4,5–9,0
<i>Euglesa subtruncata</i>	Моллюски	6,0–9,0
<i>Tubifex tubifex</i>	Олигохеты	6,0–11,0
<i>Helobdella stagnalis</i>	Пиявки	7,0–8,5

Сравните ширину диапазона толерантности этих видов. Какие из них можно назвать эврибионтными по отношению к показателю рН, а какие – стенобионтными?

Задание 5. Заполните таблицу 3. Приведите примеры из растительного и животного мира, являющиеся стенобионтами или эврибионтами по предложенным экологическим факторам.

Таблица 3 – Экологическая валентность растений и животных по отношению к различным факторам

Экологический фактор	Примеры			
	Растения		Животные	
	стенобионтные	эврибионтные	стенобионтные	эврибионтные
Свет				
Температура				
Влажность				

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2 ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ РАСТЕНИЙ

Задание 1. На основе внешнего строения распределите ниже приведенные виды растений по категориям жизненных форм, разработанных К. Раункиером (для справки можно воспользоваться рисунком 1):

Крушина ломкая, живучка ползучая, ежа сборная, лютик едкий, сныть обыкновенная, одуванчик обыкновенный, черника, ежевика, мятлик, мхи, овсюг, седмичник европейский, ольха, береза, паслен сладко-горький, сирень, калина, ландыш майский, крапива двудомная, гусиный лук, ветреница дубравная, хмель, ель, плющ обыкновенный, брусника, тимopheевка, лисохвост, сосна, малина.

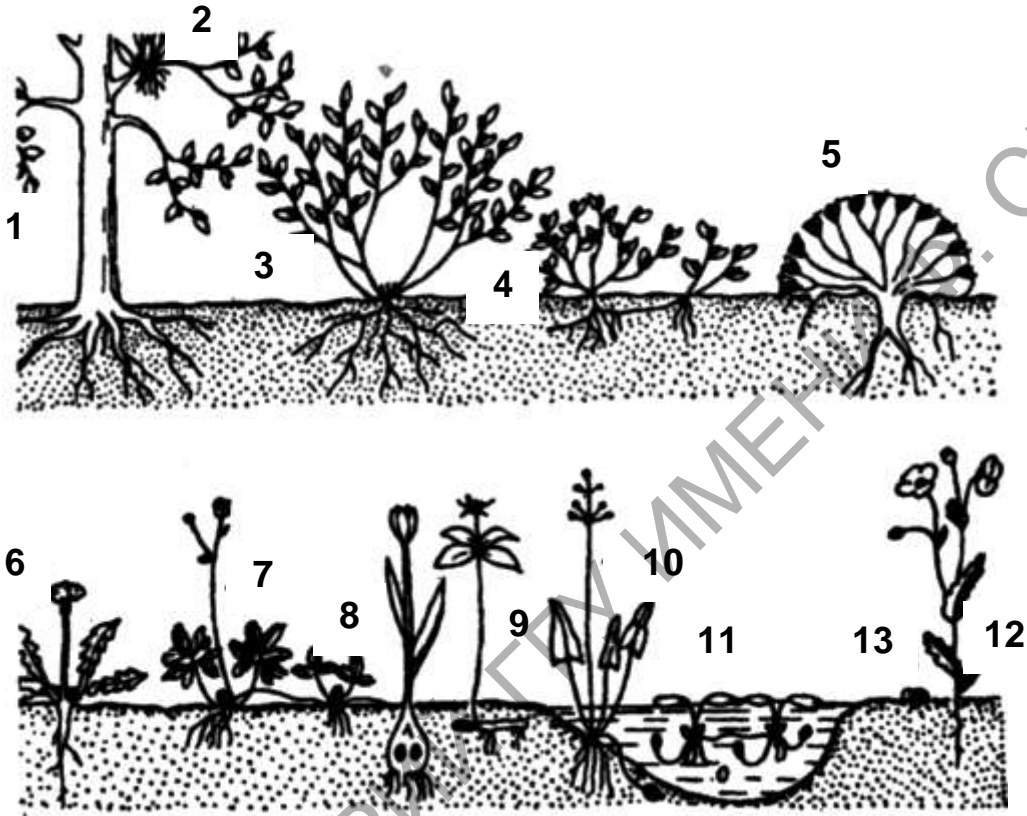


Рисунок 1 – Жизненные формы по Раункиеру. 1-3 – фанерофиты; 4, 5 – хамефиты; 6,7 – гемикриптофиты; 8-11 – криптофиты; 12, 13 – терофит (13 – семя с зародышем)

Заполните нижеприведенную таблицу:

Таблица – Жизненные формы растений по Раункиеру

Жизненная форма	Пример растения
Фанерофиты	
Хамефиты	
Гемикриптофиты	
Криптофиты	
Терофиты	
Эпифиты	

Задание 2. Используя рисунки растений из гербария (рисунок 2), определите их жизненную форму по И.Г. Серебрякову и заполните таблицу (для справки можно воспользоваться рисунком 3):



Рисунок 2 – Гербарий: 1 – козелец; 2 – смолевка; 3 – качим; 4 – камнеломка; 5 – калужница; 6 – ветреница; 7 – ковыль; 8 – овсяница; 9 – осока; 10 – земляника; 11 – лапчатка; 12 – щавелек

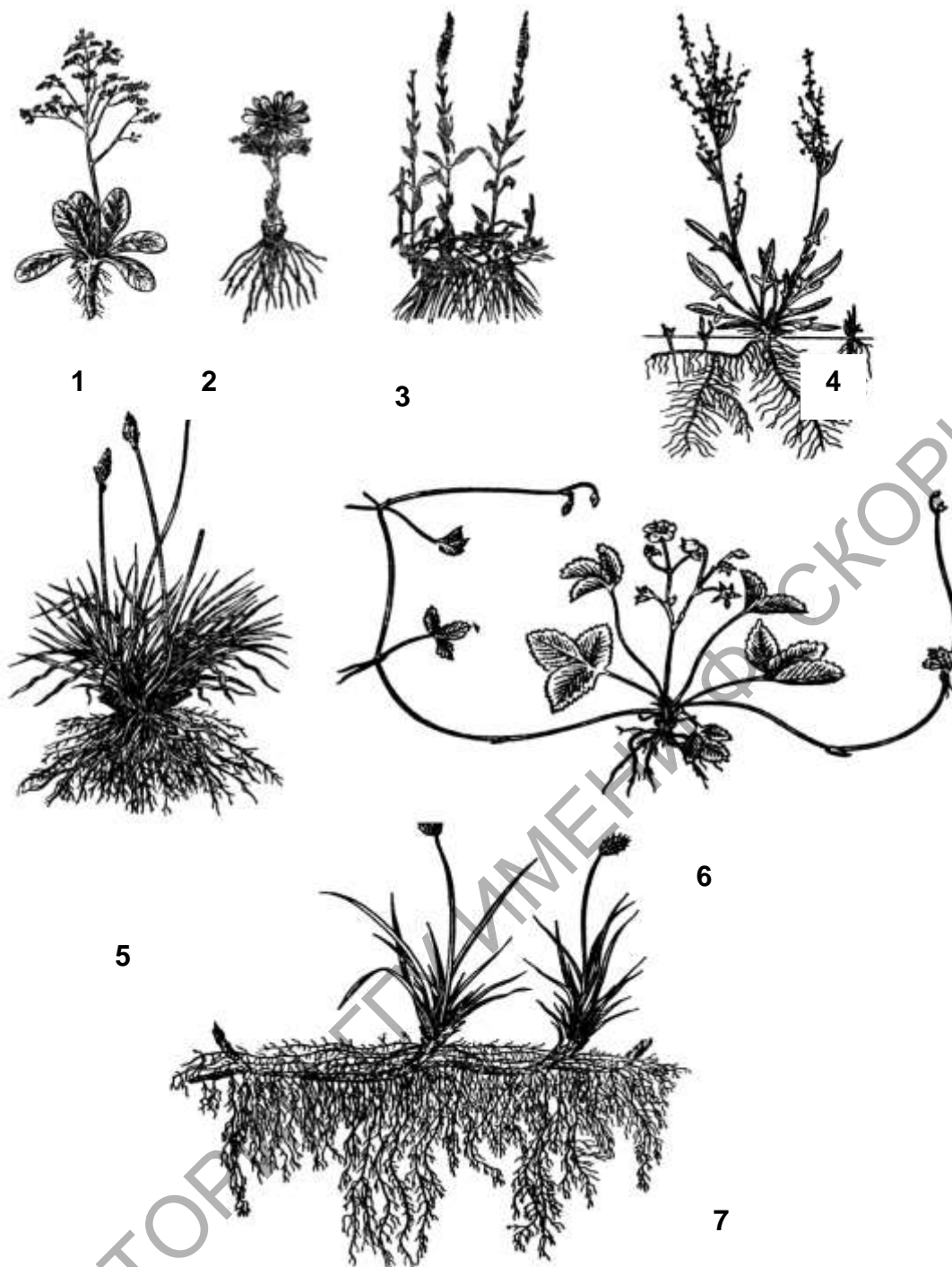


Рисунок 3 – Жизненные формы трав по И.Г. Серебрякову: 1 – стержнекорневое; 2 – кисте­корневое; 3 – корот­ко­кор­не­вищ­ное; 4 – кор­не­от­пры­ско­вое; 5 – дер­но­вин­ное; 6 – сто­ло­но­об­ра­зую­щее; 7 – длин­но­кор­не­вищ­ное

Таблица – Жизненные формы растений по Серебрякову

Жизненная форма	Пример растения
Стержнекорневые травянистые поликарпики	
Кисте­кор­не­вые и корот­ко­кор­не­вищ­ные травянистые поликарпики	
Дернованные травянистые поликарпики	
Кор­не­от­пры­ско­вые травянистые поликарпики	
Длиннокорневищные травянистые поликарпики	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3 ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ЖИВОТНЫХ

Задание 1. Внимательно рассмотрите внешний облик млекопитающих, определите жизненные формы ниже перечисленных млекопитающих по Д.Н. Кашкарову и заполните таблицу 1 (для справки можете использовать рисунок 1):

Крот, зубр, касатка, косуля, лось, хомяк, архар, волк, афалина, ночница, барс, шерстокрыл, медведь, тушканчик, благородный олень, кенгуру, ленивец, коала, вечерница, хорь, широкоушка, горбатый кит, тюлень, макака, дюгонь, барсук, крапчатый суслик, цокор, бурундук, летяга, куница, лемур, слепыш.

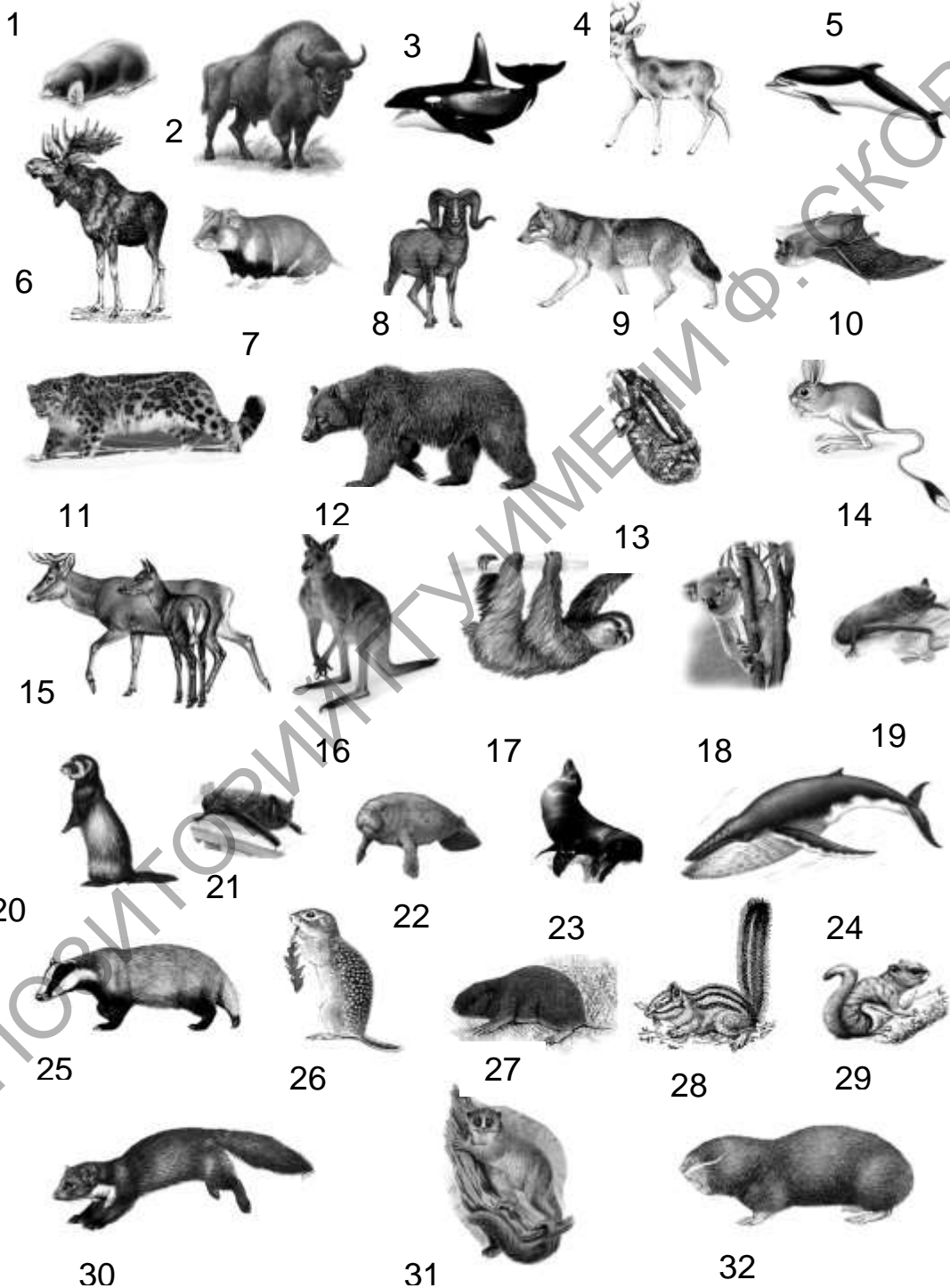




Рисунок 1 – Млекопитающие: 1–крот; 2–зубр; 3–касатка; 4–косуля; 5– афалина; 6–лось; 7–хомяк; 8–архар; 9– волк; 10–ночница; 11–барс; 12–медведь; 13–шерстокрыл; 14–тушканчик; 15–благородный олень; 16–кенгуру; 17– ленивец; 18–коала; 19–вечерница; 20–хорь; 21–широкоушка; 22–дюгонь; 23–тюлень; 24–горбатый кит; 25–барсук; 26– суслик; 27–цокор; 28–бурундук; 29–летяга; 30–куница; 31– лемур; 32–слепыш.

ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ЖУЖЕЛИЦ (краткий справочник)

I. Класс ЗООФАГИ	
<p>Хищные жужелицы, составляют абсолютное большинство видов семейства Carabidae. У них, как правило, длинные острые челюсти (мандибулы) и развиты поведенческие адаптации к добыванию животной пищи.</p>	
<p>1) Подкласс Фитобионты лазающие Хищные жужелицы, охотящиеся в растительном ярусе. Их основная общая особенность – лазательный тип ног в сочетании с развитыми крыльями и узкотелостью.</p>	
<p><i>а) Группа Хортобионты стеблевые</i> Охотятся на травянистой растительности. У них также узкое тело, ноги тонкие, длинные, с цепкой лапкой с узкими или расширенными члениками, хорошо развитыми крыльями и органами чувств.</p>	
<p><i>б) Группа Хортобионты листовые</i> жужелицы с расширенным телом, яркой окраской (иногда похожей на окраску листоедов), ноги бегательно-лазательные с цепкой лапкой.</p>	
<p>2) Подкласс Эпигеобионты бегающие и ходящие Жужелицы, для которых характерны ноги ходильного или бегательного типа. Тело выпуклое, высокое в поперечнике. Покровы сильно склеротизованы, часто со сложной скульптурой. Органы чувств хорошо развиты. Охотятся на поверхности почвы.</p>	
<p><i>а) Группа Эпигеобионты ходящие</i> Отличаются крупными, реже средними размерами тела. Большинство из них утратили способность к полёту. Ноги ходильные с утолщенными бёдрами, голеньями с рядами шипиков и крупными, сильными коготками на лапках. Усики длинные, глаза средней величины. Окраска яркая у видов с дневной активностью и темная при ночной активности.</p>	
<p><i>б) Группа Эпигеобионты бегающие</i> Более мелкие жуки. У них выпуклое тело, удлинённые тонкие ноги, крупные выпуклые глаза и яркая окраска как у всех дневных хищников.</p>	
<p><i>в) Группа Эпигеобионты бегающие-взлетающие</i> Приспособлены к быстрому бегу со взлётом при охоте на подвижную добычу. У них очень длинные ноги (задние ноги превышают длину тела), хорошо развиты крылья, очень крупные выпуклые глаза. Это дневные хищники с яркой окраской.</p>	
<p>3) Подкласс Стратобионты бегающие и зарывающиеся Это обитатели почвенной подстилки из растительного опада, верхнего рыхлого слоя почвы, скважин и трещин в почве, в гальке, в норах млекопитающих или в пещерах. Характерны бегательные, бегательно-лазательные ноги с цепкой лапкой, или бегательно-копательные ноги с уплощённой голенью, вооружённой шипиками. Глаза средних размеров, реже редуцированы. Общей чертой является заметная уплощенность тела, иногда – относительно мягкие покровы и укороченные надкрылья. У некоторых крупных видов с более плотными покровами и крепкими ногами движение по скважинам сочетается с активным рытьём почвы головой и ногами.</p>	
<p>3.1 Серия Стратобионты-скважники</p>	
<p><i>а) Группа Стратобионты поверхностно-подстилочные</i> Тело слабо уплощенное, покровы твёрдые. Ноги и усики чаще длинные, глаза нередко крупные. У жуков с дневной активностью окраска яркая. Виды с сумеречной активностью или охотящиеся под покровом растительности и подстилки обычно темно окрашены.</p>	
<p><i>б) Группа Стратобионты подстилочные</i> Тело уплощённое, покровы мягкие. Окраска тёмная или бурая. Глаза и усики средней величины. Ноги короче, чем у поверхностно-подстилочных форм. Живут в подстилке, активность преимущественно сумеречная.</p>	
<p><i>в) Группа Стратобионты подстильно-трещинные</i> Жуки с плоским телом, надкрылья укорочены, покровы мягкие. Укрываются в трещинах почвы, охотятся на поверхности ночью или днём. Хорошо летают. Органы чувств развиты. Ноги тонкие, бегательные.</p>	
<p>3.2 Серия Стратобионты зарывающиеся</p>	
<p><i>а) Группа Стратобионты подстильно-почвенные</i> Обитатели подстилки и почвы. Жуки мелких и средних размеров, с хорошо развитыми глазами и, часто, с развитыми крыльями. Покровы твёрдые.</p>	
<p>4) Подкласс Геобионты Это специализированные роющие жужелицы, активно прокладывающие ходы в почве. Ноги у них копательные, с зубцами по внешнему краю голени и крупными вершинными шпорами. Для геобионтов характерно цилиндрическое тело, гладкое и с хорошо выраженным сужением на границе передне- и среднегруди, что придаёт передней части тела подвижность при рытье. Главные органы рытья – крупная голова с лопатообразным наличником и передние ноги. Усики относительно короткие, нередко – чётковидные.</p>	

<p><i>а) Группа Геобионты бегающе-роющие</i> У них бегательно-опорные ноги без зубцов на передних голенях. Главную функцию в рытье выполняет голова, плотно соединённая с переднегрудью. Перетяжка в области среднегруды обеспечивает копательные движения передней части тела. Ноги при рытье выполняют опорную функцию и служат для отгребания нарытой почвы.</p>		
<p><i>б) Группа Геобионты роющие</i> У них голени передних ног с зубцами; голова с мандибулами имеют лопатообразную форму. Головой и передними ногами эти жуки разрыхляют, а средними и задними ногами – отгребают почву.</p>		
<p>5) Подкласс Псаммоколимбеты Эти передвигающиеся (плавающие) в песке жуки с округло-обтекаемым телом и бегательно-отгребательными ногами. Они раздвигают влажный рыхлый песок округлым телом и отгребают его ногами.</p>		
<p>II. Класс МИКСОФИТОФАГИ Включает жуков со смешанным питанием – в их рацион входит растительная и животная пища. Среди них имеются и облигатные фитофаги. У них тело овальной или цилиндрической формы, ноги преимущественно бегательно-лазательные или бегательно-лазательно-копательные. У лазающих форм голени средних и задних ног щетинистые с цепкими лапками. У активно зарывающихся видов передние голени с крепкими шпорами и оттянутым внешним углом на вершине голени. Мандибулы у них в общем более короткие и массивные, чем у зоофагов.</p>		
<p><i>а) Группа Стратобионты бегающе-лазающие</i> Это миксофитофаги, обитающие в подстилке и в скоплениях отмерших растительных остатков, преимущественно во влажных местах. В основном мелкие жуки. У них стройное, слабо уплощенное тело, покровы часто относительно мягкие. Ноги тонкие, бегательно-лазательные, явных адаптаций к рытью у них нет. Большинство видов, особенно населяющих приводные местообитания, хорошо летают.</p>		
<p><i>б) Группа Геохортобионты бегающе-лазающе-роющие</i> Среди них наиболее часты случаи облигатной фитофагии. Обитают в почве или на её поверхности и способны лазать по растениям и поедать семена. Ноги бегательно-лазательно-копательные или бегательно-лазательные с хорошо развитыми адаптациями к рытью. выделяют 3 подгруппы видов с разным габитусом и своеобразными адаптациями к рытью и лазанию по растениям: гарпалоидные, забродные и дитомоидные.</p>		
<p>-Подгруппа геохортобионты гарпалоидные Включает фитофагов со смешанным питанием, закапывающихся при помощи роющих передних ног с острыми наружными углами на голених. Средние и задние ноги щетинистые, служат для лазания по растениям и отгребания нарытой почвы. Лапки цепкие, способные удерживать тело при лазании по растениям.</p>		

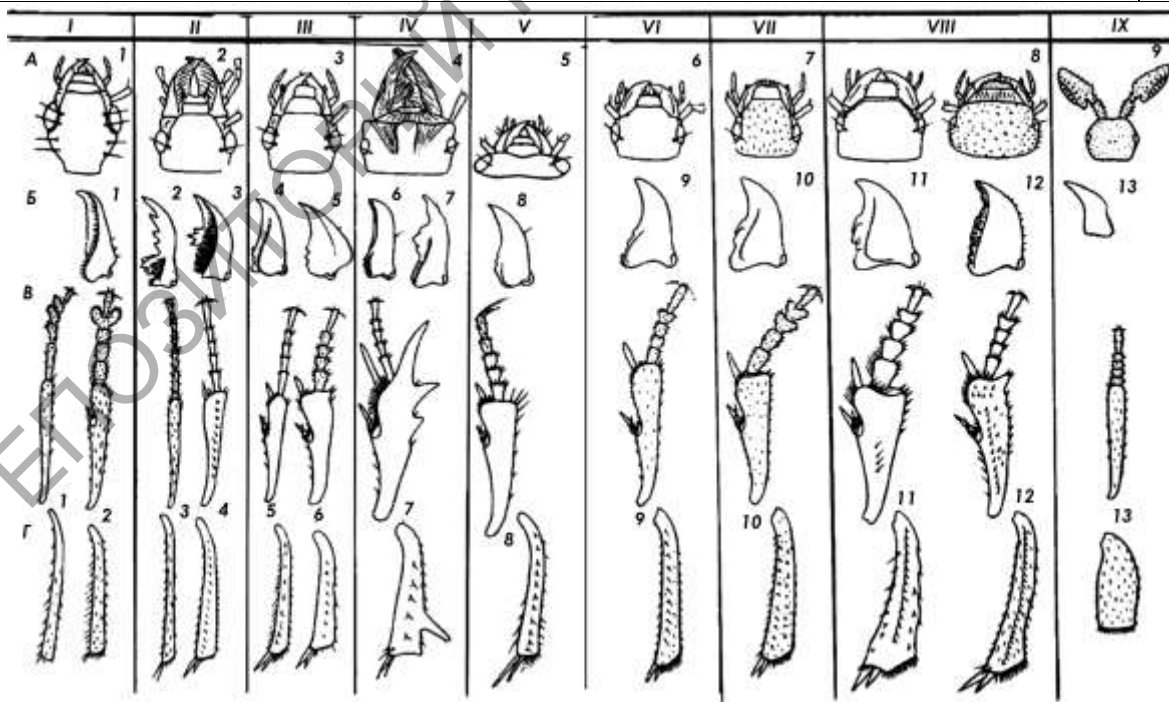


Рисунок 2 – Морфологическая характеристика жизненных форм имаго жуков.

Класс зоофаги: I – фитобионты, II – эпигеобионты, III – стратобионты, IV – геобионты, V – псаммоколимбеты;

Класс миксофитофаги: VI – стратобионты, VII – стратохортобионты, VIII – геохортобионты;

Класс симфилы (IX).

A – голова сверху; Б – мандибула левая снизу; В, Г – голень и лапка передние, голень средняя.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4 ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Задание 1. Рассмотрите таблицу возрастного состава популяций костра безостого:

Таблица – Возрастная структура популяций костра безостого

Условие обитания	Среднее число на 0, 25 м ²	Наземная масса, г	Возрастной состав популяции								
			<i>j</i>	<i>im</i>	<i>v</i>	<i>g₁</i>	<i>g₂</i>	<i>g₃</i>	<i>ss</i>	<i>s₁</i>	<i>s₂</i>
Ежегодное удобрение (N и K)	26,3	35	0	2	11	4	24	8	34	15	4
Удобрения не вносят 3 года	10,4	5,6	1	1	4	0	5	24	48	14	4
Удобрения не вносят 10 лет	?	?	0	0	0	0	0	1	41	8	50

Примечание: Костер безостый – длиннокорневищный злак, мезофит, доминант или субдоминант многих ассоциаций пойменных лугов и отчасти луговых степей, залежей и светлых лесов. Широко распространен в Европе, Казахстане, Средней Азии и Сибири. Длительность жизненного цикла 15-20 лет. Растение зацветает на 4-6-й год жизни. Вегетативное размножение сопровождается глубоким омоложением потомства.

Условные обозначения для возрастного состава популяций растений

Обозначение	Значение
<i>p</i>	проросток
<i>j</i>	ювенильное растение
<i>im</i>	имматурное растение
<i>v</i>	виргильное растение
<i>g₁</i>	молодое генеративное растение
<i>g₂</i>	средневозрастное генеративное растение
<i>g₃</i>	старые генеративные растения
<i>ss</i>	субсенильные растения
<i>s</i>	сенильные растения

Составьте графики возрастных спектров популяций костра безостого на разных лугах. **Вычислите долю особей** в прегенеративном состоянии.

Проанализируйте данные таблицы и ответьте письменно на вопросы:

- 1) К какому типу относятся возрастные спектры этого вида?
- 2) О чем свидетельствует правосторонний спектр возрастной структуры популяции?
- 3) Как влияет внесение минеральных удобрений на состояние популяции костра безостого на исследованных лугах?
- 4) Может ли костер безостый закрепиться в указанных ассоциациях без антропогенного вмешательства?

Задание 2. Рассмотрите таблицу возрастного состава и численности популяций безвременника:

Таблица – Видовой состав и численность безвременника

Тип сообщества	Возрастной состав популяции, %					Число особей на 0,25 м ²	
	<i>j</i>	<i>im</i>	<i>v</i>	<i>gl</i>	<i>s</i>	Всего	Взрослых
Широколиственные леса нижнего и среднего горных поясов	31	12	25	32	–	3	2,1
Среднегорные высокотравные луга (на месте сведенных лесов)	18	16	30	31	5	9,2	7,5
Низкотравные средне-горные пастбища	12	6	49	24	9	0,8	0,7
Слабо нарушенные высокогорные луга	17	6	40	27	10	4,3	3,6
Сильно нарушенные и выбитые луга	54	3	21	15	7	9,8	4,3

Составьте гистограммы и охарактеризуйте тип возрастных спектров.

Проанализируйте таблицу, ответьте письменно на следующие вопросы:

- 1) В каких условиях в популяциях безвременника заметную роль играет вегетативное размножение и в каких – самоподдержание вида осуществляется исключительно семенным путем?
- 2) В каких горных поясах и в каких сообществах наиболее благоприятные условия для роста безвременника?
- 3) Где рационально проводить массовые заготовки сырья безвременника?
- 4) Как безвременник реагирует на разные формы антропогенных нарушений – вырубку леса, пастьбу, сбой?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5 ВИДОВАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Задание 1. Рассмотрите таблицу встречаемости птиц в различных биоценозах. Вычислите число видов и особей птиц, характерное для каждого из сообществ, определите доминантов, субдоминантов и рецедентов.

Вид	Численность птиц, экз.		
	Ковыльная степь	Посевы с лесополосами	Посевы без лесополос
Степной жаворонок	2580	1420	1100
Полевой жаворонок	1800	2	260
Малый жаворонок	310	470	320
Каменка-плясунья	60	0	1
Каменка-пleshанка	30	0	0
Желтая трясогузка	0	5	0
Розовый скворец	0	3	0
Чибис	0	0	20
Перепел	0	170	0
Лунь полевой	0	8	20
Лунь степной	10	0	0
Степной орел	10	0	0
Славка серая	0	10	0
Городская ласточка	0	20	20
Деревенская ласточка	0	60	70
Береговая ласточка	0	0	20
Полевой воробей	0	5	0
Камышовая овсянка	0	3	5
Серая ворона	2	8	0
Сизоворонка	30	0	0
Грач	0	30	120

Задание 2. Используя формулы индексов информационного разнообразия (Шеннона), концентрации доминирования (Симпсона) и выравненности видов в сообществе (Пиелу) охарактеризуйте биологическое разнообразие птиц каждого сообщества и сравните их между собой.

а) информационное разнообразие, или индекс Шеннона

$$H' = -\sum(n_i/N)\log(n_i/N),$$

где n_i – число особей i -го вида;

N – общее число особей всех видов в сообществе.

Индекс показывает общее разнообразие и представленность видов их особями в сообществе. Обычно укладывается в интервал от 1,5 до 3,5 (чем выше, тем более широко сообщество представлено видами). Если видов в сообществе мало, то

показатель индекса Шеннона может быть меньше 1.

б) концентрация доминирования, или индекс Симпсона

$$C = \sum (n_i/N)^2,$$

где n_i – число особей i -го вида;

N – общее число особей всех видов в сообществе.

(в расчетах следует считать сумму квадратов n_i/N , а не квадрат суммы).

Является показателем общего доминирования в сообществе, обратно пропорционален предыдущему индексу. Изменяется в диапазоне от 0 до 1 (чем он меньше, тем большее число видов доминируют в сообществе). Высокий показатель может свидетельствовать об устоявшемся биоценозе со стабильной видовой структурой.

в) выравненность видов в сообществе (индекс Пиелу)

$$e = H'/\ln S,$$

где H' – индекс Шеннона;

S – число видов в сообществе.

Показывает, насколько виды в равной доле представлены особями. Изменяется в пределах от 0 до 1. Чем он больше, тем выше показатель нарушенности биоценоза или это свидетельствует о том, что сообщество находится на стадии формирования.

Задание 3. Используя коэффициент видового сходства сообществ (коэффициент Жаккара) определите, насколько сообщества птиц из разных биотопов схожи между собой по видовому составу.

Коэффициент видового сходства сообществ (коэффициент Жаккара)

$$K_g = C / ((A+B)-C),$$

где A – число видов в 1-м сообществе;

B – число видов во 2-м сообществе;

C – число видов, общих для обоих сообществ.

(< 0,2 – сходства нет; 0,2-0,39 – низкое сходство; 0,4-0,64 – высокое сходство; 0,65-1,0 – полное сходство).

Заполните рассчитанными коэффициентами нижеприведенную таблицу.

Биотопы	Ковыльная степь	Посевы с лесополосами	Посевы без лесополос
Ковыльная степь			
Посевы с лесополосами			
Посевы без лесополос			

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6 ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Задание 1. Начертите 3 примера пастбищных и 3 примера детритных цепей питания, существующих в природе.

Задание 2. Перечислены несколько видов организмов: лягушка травяная, головастик лягушки, жук-плавунец, личинка плавунца, комар самец, комар самка, хламидомонада, жук-могильщик, эвглена зеленая, луковичная нематода, гнилостные бактерии, божья коровка, одуванчик, инфузория-туфелька, дождевой червь, молочнокислые бактерии, гриб мукор, бычий цепень, гриб пеницилл, росянка круглолистная, сова, тля. Проанализируйте их типы и способы питания и распределите эти организмы по колонкам нижеприведенной таблицы:

Продуценты	Первичные консументы	Вторичные и третичные консументы	Редуценты и детритофаги

Задание 3. Пользуясь таблицей и правилом экологической пирамиды, определите какая площадь (в га) соответствующего биоценоза может прокормить одну особь последнего звена в цепи питания:

Организмы или их продукция	Название биоценоза	Продуктивность (г/м ² ×год)
Планктон	Водоем любого типа	600
Рыба (все дикие виды)	Водоем любого типа	15
Карп (разводимый)	Рыбоводческий пруд	150
Травянистая растительность	Луг, поле, роща	200
Водная растительность	Водоем любого типа	1000
Опавшие листья	Лиственный лес	400
Древесина деревьев	Лиственный лес	500
Древесина деревьев	Тропический лес	1300
Почвенная фауна	Лиственный лес	100
Почвенные простейшие	Лиственный лес	10

- а) лиственной опад → дождевые черви → землеройка → лиса (живая масса 20 кг)
- б) планктон → рыбы → тюлень (300 кг)
- в) планктон → нехищные рыбы → щука (10 кг)
- г) планктон → рыба → тюлень → белый медведь (500 кг)
- д) травянистые растения → заяц → лиса → волк (50 кг)
- е) водные растения → моллюски → карп (3 кг).

Примечание: 60% массы составляет вода.

Задание 4. На 1 м² площади культурного биоценоза – горохового поля растет 150 особей гороха посевного (биомасса в сухом виде 450 г) и 180 особей сорных растений (сухой вес 500 г) разных видов: 1) осот – 30 особей; 2) молочай – 5 особей; 3) вьюнок – 10 особей; 4) марь белая – 15 особей; 5) щетинник – 80 особей; 6) ярутка полевая – 5 особей; 7) пырей ползучий – 30 особей; 8) фиалка – 5 особей. Для данного биоценоза определите:

- а) видовое разнообразие;
- б) численность видовых популяций;

в) продуктивность (в кг/га).

Задание 5. Объясните предлагаемые термины. Определения запишите в тетрадь:

Экосистема

Биогеоценоз

Биотоп

Биоценоз

Продуценты

Консументы

Редуценты

Детритофаги

Трофическая цепь

Экологическая пирамида

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7 ТИПЫ ЭКОСИСТЕМ

Задание 1. Используя данные таблицы 1, определите участие (в %) различных типов экосистем Земли в формировании чистой первичной продукции (ЧПП) и биомассы биосферы.

Таблица 1 – Чистая первичная продукция и растительная биомасса Земли

Тип экосистемы	Площадь, 10^6 км^2	ЧПП, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$	Участие (%)	Биомасса, кг/м^2	Участие (%)
Тропический дождевой лес	17	2200		45	
Тропический сезонный лес	7,5	1600		35	
Вечнозеленый лес умеренной зоны	5,0	1300		35	
Листопадный лес умеренной зоны	7,0	1200		30	
Бореальный лес	12,0	800		20	
Редколесье и кустарники	8,5	700		6	
Саванна	15,0	900		4	
Злаковники умеренной зоны	9,0	600		1,6	
Тундра и альпийская растительность	8,0	140		0,6	
Пустынная и полупустынная растительность	18	90		0,7	
Экстремальные пустыни, скалы, пески и лед	24,0	3		0,02	
Возделываемые земли	14,0	650		1	
Болота	2,0	2000		15	
Озера и реки	2,0	250		0,02	
Всего			100	-	-
Открытый океан	332,0	125		0,003	
Зоны апвеллинга	0,4	500		0,02	
Континентальный шельф	26,6	360		0,01	
Заросли водорослей и рифы	0,6	2500		2	
Речные дельты	1,4	1500		1	
Всего			100		100

Задание 2. Заполните таблицу 2, охарактеризовав основные типы экосистем на Земле.

Таблица 2 – Характеристика биомов земного шара

Тип экосистемы	Краткая характеристика
1	2
Тропический дождевой лес	
Тропический сезонный лес	
Вечнозеленый лес умеренной зоны	
Листопадный лес умеренной зоны	

1	2
Бореальный лес	
Редколесье и кустарники	
Саванна	
Злаковники умеренной зоны	
Тундра и альпийская растительность	
Пустынная и полупустынная растительность	
Экстремальные пустыни, скалы, пески и лед	
Возделываемые земли	
Болота	
Озера и реки	
Открытый океан	
Зоны апвеллинга	
Континентальный шельф	
Заросли водорослей и рифы	
Речные дельты	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 8 УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ В.И. ВЕРНАДСКОГО

Задание 1. Заполните таблицу 1, описав типы веществ на Земле (по Вернадскому).

Таблица 1 – Характеристика типов веществ на Земле

Типы веществ	Характеристика
Живое вещество	
Биогенное вещество	
Косное вещество	
Биокосное вещество	
Радиоактивное вещество	
Вещество рассеянных атомов	
Космическое вещество	

Задание 2. Распределите нижеперечисленные явления и процессы по соответствующим им биогеохимическим функциям живого вещества. Заполните таблицу 2.

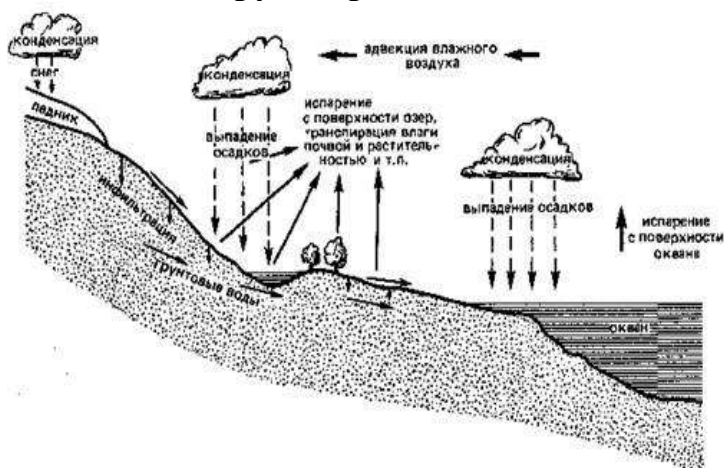
- 1) разложение отмершей органики редуцентами;
- 2) создание полезащитных лесополос;
- 3) образование первичной продукции автотрофами;
- 4) выделение CO_2 при дыхании и O_2 при фотосинтезе;
- 5) накопление кальция в костной ткани животных;
- 6) осуществление ферментативных реакций синтеза и разложения органических веществ в ходе клеточного метаболизма;
- 7) образование вторичной продукции консументами различных трофических уровней;
- 8) выделение метана и сероводорода в ходе разложения останков животного происхождения;
- 9) отложение биогенных элементов в клетках запасующих тканей;
- 10) реакции фотосинтеза и клеточного дыхания;
- 11) загрязнение акватории из-за разлива нефти;
- 12) минерализация растительного опада бактериями гниения.

Таблица 2 – Биогеохимические функции живого вещества

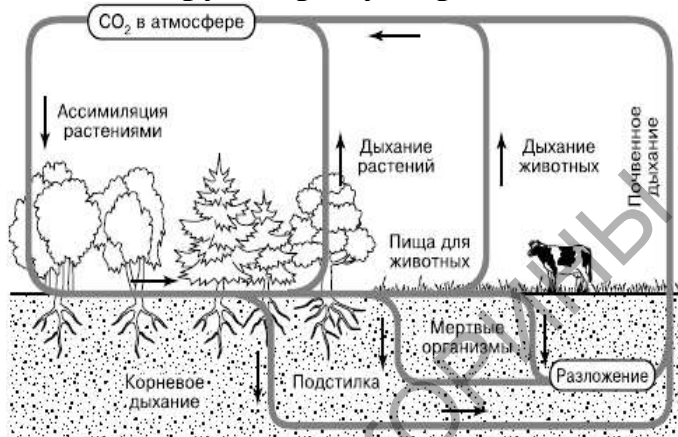
Функция	Пример
Энергетическая	
Газовая	
Концентрационная	
Окислительно-восстановительная	
Деструкционная	
Антропогенная	

Задание 3. Перенесите в рабочую тетрадь важнейшие круговороты веществ в биосфере.

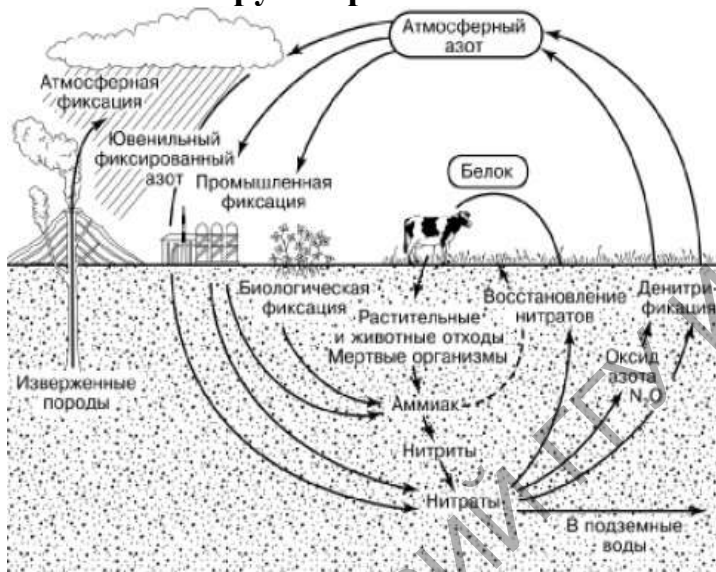
Круговорот воды



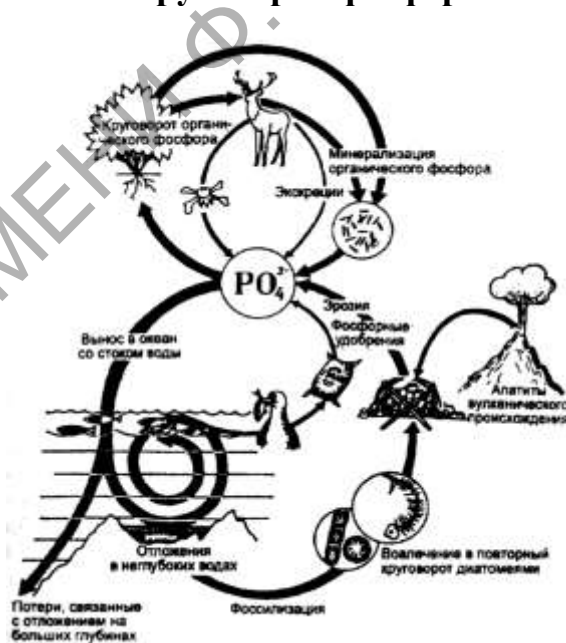
Круговорот углерода



Круговорот азота



Круговорот фосфора



РЕПОЗИТОРИЙ ИМ. П. Ф. СКОРНИЦЫНА

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 9 «ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ»

Задание 1. На какие типы подразделяются охраняемые природные территории? Воспроизведите в тетради представленный ниже рисунок и заполните его.

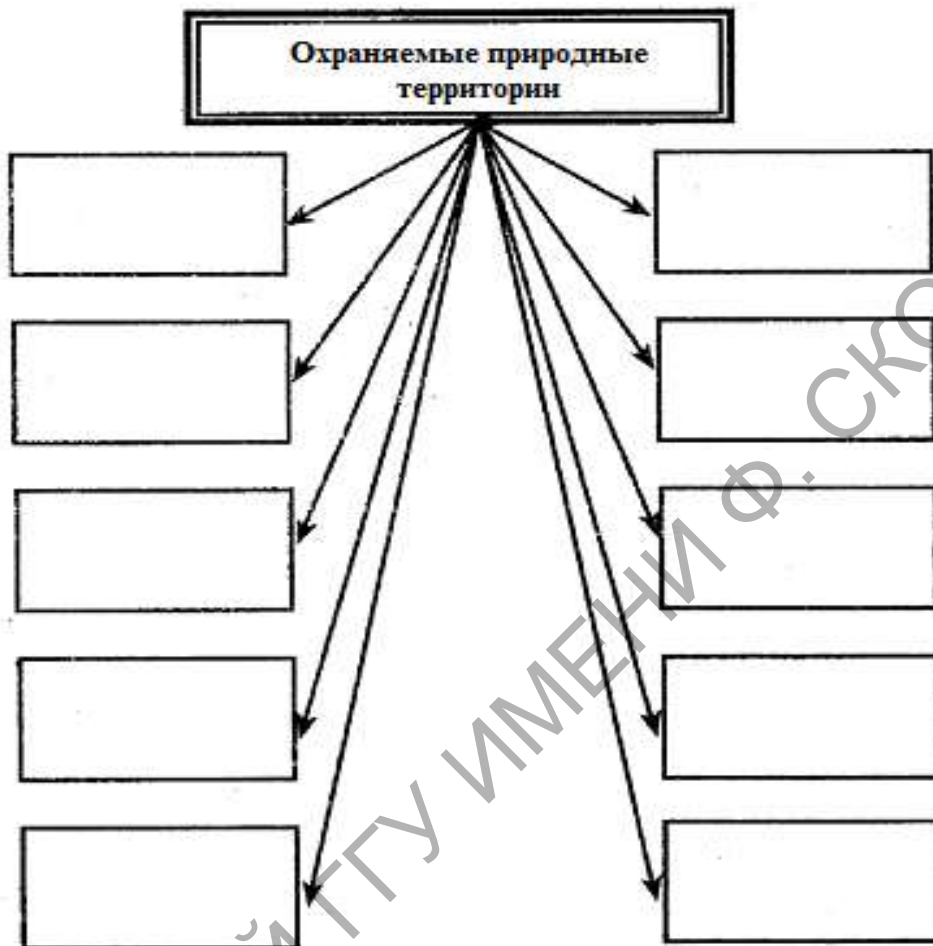


Рисунок 1 – Типы охраняемых природных территорий

Задание 2. Дайте письменно ответы на вопросы:

- а) Запишите определения: заповедник, национальный парк, заказник, памятник природы.
- б) Какова основная задача охраняемых территорий?
- в) Какие особо охраняемые природные территории существуют в нашей стране, сколько их?

Задание 3. Опишите структуру Красной Книги Республики Беларусь. Отметьте в тетради, какие категории в ней выделяют?

Распределите перечисленные виды по категориям охраны, заполнив таблицу 1: носток сливовидный, бурый медведь, хара ломкая, нителла грациозная, ветреница лесная, борец обыкновенный, толстая (овальная) перловица, стерлядь, пихта белая, прострел луговой, береза карликовая, узкая беззубка, широкопалый рак, ручьевая форель, фиалка горная, дуб скальный, медицинская пиявка, бокоплав Палласа, сфагновая водомерка, гребенчатый тритон, медянка, кубышка малая, кувшинка белая,

чернозобая гагара, европейский зубр, обыкновенный хомяк, крапива киевская, клюква мелкоплодная, змеяяд, крапчатый суслик, филин, цимбелла изогнутая, гроздовик виргинский.

Таблица 1 – Примеры редких и исчезающих видов растений и животных, занесенных в Красную Книгу Республики Беларусь

Категория охраны	Примеры
I	
II	
III	
IV	

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3 КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

3.1 Перечень вопросов к экзамену

- 1 Предмет и задачи, структура экологии.
- 2 История экологии.
- 3 Разделы экологии.
- 4 Понятие об окружающей среде, экологических факторах.
- 5 Экологические факторы и закономерности их действия на организмы.
- 6 Классификация экологических факторов.
- 7 Свет и его значение в жизнедеятельности организмов. Адаптации организмов к свету.
- 8 Температура и адаптации к ней организмов.
- 9 Влажность и отношение к ней животных и растений.
- 10 Экологические факторы и лес: свет и световой режим.
- 11 Экологические факторы и лес: температура и тепловой режим.
- 12 Экологические факторы и лес: влажность и эдафические факторы.
- 13 Биотические факторы, типы биотических отношений.
- 14 Конкуренция и хищничество как биотические факторы.
- 15 Различные формы симбиоза, их характеристика.
- 16 Жизненные формы растений.
- 17 Жизненные формы животных.
- 18 Экологические группы организмов.
- 19 Понятие о популяции, структура популяций.
- 20 Статические характеристики популяции.
- 21 Динамические характеристики популяции.
- 22 Регуляция численности популяций.
- 23 Понятие и свойства биоценозов. Компоненты биоценозов.
- 24 Понятие об экологической нише. Отношения между организмами в биоценозах.
- 25 Трофическая структура биоценозов.
- 26 Видовая и пространственная структура биоценозов.
- 27 Динамика и развитие биоценозов. Понятие сукцессии.
- 28 Понятия об экосистеме и биогеоценозе, примеры.
- 29 Пищевые цепи и трофические уровни. Экологические пирамиды.
- 30 Продуктивность экосистем.
- 31 Водная среда как среда жизни. Экологические группы гидробионтов.
- 32 Наземно-воздушная среда как среда жизни. Экологические факторы наземно-воздушной среды.
- 33 Почва как среда жизни. Экологические группы почвенных организмов.
- 34 Учение В.И. Вернадского о биосфере. Понятие биосферы. Оболочки биосферы.

- 35 Типы веществ на Земле (по В.И. Вернадскому). Живое вещество биосферы, его свойства и функции.
- 36 Круговорот веществ в природе, биологический круговорот.
- 37 Современные экологические проблемы.
- 38 Проблема загрязнения атмосферы.
- 39 Мероприятия по охране атмосферы.
- 40 Проблема загрязнения природных вод.
- 41 Мероприятия по охране природных вод.
- 42 Проблема эрозии и деградации почв. Меры борьбы с ними.
- 43 Загрязнение почвы. Борьба с загрязнениями почвы, рекультивация земель.
- 44 Проблемы охраны растительного и животного мира.
- 45 Понятие о природных ресурсах, основные типы природных ресурсов.
- 46 Экологический мониторинг.
- 47 Проблемы биоразнообразия и пути их решения.
- 48 Правовые основы охраны природы.
- 49 Особо охраняемые природные территории в Республике Беларусь.
- 50 Красная книга Республики Беларусь.
- 51 Предмет и задачи метеорологии, связь с другими науками о Земле.
- 52 Солнечная радиация в атмосфере. Тепловой режим атмосферы.
- 53 Атмосферное давление. Ветер.
- 54 Водяной пар в атмосфере. Туманы. Облака.
- 55 Атмосферные осадки.
- 56 Гидросфера и ее роль на Земле. Поверхностные и подземные воды.
- 57 Погода как определенное состояние атмосферы, прогноз погоды.
- 58 Синоптические объекты. Синоптическая карта.
- 59 Климат и климатообразующие факторы. Классификация климатов.
- 60 Использование экологической и метеорологической информации в лесном хозяйстве.

3.2 Критерии оценок по дисциплине

10 баллов (десять):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;

- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов (девять):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы;
- полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях;
- творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов (восемь):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов (семь):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;

- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов (шесть):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов (пять):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла (четыре), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла (три), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;

- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла (два), НЕЗАЧТЕНО:

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл (один), НЕЗАЧТЕНО:

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

3.3 Образец тестовых заданий по дисциплине

Файл прилагается

4 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1 Учебная программа дисциплины

Файл прилагается

4.2 Перечень рекомендуемой литературы

Основная:

- 1 Ражкоў, Л.М. Экалогія з асновамі метэаралогіі: падручнік / Л.М. Ражкоў. – Мінск: Ураджай, 1995. – 341 с.
- 2 Ражкоў, Л.М. Экалогія з асновамі метэаралогіі. Лабараторны практыкум / Л.М. Ражкоў, Г.Я. Клімчык, Дз.В. Шыман. – Мн.: БДТУ, 2007. – 178 с.
- 3 Федорук, А.Т. Экологія: учебное пособие / А.Т. Федорук. – Минск: Вышэйшая школа, 2013. – 462 с.
- 4 Пиловец, Г.И. Метеорология и климатология: учебное пособие / Г.И. Пиловец. – Минск: Новое знание, Москва, 2013. – 399 с.
- 5 Каўрыга, П.А. Метэаралогія: вучэбны дапаможнік / П.А. Каўрыга. – Мінск: БДУ, 2005. – 187 с.
- 6 Каўрыга, П.А. Лабараторны практыкум па метэаралогіі і кліматалогіі: вучэбны дапаможнік / П.А. Каўрыга. – Мінск: Ураджай, 1997. – 151 с.
- 7 Лемеза, Н.А. Тесты и лабораторные работы по экологии: Учебное пособие / Н.А. Лемеза. – Минск: Издательство Юнипресс, 2005. – 256 с.
- 8 Костюкевич, Н.И. Лесная метеорология / Н.И. Костюкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 288 с.

Дополнительная:

- 1 Ярошенко, П.Д. Геоботаника / П.Д. Ярошенко. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.
- 2 Волошина, А.П. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии: учеб. пособие / А.П. Волошина, Т.В. Евневич, А.И. Земцова; под ред. С.П. Хромова. – М.: МГУ, 1975. – 144 с.
- 3 Стернзат, М.С. Метеорологические приборы и измерение: учеб. / М.С. Стернзат. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 392 с.
- 4 Радкевич, В.А. Экология / В.А. Радкевич. – Мн.: Вышэйшая школа, 1998. – 159 с.
- 5 Киселев, В.Н. Основы экологии / В.Н. Киселев. – Мн.: Універсітэцкае, 2000. – 384 с.
- 6 Денисов, Д.Р. Экология / Д.Р. Денисов. – М.: Вузовская книга, 2002. – 727 с.
- 7 Куликов, Я.К. Агроэкология: учебное пособие / Я.К. Куликов. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 319 с.
- 8 Шумак, В.В. Основы экологии и экономики природопользования: практикум / В.В. Шумак [и др.]. – Минск: Дикта, 2011. – 92 с.

9 Кулеш, В.Ф. Практикум по экологии: учебное пособие / В.Ф. Кулеш, В.В. Маврищев. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 271 с.

10 Хромов, С.П. Метеорология и климатология: учебник для вузов / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. – 7-е изд. – Москва: изд-во Московского университета: Наука, 2006. – 582 с.

11 Морозов, А.Е. Метеорология и климатология. Термины, понятия, определения: словарь-справочник / А.Е. Морозов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 147 с.

12 Рассашко, И.Ф. Основы экологии: Учебно-методический комплекс / И.Ф. Рассашко, Д.В. Потапов, Г.Г. Гончаренко [и др.]. – Гомель: ГГУ имени Ф. Скорины, 2005. – 220 с.

13 Галиновский, Н.Г. Экология с основами метеорологии: практическое руководство / Н.Г. Галиновский, Д.В. Потапов, Г.Г. Гончаренко. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 108 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
УО «ГГУ имени Ф. Скорины», профессор



И.В. Семченко

20/5 г.

Регистрационный № УД 18-2015-149 /уч.

ЭКОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ МЕТЕОРОЛОГИИ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-75 01 01 Лесное хозяйство

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта Республики Беларусь ОСРБ 1 – 75 01 01-2013 и учебного плана УО «ГГУ им. Ф. Скорины» специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство», регистрационный номер К 75-01-13 от 29.08.2013

Составители:

Н.Г. Галиновский, доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», кандидат биологических наук, доцент;

Т.В. Азявчикова, старший преподаватель кафедры зоологии, физиологии и генетики УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Рекомендована к утверждению: кафедрой зоологии, физиологии и генетики

протокол № ____, _____ 2015 г.,

Научно-методическим советом УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

протокол № ____, _____ 2015 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Экология с основами метеорологии» относится к циклу «Общепрофессиональные и специальные дисциплины» учебного плана по специальности «Лесное хозяйство». Знания в области экологии, а также представления о процессах, происходящих в атмосфере Земли, являются основой для более комплексного освоения таких специальных дисциплин как «Лесная пирология», «Биология лесных зверей и птиц», «Генетика и селекция», «Лесоводство» и др. Подготовка специалистов в области экологии особенно актуальна в связи с изучением неблагоприятных последствий Чернобыльской катастрофы.

Изучение экологии и метеорологии необходимо для более совершенного усвоения знаний о процессах, происходящих в лесных биоценозах и парковых насаждениях, а также поможет специалистам принимать наиболее рациональные решения при ликвидации негативных результатов антропогенного взаимодействия на природные биоценозы. Подготовка специалистов в области экологии также необходима при выполнении экспертиз, связанных с охраной окружающей среды.

Целью изучения данной дисциплины является профессиональная подготовка специалистов лесного хозяйства в области общей экологии и метеорологии.

Задачей является изучение методов и средств экологических и метеорологических исследований для определения параметров окружающей среды, формирование навыков и выработка умений моделирования взаимоотношений между элементами природных сообществ.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

знать:

- методы и методики экологических, метеорологических и микроклиматических исследований в лесу;
- классификацию экологических факторов и их роль в жизни лесных и парковых насаждений;
- компоненты лесного биоценоза;
- определение и механизмы функционирования популяции, её роль в формировании лесного биоценоза;
- определения, закономерности образования и функционирования биоценоза и экосистемы;
- приборы для ведения метеорологических наблюдений;
- состав и строение атмосферы;
- процессы нагревания, охлаждения, источники влажности, атмосферное давление, воздушные течения в атмосфере;
- определение погоды и особенности её формирования, неблагоприятные явления погоды;
- климатообразующие факторы и их влияние на лесную растительность.

уметь:

- выполнять системный анализ лесного растительного сообщества;
- определять характеристики и выполнять описание растительных ассоциаций и популяций;
- определять и рассчитывать основные метеорологические показатели, дать прогноз заморозков и загораемости лесов.

владеть:

- методами анализа лесного биоценоза;
- методами определения основных метеорологических величин

Изучение дисциплины «Экология с основами метеорологии» предусмотрено студентами дневной формы обучения 1 курса (1 семестр) и студентами заочной формы обучения 1 и 2 курсов (1, 2 и 3 семестры) специальности 1–75 01 01 Лесное хозяйство.

Общее количество часов для **студентов дневной формы обучения** – 192 (5 зачётных единиц), аудиторных – 86 (из них лекционных – 50 часов (УСР – 10 часов), лабораторных занятий – 18 часов, практических занятий – 18 часов). Форма отчетности – зачёт, экзамен.

Общее количество часов для **студентов заочной формы обучения** в 1 семестре – 60 (1 зачётная единица), аудиторных – 8 (все – лекционные). Общее количество часов во 2 семестре 50 (1 зачётная единица), аудиторных – 8 часов (из них лекции – 6 часов, практические занятия – 2 часа). Общее количество часов во 3 семестре 82 (3 зачётных единиц), аудиторных – 8 часов (все – практические занятия). Форма отчетности – зачёт, экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1 ЭКОЛОГИЯ

Тема 1.1 Введение в экологию

Определение экологии. История становления и развития экологии как науки. Объект изучения экологии. Проблемы и задачи экологии. Методические подходы изучения процессов взаимодействия живых организмов с окружающей средой и между собой. Использование экологических знаний в народном хозяйстве и в области охраны природы.

Тема 1.2 Основные среды жизни. Биологические ритмы

Водная среда. Наземно-воздушная среда. Почва как среда жизни. Живые организмы как среда жизни. Биологические ритмы.

Тема 1.3 Факторы окружающей среды и закономерности их воздействия на организм

Среда и условия обитания организмов. Классификация факторов. Толерантность. Экологическая пластичность организмов. Лимитирующие факторы. Экологические ряды и экологическая индивидуальность. Правило смены мест обитания и ярусов. Принципы экологической классификации организмов.

Тема 1.4 Абиотические факторы и адаптации к ним организмов

Лучистая энергия. Температурный режим. Влажность. Правила и механизмы адаптации организмов. Экологические группы растений и животных. Жизненные формы растений и животных. Анатомо-морфологические адаптации. Биоиндикация. Влияние факторов среды на развитие лесных флоры и фауны.

Тема 1.5 Особенности действия экологических факторов в лесной среде

Микроклиматические условия в лесной среде. Эдафические факторы. Биотические факторы. Антропогенные факторы.

Тема 1.6 Общая характеристика популяции как биологической системы

Понятие о популяции. Основные характеристики и критерии выделения популяций. Пространственная структура. Виталитетная структура. Возрастная структура. Половая структура.

Тема 1.7 Динамика популяций

Основные динамические характеристики популяций. Потенциальная скорость естественного прироста популяций. Факторы, регулирующие плотность популяций. Концепция жизненных стратегий.

Тема 1.8 Понятие о биоценозе. Концепция экологической ниши

Биоценоз как биологическая система. Компоненты биоценоза. Видовая структура биоценоза. Концепция экотона и краевого эффект. Пространственная структура биоценоза. Экологическая структура биоценоза. Экологическая ниша.

Тема 1.9 Биологическое разнообразие

Определение биологического разнообразия. Классификация и категории. Особенности хорологии. Факторы, влияющие на видовое богатство сообществ. Устойчивость и стабильность систем.

Тема 1.10 Биоценотические связи. Формы межвидовых связей

Биоценотические связи. Хищничество. Паразитизм. Симбиоз. Конкуренция. Консорция. Лесные растительные ассоциации.

Тема 1.11 Концепция экосистемы

Определение и концепция экосистемы. Концепция биогеоценоза. Признаки выделения экосистем. Классификация экосистем. Поток энергии и круговорот веществ в экосистеме. Продуктивность экосистем. Пищевые цепи и сети. Экологические пирамиды. Эмерджентность, упорядоченность, иерархичность и динамичность экосистем.

Тема 1.12 Динамика экосистем

Динамика биоценоза (флуктуации). Гомеостаз экосистем. Сукцессия экосистем. Сингенез. Эндозоогенез. Экзозоогенез. Механизмы и основные тенденции развития экосистем. Эволюция растительности.

Тема 1.13 Учение о биосфере

Определение биосферы. Возникновение и развитие биосферы. Среда и границы жизни в биосфере. Живое вещество биосферы. Круговороты и биогеохимические циклы в биосфере. Распределение биоценозов на Земле. Эволюция биосферы. Ноосфера.

Тема 1.14 Экология и деятельность человека

Проблемы современной экологии. Общая характеристика антропогенного воздействия на круговорот вещества и потока энергии в биосфере. Современное состояние биосферы. Международные и государственные нормативные акты охраны биосферы. Критерии оценки экологического состояния территории. Экологические проблемы деградации и осушения почв в Беларуси. Экологические проблемы республики Беларусь в связи с катастрофой на ЧАЭС.

Раздел 2 ОСНОВЫ МЕТЕОРОЛОГИИ

Тема 2.1 Метеорология и её связь с другими науками

Определение метеорологии. История становления и развития метеорологии и климатологии. Современный комплекс метеорологических дисциплин. Методы исследований в метеорологии. Основные метеорологические величины. Организация гидрометеорологической службы. Использование метеорологической информации в лесном хозяйстве.

Тема 2.2 Строение атмосферы, её химический состав и физические свойства

Общие сведения об атмосфере. История возникновения атмосферы. Строение атмосферы. Температура атмосферного воздуха на различных высотах. Химический состав атмосферного воздуха. Физические свойства атмосферного воздуха

Тема 2.3 Радиационный баланс земной поверхности

Понятие о солнечной радиации и её значение. Спектральный анализ солнечной радиации. Солнечная постоянная. Альbedo. Виды потоков солнечной радиации. Тепловое излучение земной поверхности и атмосферы. Радиационный баланс земной поверхности и его составляющие. Суточный и годовой ход солнечной радиации. Солнечная радиация под пологом леса.

Тема 2.4 Температурный режим атмосферы

Температурный режим атмосферы. Отличия тепловых режимов почвы и водоёмов. Процессы нагрева и охлаждения воздуха. Инверсии температуры. Изотермия. Суточный и годовой ход температуры воздуха на разных высотах. Амплитуда температуры подстилающей поверхности и воздуха в приземных слоях атмосферы. Приборы для измерения температуры воздуха.

Тема 2.5 Температурный режим подстилающей поверхности и почвы

Тепловой баланс подстилающей поверхности и его составляющие. Суточный и годовой ход температуры подстилающей поверхности. Изменение температуры почвы с глубиной. Приборы для измерения температуры почвы. Промерзание почвы. Вечная мерзлота. Заморозки, их классификация и методы борьбы с ними. Особенности температурного режима в лесу.

Тема 2.6 Водяной пар в атмосфере

Круговорот водяного пара в атмосфере. Характеристика влажности воздуха. Суточный и годовой ход влажности воздуха. Приборы для измерения влажности воздуха. Конденсация и сублимация водяного пара. Туманы и их виды. Засуха, суховеи и борьба с ними.

Тема 2.7 Облака и атмосферные осадки

Облака и их классификация. Атмосферные осадки и их классификация. Суточный и годовой ход атмосферных осадков. Снежный покров. Приборы для измерения атмосферных осадков. Географическое распределение облачности, туманов и осадков. Влияние леса на атмосферные осадки.

Тема 2.8 Барическое поле

Барические системы. Определение атмосферного давления. Географическое распределение атмосферного давления вблизи земной поверхности. Барическая ступень. Барический градиент. Циклон. Антициклон. Приборы для измерения атмосферного давления.

Тема 2.9 Ветер и общая циркуляция атмосферы

Воздушные течения в атмосфере. Схема общей циркуляции атмосферы. Местные ветры. Суточный и годовой ход скорости ветра. Опасные явления погоды, связанные с ветром. Приборы для измерения скорости и направления ветра. Влияние леса на скорость ветра.

Тема 2.10 Погода и её прогноз

Понятие о погоде. Изменчивость погоды. Воздушные массы. Погода в циклонах и антициклонах. Воздушные фронты и погода в них. Динамический метод прогноза погоды. Синоптическая карта. Синоптический метод прогноза погоды. Прогноз погоды по местным приметам. Расчёт комплексного показателя горения лесов. Прогноз заморозков.

Тема 2.11 Основы климатологии

Климат и климатообразование. Классификация климатов. Климат Беларуси. Изменения климата. Климатические ресурсы и их влияние на социально-экономическое развитие. Климатические справочники, карты и атласы. Использование климатической информации в лесном хозяйстве. Концепции и нормативные акты по защите климата. Влияние лесов на климат. Микроклимат леса.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемые формы проверки знаний

1 Контрольные работы.

Рекомендуемые темы контрольных работ

1 Контрольная работа по разделу «Экология».

2 Контрольная работа по разделу «Основы метеорологии».

Рекомендуемые темы реферативных работ

1 История развития экологии.

2 Почва как экологический фактор.

3 Электромагнитное излучение как фактор среды.

4 Симбиоз. Виды симбиоза.

5 Характеристика и свойства популяций.

6 Видовая структура биоценоза. Виды доминанты и эдификаторы.

7 Показатели видового разнообразия.

8 Типы экосистем.

9 Биологические ритмы.

10 Особенности эволюции атмосферы

11 Распределение осадков по земному шару.

12 Загрязнение окружающей среды. Виды и методы преодоления.

Рекомендуемые темы лабораторных работ

Лабораторная работа 1 «Свет как экологический фактор».

Лабораторная работа 2 «Влажность как экологический фактор».

Лабораторная работа 3 «Популяции и их взаимоотношения».

Лабораторная работа 4 «Пространственная структура биоценоза».

Лабораторная работа 5 «Солнечная радиация».

Лабораторная работа 6 «Атмосферное давление».

Лабораторная работа 7 «Гидросфера, вода в атмосфере».

Лабораторная работа 8 «Погода».

Лабораторная работа 9 «Климат».

Рекомендуемые темы практических работ

Практическая работа 1 «Классификация экологических факторов».

Практическая работа 2 «Жизненные формы растений».

Практическая работа 3 «Жизненные формы животных».

Практическая работа 4 «Возрастная структура популяций».

Практическая работа 5 «Видовая структура биоценоза».

Практическая работа 6 «Трофическая структура биоценоза».

Практическая работа 7 «Типы экосистем».

Практическая работа 8 «Учение о биосфере В.И. Вернадского».

Практическая работа 9 «Особо охраняемые природные территории».

Рекомендуемая литература

Основная

- 1 Ражкоў Л.М. Экалогія з асновамі метэаралогіі: падручнік / Л.М. Ражкоў. – Мінск: Ураджай, 1995. – 341 с.
- 2 Ражкоў Л.М. Экалогія з асновамі метэаралогіі. Лабараторны практыкум / Л.М. Ражкоў, Г.Я. Клімчык, Дз.В. Шыман. – Мн.: БДГУ, 2007. – 178 с.
- 3 Федорук А.Т. Экология: учебное пособие/ А.Т. Федорук. – Минск: Вышэйшая школа, 2013. – 462 с.
- 4 Пиловец Г.И. Метеорология и климатология: учебное пособие/ Г.И. Пиловец. – Минск: Новое знание, Москва, 2013. – 399 с.
- 5 Каўрыга П.А. Метэаралогія: вучэбны дапаможнік / П.А. Каўрыга. – Мінск: БДУ, 2005. – 187 с.
- 6 Каўрыга П.А. Лабараторны практыкум па метэаралогіі і кліматалогіі: вучэбны дапаможнік / П.А. Каўрыга. – Мінск: Ураджай, 1997. – 151 с.
- 7 Лемеза Н.А. Тесты и лабораторные работы по экологии: Учебное пособие/ Н.А. Лемеза. – Минск: Издательство Юнипресс, 2005. – 256 с.
- 8 Костюкевич Н.И. Лесная метеорология/ Н.И. Костюкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 288 с.

Дополнительная

- 1 Ярошенко П.Д. Геоботаника / П.Д. Ярошенко. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.
- 2 Волошина А.П. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии: учеб. пособие / А.П. Волошина, Т.В. Евневич, А.И. Земцова; под ред. С.П. Хромова. – М.: МГУ, 1975. – 144 с.
- 3 Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерение: учеб. / М.С. Стернзат. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 392 с.
- 4 Радкевич В.А. Экология. – Мн.: Вышэйшая школа, 1998. – 159 с.
- 5 Киселев В.Н. Основы экологии. – Мн.: Універсітэцкае, 2000. – 384 с.
- 6 Денисов и др. Экология. – М.: Вузовская книга, 2002. – 727 с.
- 7 Куликов Я.К. Агрэкология: учебное пособие/ Я.К. Куликов. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 319 с.
- 8 Шумак В.В. Основы экологии и экономики природопользования: практикум/ В.В. Шумак [и др.]. – Минск: Дикта, 2011. – 92 с.
- 9 Кулеш В.Ф. Практикум по экологии: учебное пособие/ В.Ф. Кулеш, В.В. Маврищев. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 271 с.
- 10 Хромов С.П. Метеорология и климатология: учебник для вузов/ С.П. Хромов, М.А. Петросянц. – 7-е изд. – Москва: изд-во Московского университета: Наука, 2006. – 582 с.
- 11 Морозов А.Е. Метеорология и климатология. Термины, понятия, определения: словарь-справочник/ А.Е. Морозов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 147 с.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ МЕТЕОРОЛОГИИ»
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ
1-75 01 01 «Лесное хозяйство»**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Биология лесных зверей и птиц	Кафедра лесохозяйственных дисциплин	Содержание учебной программы одобрить	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № __ от __ 201 г.
Почвоведение с основами земледелия	Кафедра лесохозяйственных дисциплин	Содержание учебной программы одобрить	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № __ от __ 201 г.
Лесная пирология	Кафедра лесохозяйственных дисциплин	Содержание учебной программы одобрить	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № __ от __ 201 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Декан биологического факультета
УО «ГГУ им. Ф. Скорины», д.б.н.

_____ В.С. Аверин

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ
дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7
1	Раздел 1 Экология	24	18	8	4	
1.1	Введение в экологию 1 Определеление экологии 2 История становления и развития экологии как науки 3 Проблемы и задачи экологии	2	–	–	–	
1.2	Основные среды жизни. Биологические ритмы 1 Водная и наземно-воздушная среда 2 Почва и живые организмы как среда жизни 3 Биологические ритмы	2	–	–	–	
1.3	Факторы окружающей среды и закономерности их воздействия на организм 1 Среда и условия обитания организмов 2 Классификация факторов 3 Экологическая пластичность организмов	2	2	–	–	
1.4	Абиотические факторы и адаптации к ним организмов 1 Лучистая энергия. Температурный режим. Влажность. 2 Экологические группы растений и животных. 3 Жизненные формы растений и животных	2	4	4	–	Защита отчетов по лабораторным работам

1	2	3	4	5	6	7
1.5	Особенности действия экологических факторов в лесной среде 1 Микроклиматические условия в лесной среде 2 Эдафические факторы 3 Биотические факторы.	2	–	–	–	
1.6	Общая хапрактеристика популяции как биологической системы 1 Понятие о популяции 2 Основные характеристики и критерии выделения популяций 3 Структура поуляции	2	2	2	–	Защита отчета по лабораторной работе
1.7	Динамика популяций 1 Основные динамические характеристики популяций 2 Факторы, регулирующие плотность популяций 3 Концепция жизненных стратегий	2	–	–	–	
1.8	Понятие о биоценозе. Концепция экологической ниши 1 Биоценоз как биологическая система 2 Структуры биоценоза 3 Экологическая ниша	2	–	2	–	Защита отчета по лабораторной работе
1.9	Биологическое разнообразие 1 Определение биологического разнообразия 2 Особенности хорологии 3 Факторы, влияющие на видовое богатство сообществ	2	2	–	–	
1.10	Биоценотические связи. Фрмы межвидовых связей 1 Биоценотические связи 2 Хищничество. Паразитизм. Симбиоз. Конкуренция. Консорция 3 Лесные растительные ассоциации	2	–	–	–	
1.11	Концепция экосистемы 1 Определение и концепция экосистемы 2 Поток энергии и круговорот веществ в экосистеме 3 Экологические пирамиды	2	4	–	–	
1.12	Динамика экосистем 1 Динамика биоценоза (флуктуации) 2 Сукцессия экосистем 3 Эволюция растительности	2	–	–	–	

1	2	3	4	5	6	7
1.13	Учение о биосфере 1 Определение биосферы 2 Живое вещество биосферы 3 Круговороты и биогеохимические циклы в биосфере	–	2	–	2	
1.14	Экология и деятельность человека 1 Общая характеристика антропогенного воздействия на круговорот вещества и потока энергии в биосфере 2 Международные и государственные нормативные акты охраны биосферы 3 Критерии оценки экологического состояния территории	–	2	–	2	Контрольная работа
2	Раздел 2 Основы метеорологии	16	–	10	6	
2.1	Метеорология и её связь с другими науками 1 Определение метеорологии 2 История становления и развития метеорологии и климатологии 3 Организация гидрометеорологической службы	–			2	
2.2	Строение атмосферы, её химический состав и физические свойства 1 Общие сведения об атмосфере 2 Строение атмосферы 3 Химический состав атмосферного воздуха	–			2	
2.3	Радиационный баланс земной поверхности 1 Понятие о солнечной радиации и её значение 2 Тепловое излучение земной поверхности и атмосферы 3 Солнечная радиация под пологом леса	2		2	–	Защита отчета по лабораторной работе
2.4	Температурный режим атмосферы 1 Отличия тепловых режимов почвы и водоёмов 2 Инверсии температуры 3 Суточный и годовой ход температуры воздуха на разных высотах	2			–	
2.5	Температурный режим подстилающей поверхности и почвы 1 Тепловой баланс подстилающей поверхности и его составляющие 2 Изменение температуры почвы с глубиной 3 Заморозки, их классификация и методы борьбы с ними	2			–	

1	2	3	4	5	6	7
2.6	Водяной пар в атмосфере 1 Круговорот водяного пара в атмосфере 2 Конденсация и сублимация водяного пара 3 Туманы и их виды	2		2	–	Защита отчета по лабораторной работе
2.7	Облака и атмосферные осадки 1 Облака и их классификация 2 Атмосферные осадки и их классификация 3 Влияние леса на атмосферные осадки	2			–	
2.8	Барическое поле 1 Барические системы 2 Определение атмосферного давления 3 Барическая ступень. Барический градиент. Циклон. Антициклон	2		2	–	Защита отчета по лабораторной работе
2.9	Ветер и общая циркуляция атмосферы 1 Схема общей циркуляции атмосферы 2 Местные ветры 3 Влияние леса на скорость ветра	2			–	
2.10	Погода и её прогноз 1 Воздушные массы 2 Динамический метод прогноза погоды 3 Синоптическая карта	2		2	–	Защита отчета по лабораторной работе
2.11	Основы климатологии 1 Климат и климатообразование 2 Классификация климатов 3 Климат Беларуси	–		2	2	Защита отчета по лабораторной работе Контрольная работа
	Всего часов	40	18	18	10	

Доцент, к.б.н.

Н.Г. Галиновский

Старший преподаватель

Т.В. Азявчикова

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ
заочной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7
1	Раздел 1 Экология	10	10	–	–	
1.3	Факторы окружающей среды и закономерности их воздействия на организм 1 Среда и условия обитания организмов 2 Классификация факторов 3 Экологическая пластичность организмов	2	2	–	–	Защита практической работы
1.4	Абиотические факторы и адаптации к ним организмов 1 Лучистая энергия. Температурный режим. Влажность. 2 Экологические группы растений и животных. 3 Жизненные формы растений и животных	2	4	–	–	Защита практических работ
1.6	Общая характеристика популяции как биологической системы 1 Понятие о популяции 2 Основные характеристики и критерии выделения популяций 3 Структура популяции	2	2	–	–	Защита практической работы
1.10	Биоценотические связи. Формы межвидовых связей 1 Биоценотические связи 2 Хищничество. Паразитизм. Симбиоз. Конкуренция. Консорция 3 Лесные растительные ассоциации	2	–	–	–	

1	2	3	4	5	6	7
1.11	Концепция экосистемы 1 Определение и концепция экосистемы 2 Поток энергии и круговорот веществ в экосистеме 3 Экологические пирамиды	2	2	–	–	Защита практических работ
2	Раздел 2 Основы метеорологии	4	–	–	–	
2.3	Радиационный баланс земной поверхности 1 Понятие о солнечной радиации и её значение 2 Тепловое излучение земной поверхности и атмосферы 3 Солнечная радиация под пологом леса	2		–	–	
2.8	Барическое поле 1 Барические системы 2 Определение атмосферного давления 3 Барическая ступень. Барический градиент. Циклон. Антициклон	2	–	–	–	зачёт
	Всего часов	14	10	–	–	

Доцент, к.б.н.

Н.Г. Галиновский

Старший преподаватель

Т.В. Азявчикова