ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

Аграрно-технологический факультет
Кафедра садоводства, защиты растений и экологии

ЭКОЛОГИЯ

Методические указания к практическим занятиям

Тирасполь, 2020

УДК 574(072.8)
ББК Б1р30
Э40

Составитель:
Н.Н. Трескина, к.с.-х.н., доцент

Рецензенты:
В.С. Церковная, к.с.-х.н., доцент
М.М. Калистру, к.с.-х.н., доцент

Экология: Методические указания к практическим занятиям/ Сост. Н.Н. Трескина. – Тирасполь, 2020. – 77 с.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Экология» для обучающихся по направлениям подготовки 4.35.03.04 АГРОНОМИЯ профили «Агробизнес», «Защита растений», 4.35.03.05 САДОВОДСТВО профили «Плодоовощеводство и виноградарство», «Декоративное садоводство и ландшафтный дизайн» и 4.35.03.07. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ профиль «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» составлены в соответствии с государственными стандартами высшего образования Российской Федерации.

Методические указания включают 11 практических занятий, состоящих из теоретической части, практических заданий и контрольных вопросов.

УДК 574(072.8)
ББК Б1р30

Рекомендовано НМС ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© ПГУ им. Т.Г. Шевченко
© Трескина Н.Н.,
составление, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическое занятие № 1. Пищевые цепи и трофические уровни в экосистемах 4
Практическое занятие № 2. Экологические факторы среды и их действие 7
Практическое занятие № 3. Основные среды жизни 11
Практическое занятие № 4. Природные популяции 19
Практическое занятие № 5. Структура и свойства природных экосистем 24
Практическое занятие № 6. Биологическая продуктивность экосистем 29
Практическое занятие № 7. Круговорот биогенных элементов в фитоценозах 39
Практическое занятие № 8. Закономерности сезонного развития природных явлений 47
Практическое занятие № 9. Классификация загрязнений окружающей природной среды 55
Практическое занятие № 10. Нормирование качества окружающей природной среды 60
Практическое занятие № 11. Производство экологически безопасной сельскохозяйственной продукции 66
Список использованной литературы 77

Практическое занятие 1

ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ И ТРОФИЧЕСКИЕ УРОВНИ В ЭКОСИСТЕМАХ

В функционирующей природной экосистеме все организмы, как живые, так и мертвые, являются пищей для других организмов. Автотрофные организмы создают содержащие энергию вещества и служат пищей для гетеротрофов. Питаясь друг другом, живые организмы осуществляют перенос энергии и вещества и образуют цепи питания, или трофические цепи. Т.е. ***пищевая (трофическая) цепь*** или ***цепь питания*** представляет собой последовательный перенос питательных веществ и энергии от продуцентов к редуцентам и обратно к продуцентам. Место каждого звена в цепи питания называется ***трофическим уровнем***. Все организмы, пользующиеся одним типом пищи, принадлежат к одному трофическому уровню. Первый трофический уровень занимают автотрофы, или так называемые *первичные продуценты*. Организмы второго трофического уровня называются *первичными консументами*, третьего – *вторичными консументами* и т. д. Последний трофический уровень занимают редуценты (рис. 1). Обычно бывает четыре или пять трофических уровней.

Различают 2 вида пищевых цепей: пастбищные и детритные.

Пастбищные цепи, или цепи выедания – начинаются с живых фототрофов. Например, трава → мышь→ сова → ястреб.

Детритные цепи, или цепи разложения начинаются с отмерших остатков растений, трупов, экскрементов животных. Например, мертвое животное → личинки мух → травяная лягушка →уж.

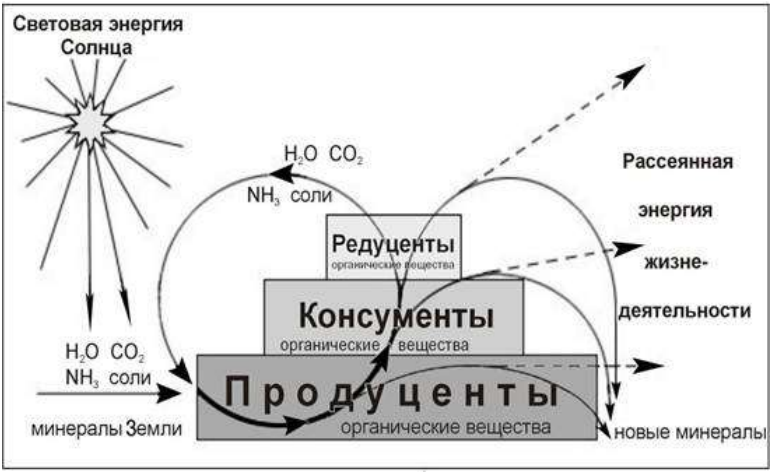


Рис. 1. Трофические уровни в биогеоценозе и основные пути биологического круговорота материи

Организмы природных экосистем вовлечены в сложную сеть многих связанных между собой пищевых цепей. Такая сеть называется ***пищевой сетью*** (рис. 2).

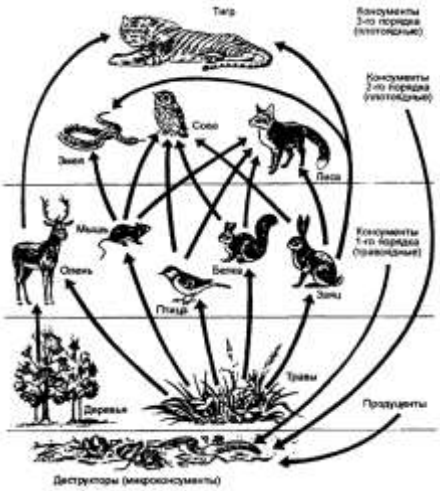


Рис. 2. Пищевая сеть

Поток энергии от продуцентов, проходя через трофические уровни биоценоза, постепенно снижается. В 1942 г. американский эколог Раймонд Линдеман сформулировал закон ***пирамиды энергий***, или ***правило 10%***, согласно которому с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой, более высокий ее уровень, переходит в среднем около 10% поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии биомассы (рис. 3).

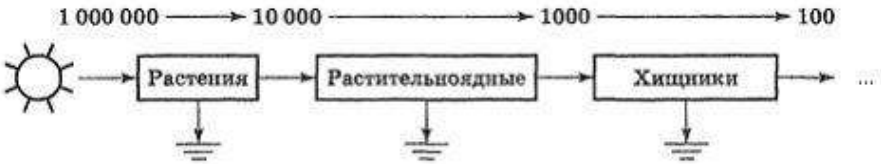


Рис. 3. Пирамида энергий

Живые организмы в результате процессов обмена теряют в каждом звене пищевой цепи около 90% всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности.

Задание:

1.Зарисовать рисунки 1-3.

2. Вставить пропущенные слова. Ряды, в которых каждый предыдущий вид служит пищей последующему, называют _____.

3. Составить четыре цепи питания. Первая начинается с инфузории в пресном водоеме; вторая – с семян одуванчика; третья – с клевера; четвертая – с комара. Все цепи питания должны заканчиваться человеком.

4. Написать названия растений, которые могут занимать места и продуцента и консумента второго порядка.

5. Написать названия животных, которые всегда занимают строго определенное место в цепях питания.

6. Выбрать правильный ответ. Почему в прудовых хозяйствах выгоднее выращивать толстолобиков, а не щук?

а) толстолобики быстрее растут;

б) щуки чаще гибнут от болезней и неблагоприятных условий;
в) толстолобики питаются энергетически дешевой растительной пищей, а щуки – дорогой, животной.
7. Построить схему пищевой цепи, включив в нее перечисленных ниже организмы: волк, лисица, сова-неясыть, уж обыкновенный, ястреб, травяная лягушка, заяц, полевка, тля, паук, божья коровка, дуб, короед, дятел, муха журчалка, клевер, пчела, белка.
8. Согласно правилу десяти процентов, рассчитать, сколько понадобится фитопланктона, чтобы вырос один медведь весом 150 кг (пищевая цепь: фитопланктон → зоопланктон → мелкие рыбы → лосось → медведь). Условно на каждом трофическом уровне всегда поедаются только представители предыдущего уровня.
9. Согласно правилу десяти процентов, рассчитать, сколько понадобится фитопланктона, чтобы выросла одна щука весом 5 кг (пищевая цепь: фитопланктон → зоопланктон →мелкие рыбы → окунь → щука). Условно на каждом трофическом уровне всегда поедаются только представители предыдущего уровня.

Контрольные вопросы:

1. Что называется цепью питания и трофическим уровнем?
2. Какие бывают цепи питания? С чего они начинаются?
3. Что такое пищевая сеть?
4. Как называется закон, сформулированный Р. Линдеманом? Его сущность.

Практическое занятие 2

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ИХ ДЕЙСТВИЕ

Экологические факторы – это компоненты окружающей среды, оказывающие влияние на живые организмы и вызывающие у него ответные реакции. Хотя экологические фак-

торы воздействуют на организм как единый комплекс, они имеют неодинаковую природу и специфику действия. Экологические факторы классифицируют по разным критериям.

По **природе происхождения** экологические факторы подразделяются на три группы: ***абиотические, биотические и антропогенные***.

Абиотические факторы – факторы неживой природы, влияющие на организм.

Биотические факторы – это внутривидовое и межвидовое взаимодействие организмов.

Антропогенные факторы (от гр. *anthropos* – человек и *genos* – рождение) отражают влияние хозяйственной деятельности человека на окружающую среду.

В каждой группе выделяют несколько подгрупп факторов.

Абиотические факторы подразделяются на *климатические, геофизические, химические, эдафические, орографические*.

Биотические факторы подразделяются на *фитогенные, зоогенные и микробиогенные*.

Антропогенные факторы подразделяются на *хозяйственные и техногенные*.

По **характеру воздействия** факторы подразделяются на:

- ***постоянные, или стабильные*** (сила тяготения, состав океана, атмосферы);
- ***изменчивые, или периодические.***

Периодические экологические факторы, в свою очередь, подразделяются на:

- *регулярно-периодические* (суточная и сезонная ритмика);
- *нерегулярно-периодические* (многие антропогенные факторы);
- *длительно направленные* (зарастание водоемов, потепление климата).

По **степени адаптивности реакций организмов на воздействие факторов среды** экологические факторы подразделяются на три группы

- ***первичные периодические*** (температура, освещенность, приливы, отливы);
- ***вторичные периодические***, возникающие как следствие первичных периодических факторов (влажность воздуха, содержание кислорода в воде);
- ***непериодические*** (шквальные ветры, грозы, пожары, хозяйственная деятельность человека).

Первичные периодические факторы играют преобладающую роль во многих местообитаниях, у живых организмов выработались к ним наиболее устойчивые адаптации. Ко вторичным периодическим факторам организмы приспособились не так давно, вследствие чего их адаптация выражена не столь четко. Как правило, вторичные периодические факторы сказываются на численности видов в пределах их ареалов, но мало влияют на размер самих ареалов. Непериодические факторы проявляются внезапно, поэтому организмы обычно не успевают выработать к ним приспособления.

Экологические факторы среды могут влиять как раздражители, вызывающие приспособительные изменения физиологических и биохимических функций; как ограничители, обусловливающие невозможность существования в данных условиях; как модификаторы, вызывающие анатомические и морфологические изменения организмов; как сигналы, свидетельствующие об изменениях других факторов среды. Несмотря на достаточно большое разнообразие экологических факторов, выявлен ряд общих закономерностей в характере их воздействия на организмы и в ответных реакциях организмов.

На жизнедеятельности живых организмов отрицательно сказывается как недостаточное, так и избыточное действие экологического фактора. Благоприятное воздействие экологического фактора называется **зоной оптимума** экологиче-

ского фактора, угнетающее действие – **зоной пессимума** (рис. 4).

Рис. 4. Схема действия факторов среды на живые организмы

Задание:

1. Записать классификации экологических факторов в виде схем.

2. Заполнить таблицу, включив в нее конкретные экологические факторы.

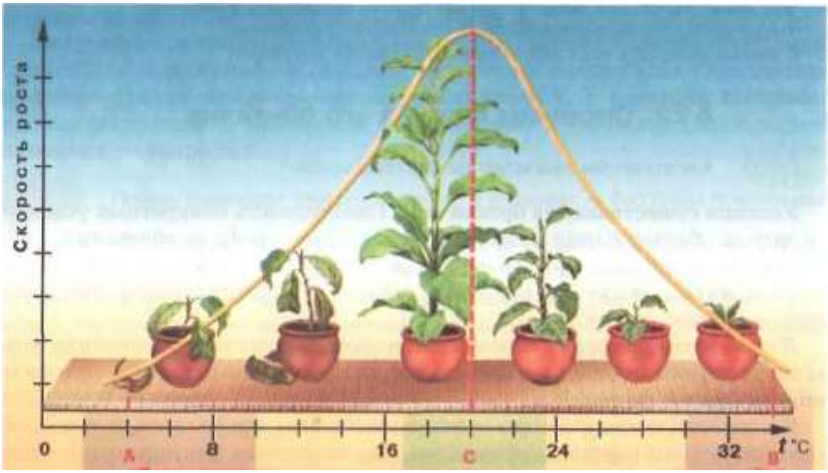
Экологические факторы среды

Природные		Антропогенные
абиотические	биотические	

3. Зарисовать рисунок 4.

4. На основании графика зависимости скорости роста растения от температуры окружающей среды указать:

а) температуру, оптимальную для этого растения _____;
б) диапазон температуры зоны оптимума _____;
в) диапазон температуры зоны пессимума (угнетения) ____;
г) пределы выносливости вида_____.



Контрольные вопросы:

1. Что называется экологическим фактором?
2. Какие критерии положены в основу классификаций экологических факторов?
3. К каким экологическим факторам живые организмы имеют наиболее выраженные и устойчивые адаптации?
4. Как экологические факторы влияют на живой организм?
5. Что такое зона оптимума и зона пессиума?

Практическое занятие 3

ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ

Среда – это часть природы, окружающая живые организмы и оказывающая на них прямое или косвенное воздействие. Из среды организмы получают все необходимые для жизни и в нее же выделяют продукты обмена веществ. Все

разнообразие условий на Земле объединяют в четыре среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную.

Водная среда является наиболее однородность среди других сред. Она мало изменяется в пространстве, здесь нет четких границ между отдельными экосистемами. Амплитуды значений факторов, как правило, невелики. Лимитирующими факторами являются кислород, свет и плотность воды.

Недостаток кислорода компенсируется увеличением соприкосновения органов дыхания с водой. У некоторых гидробионтов дыхание сочетается с фильтрационным типом питания, при котором через организм пропускается большое количество воды.

Недостаток света или его отсутствия у животных компенсируется использованием эхолокации, биолюминесценции. Растения, обитающие в толще воды, используют в процессе фотосинтеза голубые, синие и сине-фиолетовые лучи, наиболее глубоко проникающие в воду, благодаря чему цвет растений меняется с глубиной от зеленого к бурому и красному.

Адаптации организмов к высокой плотности воды шли двумя путями. Одни организмы используют воду как опору и находятся в состоянии свободного парения. Их плотность, как правило, незначительно отличается от плотности воды. Этому способствует полное или почти полное отсутствие скелета, наличие выростов, капелек жира в теле или воздушных полостей. Для активно передвигающихся организмов характерна удлиненная форма тела, хорошо развитая мускулатура, наличие структур, уменьшающих трение (слизь, чешуя). В общей массе тела гидробионтов доля скелета меньше в сравнении с наземными организмами.

Наземно-воздушная среда является наиболее сложной средой. Она характеризуется низкой плотностью воздуха, большими колебаниями температуры, высокой подвижно-

стью атмосферы. Лимитирующими факторами чаще всего являются недостаток или избыток тепла и влаги.

Для организмов этой среды характерны морфологические, анатомо-физиологические, биохимические и поведенческие адаптации к температуре. К морфологическим адаптациям относятся: размеры тела и его выступающих частей, покровы тела, окрас. Одни и те же виды, обитающие в более холодных условиях, как правило, крупнее тех, которые обитают в более теплом климате (*правило Бергмана*). В холодных условиях размеры выступающих частей тела, как правило, меньше, чем в более теплых (*правило Аллена*). К анатомо-физиологическим – жировые отложения, испарение воды, увеличение веса внутренних органов, имеющих отношение к регулированию процессов обмена. Биохимические адаптации базируются на поддержании определенной температуры тела, что требует интенсивного обмена веществ. К поведенческим адаптациям относятся миграции, перелеты птиц, сооружение гнезд, нор и других убежищ с благоприятным микроклиматом, использование поз, экономящих расход энергии и увеличивающих прогреваемую солнечными лучами поверхность, использование тепла земли и утепляющей роли снежного покрова, повороты пластинок листьев относительно солнечных лучей.

Регулирование водного баланса осуществляется с помощью морфологических (форма тела, покровы), анатомо-физиологических (высвобождение воды из жиров, белков и углеводов, органы выделения у животных, «плач растений», увеличение доли корневой системы у растений, суккуленты) и поведенческих адаптаций.

Почва является наиболее насыщенной живыми организмами частью биосферы (почвенная пленка жизни). Лимитирующими факторами в почве чаще всего являются недостаток тепла (в вечной мерзлоте), недостаток (в пустынях и полупустынях) или избыток (в болотах) влаги; реже – недостаток кислорода или избыток углекислоты. Из-за отсутствия

света многие почвенные организмы лишены органов зрения. Ориентация осуществляется с помощью обоняния или других рецепторов.

С **организмами** как средой обитания связан паразитический и полупаразитический образ жизни. Лимитирующий фактор в жизни паразитов – возможность потери хозяина. Адаптации направлены на сохранение жизни хозяина и увеличение вероятности выживания в случае его потери: большое число долго сохраняющихся цист, спор, промежуточный хозяин.

Под влиянием условий окружающей среды в процессе эволюции живые организмы, принадлежащие к разным систематическим группам, но живущие в одинаковых экологических условиях, приобрели сходные черты по ряду признаков и, в первую очередь, по внешнему облику. Такие группы организмов, имеющие сходные черты внешнего облика, строения, физиологии, получили название жизненных форм организмов. Т.е. **жизненная форма организма** – это его внешний облик, отражающий приспособленность к определенным условиям среды.

Многообразие жизненных форм привело к появлению большого количества различных классификаций жизненных форм.

И.Г. Серебряков основным критерием в определении разнообразия жизненных форм растений выбрал *побег:* его строение, развитие, ритм, длительность жизненного цикла скелетных осей растений и направление роста этих осей, сформированность генеративных частей. Он выделил 4 отдела жизненных форм:

1. *Древесные растения:* деревья, кустарники и кустарнички.

2. *Полудревесные растения:* полукустарники и полукустарнички.

3. *Наземные травы*.

4. *Водные травы*.

К. Раункиер в качестве критерия использовал положение почек или верхушек побегов в течение неблагоприятного времени года по отношению к поверхности почвы и снеговому покрову. Он разделил все растения на 5 типов жизненных форм (рис. 5):

I. ***Фанерофиты*** – почки возобновления находятся выше 30 см над поверхностью земли (деревья и кустарники).

II. ***Хамефиты*** – почки возобновления расположены у поверхности почвы, зимой могут оказаться под снегом (полукустарники и мелкие кустарнички).

III. ***Гемикриптофиты*** – растения, почки возобновления которых находятся на уровне поверхности почвы или в самом поверхностном ее слое, часто покрытом подстилкой. Сюда относят большинство многолетних трав.

IV. ***Криптофиты*** – растения, почки возобновления которых скрыты в почве (геофиты) или под водой (гелофиты и гидрофиты). К этим растениям относят луковичные, клубневые и корневищные растения.

V. ***Терофиты*** – однолетние растения, не имеющие почек возобновления; размножаются только семенами.

Д.Н. Кашкаров жизненные формы животных классифицировал по характеру передвижения в разных средах:

I. *Плавающие формы.*
II. *Роющие формы.*
III. *Наземные формы.*
IV. *Древесные лазающие формы.*
V. *Воздушные формы.*

Любой живой организм адаптирован к определенным условиям окружающей среды. Требования организма к экологическим факторам среды обуславливают ареал того вида, к которому организм принадлежит, а в пределах ареала – конкретные места обитания. Местообитание – это пространственно ограниченная совокупность абиотических и биотических условий среды, обеспечивающая

весь цикл развития и размножения особей (популяций) одного вида. Для комплексной характеристики мест обитания, занимаемого организмами вида, их функциональной роли в среде обитания, включая способ питания, образ жизни и взаимоотношения с другими видами, Дж. Гриннелл ввел термин «*экологическая ниша*».

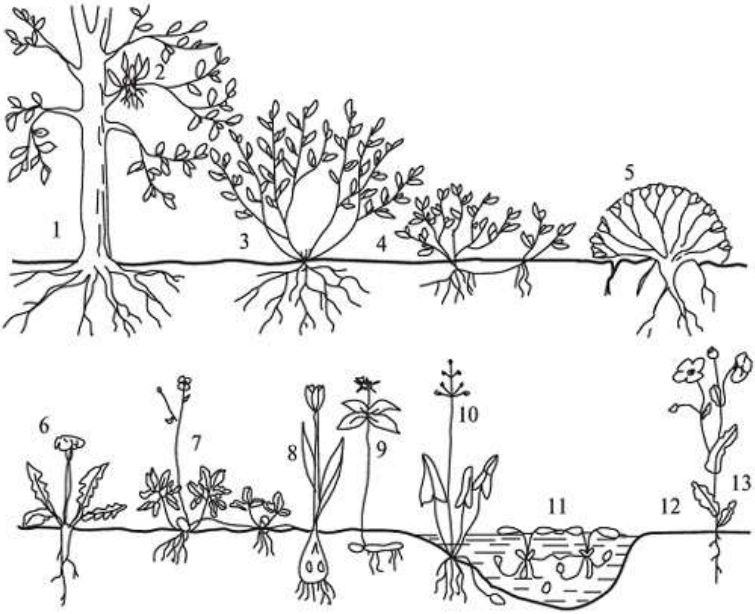


Рис. 5. Жизненные формы растений по Раункиеру:
1-3 – фанерофиты; 4, 5– хамефиты; 6, 7– гемикриптофиты;
8-11 – криптофиты; 12 – семя с зародышем; 13 – терофит

Экологическая ниша – это совокупность
- всех требований организма к условиям среды обитания и место, где эти требования удовлетворяются;
- всего множества биологических характеристик и физических параметров среды, определяющих условия существования того или иного вида, преобразование им энергии, обмен информацией со средой и себе подобными.

Экологические ниши совместно живущих видов могут частично перекрываться, но полностью никогда не совпадают, т.к. при этом вступает в действие *закон конкурентного исключения,* согласно которому два вида, занимающие одну экологическую нишу, не могут сосуществовать в одном месте неограниченно долго.

Задания:

1. Заполнить таблицу:

Адаптации организмов к среде

Среда	Лимитирующие факторы	Адаптации организмов
Водная		
Наземно-воздушная		
Почва		
Организм		

2. В какой среде должны жить самые быстро двигающиеся животные? Назовите некоторых из них:

_____

3. Почему в других средах скорости передвижения значительно ниже?

_____

4. В какой среде органы опорно-двигательной системы животных и опорной системы растений должны иметь наивысшее развитие? Почему?

_____

5. Заполните пропуски, выбирая одно слово из пары в скобках.

Многоклеточным паразитам, обитающим в органах и тканях человека _____ (грозит, не грозит) высыхание; в среде их обитания колебания температуры, солености, давле-

ния _____ (сильные, слабые); среда, в которой они обитают для них химически _____ (агрессивна, не агрессивна); они _____ (имеют, не имеют) защитные покровы; они _____ (имеют, не имеют) органы, связанные с поиском пищи; они _____ (имеют, не имеют) слух; они _____ (имеют, не имеют) органы зрения; количество продуцируемых ими яиц _____ (большое, небольшое).

6. Поведение кедровки зимой, распределение времени при длительности светового дня 5,5 ч следующее: поиск и добывание семян 2,5-3 ч; время на перелеты-10-15 мин; отдых – 25-30 мин; ночевка - 18,5-20,5 ч. Кедровка делает в августе - сентябре запасы семян кедровой сосны (до 600 кладовых по 100-120 семян). Суточная потребность птицы составляет примерно 200 семян. Ночует зимой на одном месте, над головой защита из веток и снега; прижимается к стволу дерева. При морозах ниже - 45 °С температура кожи снижается на 5-6°С. Возможна гипотермия тела.

Вопросы: 1. В чем проявляются приспособительный характер деталей поведения кедровки, распределения времени в течение суток, выбора места ночевок и гипотермии тела при сильных морозах? 2. В чем адаптивный смысл избыточности запасов кормов?

7. В соленых озерах Западной Европы гидробиологи обнаружили в воде при концентрации солей 30 г/л – 64 вида животных, при концентрации 100 г/л – 38 видов, при 160 г/л – 12 видов, а при 200 г/л – 1 вид. Постройте график зависимости числа видов животных от концентрации солей в воде озера. При какой солености жизнь в озере отсутствует?

Контрольные вопросы:

1. Что такое среда жизни?
2. Что такое жизненная форма?
3. В результате чего возникли различные жизненные формы?
4. Классификация жизненных форм растений

5. Классификация жизненных форм животных
6. Что такое местообитание?
7. Что такое экологическая ниша?
8. В чем сущность закона конкурентного исключения?

Практическое занятие 4

ПРИРОДНЫЕ ПОПУЛЯЦИИ

Популяция (лат. populatio – народ, население) - это совокупность особей одного вида, занимающих определенную территорию, существующая относительно изолированно и обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности необозримо длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды (рис. 6).

Биотический потенциал:
Рождаемость.
Способность к расселению.
Способность к захвату новых местообитаний.
Защитные механизмы.
Способность выдерживать неблагоприятные условия.

Сопротивление среды:
Нехватка питания
Нехватка воды.
Нехватка подходящих местообитаний.
Неблагоприятные погодные условия.
Хищники. Болезни.
Паразиты.
Конкуренты.

Рис. 6. Размер популяции как баланс между факторами, способствующими ее росту или сокращению (по Миллеру Т., 1993)

Популяция занимает определенное пространство и обладает признаками, характеризующими группу как целое, а не отдельных особей в группе. К таким признакам относятся: полная численность плотность, рождаемость, смертность, распределение организмов по возрастам, биотический потенциал, характер распределения в пределах территории, тип роста. Кроме того, популяции имеют ряд генетических признаков, связанных с их экологией, – способность к адаптации, репродуктивная приспособленность и устойчивость. Основными функциями популяции являются рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях.

Методы оценки размеров популяций. Методы оценки размеров популяции можно разделить на 2 группы:

- методы прямого учета (квадраты, прямое наблюдение и фотографирование);
- косвенные методы учета (метод изъятия, мечения повторного отлова и др.).

Метод квадрата. Территория местообитания популяции разбивается на некоторое число квадратов. Затем устанавливается число организмов в пределах выбранных квадратов и простым умножением числа организмов в квадрате на число квадратов определяется численность организмов на всей территории.

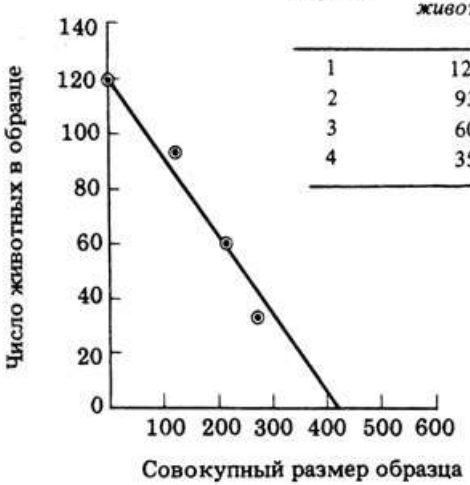
Прямое наблюдение используется при оценке плотности популяции сидячих или медленно перемещающимся животных, а также крупных животных, например, в тот момент, когда они покидают места ночлега.

Фотографирование. Прямым подсчетом особей на аэрофотоснимках определяют размеры популяций крупных млекопитающих и морских птиц, собирающихся на открытых пространствах.

Метод изъятия используют для оценки численности мелких организмов, например, насекомых на определенном

участке луга или в определенном объеме воды. Животных отлавливают специальной сеткой, записывают количество пойманных и до конца исследования их не выпускают. Отлов повторяют трижды (табл.). Затем строится график, на котором отмечается число пойманных при каждом отлове животных и общее число пойманных животных.

Образец	*Число животных*	*Совокупный размер образца*
1	120	0
2	93	120
3	60	213
4	35	273



Продолжив линию графика до пересечения с осью абсцисс (в этот момент число животных в последнем отлове теоретически должно быть равно нулю), можно оценить общий размер популяции. В нашем случае это 410 особей.

Метод мечения и повторного отлова. Сущность метода заключается в отлове животного и его мечении таким образом, чтобы не причинить ему вреда. Например, на жаберные крышки пойманной сетями рыбы прикрепляют алюминиевые пластинки, или на ноги пойманных птиц надевают кольца, или мелких млекопитающих метят краской. Пойманных животных подсчитывают и выпускают в то же самое место. Через некоторое время животных снова отлавливают и подсчитывают число животных с меткой. Размер популяции оценивают по формуле:

$$\textit{Общий размер популяции} = \frac{A \times B}{C} \quad (1)$$

где: А – число животных в I улове;
В – число животных во II улове;
С – число животных с меткой во II улове.

Задание:

1. Зарисовать рисунок 6.
2. Описать методы оценки размеров популяции.
3. От чего будет зависеть большая или меньшая расчлененность вида на популяции? Подчеркнуть правильные ответы:

а) доступность корма;
б) расчлененность занимаемой территории на неоднородные участки;
в) обилие конкурентов;
г) степень подвижности отдельных особей или расселение зачатков организмов (икры, семян, пыльцы, спор и т.д.);
д) обилие хищников.

4. Как называется территория, занимаемая видом или популяцией? Подчеркните правильный ответ: а) пространство; б) площадь; в) круг; г) ареал; д) зона; е) участок.
5. На станции кольцевания птиц было отловлено и помечено 100 дроздов-рябинников. Через 10 дней отлов повторили. Поймали 120 птиц, из которых 20 были уже с кольцами. Определите, какова численность дроздов-рябинников на исследуемой территории, принимая во внимание, что меченные в первый раз птицы равномерно распределились по исследуемой территории.
6. Привести примеры биологического взаимодействия между популяциями разных видов. Пары видов, вступающих во взаимодействие, следует выбрать из предложенного списка. Каждый вид можно использовать для примера только один раз.

Тип взаимоотношений	Примеры
Конкуренция	
Паразитизм	

Мутуализм	
Хищничество	
Комменсализм	

Цапля, шакал, человек, лев, амёба, берёза, акула, горох, пчела, щука, рыба-прилипала, пшеница, липа, росянка, наездник трихограмма, смородина, подберёзовик, тля, бодяк полевой, аскарида, заяц-беляк, лягушка, яйца капустной белянки, муха, клубеньковые азотфиксирующие бактерии, водные бактерии, карась, заяц-русак.

7. Способы защиты организмов от хищников условно разделяют на три группы. Заполнить таблицу, вписывая номера предлагаемых ниже вариантов защиты напротив каждой из этих групп.

Способы защиты организмов от хищников	Номера предлагаемых вариантов защиты
А. Избегание жертвой встречи с хищником	
Б. Избегание жертвой контакта с хищником после её обнаружения	
В. Способы, действенные при непосредственном контакте	

Варианты защиты:

1. Сооружение убежищ или использование естественных укрытий.
2. Несъедобность, ядовитость «при опробовании».
3. Покровительственная форма и окраска.
4. Жертва обладает крупными размерами тела.
5. Миграция из мест, обильных хищниками.
6. Обладание панцирем, раковиной, шипами, иглами.
7. Выбрасывание защитных веществ.
8. Оповещение других особей о приближении хищника.
9. Предупреждающая окраска, запах, звук, мимикрия.
10. Затаивание.

11. Самокалечение (автотомия).
12. Бегство.
13. Активная защита, когда жертва борется с хищником.

Контрольные вопросы:

1. Что называется популяцией?
2. Признаки популяций
3. Функции популяций

Практическое занятие 5

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Основной функциональной единицей в экологии является экосистема. Впервые термин «*экосистема*» был предложен в 1935 г. английским экологом Артуром Тэнсли. ***Экологическая система*** представляет собой группы видов растений, животных, грибов и микроорганизмов, которые взаимодействуют между собой и окружающей средой. В экосистеме происходит постоянный круговорот веществ с участием биотического и абиотического компонентов (рис.7).

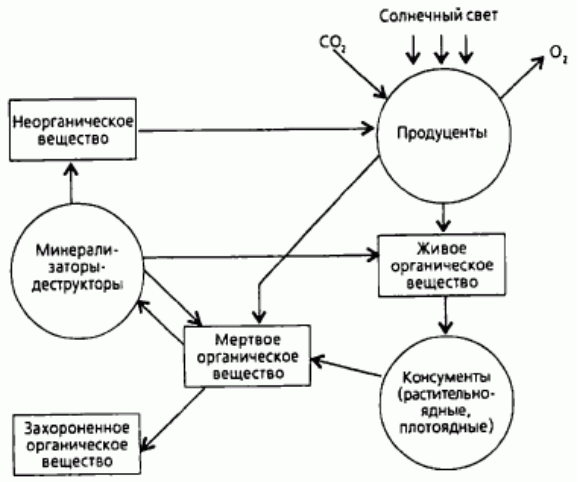


Рис. 7. Функциональная структура экосистемы и потоки вещества в экосистеме (по Боголюбову С.А., 1997 г.)

В 1940 году В.Н. Сукачевым был предложен термин «*биогеоценоз*», который широко применяется в отечественной литературе. ***Биогеоценоз*** – это эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система функционально взаимосвязанных живых организмов и окружающей их неживой природы (рис. 8). Совокупность живых организмов называют *биотой экосистемы*, или *биоценозом*. Участок земной поверхности с однородными условиями обитания, занимаемый тем или иным биоценозом, называется *биотопом*. Биотоп, который приобрел определенные изменения в результате деятельности живых организмов получал название *экотоп*. Таким образом, биотоп – это условия среды, видоизмененные живыми организмами, а экотоп – первичный комплекс факторов физико-географической среды без участия живых существ.

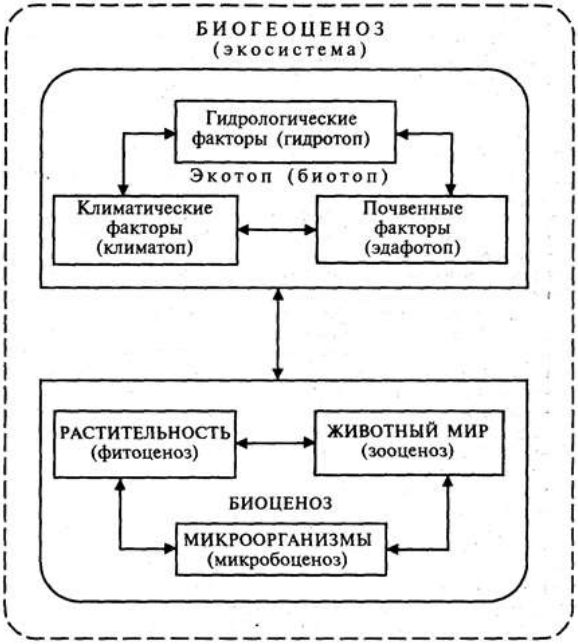


Рис. 8. Схема биогеоценоза по В. Н. Сукачеву

Биогеоценоз характеризуется определенным энергетическим состоянием, типом и скоростью обмена веществом и информацией. Совокупность тесно связанных биоценозов одной природно-климатической зоны называется ***биомом***.

С точки зрения пространственной структуры, экосистему можно разделить на два яруса:

- ***верхний*** – автотрофный, который включает растения или их части, содержащие хлорофилл, где преобладает фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений.
- ***нижний*** – гетеротрофный ярус, ярус почв, разлагающихся веществ, корней, в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений.

С биологической точки зрения, в составе экосистемы выделяют следующие компоненты:

- неорганические вещества, включающиеся в круговороты;
- органические соединения, связывающие биотическую и абиотические части;
- воздушную, водную и субстратную среды, включающие климатический режим и другие физические факторы;
- продуцентов, автотрофных организмов, производящих пищу из простых неорганических веществ;
- консументов – гетеротрофных организмов, главным образом животных, питающихся другими организмами или частицами органического вещества;
- редуцентов – гетеротрофных организмов, получающих энергию либо путем разложения мертвых тканей, либо путем поглощения растворенного органического вещества. Некоторые редуценты, называемые детритофагами, питаются непосредственно мертвой органической материей. Другие редуценты, называемые деструкторами, разлагают сложные органические соединения до более простых питательных веществ, которые возвращаются в почву для повторного использования растениями.

Каждый биогеоценоз характеризуется видовым разнообразием, численностью и плотностью популяции каждого вида, биомассой и продуктивностью. Для оценки сходства ценозов разработано несколько методов, из которых наиболее простым является бинарный индекс сходства, предложенный швейцарским ученым Полем Жаккаром в 1901 году. Индекс сходства выражается в процентах сходства и рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{C}{(A+B)-C} \cdot 100 \quad (2)$$

где К – индекс сходства;

А – число видов в первом ценозе;

В – число видов во втором ценозе;

С – число видов, общих для обоих ценозов.

Если значение индекса сходства более 50%, то ценозы считаются сходными, если менее 50% – различными.

В формирующихся экосистемах на образование вторичной продукции расходуется лишь часть прироста биомассы; в экосистеме происходит накопление органического вещества. Такие экосистемы закономерно сменяются другими типами экосистем. Закономерная смена экосистем на определенной территории называется ***сукцессия***. Накопление органического вещества и энергии на трофических уровнях приводит к повышению устойчивости экосистемы. В ходе сукцессии в определенных почвенно-климатических условиях формируются окончательные ***климаксные*** сообщества. В климаксных сообществах весь прирост биомассы трофического уровня расходуется на образование вторичной продукции. Такие экосистемы могут существовать бесконечно долго.

Задание:

1. Зарисовать рисунки 7 и 8.
2. Вставить пропущенные слова:

✓ Организмы, потребляющие органическое вещество и перерабатывающие его в новые формы, называют _____. Они представлены в основном видами, относящимися к _____ миру.

✓ Организмы, потребляющие органическое вещество и полностью разлагающие его до минеральных соединений, называют _____. Они представлены видами, относящимися к _____ и _____.

✓ Организмы, которые потребляют минеральные соединения и, используя внешнюю энергию, синтезируют органические вещества, называют _____. Они представлены в основном видами, относящимися к _____миру.

✓ Сообщества организмов разных видов, тесно взаимосвязанных между собой и населяющих более или менее однородный участок, называют _____. В его состав входят: растения, животные, _____.

✓ Крупное системно-географическое (экосистемное) подразделение в пределах природно-климатической зоны (например, влажные тропические леса) называется: а) экотопом; б) биомом; в) биотопом; г) ландшафтом.

✓ Исторически сложившаяся совокупность организмов различных видов, обитающих на определенном пространстве называется: а) биоценозом; б) биотой; в) экосистемой; г) биогеоценозом.

✓ В любой сукцессионной серии темпы происходящих изменений постепенно замедляются. Конечным итогом является формирование относительно устойчивой стадии сообщества, которая носит название: а) коакции; б) климакса; в) диапаузы; г) коллапса.

3. Пользуясь формулой Жаккара, рассчитать индекс сходства ненарушенного (заповедник) и нарушенного (соседний лес, в котором расположена база отдыха) фитоценозов, ука-

зать виды, исчезнувшие в результате вытаптывания и появившиеся в нарушенном фитоценозе. **Сделать выводы**.

Ненарушенный фитоценоз: дуб черешчатый, липа, лещина, осока волосистая, мужской папоротник, подмаренник Шультеса, сныть обыкновенная.

Нарушенный фитоценоз: дуб черешчатый, яблоня домашняя, липа, одуванчик лекарственный, подорожник большой, осока волосистая, земляника лесная, сныть обыкновенная, крапива двудомная, горец птичий, лопух большой, череда.

Контрольные вопросы:

1. Что называется экосистемой?
2. Что называется биогеоценозом? Из каких компонентов он состоит?
3. Что называется биоценозом? Какие организмы входят в биоценоз?
4. Чем биотоп отличается от экотопа?
5. Какова пространственная структура биогеоценоза?
6. Из каких компонентов с биологической точки зрения состоит экосистема?
7. Чем детритофаги отличаются от деструкторов?
8. Для чего используется формула Жаккара?
9. При каких значениях индекса сходства ценозы считаются сходными?
10. Что такое сукцессия?

Практическое занятие 6
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

Продуктивность экологической системы – это скорость, с которой растения-продуценты усваивают лучистую энергию солнца в процессе фотосинтеза, образуя органическое вещество. Та часть солнечного излучения, которая способна поглощаться хлорофиллами в процессе фотосинтеза

называется ***фотосинтетически активной радиацией*** (ФАР). ФАР имеет спектр волн от 380 до 710 нм и состоит из прямых солнечных лучей и рассеянного света. Прямая радиация попадает на растения при безоблачном небе в виде параллельных лучей в основном на наружные листья. Рассеянная радиация образуется в результате преломления солнечных лучей взвешенными в атмосфере парами воды, льда, частицами пыли, а также внешними листьями растений. В рассеянном свете на долю ФАР приходится до 90%, то есть **рассеянный свет в отличие от прямых солнечных лучей может быть поглощен растением почти полностью.** Основная энергия для фотосинтеза поставляется красными (620-740 нм) и оранжевыми (595-620 нм) лучами. Желтые (565-595 нм) и зеленые (490-565 нм) лучи физиологически малоактивны и практически не влияют на интенсивность фотосинтеза. Синие (420-490 нм) и фиолетовые (360-420 нм) лучи оказывают влияние на развитие побегов и листьев, ультрафиолетовые лучи (220-360 нм) способствуют образованию биологически активных веществ, задерживающих рост верхушечной почки и вытягивание стебля.

Теоретическая возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется как возможностями фотосинтетического аппарата растений, так и количеством энергии, поступающим на данную территорию. Известно, что приход ФАР определяется широтой местности (табл.1).

Таблица 1. Среднемесячные значения ФАР, кДж/см^2

Города	Месяцы					
	1	2	3	4	5	6
С.-Петербург	0,8	3,3	9,6	16,3	24,2	27,6
Киев	5,0	5,4	15,0	19,6	28,8	32,1
Кишинев	5,4	10,0	15,0	22,5	29,6	32,6

Города	Месяцы					
	7	8	9	10	11	12
С.-Петербург	26,3	18,8	11,7	4,6	1,3	0,4
Киев	32,1	26,3	17,9	10,4	5,0	3,3
Кишинев	31,7	28,8	22,5	13,4	7,0	4,2

В природе максимально достигаемый КПД фотосинтеза – 10-12% энергии ФАР, отмечается в зарослях джугары и тростника в Таджикистане в кратковременные, наиболее благоприятные периоды. КПД фотосинтеза в 5% считается очень высоким для фитоценоза. В целом по континентам КПД ФАР колеблется от 0,44 в Австралии и Океании до 1,26 в Европе (табл. 2). Средний коэффициент использования энергии ФАР для территории России равен 0,8 %, на европейской части страны составляет 1,0-1,2 %.

Таблица 2. Продуктивность естественного растительного покрова

Части света	КПД ФАР	Средняя продуктивность, ц/га
Европа	1,26	85
Азия	0,88	98
Африка	0,59	103
Северная Америка	0,94	82
Южная Америка	1,13	209
Австралия и Океания	0,44	86

Средняя продуктивность естественного растительного покрова различается сравнительно мало. Исключением является Южная Америка, на большей части которой условия для развития растительности являются очень благоприятными.

Органическую массу, создаваемую растениями за единицу времени, называют **первичной продукцией** сообще-

ства. Продукцию выражают количественно в сырой или сухой массе растений либо в энергетических единицах – килокалориях или джоулях. Первичную биологическую продукцию экосистем ограничивают или климатические факторы (недостаток тепла, влаги) или нехватка биогенных элементов. **Валовая первичная продукция** – это количество вещества, создаваемого растениями за единицу времени при данной скорости фотосинтеза. Часть этой продукции идет на поддержание жизнедеятельности самих растений (траты на дыхание). Оставшаяся часть созданной органической массы характеризует **чистую первичную продукцию**, которая представляет собой величину прироста растений. Чистая первичная продукция - энергетический резерв для консументов и редуцентов. Перерабатываясь в цепях питания, она идет на пополнение массы гетеротрофных организмов. Прирост за единицу времени массы консументов называется **вторичной продукцией** сообщества. Вторичную продукцию вычисляют отдельно для каждого трофического уровня, так как прирост массы на каждом из них происходит за счет энергии, поступающей с предыдущего.

Гетеротрофы, включаясь в трофические цепи, живут за счет чистой первичной продукции сообщества. В разных экосистемах они расходуют ее с разной полнотой. Если скорость изъятия первичной продукции в цепях питания отстает от темпов прироста растений, то это ведет к постепенному увеличению общей биомассы продуцентов. **Под биомассой** понимают суммарную массу организмов данной группы или всего сообщества в целом. Недостаточная утилизация продуктов опада в цепях разложения имеет следствием накопление в системе мертвого органического вещества, что происходит, например, при заторфовывании болот, зарастании мелководных водоемов, создании больших запасов подстилки в таежных лесах и т.д. Биомасса сообщества с уравновешенным круговоротом веществ остается относительно постоян-

ной, так как практически вся первичная продукция тратится в цепях питания и разложения.

Скорость создания органического вещества не определяет его суммарные запасы, т.е. общую биомассу всех организмов каждого трофического уровня. Наличная биомасса продуцентов или консументов в конкретных экосистемах зависит оттого, как соотносятся между собой темпы накопления органического вещества на определенном трофическом уровне и передачи его на вышестоящий.

Отношение годового прироста растительности к биомассе в наземных экосистемах сравнительно невелико. Даже в наиболее продуктивных дождевых тропических лесах эта величина не превышает 6,5%. В сообществах с преобладанием травянистых форм скорость воспроизводства биомассы гораздо выше. Отношение первичной продукции к биомассе растений определяет те масштабы потребления растительной массы, которые возможны в сообществе без изменения его продуктивности.

Как показали исследования, биомасса и первичная продуктивность систем в разных географических областях варьирует в достаточно широких пределах (табл. 3, рис. 9).

Таблица 3. Биомасса, первичная и вторичная биологическая продуктивность экосистем (Реймерс, 1990)

Экосистема	Площадь, млн. км^2	Биомасса растений, кг/м^2	Общая биомасса растений, млрд. т	Общая биомасса животных, млн. т	Чистая первичная продукция, кг/м^2 за год	Общая чистая первичная продукция, млрд. т в год	Продуктивность животных, млн. т. в год
1	2	3	4	5	6	7	8
Влажные тропические леса	17,0	45	765	330	2,2	37,4	260

1	2	3	4	5	6	7	8
Тропические сезонно-зеленые леса	7,5	35	260	90	1,6	12	72
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5,0	35	175	50	1,3	6,5	26
Листопадные леса умеренного пояса	7,0	30	210	100	1,2	8,8	42
Тайга	12,0	20	240	57	0,8	9,6	38
Лесокустарниковые сообщества	8,5	6	50	40	0,7	6	30
Саванна	15,0	4	60	220	0,9	13,5	300
Луговая степь	9,0	1,6	14	60	0,6	5,4	80
Тундра и высокогорье	8,0	1,6	14	60	0,14	1,1	3
Пустыни и полупустыни	18,0	0,7	13	8	0,09	1,6	7
Сухие пустыни, скалы, ледники	24,0	0,02	0,5	0,02	0,003	0,07	0,02
Культивируемые земли	14,0	1	14	6	0,65	9,1	9
Болота	2,0	15	30	20	2,0	4,0	32
Озера	2,0	0,02	0,05	10	0,25	0,5	10
Морские экосистемы	361	0,01	3,9	997	0,152	55	3025

1	2	3	4	5	6	7	8
В целом на планете	**510**	**3,6**	**1841**	**2002**	**0,333**	**170**	**3934**

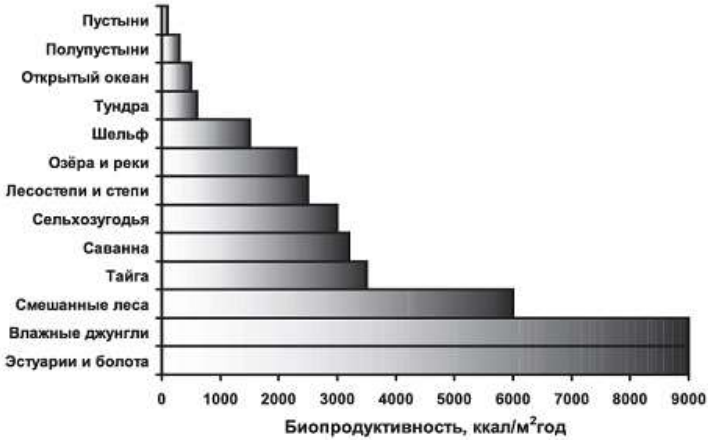


Рис. 9. Биопродуктивность экосистем как энергия, накопленная продуцентами в процессе фотосинтеза

Р. Уиттекер (1980) по первичной биологической продукции разделяет экосистемы на четыре класса:

- очень высокая – свыше 2 кг/м^2 в год;
- высокая – 1–2 кг/м^2 в год;
- умеренная – 0,25–1 кг/м^2 в год;
- низкая – менее 0,25 кг/м^2 в год.

Запасы живой биомассы определяют степень устойчивости экосистемы (табл.4).

Таблица 4. Классификация экосистем по степени устойчивости

Показатель устойчивости	Значение показателя	Балл устойчивости	Степень устойчивости
Биомасса, ц/га	менее 125	1	Неустойчивые
	125-500	2	Слабоустойчивые
	501-1500	3	Умеренно устойчивые
	1501-4000	4	Среднеустойчивые
	Более 4000	5	Высокоустойчивые

В большинстве наземных экосистем действует ***правило пирамиды биомасс:*** *суммарная масса растений больше, чем биомасса всех фитофагов и травоядных, а масса тех, в свою очередь, превышает массу всех хищников.* Отношение годового прироста растительности к биомассе в наземных экосистемах сравнительно невелико. В разных фитоценозах, где основные продуценты различаются по длительности жизненного цикла, размерам и темпам роста, это соотношение варьирует от 2 до 76%. Особенно низки темпы относительного прироста биомассы в лесах разных зон, где годовая продукция составляет лишь 2-6 % от общей массы растений, накопленной в телах долгоживущих крупных деревьев. Даже в наиболее продуктивных дождевых тропических лесах эта величина не превышает 6,5%. В сообществах с господством травянистых форм скорость воспроизводства биомассы гораздо выше: годовая продукция в степях составляет 41-55%, а в травяных тугаях (пойменные леса в пустынях Средней Азии и Центральной Азии) и эфемерно-кустарниковых полупустынях достигает даже 70-76%. Отношение первичной продукции к биомассе растений определяет масштабы выедания растительной массы, которые возможны в сообществе без подрыва его продуктивности. Относительная доля потребляемой животными первичной продукции в травянистых сообществах выше, чем в лесах. Копытные, грызуны, насекомые-фитофаги в степях используют до 70% годового прироста растений, тогда как в лесах в среднем не более 10%.

Для оценки подвижности органического вещества при трансформации продукции используют показатель ***скорость общего оборота органического вещества***, который определяется как отношение величины запаса живого и мертвого органического вещества к продукции, выраженное в процентах.

Задание:

1. На основании данных таблицы 1 построить график прихода ФАР на территорию в зависимости от географической широты местности и заполнить таблицу.

Распределение ФАР по сезонам года в зависимости от географической широты

Город	Распределение ФАР по сезонам года,%				Вегетационный период, кДж/см^2
	зима	весна	лето	осень	

Сделать вывод о распределении ФАР.

2. На основании данных таблиц 3 и 4 заполнить таблицу.

Продуктивность основных наземных биомов Земли

Экосистема	Площадь, млн. км^2	% от площади Земли	% от общей биомассы растений на Земле	% от общей биомассы животных на Земле	Биомасса, ц/га	Устойчивость, балл
1	2	3	4	5	6	7
Влажные тропические леса						
Тропические сезонно-зеленые леса						
Вечнозеленые леса умеренного пояса						

1	2	3	4	5	6	7
Листопадные леса умеренного пояса						
Тайга						
Лесокустарниковые сообщества						
Саванна						
Луговая степь						
Тундра и высокогорье						
Пустыни и полупустыни						
Сухие пустыни, скалы, ледники						
Культивируемые земли						
Болота						
Озера						
Морские экосистемы						
В целом на планете						

Сделать выводы о продуктивности и устойчивости экосистем

Контрольные вопросы:

1. Что такое продуктивность экологической системы?
2. Какая часть солнечного излечения относится к фотосинтетически активной?
3. Какими лучами поставляется основная энергия для фотосинтеза?
4. Какие лучи способствуют образованию биологически активных веществ, задерживающих рост верхушечной почки и вытягивание стебля?
5. Какие лучи оказывают влияние на развитие побегов и листьев?

6. Что называют первичной продукцией сообщества? В каких единицах её выражают?
7. Что называют валовой первичной продукцией сообщества?
8. Что называют вторичной продукцией сообщества?
9. Что такое биомасса сообщества?
10. В каких сообществах биомасса относительно постоянна?
11. К чему приводит недостаточная утилизация продуктов опада растений?
12. Какие сообщества характеризуются наиболее высокой скоростью воспроизводства биомассы?
13. На какие классы Уиттекер разделил экосистемы? Что является критерием?
14. По какому показателю определяют степень устойчивости экосистемы?
15. Что характерно для **пирамиды биомасс** в большинстве наземных экосистем?
16. Какой показатель используют для оценки подвижности органического вещества при трансформации продукции? Как он определяется?

Практическое занятие № 7

КРУГОВОРОТ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФИТОЦЕНОЗАХ

В отличие от неисчерпаемого потока солнечной энергии, поток вещества для построения всего живого ограничен пределами биосферы. Из 90 с лишним элементов, встречающихся в природе, 30-40 требуются живым организмам, т.е. являются биогенными. Такие элементы, как углерод, водород, кислород и азот необходимы организмам в больших количествах, другие – в малых или даже в ничтожных количествах. Биогенные элементы совершают непрерывный круговорот в экосистеме, в котором участвуют как живые организмы, так и физическая среда. После использования пищи одними организмами биогенные элементы переходят в соеди-

нения, усвояемые другими организмами. Энергия для осуществления этих процессов поступает от Солнца, а активную роль в них играют живые организмы. Солнечная энергия на Земле вызывает два круговорота веществ: ***большой***, или ***геологический***, и ***малый,*** или ***биологический*** (биотический). Оба круговорота взаимно связаны и представляют единый процесс.

Большой геологический круговорот вещества включает в себя последовательные процессы выветривания массивно кристаллических пород, образование толщи осадочных, погружение их на большие глубины, метаморфизацию и новое преобразование метаморфических пород в массивно кристаллические. Длительность собственно геологической истории земного шара составляет около половины всего возраста нашей планеты.

Обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, различные стадии которого происходят внутри экосистемы, называют ***биогеохимическим круговоротом, или биогеохимическим циклом***. Возраст биологического круговорота веществ составляет примерно 15-20 % времени общей истории существования земного шара.

В понятие круговорота вещества на Земле в настоящее время вкладываются круговороты отдельных химических элементов и биологические круговороты веществ в биосфере. Химические элементы обычно циркулируют в биосфере по характерным путям из внешней среды в организмы и опять во внешнюю среду. Движение необходимых для жизни элементов и неорганических соединений можно назвать круговоротом элементов питания.

В круговоротах минеральных веществ в экосистеме в большинстве случаев участвуют три активных блока: живые организмы, мертвый органический детрит и доступные неорганические вещества. Процессы, обеспечивающие перенос биогенных элементов в пределах экосистемы, представлены

на рис. 10. Ассимиляция и создание продукции сопровождаются переходом минеральных веществ из неорганического блока в органический: в круговороте углерода, кислорода, азота, фосфора и серы самым главным компонентом этого этапа является первичная продукция, создаваемая растениями; однако животным необходимы, кроме того, многие другие важные элементы, такие, как натрий, калий и кальций, и они ассимилируют эти элементы непосредственно из воды, которую пьют.

Некоторая часть углерода и кислорода возвращается в результате дыхания непосредственно в фонд доступных неорганических питательных веществ, возможно, после многократных круговоротов в пределах блока живой биомассы по хищным пищевым цепям.

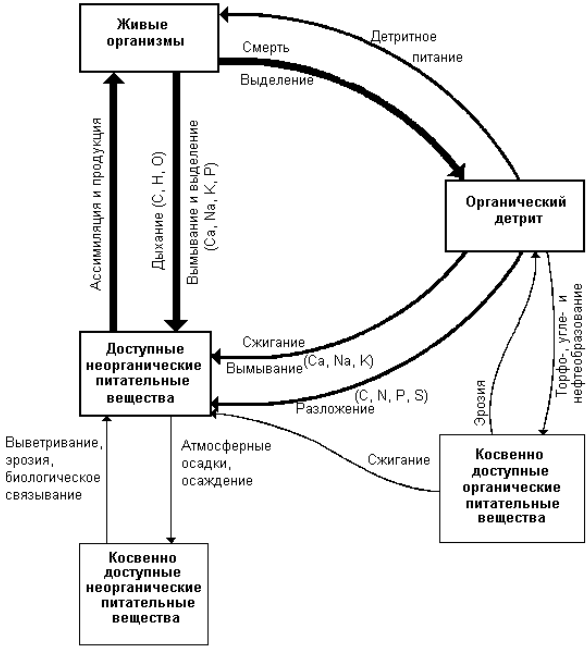


Рис.10. Блочная модель экосистемы с указанием некоторых наиболее важных путей обмена минеральных веществ

В разные периоды жизни на Земле воздействие биоты на окружающую среду было различным по объему, структуре вещественных потоков, механизмам и эффективности. Именно процессы биотической регуляции, развивающиеся на Земле на протяжении примерно четырех миллиардов лет, явились мощнейшим фактором преобразования окружающей среды на Земле. Благодаря непрерывному обмену веществом между биосферой и литосферой все элементы земной коры уже неоднократно входили в состав живого вещества. Наиболее важным результатом существования жизненных циклов на нашей планете является регулярная продукция огромных запасов потенциальной энергии, связанной в растительном органическом веществе. Эта энергия в последующем расходуется бесконечной цепью ассоциирующих животных организмов, грибов, бактерий, биохимическими и химическими реакциями. Продолжительность того или иного цикла оценивается по тому времени, которое было бы необходимо, чтобы вся масса данного вещества могла обернуться один раз на Земле в том или ином процессе.

Так, весь кислород планеты – продукт фотосинтеза – обновляется через каждые 2000 лет, а весь углекислый газ – за 6,3 года. Процесс полной смены вод на Земле (в гидросфере) осуществляется за 2800 лет. Обновление живого вещества биосферы происходит в среднем за 8 лет, при этом фитомассы суши (биомассы наземных растений) – 14 лет, а для океана, где преобладают организмы с коротким периодом жизни (планктон) – 33 дня.

Круговорот углерода осуществляется в наиболее подвижной его форме – CO_2. В этой форме углерод проходит по всем трофическим цепям – продуценты, консументы и редуценты. П*родуценты улавливают углерод из атмосферы в процессе фотосинтеза; консументы поглощают углерод вместе с телами продуцентов и консументов низших порядков; редуценты возвращают углерод вновь в круговорот.*

В экологических системах, в которых участвует человек, двуокись углерода поступает в атмосферу также и в результате сжигания растений в качестве топлива.

Круговорот кислорода. В свободном состоянии кислород находится в атмосферном воздухе, в связанном виде входит в состав воды, минералов, горных пород и всех веществ, из которых построены организмы растений и животных. Массовая доля кислорода в земной коре составляет около 47%. В основном свободный кислород поступает в атмосферу в результате фотосинтеза зеленых растений, а потребляется в процессе дыхания животными, растениями и микроорганизмами, и при минерализации органических остатков. Незначительное количество кислорода образуется из воды и озона под воздействием ультрафиолетовой радиации.

На промышленные и бытовые нужды ежегодно расходуется 23% кислорода.

Круговорот азота. Источником азота для автотрофных организмов являются нитраты, а также молекулярный азот атмосферы. Азот нитратов через корневую систему растений попадает по проводящим путям в листья, где используется для синтеза растительного белка. Прямая фиксация азота из атмосферы осуществляется свободноживущими бактериями родов Azotobacter и Clostridium, симбиотическими клубеньковыми бактерии рода Rhizobium, сине-зелеными водорослями (цианобактериями). Образующиеся в растениях азотсодержащие органические соединения по трофическим цепям попадают в организм гетеротрофов, а также после отмирания растений в почву. В почве они подвергаются распаду при участии сапрофагов, минерализуются и используются затем другими растениями. Конечным звеном разложения являются организмы-аммонификаторы, образующие аммиак. Аммиак включается в реакции нитрификации, т. е. образования нитритов и их превращения в нитраты. Часть азота из почвы возвращается в атмосферу благодаря деятельности

бактерий-денитрификаторов, разлагающих нитраты до молекулярного азота. В результате бактериальной денитрификации ежегодно с 1 га почвы улетучивается до 50-60 кг азота.

Приостановление круговорота азота происходит вследствие его накопления в глубоководных океанических осадках. Азот при этом исключается из кругооборота на несколько миллионов лет. Эти потери компенсируются поступлением газообразного азота при вулканических извержениях. По мнению Ю. Одума (1976) извержения вулканов в этом смысле полезны, и, если "блокировать все вулканы на Земле, то при этом от голода вполне может погибнуть больше людей, чем страдает сейчас от извержений".

Круговорот фосфора. Круговорот фосфора протекает совместно с круговоротом углерода, кислорода, азота. В свободном виде в природе по причине своей очень сильной окисляемости он не встречается. Источником всех фосфорных соединений в природе считается апатит (фосфат кальция). Растениями фосфор поглощается только из растворенных фосфатов в виде анионов фосфорной кислоты. Из растений фосфор вместе с пищей попадает в организм животных и человека. Затем органические фосфаты вместе с трупами, отходами и выделениями живых существ возвращаются в землю, где снова подвергаются воздействию микроорганизмов и превращаются в минеральные формы, употребляемые растениями.

Если в наземных системах круговорот фосфора проходит в оптимальных естественных условиях с минимумом потерь, то в океане вследствие оседания (седиментации) органических веществ на большие глубины часть фосфора исключается из биогенного круговорота. Он возвращается в круговорот при подъёме осадочных пород к поверхности в следствие тектонических движений.

Круговорот серы. Соединения серы участвуют в биохимических процессах живой клетки, формировании хи-

мического состава почв, в больших количествах сера содержится в подземных водах.

В природе сера образует минералы - *сульфиды.* Их много в изверженных горных породах. Затем после окисления сера со стоком воды попадает в Мировой океан, где и поглощается морскими обитателями. Особенно много серы накапливается в моллюсках.

В морях круговорот серы происходит с помощью *сульфатредуцирующих бактерий,* которые восстанавливают сульфаты до сероводорода, затем поднимается в верхние толщи воды и окисляется с помощью кислорода и сернистых бактерий. Некоторые бактерии накапливают серу в своих организмах, и после гибели бактерии сера накапливается на дне океана.

На суше круговорот серы осуществляется с помощью растений; после их отмирания сера переходит в почву, где одни организмы восстанавливают органическую серу до минеральной, а другие уже окисляют ее до сульфатов, которые вновь поглощаются корнями растений.

Круговорот воды является одним из важнейших процессов в жизнедеятельности всех организмов планеты.

До появления биосферы, круговорот воды в природе происходил только за счет испарения вод водоемов и суши.

Современный круговорот воды происходит с участием человека и биосферы. Этот круговорот называется *континентальным,* т. к. значительная часть его процесса происходит над континентами: вода, испаренная с поверхности водоемов, а также выделенная почвой, растениями и животными, конденсируется в облака и выпадает в виде осадков на поверхность суши, где снова используется растениями и животными.

В среднем в год с поверхности водоемов испаряется около 0,5 млн $м^3$ воды.

В каждом круговороте различают две части, или два «фонда»:

1) *резервный фонд* – большая масса медленно движущихся веществ, в основном небиологический компонент;

2) *подвижный, или обменный фонд* – меньший, но более активный, для которого характерен быстрый обмен между организмами и их непосредственным окружением.

До вмешательства в биосферу промышленных или сельскохозяйственных технологий круговороты биогенных веществ осуществлялись гармонично, подчиняясь единым энергетическим законам. В результате антропогенной деятельности в биосфере появились чуждые для нее соединения. По характеру и направленности антропогенные воздействия также могут не соответствовать природным условиям территории (например, возникновение местных техногенных землетрясений, вызванных добычей нефти, строительства искусственных водоемов, ведением крупных массовых взрывов в несейсмической зоне). Кроме того некоторые элементы поступают в биосферу в более значительных объемах.

Задание:

1. Зарисовать рис.10.
2. Составить примерные схемы круговоротов кислорода, азота, фосфора, серы и воды.

Контрольные вопросы:

1. Какие элементы называются биогенными?
2. Какие химические элементы необходимы живым организмам в больших количествах?
3. Что включает в себя большой геологический круговорот?
4. Какой круговорот называется биогеохимическим?
5. Какие блоки участвуют в круговоротах минеральных веществ в экосистеме?
6. Как оценивается продолжительность того или иного цикла? С какой скоростью обновляется, весь кислород планеты, углекислый газ, вода, живое вещество биосферы?
7. В какой форме осуществляется круговорот углерода?

8. Что является источником азота для автотрофных организмов?
9. Какими организмами осуществляется прямая фиксация азота из атмосферы?
10. Почему современный круговорот воды называют континентальным?
11. Какие части различают в каждом круговороте?
12. Каким образом хозяйственная деятельность человека влияет на круговороты веществ?

Практическое занятие № 8

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

1. Ритмы физиологических процессов

На всех уровнях иерархии биосферы временная организация осуществляется по единому ритмическому принципу и является совокупностью различных взаимосвязанных биологических ритмов, которые как бы интегрированы и с внутренними системами организма и с окружающей его внешней средой. Равномерное чередование во времени каких-либо состояний организма называется ***биологическим ритмом***.

Различают *внешние* (экзогенные), имеющие географическую природу и следующие за циклическими изменениями во внешней среде, и *внутренние* (эндогенные), или физиологические ритмы организма. Внешние ритмы имеют географическую природу, связаны с вращением Земли относительно Солнца и Луны относительно Земли.

Внешние ритмы:

1. *Суточная ритмика* выражается в 24-ех часовых колебаниях оптических и радиационных характеристик подстилающей поверхности. Суточная ритмика характерна и ритмам растений.
2. *Погодная ритмика*. Смены типов погоды образуют коротко периодические колебания свойств экосистем, вызванных особенностями циркуляции атмосферы, такими как изменения

оптических и радиационных свойств, смены метеорологических показателей (облачность, осадки), чрезвычайные гидрометеорологические ситуации (пыльные бури и засухи).

3. *Сезонная ритмика экосистем* характеризуется пространственными закономерностями сроков наступления сезонных явлений природы. Основным показателем сезонной ритмики экосистем являются фенологические карты. Главным источником для составления фенологических карт являются стационарные фенологические наблюдения, данные которых интерполируются и проводятся изолиниями – **изофенами**, соединяющими местности с одинаковыми сроками наступления сезонных явлений.

4. *Разногодичная ритмика* (флуктуации) экосистем. Согласно Т.А. Работнову (1983) она подразделяется на:

- **экотопические флюктуации**, обязанные колебаниям гидрометеорологических условий разных лет,
- **антропические** – обусловленные различными формами воздействия человека,
- **зоогенные** – вызванные различиями и воздействиями растительноядных и роющих животных,
- **фитоциклические** – вызванные биологическими циклами доминантных биоморф
- **фитопаразитарные** – обусловленные эпизодическим размножением паразитных организмов.

Многие циклы различаются по продолжительности. Наиболее известны 11-летние циклы, которые хорошо прослеживаются на организменном и популяционном уровнях. Так, с повышением солнечной активности отмечалось снижение прироста годичных колец у хвойных деревьев. В ритмике экосистем выявляются и 20-23 летние циклы.

Внутренние, физиологические ритмы возникли исторически. Суточные ритмы наследуются. Эндогенные суточные и годичные ритмы сформировались в результат длительной эволюции. Известный хронобиолог Ф. Хальберг разделил биологические ритмы на три группы:

- ритмы высокой частоты с периодом не превышающем получасового интервала;
- ритмы средней частоты с периодом от получаса до шести-семи суток (открывания и закрывания цветков у растений);
- низкочастотные ритмы с периодом от четверти месяца до одного года: недельные, лунные, сезонные ритмы.

Циркадные и суточные ритмы лежат в основе способности организма чувствовать время. Механизм, ответственный за такую периодическую активность получил название «***биологических часов***» (рис. 11) .

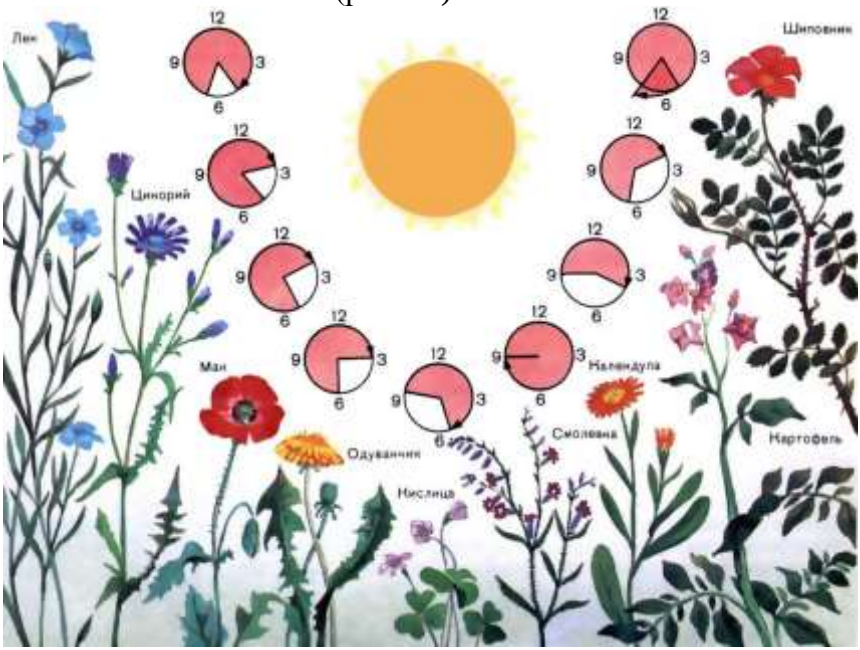


Рис. 11. Биологические часы

Фотопериод, или продолжительность дня, является важнейшей характеристикой светового режима, неодинаков в течение года. Ритмические изменения морфологических, биохимических и физических свойств и функций организмов под влиянием чередования и длительности освещения получили название ***фотопериодизма***. Способность живых орга-

низмов реагировать на длину дня получила название ***фотопериодической реакции*** (ФПР). По типу фотопериодической реакции выделяют следующие основные группы растений:

1. *Растения короткого дня*. Зацветание и плодоношение наступает при 8-12-часовом освещении (например, конопля, табак).

2. *Растения длинного дня*. Для цветения им нужна продолжительность дня 12 и более часов (картофель, пшеница, шпинат).

3. *Нейтральные к длине дня растения*. Для них длина фотопериода безразлична. Цветение наступает при любой длине дня (кроме очень короткой, означающей для растений световое голодание). К этой группе растений относятся горчица, одуванчик, томат и др.

2. Феноклиматическая периодизация года

Феноклимат выражает временные соотношения между климатом данного региона и сезонными процессами биотических и абиотических компонентов ландшафта. Форма проявления феноклимата – сезонное развитие природы данной местности. Фенологическая периодизация года основана на последовательной смене сезонных процессов, характерных для отдельных этапов развития природы. Естественные сезоны природы не совпадают с календарными границами времен года. Фенология рассматривает сезоны года как обособленные этапы ритмики природы. Внутри сезонов выделяют характерные периоды, ограниченные рубежными явлениями.

Весна в Европейской части России продолжается 85 суток. Она делится на четыре периода:

- *снеготаяния* – с 18.03 по 15.04 и продолжается 29 суток;
- *оживление весны* – с 16.04 по 6.05 и продолжается 21 сутки;
- *разгар весны* – с 7.05 по 21.05 и продолжается 15 суток;
- *предлетье* – 22.05 по 10.06 и продолжается 20 суток.

Общая черта сезона – нарастание солнечного тепла, заметное прогревание земной поверхности и воздуха. *Период*

снеготаяния продолжается от первых проталин в поле до зацветания серой ольхи и орешника-лещины. В солнечный полдень приземный воздух теплеет до нуля градусов и выше, а суточная температура переходит рубежный порог – минус 5 градусов. Начинается разрушение снежного покрова. *Начало оживления весны* совпадает с зацветанием мать-и-мачехи, а конец – с облиствением березы и «пылением» вяза. Разгар весны начинается от зеленения березы до зацветания рябины и сирени. *Предлетье*. Фенологический индикатор начала – зацветание рябины и сирени, конец знаменуется зацветанием местных видов шиповника.

Лето продолжается 76 суток, оно разделяется на три периода:

- *начало лета* – с 11.06. по 6.07 и продолжается 26 суток;
- *полное лето* – с 7.07 по 27. 07 и продолжается 21 сутки;
- *спад лета* – с 28.07 по 25.08 и продолжается 29 суток.

*Начало лет*а отсчитывают с зацветания шиповника, малины. *Полное, или красное лето*. В самом начале периода зацветает липа мелколиственная. Растительный покров достигает сезонного максимума биомассы. *Спад лета*. Созревает рожь, брусника, цветет полынь обыкновенная и горькая. К концу подсезона начинает раскрашиваться листва березы бородавчатой и липы мелколистной.

Осень длится 93 суток. Начинается 26 августа и заканчивается 22 ноября. Фенологическая осень начинается с пожелтения листьев и заканчивается полным листопадом. Сезон подразделяют на четыре периода:

- *начало осени* – с 26.08 по 23.09. и продолжается 29 суток;
- *золотая осень* – с 24.09 по 14. 10. И продолжается 21 сутки;
- *глубокая осень* – с 15.10 по 23 10 и продолжается 8 суток;
- *предзимье* – с 23.10 по 26.11 и продолжается 25 суток.

Начало осени настает с первых расцвеченных листьев березы, липы и вяза и продолжается до запестрения их листвы, когда количество раскрашенных и зеленых листьев в их

кронах будет примерно одинаково. Созревают плоды ольхи, клена, липы, ясеня и дуба. *Золотая осень* - пора самой яркой осенней раскраски листвы. *Глубокая осень* длится с завершения листопада березы, вяза и осины до выпадения первого снега. *Предзимье* – от первого выпавшего снега до ледостава. Температурный порог сезона - ноль градусов.

Зима длится 111 дней. Начинается с 27 ноября и продолжается до 18 марта. В этом сезоне выделяют три периода:

- *первозимье* – с 27.11 по 22.12. и продолжается 25 суток;
- *коренная зима* – с 22.12 по 18.03. и продолжается 55 суток;
- *перелом зимы* – 18.03 по 15.04 и продолжается 29 суток.

Первозимье начинается с выпадения покровного снега, кончается в декабрьское солнцестояние. *Коренная зима*. Деревья и кустарники перешли к периоду вынужденного покоя. *Перелом зимы* намечается с резким приростом светового дня.

Фенологическая литература имеет вид многочисленных календарей природы (сводок, обзоров, летописей природы). Эти сводки представляют собой перечень календарных дат, когда то или иное фенологическое явление начиналось в прошедшие годы. Отдельно указываются средние, самые ранние и поздние даты. Такие сводки необходимы для составления различных прогнозов.

Задание: Используя материалы, приведенные в таблице 5 построить график наступления фенологического явления на примере двух областей (по заданию преподавателя).

Таблица 5. ***Календари природы Центральных областей Европейской части России***
(1966-1980 гг., МФГО СССР, 1982)

Наступление явления	Названия областей							
	Ярославская	Ивановская	Нижегородская	Смоленская	Калужская	Орловская	Тамбовская	Белгородская
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Начало цветения лещины	19.04	19.04	13.04	22.04	14.04	19.04	14.04	20.04
Первые листья у березы	5.05	3.05	30.04	13.05	1.05	27.04	14.04	22.04
Начало цветения у черемухи	17.05	14.05	12.05	20.05	10.05	8.05	25.04	2.05

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Начало цветете-ния липы	10.07	9.07	7.07	7.07	4.07	27.06	22.06	20.06
Конец листопада у березы	10.10	17.10	18.10	18.10	19.10	25.10	15.10	27.10

График наступления фенологического явления в _____ областях

Месяц	Декады	Начало цветения лещины	Первые листья у березы	Начало цветения у черемухи	Начало цветения липы	Конец листопада у березы
апрель	2					
	3					
май	1					
	2					
	3					
июнь	1					
	2					
	3					
июль	1					
	2					
	3					

ок-тябрь	1					
	2					
	3					

Контрольные вопросы:

1. Что называется биологическим ритмом?
2. Какие бывают биологические ритмы?
3. Природа и группы внешних биологических ритмов.
4. Природа и группы внутренних физиологических ритмов.
5. Что такое «биологические часы»?
6. На какие группы делятся растения по требованиям к длине светового дня?
7. Что такое феноклимат, как он проявляется?
8. На чем основана фенологическая периодизация года?

Практическое занятие № 9

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Загрязнением называется поступление в среду физических, химических или биологических компонентов, не характерных для нее. Существует несколько классификаций загрязнения природной среды:

- по ***происхождению*** различают *природное и антропогенное загрязнение*;
- по ***объектам загрязнения*** различают: *загрязнение вод, атмосферы, почвы, ландшафта*;
- по ***продолжительности и масштабу распространения*** различают загрязнение временное и постоянное; *локальное, региональное, трансграничное и глобальное;*
- по ***источникам и видам загрязнителей*** различают следующие виды загрязнения: химическое (ингредиентное), физическое (параметрическое), биологическое (биоценологи-

ческое) и ландшафтное (стациально-деструкционное) (рис. 12).

Рис. 12. Ущерб от загрязнения природной среды

Загрязнение природной среды приносит достаточно большой экономический ущерб (рис. 13).

Задание:

1. Зарисовать рисунки 12 и 13.

Рис. 13. Виды загрязнений окружающей среды

2. Выбрать один из готовых ответов или внести свои предложения для решения каждой из обозначенных актуальных экологических проблем:

№ п/п	Экологические проблемы	Предложения по решению
1	Загрязнение автомобилями атмосферного воздуха	
2	Загрязнение воды стоками от животноводческих ферм	
3	Загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий	
4	Загрязнение ландшафта строительным мусором, сбрасываемым самосвалами	
5	Загрязнение воды сбросами промышленных предприятий	
6	Замусоривание дворов и улиц	
7	Шумовое загрязнение от самолетов	

Предлагаемые готовые решения актуальных экологических проблем:

А. Принятие закона.

Б. Введение местного налога.

В. Личная ответственность нарушителя и взимание штрафов.

Г. Административное постановление и реальная помощь властей.

Д. Ужесточение законов.

Е. Экологическое образование и воспитание.

3. Указать, какие виды загрязнителей окружающей среды относятся к биологическим, химическим и физическим:

1. Пыль
2. Сернистый газ
3. Тепловая энергия
4. Ионизирующее излучение
5. Металлическая стружка
6. Фенол
7.Бактерии
8. Электромагнитные поля
9. Стекло
10.Азотная кислота
11.Бытовые отходы
12.Шум
13.Грибы рода Candida
14.Вибрация
15.Нефть

3. Расположить перечисленные источники получения энергии в порядке убывания их экологической безопасности: гидроэлектростанции (ГЭС); атомные электростанции; солнечные станции; ТЭЦ, работающие на угле; ТЭЦ на природном газе; ТЭЦ на мазуте; ветряные электростанции.

4. В комнате площадью 18 м² с высотой потолков 3,1 разбит термометр? Определить будет ли превышен уровень ПДК ртути в комнате, если масса разлившейся ртути составляет 1 г (ПДК ртути – 0, 0003 мг/м ^{3}).

5. При санобработке кухни площадью 8 м², высота потолков 3,1 м, использовали один аэрозольный баллончик дихлофоса массой 200 г. Определить: можно ли находиться на кухне без вреда для здоровья, если ПДК дихлофоса составляет 0,04 мг/м ^{3}.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение загрязнения.

2. Какие критерии лежат в основе классификации загрязнений?

Практическое занятие № 10

НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Под *качеством окружающей природной среды* в экологии понимают степень соответствия ее характеристик потребностям людей. Принцип ***нормирования качества окружающей природной среды*** означает установление нормативов (показателей) предельно допустимых воздействий человека на окружающую природную среду. Соблюдение этих нормативов обеспечивает:

- экологическую безопасность населения;
- сохранение генетического фонда человека, растений и животных;
- рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития.

Экологическое нормирование предусматривает:

• учет множественности путей загрязнения и самоочищения элементов биосферы при оценке последствий антропогенного воздействия;

• выявление наиболее чувствительных к антропогенному воздействию, «критических» компонентов биосферы;

• развитие научного подхода к нормированию антропогенных воздействий с учетом их влияния на природные экосистемы.

Основным критерием при определении допустимой экологической нагрузки является **отсутствие снижения продуктивности, стабильность и разнообразие экосистем**.

Для предупреждения негативного воздействия загрязняющих веществ на компоненты экосистем в настоящее время применяются следующие показатели.

Летальная доза ($ЛД_{50}$ и $ЛД_{100}$) – количество токсиканта, вызывающее гибель 50% и 100% подопытных животных, соответственно. Чем выше эта величина, тем безопаснее дан-

ное вещество. Дозу определяют обычно в весовом количестве токсина на 1 кг живого веса объекта. По степени токсичности вещества подразделяются на 4 класса (табл. 6).

Таблица 6

Классы токсичности

Показатель	Классы токсичности			
	I (чрезвычайно опасные)	**II** (высоко опасные)	**III** (умеренно опасные)	**IV** (мало опасные)
ЛД 50 (пероральная), мг/кг	менее 15	15–150	151–5000	более 5000
ЛД 50 (кожная), мг/кг	менее 100	100–500	501–2500	более 2500

Наиболее распространенным показателем оценки состояния объектов окружающей природной среды является **ПДК** (предельно допустимая концентрация), значение которой устанавливается органами здравоохранения. В основе установления ПДК лежат известные экологические законы: *закон минимума и закон толерантности*. Сущность закона минимума заключается в том, что вещество, присутствующее в минимуме, определяет жизнеспособность и продуктивность организма, для которого данное вещество является жизненно необходимым. Сущность закона толерантности заключается в том, что состояние организма зависит не только от вещества, присутствующего в недостатке, но и от вещества, присутствующего в избытке по отношению к потребностям организма. ПДК – это интегральный показатель опасности химического вещества, выражаемый в миллиграммах на 1 кг или в миллилитрах на 1 л продукта.

Для расчета ПДК используются являются показатели ***допустимая суточная доза (ДСД)*** и ***допустимое суточное поступление (ДСП)*** ксенобиотика.

ДСД – это максимальное количество ксенобиотика (в миллиграммах на 1 кг массы тела), ежедневное пероральное потребление которого на протяжении всей жизни человека не оказывает неблагоприятного влияния на жизнедеятельность и здоровье настоящего и будущего поколений. Умножая ДСД на массу тела человека, определяют **ДСП** (в миллиграммах в сутки) в составе пищевого рациона, в который входят суточный набор продуктов и вода.

Обоснование величины ПДК ксенобиотиков в пищевых продуктах проводится по определенной схеме в 4 этапа.

Первый этап – подготовительный. На этом этапе проводится предварительная токсиколого-гигиеническая оценка нормируемого токсического вещества. Первичную токсикологическую характеристику ксенобиотика получают с помощью острого эксперимента на двух-трех видах модельных животных, определяя ЛД50 (среднелетальную дозу).

Второй этап – основной. В ходе хронического эксперимента определяют пороговую и максимально недействующую дозу изучаемого вещества по общетоксическому действию.

Третий этап – обобщающий. Обобщаются результаты исследований и обосновываются величины ДСД и ПДК ксенобиотика в пищевых продуктах.

Четвертый этап. Проводятся наблюдения для подтверждения безопасного уровня ПДК, и, если необходимо, вносятся поправки в гигиенические нормативы.

В использовании критерия ПДК существует целый ряд ограничений:

– он показывает пороговый уровень влияния на здоровье человека и не имеет никакого отношения к порогу устойчивости биоты;

– он не учитывает отклик экосистем на загрязнение в зависимости от свойств почв;

– он не отражает уровня техногенного загрязнения и его действия на агроэкосистему, поскольку не учитывает буферные свойства почв.

При установлении ограничений на потребление загрязненной продукции необходимо учитывать:

- содержание загрязнителя и период его полураспада;
- количество потребляемой загрязненной продукции;
- нагрузку поступления загрязнителя в организм человека;
- кумулятивный эффект;
- возраст и пол человека;
- химический состав рациона.

Существуют также ускоренные и экспресс-методы нормирования, которые основаны на корреляционной зависимости между порогом хронического действия ксенобиотика и его химической структурой, физико-химическими или токсическими свойствами, определяемыми в остром или кратковременном эксперименте. Нормативы, полученные с помощью ускоренных и расчетных экспресс-методов, называются ***ориентировочными безопасными уровнями воздействия вредного вещества (ОБУВ)***. Срок действия ОБУВ – 2-3 года, в течение этого периода разрабатывается ПДК по обычной методике

Биоиндикаторы. Более надежную оценку степени загрязнения окружающей среды проводят по наиболее чувствительным объектам биоты (биоиндекаторов) с помощью ряда биохимических показателей и морфологических признаков.

Биоиндикаторы:

- реагируют даже на относительно слабые нагрузки;
- суммируют действие всех без исключения биологически активных антропогенных факторов в окружающей среде;
- не исключают необходимость регистрации химических и физических параметров, характеризующих состояние окружающей среды;

- указывают места скопления в экосистемах различного рода загрязнений и возможные пути попадания веществ в пищу теплокровных;
- позволяют судить о вредности загрязняющих веществ для живой природы и человека.

Биоиндикация незаменима в тех случаях, когда:

– *фактор не может быть измерен*. Это актуально для попыток реконструкции климата прошлых эпох. Так, анализ пыльцы растений в Северной Америке за длительный период показал смену теплого влажного климата сухим прохладным и далее замену лесных сообществ на травяные;

– *фактор трудно измерить*. Некоторые пестициды так быстро разлагаются, что не позволяют выявить их исходную концентрацию в почве. Например, инсектицид дельтаметрин активен лишь несколько часов после его распыления, в то время как его действие на фауну прослеживается в течение нескольких недель;

– *фактор легко измерить, но трудно интерпретировать*. Данные о концентрации в окружающей среде различных поллютантов, как правило, не содержат ответа на вопрос, насколько ситуация опасна для живой природы. С точки зрения охраны природы, важнее получить ответ на вопрос, к каким последствиям приведет та или иная концентрация загрязнителя в среде. Эту задачу и решает биоиндикация, позволяя оценить биологические последствия антропогенного изменения среды. Биоиндикация позволяет получить информацию о биологических последствиях изменения среды и сделать лишь косвенные выводы об особенностях самого фактора.

Различают 2 типа биоиндикаторов: чувствительный и аккумулятивный.

Чувствительный быстро реагирует значительным отклонением показателей от нормы. Например, отклонения в поведении животных, в физиологических реакциях клеток могут

быть обнаружены практически сразу после начала действия нарушающего фактора.

Аккумулятивный накапливает воздействия без проявляющихся нарушений. Например, лес на начальных этапах его загрязнения или вытаптывания будет прежним по своим основным характеристикам (видовому составу, разнообразию, обилию и пр.). Лишь по прошествии какого-то времени начнут исчезать редкие виды, произойдет смена преобладающих форм, изменится общая численность организмов и т.д. Таким образом, лесное сообщество как биоиндикатор не сразу обнаружит нарушение среды.

Очень информативными биоиндикаторами состояния воздушной среды и ее изменения являются низшие растения: мхи и лишайники, которые накапливают в своем слоевище (талломе) многие загрязнители (серу, фтор, радиоактивные вещества, тяжелые металлы). Лишайники очень нетребовательны к факторам внешней среды, однако для своего нормального функционирования они нуждаются в чистом воздухе. Особенно они чувствительны к сернистому газу. Малейшее загрязнение атмосферы, не влияющее на большинство растений, вызывает массовую гибель чувствительных видов лишайников. В качестве организмов-индикаторов (биоиндикаторов) используют бактерии, водоросли, беспозвоночные (инфузории, ракообразные, моллюски). По дикорастущим растениям судят о характере и состоянии почвы. Некоторые водные организмы свидетельствуют о степени загрязнения воды (например, личинки некоторых двукрылых насекомых). В Германии разработана и широко применяется методика использования светящихся бактерий с целью индикации загрязняющих веществ в промышленных сточных водах. О чистоте воды часто судят по нормальному развитию высших ракообразных и некоторых водорослей.

Контрольные вопросы:

1. Сущность принципа нормирования качества окружающей природной среды.
2. Что предусматривает экологическое нормирование?
3. Что является основным критерием при определении допустимой экологической нагрузки?
4. Какие показатели применяются для предупреждения негативного воздействия загрязняющих веществ на компоненты экосистем? Их сущность.
5. На какие классы подразделяются вещества по степени токсичности?
6. Схема обоснования величины ПДК ксенобиотиков в пищевых продуктах.
7. Что необходимо учитывать при установлении ограничений на потребление загрязненной продукции?
8. Что такое ориентировочные безопасные уровни воздействия вредного вещества? Как долго они применяются?
9. Что такое биоиндикаторы?
10. В каких случаях применяется биоиндекация?
11. На какие типы подразделяются биоиндикаторы? Что характерно для каждого типа?
12. Приведите примеры использования организмов-индикаторов.

Практическое занятие № 11

ПРОИЗВОДСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Проблемы производства экологически безопасной продукции. В настоящее время проблема качества пищевых продуктов и продовольственного сырья является одной из острейших проблем. В связи с чем производство экологически чистой сельскохозяйственной продукции – это важнейшая социально-экономическая задача.

В XX-XXI веке резко возросла антропогенная нагрузка на окружающую среду вследствие бурного развития промышленности, энергетики, транспорта и химизации сельского хозяйства, вследствие чего возникла опасность загрязнения продукции сельского хозяйства ксенобиотиками, *т.е. чужеродными для живых организмов химическими веществами*, различного происхождения.

Результатом широкого использования искусственных химических веществ без должного контроля и учета их биологических эффектов стали:

- накопление вредных для человека веществ в почве, пищевых продуктах, лекарственных и кормовых растениях;
- уменьшение площади функционально полезных плодородных почв, лесных массивов, сенокосных и пастбищных угодий;
- нарушение биологических взаимоотношений между обитателями почвы, воды и других объектов;
- сокращение и гибель ценнейших дикорастущих продовольственных и лекарственных культур, водорослей и других природных пищевых и лекарственных субстратов, сокращение численности и гибель редких и весьма полезных обитателей планеты: насекомых, рыб, птиц, животных.

Это привело к тому, что на рынке продовольствия из-за загрязненности и эродированности сельскохозяйственных угодий возросло количество низкокачественных и опасных для здоровья продуктов питания. Поэтому производство экологически безопасной продукции является ключевой задачей при экологизации сельскохозяйственной деятельности. Сегодня под экологически безопасной сельскохозяйственной продукцией понимают такую продукцию, которая соответствует установленным органолептическим, общегигиеническим, технологическим и токсикологическим нормативам и не оказывает негативного влияния на здоровье человека, животных и состояние окружающей среды. Производство высококачествен-

ной, экологически безвредной продукции растениеводства и животноводства – одно из обязательных условий устойчивого развития общества.

Основные виды экотоксикантов, содержащихся в пищевых продуктах; источники загрязнения, формы нахождения в сельскохозяйственной продукции и почве. Для получения экологически безопасной продукции необходимо иметь достоверные исходные данные об эколого-токсикологической обстановке в агроэкосистемах, особенно испытывающих пресс многолетнего интенсивного использования агрохимикатов (удобрения, пестициды, мелиоранты и др.).

В настоящее время известно около 10 миллионов химических соединений, из которых более 60 тысяч широко используются в быту, медицине, в производстве и в сельском хозяйстве. И большая их часть при определенных обстоятельствах может не безопасной для здоровья, т.е. токсичной.

Токсичность – свойство (способность) химических веществ, действуя на биологические системы немеханическим путем, вызывать их повреждение или гибель, или, применительно к организму человека, - способность вызывать нарушение работоспособности, заболевание или гибель.

Проявления токсического процесса определяются уровнем организации биологического объекта, на котором токсичность вещества изучается:

- клеточном;
- органном;
- организменном;
- популяционном.

Если токсический эффект изучают на *уровне клетки*, то судят прежде всего о цитотоксичности вещества. Токсический процесс на клеточном уровне проявляется:

- обратимыми структурно-функциональными изменениями клетки (изменение формы, сродства к красителям, подвижности и т.д.);

- преждевременной гибелью клетки (некроз);
- мутациями (генотоксичность).

Токсический процесс на *уровне целостного организма* проявляется:

- болезнями химической этиологии (интоксикации, отравления);
- транзиторными токсическими реакциями - быстро и самопроизвольно проходящими состояниями, сопровождающимися кратковременной утратой дееспособности (явление раздражение глаз, дыхательных путей; седативно-гипнотические состояния; психодислептические состояния и т.д.);
- аллобиозом - стойкими изменениями реактивности организма на воздействие физических, химических, биологических факторов окружающей среды, а также психические и физические нагрузки (аллергия, иммуносупрессия, повышенная утомляемость и т.д.).

Токсическое действие веществ, регистрируемое на *популяционном и биогеоценологическом* уровне, может быть обозначено как экотоксическое. Экотоксический процесс на уровне популяции проявляется:

- ростом заболеваемости, смертности, числа врожденных дефектов развития, уменьшением рождаемости;
- нарушением демографических характеристик популяции (соотношение возрастов, полов и т.д.);
- падением средней продолжительности жизни членов популяции, их культурной деградацией.

Специфическими для сельскохозяйственного производства являются отдельные виды токсикантов. Особенно опасными могут быть:

- Бактериальные токсины (ботулотоксин и тетанотоксин, поражающие нервную и сердечно-сосудистую системы);
- Микотоксины (эрготоксины (*Claviceps)*, афлотоксины (*Aspergillus*),

- Токсины высших растений (алкалоиды, гликозиды, кумарины),
- Токсины животных (зоотоксины),
- Тяжелые металлы (ртуть, кадмий, хром, мышьяк, свинец, бериллий, цинк, медь, таллий);
- Пестициды.

Пестициды – вещества, предназначенные для борьбы с вредными агентами сельскохозяйственных культур (болезнями, вредителями, сорняками). Наиболее желательным свойством пестицидов, в этой связи, является избирательность их действия в отношении организмов-мишеней. Однако селективность действия подавляющего большинства пестицидов не является абсолютной, поэтому многие вещества представляют большую или меньшую опасность для человека. Основной риск, связанный с использованием пестицидов, обусловлен их накоплением в окружающей среде и биоте, перемещением по пищевым цепям, вплоть до человека.

Поскольку организмы "вредителей" адаптируются к действию химических веществ (сопряженная эволюция), в мире постоянно синтезируются и внедряются в практику десятки и сотни новых соединений.

К новым видам биологического загрязнения относится *генетическое загрязнение* окружающей среды, связанное с развитием генной инженерии и ее широким использованием в сельском хозяйстве.

Для оценки и предотвращения негативного воздействия продуктов питания на здоровье человека и кормов на сельскохозяйственных животных оперируют такими понятиями, как предельно допустимая концентрация (ПДК), допустимое остаточное количество (ДОК) или максимально допустимые уровни (МДУ) вещества в них.

Эколого-токсикологический норматив (предельно допустимая концентрация) – концентрация вещества в продукции (продуктах питания, кормах), которая в течение неограниченно

продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает отклонений в состоянии здоровья человека и животных.

ПДК химических веществ в пищевых продуктах устанавливают при этом с учетом допустимой суточной дозы (ДСД) или допустимого суточного поступления (ДСП), поскольку разнообразие рациона и его химического состава не позволяют нормировать допустимое содержание химического вещества в каждом пищевом продукте.

При экспертизе пищевой продукции большое внимание уделяется определению остаточных количеств минеральных удобрений, средств защиты растений и т. д.

Основные факторы, влияющие на поведение токсикантов. Токсиканты, содержащиеся в фитомассе, поступают в последующие звенья пищевой цепи. Они оказываются в организмах гетеротрофов, в том числе в телах сельскохозяйственных животных. Распределение веществ-токсикантов в организме животных, как правило, неравномерно; оно зависит от физико-химических свойств загрязнителей и других факторов. Так, например, ДДТ концентрируется главным образом в жировой ткани, свинец – в печени и почках, кадмий – в почках, радиоактивный йод – в щитовидной железе, стронций – в костях.

Многие химические соединения**,** мигрирующие по пищевой цепи, преобразуются, превращаясь в новые формы. Некоторые из них обезвреживаются, другие, наоборот, становятся более вредоносными. Концентрация стойких химических веществ и долгоживущих радионуклидов увеличивается в конечных звеньях пищевой цепи, в том числе в организме человека. Под влиянием поллютантов и ксенобиотиков, содержащихся в организме животных, качество животноводческой продукции снижается.

На токсичность влияют следующие абиотические факторы окружающей среды:

1) температура;

2) количество растворенного кислорода;

3) pH;

4) жесткость воды;

5) присутствие хелатообразующих агентов и других загрязнителей в воде.

Уменьшение парциального давления кислорода и увеличение pH и жесткости воды приводят к понижению токсикологического воздействия веществ-загрязнителей на окружающую среду и обитающих в ней живых организмов.

Направления превращений химикатов в природных средах зависят от:

- химического строения их молекул;
- среды, в которую они попадают (воздух, вода и т. д.);
- характера источников энергии и ее доступности.

Химические реакции в живых организмах с участием энзимов протекают с очень небольшими затратами энергии. Они могут приводить как к детоксикации ксенобиотиков, так и к образованию метаболитов с более высокой токсичностью (в последнем случае говорят об активации).

В случае органических соединений под действием энзимов возможны три типа превращений:

1) *полная минерализация* до CO_2 и H_2O без образования на промежуточных стадиях персистентных и биологически активных соединений (при этом происходит увеличение биомассы организмов, участвующих в минерализации);

2) *разрушение ксенобиотика* до низкомолекулярных соединений, которые затем выделяются в окружающую среду и включаются в природный круговорот веществ;

3) *химическая трансформация* с накоплением метаболитов в клетках организма.

Устойчивость живого организма по отношению к токсикантам может быть достигнута:

1) при уменьшении поступления токсиканта;

2) увеличении коэффициента выделения токсиканта;

3) переводе токсиканта в неактивную форму в результате его изоляции или осаждения.

Основные мероприятия по предотвращению и снижению загрязнения сельскохозяйственной продукции. Поскольку сельскохозяйственная продукция – это, прежде всего, продукция растениеводства, основное значение приобретает предотвращение загрязнения растений. Источниками загрязнения растений могут быть почва, вода, воздух, но преимущественно это, конечно же, почва, в которой аккумулируются токсиканты. Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции зависит от:

- *кислотности* почвы (чем сильнее кислотность почвенного раствора отличается от нейтральной, тем выше растворимость в ней токсикантов и возможность поступления их в растения),
- содержания *гумуса* (чем ниже плодородие почв, тем большую опасность представляют токсиканты, которые не связываются почвенными частицами),
- *гранулометрического* состава почвы (емкость катионного обмена, которая у почв с тяжелым гранулометрическим составом выше, обуславливает различную подвижность токсикантов, а, значит, и разную степень поступления их в сельскохозяйственную продукцию),
- *минералогического* состава почвы (минералы с невысокой емкостью катионного обмена (например, каолиниты) легче загрязняются токсикантами),
- степень *увлажненности* (чем выше увлажнение почв, тем подвижнее токсиканты),
- степень *уплотненности* почвы (чем выше уплотнение почвы, тем выше подвижность в ней тяжелых металлов),
- активность *почвенной биоты* (чем богаче почвенная биота, тем быстрее происходит в ней естественное разложение пестицидов).

Известно, что природные многовидовые ассоциации растений значительно реже страдают от вспышек развития насекомых вредителей, возбудителей болезней, чем популяции монокультур в агроценозах. Это объясняется высокой концентрацией сельскохозяйственных культур, что делает их удобным объектом для многочисленных хищников, паразитов, возбудителей заболеваний и других вредных организмов, освобождающихся от конкуренции, присущей им в естественной обстановке. Отсюда - важным путем повышения урожайности является снижения потерь от вредителей, болезней и сорняков путем интегрированной системы защиты сельскохозяйственных культур, где особое значение в борьбе с вредными организмами придается агротехническим, селекционным, семеноводческим приемам, севооборотам, биологическим методам. Химический метод применяется в крайних случаях, в годы, когда вредные организмы превышают порог вредоносности, создается угроза потерь урожая и другие приемы не дают возможности предотвратить эти потери.

Для получения максимального урожая и длительного поддержания плодородия почвы система внесения удобрений требует определенной экологической культуры. Она предполагает оптимальное соотношение между минеральными и органическими удобрениями, их нормы, сроки, способы и место внесения, использование полива и рыхление почвы, учет погодных условий. Повышенные нормы, неправильные сроки или способы внесения, например, азотных удобрений, приводят к накоплению их в почве, а в растениях, соответственно, нитратов, вредных в избыточных количествах для человека. Поверхностное и чрезмерное внесение удобрений приводит к частичному их смыву в реки, озера, отравлению воды, гибели животных и растений.

Для предотвращения или снижения интоксикации почв, а, следовательно, и сельскохозяйственной продукции используют ряд приемов:

1. *использование в качестве мелиорантов веществ, содержащих кальций и калий* (на кислых почвах – известкование, на щелочных почвах – гипсование, внесение калийных удобрений), что дает возможность:

- довести реакцию почвенного раствора до нейтрального уровня, чтобы тяжелые металлы, радионуклиды, другие токсиканты стали недоступными растениям,
- создать в почвенном растворе повышенную концентрацию элементов-антагонистов (калия, фосфора, кальция) и сократить поступление в растения токсичных элементов,
- перевести токсиканты в почве в менее опасные формы,

2. *использование таких мелиорантов, как цеолиты, активированный уголь, вермикулит, монтмориллониты, другие ионообменники, которые поглощают токсиканты и выделяют в почву нетоксичные элементы,*

3. *использование растений – концентраторов токсикантов – для биологической рекультивации* (ежа сборная, гречиха сахалинская),

4. *повышение биологической активности почв* (внесение органических удобрений, разуплотнение почв),

5. *грамотное использование минеральных удобрений, химических средств защиты растений*. Оптимальное соотношение органических и минеральных удобрений составляет 4:1. Пестициды необходимо использовать при превышении вредителями и болезнями порога вредоносности,

6. *грамотная утилизация отходов животноводческих ферм* (обеззараживание навозной массы, приготовление органических удобрений, строительство навозохранилищ),

7. *использование микробных препаратов для повышения эффективности почвенной микрофлоры*.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ксенобиотики?

2. Что явилось результатом широкого использования искусственных химических веществ?
3. Что понимают под «экологически безопасной продукцией»?
4. Что такое токсичность?
5. Как токсический эффект проявляется на уровне клетки?
6. Как токсический эффект проявляется на уровне целостного организма?
7. Как токсический эффект проявляется на популяционном уровне?
8. Какие токсиканты являются специфическими для сельскохозяйственного производства?
9. С чем связан риск применения пестицидов?
10. Что относится к биологическому загрязнению?
11. Что такое ПДК?
12. Что происходит с токсикантами при передвижении по пищевой цепи?
13. Какие факторы окружающей среды влияют на токсичность?
14. От чего зависит направление превращений агрохимикатов в природной среде?
15. Каким путем можно достичь увеличения устойчивости живого организма по отношению к токсиканту?
16. От чего зависит экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции?
17. Приемы для предотвращения и снижения интоксикации сельскохозяйственной продукции?

Список использованной литературы

1. Агроэкология / под редакцией В.А. Черникова и А.И.Чекереса. – М.: «Колос», 2000. – 535 с.
2. Бигон М., Харпер Дж., Таунсед К. Экология: особи, популяции и сообщества. – М.: Мир, 1989. Т.1. 667 с. – Т.2. – 477 с.
3. Варламов А.А., Хабаров А.В. Экология землепользования и охрана природных ресурсов. – М.: Колос, 1999. – 159 с.
4. Горелов А.А. Экология: Учеб. пособие для вузов.–М.: Юрайт-М, 2002. – 312с.
5. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
6. Кротов Д.Г., Силаев А.Л. Экология. Практикум. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2011. – 136 с.
7. Одум Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. Т.1. – 328 с. – Т.2. – 376 с.
8. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – Учебное пособие для биол. спец. вузов.- М.: Высш.шк., 2002. – 334 с.
9. Степановских А.С. Экология: Учебник для вузов. – ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 703с.
10. Шапиро Я.С. Агроэкосистемы: уч. пособ. – СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2005. – 264с.
11. Экологическая экспертиза/В.К. Донченко. В.М. Питулько, В.В. Расторгуев и др.; Под ред. В.М. Питулько. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.
12. Энос А.Р., Бейли Э.Р. Биология окружающей среды. Проблемы и решения. - Пер. с анг. - М.: Колос, 1997. – 184 с.

Учебное издание

ЭКОЛОГИЯ

Методические указания к практическим занятиям

Трескина Наталья Новомировна

Подписано в печать ___2020 г. Формат 60 х 90/16.

Усл. печ. л. 4,8.