

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ  
Генетико-экологические основы животноводства**

**Направление подготовки:** Зоотехния

**Профиль подготовки – «Кормление животных и технология кормов. Диетология»**  
**Форма обучения:** очная

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций .....</b>	<b>3</b>
1.1 Лекция №1 Введение в дисциплину. Актуальность генетико-экологических проблем в сельскохозяйственном производстве.....	3
1.2 Лекция №2 Агроэкосистемы. Круговорот веществ и поток энергии в сельскохозяйственных экосистемах.....	13
1.3 Лекция №3 Организм и окружающая среда. Взаимодействие генотип – среда в реализации наследственной информации.....	17
1.4 Лекция № 4 Генофонд популяции и оценка его состояния.....	27
1.5 Лекция №5 Антропогенное загрязнение окружающей среды.....	33
1.6 Лекция №6 Биогеохимические пищевые цепи в производстве сельскохозяйственной продукции.....	40
1.7 Лекция №7 Наследственно-средовые, мультифакторные заболевания и аномалии животных.....	49
1.8 Лекция №8 Эколого-генетический мониторинг производства экологически безопасной продукции.....	55
1.9 Лекция №9 Животноводческие комплексы и охрана природы.....	62
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ .....</b>	<b>.....</b>
2.1 Лабораторная работа №1 Актуальность генетико-экологических проблем в сельском производстве.....	70
2.2 Лабораторная работа № 2 Агроэкосистемы круговорот веществ и потоки энергии в с.-х. экосистемах.....	72
2.3 Лабораторная работа № 3 Организм и окружающая среда. Взаимодействие генотип-среда.....	74
2.4 Лабораторная работа № 4 Генофонд популяции и оценка его состояния.....	80
2.5 Лабораторная работа № 5 Загрязнение окружающей среды в связи с с.-х. производством.....	83
2.6 Лабораторная работа № 6 Биогеохимические пищевые цепи в производстве с.-х. продукции.....	85
2.7 Лабораторная работа № 7 Наследственно-средовые мультифакторные заболевания....	86
2.8 Лабораторная работа № 8 Эколого-генетический мониторинг производства экологически безопасный продукт.....	90
2.9 Лабораторная работа № 9 Генетико-экологическая экспертиза животноводства.....	91

## 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

### 1.1 Лекция 1 (2 часа)

**Тема:** «Введение в дисциплину. Актуальность генетико-экологических проблем в сельскохозяйственном производстве»

#### 1.1.1 Вопросы лекции

- 1.1. Организм и среда обитания.
- 1.2. Роль генетико-экологических исследований в сельскохозяйственном производстве. Место культурных растений и сельскохозяйственных животных в окружающей природе и жизнедеятельности человека среда обитания.
- 1.3. Генетические и экологические факторы.
- 1.4. Изменение природных экосистем в результате организации сельского хозяйства создание генетически и экологически продовольственной и сырьевой базы в результате сельскохозяйственного производства.

#### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Организм и среда обитания.

Живые организмы во всем многообразии их связей являются предметом изучения экологии. К живым организмам относятся все формы жизнедеятельности. **Организм** (особь, индивид) – это дискретная единица живой материи, любое живое тело, живое существо, реальный носитель жизни, который характеризуется всеми ее свойствами и происходит от одного зародыша – семени, споры, оплодотворенной яйцеклетки.

Все живые организмы подразделяются на 2 надцарства: **эукариоты и прокариоты** и 4 царства: **бактерии животные, грибы, растения**. Иногда выделяют специфическое царство **вирусов** – форма, промежуточная между живой и неживой материи.

Каждое из царств в свою очередь подразделяется на подцарства: животные – на **одноклеточные и многоклеточные**; грибы на **низшие и высшие**, растения – на **багрянки, настоящие водоросли и высшие растения**.

По отношению к кислороду все живые организмы делятся на **аэробные** (жизнедеятельность возможна только при наличии свободного кислорода) и **анаэробные** (обитают без кислорода).

Живое существо можно рассматривать как **соматическое и репродуктивное**.

Соматическое (от греч. Сома – тело) существо – совокупность всех клеток организма, кроме половых.

Репродуктивное – существо благодаря которому жизнь в биосфере постоянно воспроизводится.

Все многообразие организмов в биосфере связано друг с другом через питание. Поэтому живые организмы различают по способам питания. Это автотрофы, гетеротрофы и миксотрофы.

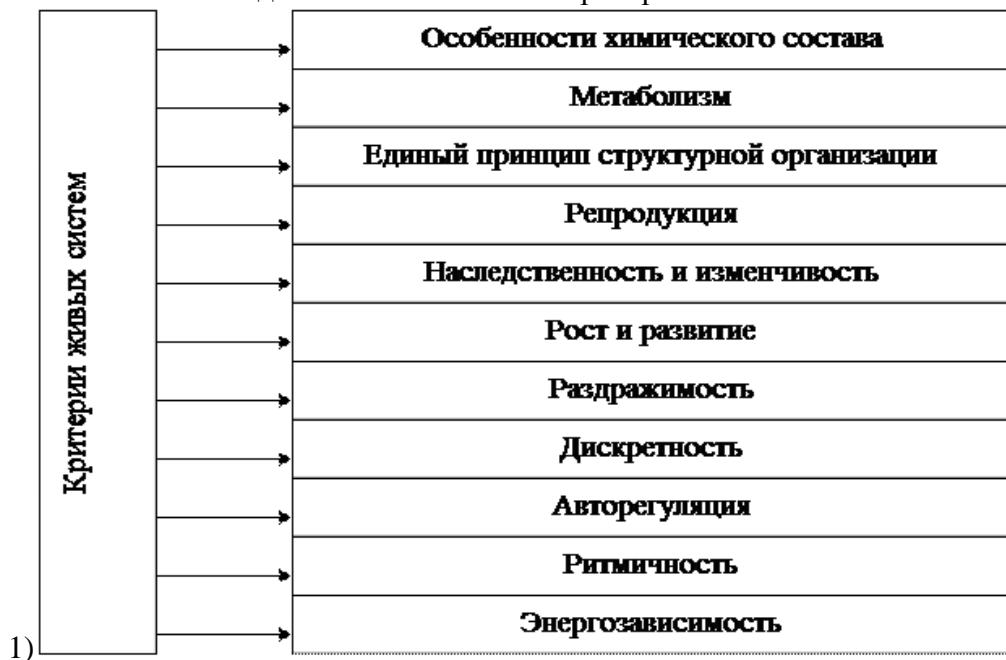
**Автотрофы** – (от греч. аутос – сам, трофеи – питаться) – организмы, получающие все нужные им для жизни химические элементы из окружающей косной материи и не нуждающиеся в готовых органических соединениях. Они производят органическое вещество в процессе **фотосинтеза (фотоавтотрофы)**, используя в качестве источника энергии солнечный свет или **хемосинтеза (хемоавтотрофы)**, использующие энергию, выделяющуюся при окислении неорганических веществ), поэтому их называют **продуцентами**. Биомасса, которую они производят называется **первичной**.

Гетеротрофы – (от греч. гетерос – другой) это организмы, использующие для своего питания чужие тела (живые или мертвые), т.е. готовые органические вещества. Среди гетеротрофов выделяют три группы организмов: убивающие объект питания (хищники), питающиеся за счет других организмов, но не убивающие ее (кровососы, паразиты); питающиеся отмершей органикой. Среди гетеротрофов выделяют **консументов** (животные,

часть микроорганизмов, паразитические и насекомоядные растения), поедающих «живую» органику и **редуцентов** (грибы и бактерии), которые превращают органические остатки в неорганические вещества, возвращая их в круговорот веществ.

Миксотрофы – организмы со смешанным типом питания (сине-зеленые водоросли, растения – паразиты).

Можно выделить несколько критериев любого живого организма (Слайд 1)



## 2. Роль генетико-экологических исследований в сельскохозяйственном производстве. Место культурных растений и сельскохозяйственных животных в окружающей природе и жизнедеятельности человека среда обитания.

Распространение сельскохозяйственных культур оказало огромное влияние на наземные экосистемы. Вместо естественных биогеоценозов, экосистем, ландшафтов появились агросфера, аграрные ландшафты, агроэкосистемы, агроценозы и т.д.

*Агросфера* – глобальная система, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека.

*Аграрный ландшафт* – экосистема, сформировавшаяся в результате сельскохозяйственного преобразования ландшафта (степного, таежного).

Одной из основных задач человечества является увеличение биологической продуктивности экосистем и особенно вторичной. Поэтому человек вынужден изменять или даже разрушать природные экосистемы и строить высокоэффективные агроэкосистемы. Главным условием их является решение продовольственной проблемы – выращивание культурных растений с целью получения высоких урожаев, создающих базу для улучшения растительных продуктов питания и для развития животноводства.

*Агроэкосистемы* – искусственно созданные человеком экосистемы с целью производства сельскохозяйственной продукции (поля, сады, пастбища, огороды, теплицы, парники, лесные полосы, живые изгороди и т.д.)

В них, так же, как в естественных сообществах, имеются продуценты (культурные растения и сорняки), консументы (насекомые, птицы, мыши и т.д.) и редуценты (грибы и бактерии и т.д.). Обязательным звеном пищевых цепей в агроэкосистемах является человек.

Центральным звеном агроэкосистем является агрофитоценоз – растительное сообщество созданное человеком из культурных растений.

Различают 2 типа агрофитоценозов:

1. Основу составляет одно или несколько культурных растений (поля пшеницы, ржи, овса и др.; огороды (арбузы, дыни); плодово-ягодные сады и т.д.).

2. Основу составляет естественное растительное сообщество, которое обогащается дополнительно видами культурных растений (парки, сенокосы, луга, пастбища, лесные посадки). Например: для повышения продуктивности в естественные луга подсевают бобовые и злаковые культуры.

Агроэкосистемы занимают около 30% земельных ресурсов, в т.ч. пашней занято 10%, сенокосами и пастбищами 20%. В России на душу населения приходится 0,88 га пашни.

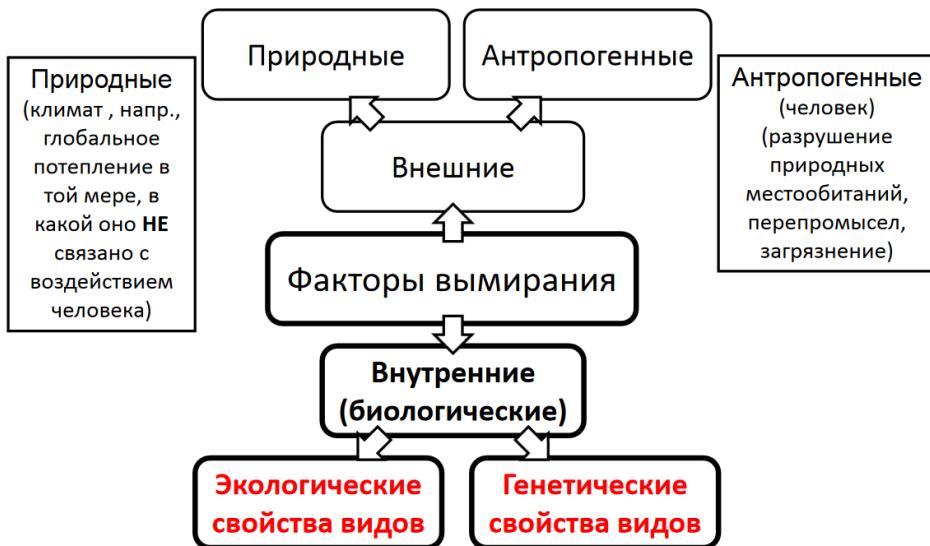
#### *Отличия агроэкосистем от природных*

1. Получают наряду с солнечной дополнительную антропогенную энергию в виде удобрений, пестицидов, механизмами, труда человека, поливной воды и т.д.;
2. Выращиваемые культуры, разводимые животные подвергаются искусственному отбору, более продуктивны;
3. Пониженное разнообразие организмов. Чаще всего посевы представлены одним видом или даже сортом;
4. Неустойчивы и неспособны к саморегуляции. Без поддержки человека быстро дичают и трансформируются в естественные биоценозы (насаждения лесных культур - в лес, поле - в луг, лес, осущененные земли - в болото);
5. Нарушен биотический круговорот, т.к. с урожаем за пределы агроэкосистем мигрируют химические элементы, содержащиеся в фитомассе и зоомассе (мясо, яйцо, молоко, шерсть и т.д.). Они выключаются из биологического круговорота агроэкосистем и вовлекаются в геологический круговорот (через канализационные системы городов и населенных пунктов).

Биотический круговорот нарушается так же в результате притока удобрений, пестицидов, которые включаются в пищевые цепи и биотический круговорот. Это влияет на состояние флоры и фауны, биологическую продуктивность и воспроизводительную способность культурных растений и сельскохозяйственных животных, качество продуктов растениеводства и животноводства.

### **3. Генетические и экологические факторы.**

#### **Внутренние и внешние факторы вымирания**



Биологические свойства увеличивают или уменьшают уязвимость вида к действию внешних факторов вымирания

Экологические факторы многочисленны и разнообразны. Их числу, вероятно, нет предела. Они отличаются по характеру влияния на биологические системы (организмы, популяции, биоценозы) и ряду других признаков. Потенциальная неограниченность

численности и многообразие экологических факторов вызвали необходимость их систематизации. Современная классификация экологических факторов приведена в справочнике Н. Ф. Реймерса «Природопользование» (1990).

В основу классификации положен принцип учета особенностей экологических факторов по их происхождению, характеру действия на живые системы и другим признакам. По времени возникновения экологические факторы подразделяют на три группы: эволюционные, исторические и действующие.

Эволюционный фактор — это современный фактор среды, порожденный эволюцией жизни. Так, например, озоновый экран — ныне действующий экологический фактор, влияющий на организмы, популяции, биоценозы, экологические системы, в том числе и на биосферу, — существовал в прошлые геологические эпохи. Возникновение озонового экрана связано с появлением фотосинтеза и накоплением в атмосфере кислорода.

Исторический, как и эволюционный, — это ныне действующий экологический фактор. В отличие от эволюционного он результат исторического развития человечества, его хозяйственной деятельности. Например, поля, сады, культурные пастбища, животноводческие фермы и комплексы, другие антропогенные компоненты аграрных ландшафтов — экологические факторы, обусловленные Сельскохозяйственной деятельностью людей.

Действующий фактор — это современный экологический фактор. К нему относятся мелиорирование земли — экологический фактор, обеспечивающий развитие высокопродуктивного растениеводства, животноводства и др.

По периодичности экологические факторы подразделяют на периодические и непериодические.

Периодический фактор — это циклически изменяющийся экологический фактор. Примером могут служить периодические изменения условий среды при смене времен года, в частности, в средних широтах Северного полушария. К периодическим изменениям экологических факторов организмы адаптируются. Строгий учет циклических изменений экологических факторов при ведении сельского хозяйства крайне необходим. В соответствии со сменой времен года проводят посев сельскохозяйственных культур, уборку урожая, организуют пастбищное и стойловое содержание животных и т. д.

Непериодический фактор — фактор среды, возникающий внезапно, например дождь, град, буря и т. д. Одна из острейших проблем сельского хозяйства — разработка надежных методов нейтрализации и защиты от действия неблагоприятных непериодических факторов (заморозков во время цветения растений, засух или, наоборот, наводнений, затрудняющих получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур и кормовых трав, продуктивности домашних животных).

По очередности возникновения экологические факторы подразделяют на первичные и вторичные. Первичный — это исходный экологический фактор, вторичный — его следствие. Так, формирование тундровых, таежных, степных, тропических биоценозов обусловлено особенностями климатических условий того или иного региона земного шара. Климат, в свою очередь, зависит от солнечной радиации, шарообразности Земли, ее движения вокруг своей оси и вокруг Солнца.

По происхождению различают факторы космические, абиотические (абиогенные), биотические, биокосмные, антропогенные, антропические, природно-антропогенные.

Космические факторы имеют космическое происхождение. К ним относится поток космической пыли, космических лучей и т. д. Важнейший космический фактор — солнечная радиация. Лучи Солнца — источник энергии, используемой растениями в процессе фотосинтеза. Растениеводство можно рассматривать как систему мероприятий по интенсификации фотосинтеза культивируемых растений.

Абиотический (абиогенный) фактор — это составной компонент неживой природы, например воздух, вода. Абиотические факторы, взятые в совокупности, формируют среду обитания для сообществ взаимосвязанных популяций растений и животных (биоценозов).

Термином «биотический фактор» обозначают особь или группу организмов, влияющих на биологическую систему (растение, животное, популяцию, фитоценоз, зооценоз, биоценоз). Примеры биотического фактора — это стадо овец, потребляющих пастбищную растительность; патогенные микробы и грибы, вызывающие заболевание у растений и (или) животных; кошка, поедающая мышь, и т. д.

Биокосный фактор — фактор среды, трансформированный в процессе жизни. К числу таких факторов можно отнести почву — биокосное тело, сформировавшееся при взаимодействии живой и неживой природы.

Антропические и антропогенные экологические факторы связаны с хозяйственной деятельностью человека. В первом случае речь идет о прямом воздействии людей на живые системы (например, искусственный отбор и селекция культивируемых растений и животных), во втором — об их косвенном, опосредованном влиянии на природу (например, подтопление аграрных ландшафтов при создании водохранилищ). Многие авторы используют один термин «антропогенный фактор», обозначая им как антропические, так и антропогенные воздействия на природу.

В методологическом плане понятие «генетические факторы» следует рассматривать в широком и узком смыслах. В широком — как унаследованные в процессе эволюции животного мира механизмы адаптации к условиям существования. В узком же смысле слова под генетическими факторами следует понимать унаследованные от ближайших предков семьи особенности обеспечения жизнедеятельности. Эволюционные предпосылки здоровья человека будут рассмотрены в главе 4 (раздел 4.1.), здесь же мы остановимся на втором аспекте проблемы — роли образа жизни родителей в генетических предпосылках здоровья детей.

Онтогенетическое развитие дочерних организмов предопределется той генной программой, которую они наследуют от родительских хромосом. Надо отметить, что в Российской Федерации при богатстве ее национальностей, этнических групп и все более активных процессах миграции существуют благоприятные предпосылки для рождения в каждом следующем поколении более совершенного потомства. Это обусловлено тем, что указанные условия создают более обширный генофонд и возможность более значительного числа перебора вариантов благоприятных генных признаков. Если раньше браки заключались между людьми в относительно узком географическом ареале, часто между представителями одного села и даже состоящими в близкородственных отношениях, то это было чревато узким набором генных вариантов с возможностью преобладания измененных признаков (так как они могли быть у обоих родителей) и рождения слабого или даже с наследственным заболеванием ребенка. Браки между далеко отстоящими друг от друга в генеалогическом отношении людьми создают более высокую вероятность того, что благоприятный признак одного из родителей станет доминирующим с возможностью рождения более здорового, более совершенного по набору генов человека.

К сожалению, сами хромосомы половых клеток и их структурные элементы — гены могут подвергаться вредным влияниям, причем, что особенно важно, в течение всей жизни будущих родителей. Так, девочка рождается на свет с уже сформировавшимся пакетом яйцеклеток, которые по мере созревания последовательно готовятся к оплодотворению. То есть в конечном итоге все происходящее с девочкой, девушкой, женщиной в течение ее жизни до зачатия в той или иной степени оказывается на «качестве» хромосом и генов. Продолжительность жизни сперматозоида гораздо меньше, чем у яйцеклетки, но и 3–6 месяцев их жизни часто бывает достаточно для возникновения нарушений в их генетическом аппарате. Отсюда становится понятной та особая ответственность, которую несут перед потомством будущие родители в течение всей своей жизни, предшествующей зачатию.

Правда, здесь часто сказываются и не зависящие от них факторы, к которым следует отнести неблагоприятные экологические условия, рост используемых в пищевой промышленности и в быту синтетических препаратов, сложные социально-экономические

процессы, неконтролируемое использование фармакологических веществ и т.д. Результатом же являются «поломки» в генном аппарате половых клеток родителей, что ведет к возникновению наследственных заболеваний или к появлению наследственно обусловленной предрасположенности к ним.

Особую опасность представляют нарушения здорового образа жизни будущих родителей в период созревания тех половых клеток, которые примут непосредственное участие в оплодотворении. Если учесть, что яйцеклетка созревает в течение 56, а сперматозоид – 72-х дней, то становится понятным, что хотя бы в течение этого периода времени, предшествующего зачатию, родители должны своим образом жизни обеспечить условия для нормального созревания половых клеток.

С генной программой, унаследованной от родителей и определяющей генетические особенности ребенка, ему предстоит жить всю свою жизнь, и от того, насколько образ жизни человека будет соответствовать его генотипической программе, и будет зависеть его здоровье и продолжительность самой жизни. Это обстоятельство дало основание итальянскому патологу Дж. Танделло заявить: конституция человека – наш фатум, наша судьба. Действительно, среда лишь может изменить потенциал человека в рамках «норм реакций», в пределах геномных законов реагирования, но не изменить сам геном.

В наследуемых предпосылках здоровья особенно важны три фактора: тип моррофункциональной конституции и преобладающих нервных и психических процессов, степень предрасположенности к тем или иным заболеваниям и, наконец, менее определенная величина, которую определяют как «жизненность» и которая отражает плодовитость и долголетие особи (видимо, именно с последним обстоятельством можно связать так называемый «парадокс долгожителей»: даже при наличии множественных патоморфологических нарушений в органах и тканях они тем не менее могут жить долго и иметь высокую работоспособность).

По мере развития психофизиологии, антропометрии, спортивной практики и т.д. выделяется все больше генетически наследуемых человеком качеств. Так, в спортивной практике при отборе для занятий различными видами спорта пользуются не только функциональными показателями ребенка, но и изучают данные антропометрии, тип высшей нервной деятельности родителей и т.д. В этих же целях исследуют соотношение красных и белых волокон в тех группах скелетных мышц, на которые приходится основная нагрузка при выполнении специфической для данного вида спорта работы (например, для спринтерской работы в легкой атлетике необходимо преобладание в мышцах нижних конечностей белых волокон, а стайерской – красных).

Таким образом, жизненные доминанты и установки человека во многом детерминированы конституцией человека. К таким генетически предопределенным особенностям относятся доминирующие потребности человека, его способности, интересы, желания, предрасположенность к алкоголизму и другим вредным привычкам и т.д. При всей значимости влияний среды и воспитания роль наследственных факторов оказывается определяющей. В полной мере это относится и к предрасположенности к различным заболеваниям.

Все это делает понятной необходимость учета наследственных особенностей человека в определении оптимального для него образа жизни, выбора профессии, партнеров при социальных контактах, лечения, наиболее подходящего вида нагрузок и т.д. Довольно часто общество предъявляет человеку требования, которые вступают в противоречие, столкновение с условиями, требуемыми для реализации программ, заложенных в генах. В результате в онтогенезе человека постоянно возникают и преодолеваются многие противоречия между наследственностью и средой, между различными системами организма, обусловливающими его адаптацию как целостной системы, и т.д. В частности, это имеет исключительное значение в выборе профессии, что для нашей страны достаточно актуально, так как, например, лишь около 3% занятых в народном хозяйстве Российской Федерации людей удовлетворены избранной профессией, – по-видимому, не последнее значение здесь

имеет именно несоответствие наследуемой типологии и характера выполняемой профессиональной деятельности.

Набор генов, наследуемый ребенком от родителей (генотип), формируется на протяжении жизни многих поколений и является величиной достаточно устойчивой. Однако в 30-х годах нашего столетия было сделано принципиальное открытие об изменчивости генов. С тех пор ведется активное изучение альтерирующих ген факторов. Количество последних – физических, биологических, химических, социальных и пр. – достаточно велико. Они могут воздействовать и на «цепочку поколений», и на хромосомы будущих родителей, и на хромосомы зародыша в период его внутриутробного развития. В первом случае особое значение имеют состояние окружающей среды, географические факторы, национальные, религиозные, этнические и семейные обычаи и традиции и т.д. Во втором случае преимущественное значение имеет образ жизни будущих родителей, так как именно он обуславливает благоприятное или отрицательное влияние на хромосомы половых клеток или зародыша. Особенно раним генный аппарат на раннем эмбриональном этапе развития, когда генетическая программа реализуется в виде закладки основных функциональных систем организма. Большое и все возрастающее число возмущающих факторов современной жизни, вызывающих изменения в генах, привело к тому, что перечень и количество наследственных заболеваний в мире неуклонно растет.

Наиболее часто наследственные нарушения обусловливаются образом жизни будущих родителей или беременной. Помимо дефицита двигательной активности в нездоровом образе жизни беременной, ведущему к нарушению нормального развития плода, следует отметить переедание, психические перегрузки социального, профессионального и бытового характера, вредные привычки и т.д.

Все заболевания, связанные с генетическими факторами, можно условно разделить на три группы:

- наследственные прямого эффекта (в том числе врожденные), когда ребенок рождается уже с признаками нарушений;
- наследственные, но опосредованные воздействием внешних факторов,
- связанные с наследственным предрасположением.

К первой группе можно отнести такие хромосомные и генные болезни, как гемофилия, фенилкетонурия, болезнь Дауна и многие другие. Эта группа болезней предопределется прежде всего условиями, в которых живут родители в течение всей жизни до зачатия и мать – в периоде беременности. Основным фактором является наличие измененных или ослабленных хромосом и генов, которые при определенных условиях приобретают доминирующее значение. Наиболее частыми причинами, ведущими к таким последствиям, являются неблагоприятные экологические условия, употребление алкоголя, наркотиков и другие вредные привычки родителей, нарушения в режиме жизни, питания, психические перегрузки и т.д.

Вторая группа наследственных болезней развивается непосредственно в процессе индивидуального развития и обусловлена слабостью определенных наследственных механизмов. Такая слабость при нездоровом образе жизни человека может привести к возникновению некоторых видов нарушений обмена веществ (отдельные виды сахарного диабета, подагра), психическим расстройствам и другой патологии.

Третья группа болезней связана с наследственной предрасположенностью, что при воздействии определенных этиологических факторов внешней среды может привести к таким заболеваниям, как атеросклероз, гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца, язвенная болезнь, бронхиальная астма и многие другие психосоматические нарушения.

Статистика показывает, что в структуре наследственной патологии преимущественное место принадлежит заболеваниям, относящимся ко второй и третьей группам, то есть связанным с образом жизни и со здоровьем будущих родителей и матери в периоде беременности.

Таким образом, не вызывает сомнения заметная роль, которую имеют наследственные факторы в обеспечении здоровья человека. В то же время в подавляющем числе случаев учет этих факторов через рационализацию образа жизни человека может сделать его жизнь здоровой, счастливой и долговечной. И, наоборот, недоучет типологических особенностей человека делает его беззащитным и уязвимым для действия неблагоприятных условий и обстоятельств жизни.

#### **4. Изменение природных экосистем в результате организации сельского хозяйства создание генетически и экологически продовольственной и сырьевой базы в результате сельскохозяйственного производства.**

Под сельскохозяйственной экологической системой понимают природный комплекс, преобразованный сельскохозяйственной деятельностью человека. Как и любые биокосные системы, они имеют многоуровневую, иерархически обусловленную организацию. Сельскохозяйственные экосистемы низшего ранга входят в состав системных образований более высокого уровня и им соподчинены. Сельскохозяйственной экосистемой наивысшего иерархического уровня считается агросфера — поверхность суши, вовлеченная в сельскохозяйственное производство (Злобин).

Агросфера состоит из экологических систем низшего уровня — аграрных ландшафтов, которые, в свою очередь, представляют совокупность полевых, пастбищных, ферменных биогеоценозов. В аграрных ландшафтах человек создал природно-технические системы для обитания растений (теплицы, оранжереи и т. д.), млекопитающих животных (коровники, свинарники, конюшни, кошары), птиц (птичники, птицефабрики), полезных насекомых (ульи для пчед и т. д.). Теплицы и оранжереи, скотные дворы, животноводческие фермы и комплексы, ульи и аквариумы — это природно-технические системы, функционирующие по принципу искусственных биогеоценозов.

Агросфера — продукт сельскохозяйственной деятельности человека — главного компонента антропогеоценозов. Первую обстоятельную характеристику антропогеоценозов дал В. П. Алексеев. Антропогеоценоз — биокосная система, компонентами которой являются люди, человеческие поселения (по терминологии В. П. Алексеева, человеческие популяции — в биологическом понимании, хозяйствственный коллектив — в социально-экономическом) и окружающая человека живая и неживая природа.

Антропогеоценоз может не ограничиваться пределами населенного пункта. Он может распространяться на всю территорию, которую население эксплуатирует, на все пространство, являющееся объектом хозяйственной деятельности людей.

Сельскохозяйственная экология находится в стадии развития, поэтому еще нет единого общепризнанного определений агробиогеоценозов и агроэкосистем. Так, по Н. Ф. Реймерсу, агробиогеоценоз характеризуется как неустойчивая экологическая система с искусственно созданным или обедненным видом естественным биотическим сообществом, дающим сельскохозяйственную продукцию. Биотической частью агробиогеоценоза служит агробиоценоз — созданное и регулярно поддерживаемое сообщество, обладающее малой экологической надежностью, но высокой урожайностью (продуктивностью) одного или нескольких видов (сортов, пород) растений или животных. Следовательно, под агробиогеоценозом подразумевается экосистема, предназначенная не только для выращивания растений, но и для разведения животных.

Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг и Л. Г. Наумова дают несколько иную характеристику агробиогеоценоза. Они считают, что агробиогеоценоз — это полевой участок, который представляет собой совокупность агробиоценоза и почвы с прилегающим слоем атмосферы. Агробиогеоценоз, по авторам, — элемент агроэкосистемы. Экосистема — безранговое понятие, совокупность биогенных и абиогенных компонентов участка суши, используемого для производства сельскохозяйственной продукции (растительной и животной). Следовательно, понятия агробиогеоценоза неодинаковы. Биогеоценоз, по Н. Ф. Реймерсу,

больше напоминает то, что Б. М. Миркин и его соавторы называют агроэкосистемой. В то же время термином «агроэкосистема» нередко обозначают и теплицы, и оранжереи, и поля, и животноводческие фермы, и индивидуальные или коллективные хозяйства, и аграрные ландшафты, и агросферу.

Авторы данного учебного пособия используют экологические термины в следующем понимании:

агросфера — глобальная экосистема, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека;

аграрный ландшафт — экосистема, сформировавшаяся в результате сельскохозяйственного преобразования ландшафта (степного, таежного и т. д.);

сельскохозяйственная экологическая система (или сельскохозяйственная экосистема) — экосистема на уровне хозяйства; агробиогеоценоз — поле, сад, бахча, теплица, оранжерея; пастбищный биогеоценоз — природное или культурное пастбище, используемое для выпаса сельскохозяйственных животных;

ферменный биогеоценоз — конюшня, коровник, свинарник, кошара, птичник, животноводческий комплекс, зоопарк, виварий.

Несмотря на большое разнообразие, сельскохозяйственные экосистемы разных уровня и иерархии имеют много общего, что отличает их от природных экосистем. Отличительная особенность сельскохозяйственных экосистем в том, что они — продукт преобразования природных БГЦ. Преобразуя натуралии в сельскохозяйственные экосистемы, человек изменял живые и неживые компоненты природных комплексов: растительный и животный мир, почву, воду. Естественную растительность уничтожали, заменяли новой, необходимой для удовлетворения потребностей человека. Исчезли многие виды диких животных; их заменили домашние (сельскохозяйственные) животные.

В сельскохозяйственных экосистемах (агробиогеоценозах, пастбищных и ферменных БГЦ) пищевые цепи вовлечены в сферу деятельности человека. В них изменена экологическая пирамида. На вершине экологической пирамиды встал человек. Своеобразие экологической пирамиды, на вершине которой находится человек, — специфический признак любой сельскохозяйственной экосистемы.

В сельскохозяйственных экосистемах спектр видов растений и животных обеднен. Аграрные и ферменные биогеоценозы мало-компонентны. Малокомпонентность — один из признаков сельскохозяйственных экосистем.

Антропогенное преобразование природных ландшафтов в аграрные происходило в течение тысячелетий.

Первой системой земледелия была подсечно-огневая, которая у некоторых племен сохраняется до сих пор. При этой системе земледелия проводят сжигание леса, а на освободившейся территории, покрытой золой, — посев и выращивание растений. Из-за быстрого истощения почв срок использования полей невелик. В умеренных широтах он порядка десяти лет, а в тропиках всего 2—3 года. Поля, утратившие плодородие, забрасывали. В результате сукцессионных процессов естественная растительность постепенно возрождалась, плодородие почв восстанавливалось. На некогда покинутых территориях вновь сжигали леса и высвободившиеся земли опять вовлекались в сельскохозяйственный оборот.

Прогресс в растениеводстве тесно связан с развитием животноводства. При беспрерывном использовании одних и тех же полей, садов и огородов, получении на них устойчивых высоких урожаев необходимо проводить мероприятия по поддержанию «воспроизводству плодородия почв. Почвы обогащают удобрениями, главным образом навозом. Отходы животноводства оказались полезными для развития растениеводства. В то же время растениеводство — важнейший фактор развития животноводства, так как фитомассу полей (лесов, садов и т. д.) используют для кормления сельскохозяйственных животных. Таким образом, при оптимальном развитии растениеводства и животноводства

увеличивается производство зерна, овощей, корне- и клубнеплодов, фруктов, мяса, молока, яиц, шерсти и другой сельскохозяйственной продукции.

По мере расширения агросфера и интенсификации сельского хозяйства экологические катастрофы стали чаще и тяжелее. Экологические проблемы сельского хозяйства особенно резко обострились в современную эпоху научно-технического прогресса. Другая особенность сельскохозяйственных экосистем — появление в них искусственного отбора и селекции растений и животных.

Окультуривание растений и одомашнивание животных происходили на заре формирования сельского хозяйства, примерно 12—14 тыс. лет назад. Растениеводство и животноводство в разных регионах возникали неодновременно. Эти две отрасли сельского хозяйства не всегда были тесно связаны между собой. До сих пор существуют племена, которые не занимаются земледелием, они потребляют в основном животную пищу. Известны земледельцы, не занимающиеся животноводством. Они производят продукты растениеводства, а животную пищу получают охотой и рыболовством в обмен на свою продукцию у скотоводов.

На начальных этапах развития сельского хозяйства человек проводил искусственный отбор растений и животных стихийно, бессознательно, без четкого представления о конечных результатах. И только с конца XVIII в. стали осуществлять целенаправленный отбор растений и животных по заранее разработанному плану. За относительно короткий период выведены разнообразные высокоурожайные сорта растений и продуктивные породы животных, отвечающие социально-экономическим потребностям людей.

Долгое время искусственный отбор растений имел одну цель: получить высокий урожай. В результате растения утеряли свой «оборонный потенциал», способность противостоять болезням. Поэтому в агробиогеоценозах нередко возникали вспышки массовых болезней растений.

О том, как происходил процесс одомашнивания животных, можно судить по археологическим данным и результатам современных исследований по изучению содержания диких животных в неволе (в зоопарках и др.). Можно предположить, что в первую очередь приручению и одомашниванию подвергались животные с определенными поведенческими фенотипами: неагрессивные, покорные. Особей, проявляющих резко выраженную реакцию страха и крайнюю агрессивность, обычно исключали из разведения. Искусственный отбор и селекция сыграли важную роль в выведении высокопродуктивных пород крупного рогатого скота, свиней, кур и других видов млекопитающих и птиц.

Однако искусственный отбор и селекция в некоторых случаях имели негативные последствия. В аграрных ландшафтах успешнее размножались животные, приспособленные для жизни в условиях, созданных человеком (пастбища, хлевы и т. д.). С увеличением зависимости от искусственных условий местообитания и питания сохранились такие генотипы, которые вряд ли выжили бы в дикой природе. При заботе со стороны человека генетически неполноценные животные обычно не вымирают. При этом «неполноценные», «вредные», «отрицательные» гены не исчезают, а продолжают накапливаться и размножаться в популяциях. Это привело к возникновению и накоплению наследственного бремени («генетического груза») в животноводстве.

## Лекция 2 (2 часа)

**Тема:** «Агроэкосистемы. Круговорот веществ и поток энергии в сельскохозяйственных экосистемах»

### 1.2.1 Вопросы лекции

- 2.1. Роль сельского хозяйства в формировании первичной биологической продукции.
- 2.2. Типы структура, функции агроэкосистем.
- 2.3. Круговорот веществ и потоки энергии в агроэкосистемах.

### 1.2.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Роль сельского хозяйства в формировании первичной биологической продукции.

Своеобразный тип экосистем представляют агроэкосистемы. **Агроэкосистемы** (сельскохозяйственные экосистемы) создаются человеком для получения высокочистой продукции автотрофов (урожая), отличающейся от природных рядом особенностей:

- В них резко снижено разнообразие организмов.
- Виды, культивируемые человеком, поддерживаются искусственным отбором в состоянии, далеком от первоначального, и не могут выдерживать борьбу за существование с дикими видами без поддержки человека.
- Агроэкосистемы получают дополнительный поток энергии, кроме солнечной, благодаря деятельности людей, животных и механизмов, обеспечивающих необходимые условия роста культивируемых видов. Чистая первичная продукция (урожай) удаляется из экосистемы и не поступает в цепи питания.

Искусственная регуляция численности вредителей — по большей части необходимое условие поддержания агроэкосистем. Поэтому в сельскохозяйственной практике применяют мощные средства подавления численности нежелательных видов: ядохимикаты, гербициды и т.д. Экологические последствия этих действий приводят, однако, к ряду нежелательных эффектов, кроме тех, для которых они применяются.

В отношении к сообществам, складывающимся в агроэкосистемах, постепенно меняются акценты в связи с общим развитием экологических знаний. На смену представлениям об обрывочности, осколочности ценотических связей и предельной упрощенности агроценозов возникает понимание их сложной системной организации, где человек существенно влияет лишь на отдельные звенья, а вся система продолжает развиваться по естественным, природным законам.

С экологических позиций крайне опасно упрощать природное окружение человека, превращая весь ландшафт в агрохозяйственный. Основная стратегия создания высокопродуктивного и устойчивого ландшафта должна заключаться в сохранении и умножении его многообразия.

Наряду с поддержанием высокопродуктивных полей следует особенно заботиться о сохранении заповедных территорий, не подвергающихся антропогенному воздействию. Заповедники с богатым видовым разнообразием являются источником видов для восстанавливющихся в сукцессионных рядах сообществ.

#### Зеленая революция

Одной из форм проявления научно-технической революции в сельском хозяйстве является «зеленая революция». **Зеленная революция** представляет собой преобразование сельского хозяйства на основе современной агротехники и селекции, это период кардинальной смены подходов к выращиванию растений и животных. В результате первого периода этой революции урожайность зерновых культур возросла в 2-3 раза, и вдвое увеличился ассортимент продукции.

Основными тенденциями второго периода «зеленой революции» были: оказание минимального воздействия на окружающую природную среду, снижение вложений антропогенной энергии, использование биологических методов борьбы с вредителями

растений. Однако активное вмешательство человека в природные экосистемы и создание агроэкосистем привело к ряду негативных последствий: деградации почв, снижению плодородия почв, загрязнению экосистем ядохимикатами.

## 2. Типы структура, функции агроэкосистем.

**Понятие «агроэкосистемы».** Сельское хозяйство существенно трансформирует природные комплексы. В результате сформировались разнообразные антропогенные сельскохозяйственные образования (пашни, садовые насаждения, тута, пастбища и т. д.), занимающие около трети суши, в том числе почти 1,5 млрд га пашни. Территории, подлежащие ежегодной перепашке, требующие внесения удобрений, регулярного формирования искусственных (управляемых) фитоценозов, относятся к сельскохозяйственным образованиям полевого типа. Сады, ягодники, виноградники, плантации чая и кофейного дерева—садовые образования; они представляют собой многолетние фитоценозы. Наибольшую территорию в качестве базы для получения сельскохозяйственной продукции занимают луга и пастбища, простирающиеся от тропических саванн до субарктической зоны на площади более 3 млрд га. В этих угодьях процесс формирования первичной биологической продукции идет естественным путем, и используется она для получения вторичной биологической продукции (разведение и содержание различных видов одомашненных животных, размножающихся под присмотром и управлением человека).

В сфере сельского хозяйства первичным структурным звеном, где, собственно, и происходит взаимодействие человека с природой, являются функциональные единицы — агроэкосистемы (или агробиогеоценозы). Надо, однако, отметить, что понятие это воспринимается неоднозначно. К примеру, по мнению Ю. Одума (1987), агроэкосистемы — это одомашненные экосистемы, которые во многих отношениях занимают промежуточное положение между природными экосистемами (луга, леса) и искусственными (города). Другой американский агроэколог Р. Митчелл считает, что подобно тому как морские свинки — это не обитатели моря и не представители отряда парнокопытных, так и агроэкосистемы — это не настоящие экосистемы, но и не самодовлеющие сельскохозяйственные единицы. Во всех агроэкосистемах экономические соображения влияют на структуру посевов и набор культур.

Некоторые исследователи считают, что роль человека, под управлением которого находится агроэкосистема, настолько значительна, что следует говорить об артеприродной основе агроэкосистем. Действительно, агроэкосистемы сходны с урбанизированными и промышленными системами своей зависимостью от внешних факторов, т. е. от окружающей среды на входе и выходе системы. Однако в отличие от них агроэкосистемы по преимуществу автотрофы.

В свете современных представлений *агроэкосистемы* (агробиогеоценозы) — вторичные, измененные человеком биогеоценозы, ставшие значительными элементарными единицами биосфера; их основу составляют искусственно созданные, как правило, обедненные видами живых организмов биотические сообщества. Эти сообщества формируют и регулируют люди для получения сельскохозяйственной продукции. Агроэкосистемы отличаются высокой биологической продуктивностью и доминированием одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений или животных. Выращиваемые культуры и разводимые животные подвергаются искусенному, а не естественному отбору. Как экологические системы агроэкосистемы неустойчивы: у них слабо выражена способность к саморегулированию, без поддержки человеком они быстро распадаются или дичают и трансформируются в естественные биогеоценозы (например, мелиорированные земли — в болота, насаждения лесных культур — в лес).

Агроэкосистемы с преобладанием зерновых культур существуют не более одного года, многолетних трав — 3...4 года, плодовых культур — 20...30 лет, а затем они распадаются и отмирают. Полезащитные лесные полосы, являющиеся элементами агроэкосистем, в степной

зоне существуют не менее 30 лет. Однако без поддержки человеком (рубки ухода, дополнения) они постепенно «дичають», превращаясь в естественные экосистемы, или погибают. Преобладающая разновидность агроэкосистем искусственные фитоценозы: окультуренные (планомерно эксплуатируемые луга и пастбища); полукультурные (непостоянно регулируемые искусственные насаждения — сеяные, многолетние луга); культурные (постоянно регулируемые многолетние насаждения, полевые и огородные культуры); интенсивно культурные (парниковые и оранжерейные культуры, гидропоника, аэропоника и другие, требующие создания и поддержания особых почвенных, водных и воздушных условий). Управление агроэкосистемой осуществляется извне и подчинено внешним целям.

Заслуживает внимания определение Р. А. Полуэктова (1991), назвавшего агроэкосистемы специальным видом экосистем сельскохозяйственного поля, на котором произрастают культурные растения, обитают другие виды растений и животных и происходит сложная цепь физических и химических трансформаций энергии и вещества. Б. М. Миркин и Р. М. Хазиахметов предложили схему функционирования агроэкосистемы (рис. 1).



Рис. 1. Схема функционирования агроэкосистемы (Миркин, Хазиахметов, 1995)

#### Типы агроэкосистем.

Процессами производства пищевых ресурсов на основе использования почвеноклиматического потенциала охвачены огромные площади планеты, представленные разномасштабными (от парцелл до крупных возделываемых массивов) агроэкосистемами. Значительное разнообразие их по размерам, целевому назначению, используемым технологическим системам пока что ограничивает возможность разработки универсальной схемы типизации этих образований. Не исключено, что перспективным может оказаться анализ материально-вещественных потоков, а также энергетических характеристик, отражающих основные стадии формирования агроэкосистем. Отсутствие общепринятой классификации агроэкосистем восполняется в известной мере типизацией структур земледелия, применяемой ФАО. Согласно этой типизации, выделено пять видов землепользования, по каждому из которых классифицированы агроэкосистемы:

1. Земледельческое, или полевое, землепользование — бобарные, орошаеьые агроэкосистемы (ротации зерновых, бобовых, кормовых, овощных, бахчевых, технических и лекарственных культур).
2. Плантационно-садовое землепользование — плантационные агроэкосистемы (чайный куст, дерево какао, кофейное дерево, сахарный тростник), садовые агроэкосистемы (плодовые сады, ягодники, виноградники).
3. Пастбищное землепользование-пастбищные агроэкосистемы (отгонные пастбища: тундровые, пустынные, горные; лесные пастбища; улучшенные пастбища; сенокосы; окультуренные луга).

4. Смешанное землепользование - смешанные агроэкосистемы, характеризующиеся равнозначным соотношением и сочетанием нескольких видов землепользования, а также процессов получения как первичной, так и вторичной биологической продукции.

5. Землепользование в целях производства вторичной биологической продукции — агропромышленные экосистемы (территории интенсивного «индустриализированного» производства молока, мяса, яиц и другой продукции на основе преобладающих процессов снабжения системы веществом и энергией извне).

По энергетическим вложениям выделяют агроэкосистемы до индустриальных с дополнительной энергией в виде мышечных усилий человека и животных. Агроэкосистемы этого типа, как правило, гармонирующие с природными экосистемами, занимают значительные площади пахотных земель в странах Азии, Африки и Южной Америки. Различают также агроэкосистемы второго типа, требующие постоянного дополнительного привнесения энергии.

### **3. Круговорот веществ и потоки энергии в агроэкосистемах.**

Сельскохозяйственным экосистемам свойственна разомкнутость биотического круговорота. Разомкнутость круговорота химических элементов определена особенностями организации сельскохозяйственных экосистем, их структурой и функцией, той ролью, какую они выполняют. Основное назначение сельскохозяйственных экосистем — снабжать население продуктами растениеводства и животноводства. Эту задачу можно решить только за счет коренной перестройки потоков веществ в сельскохозяйственных экосистемах и в окружающей их среде. Фитомассу, выращенную на полях, в садах, огородах, теплицах, используют в аграрном ландшафте лишь отчасти — для питания сельского населения и кормления сельскохозяйственных животных. Эта относительно небольшая часть биомассы преобразуется в сельскохозяйственных экосистемах и возвращается в почвы агробиогеоценозов в форме навоза. Макро- и микроэлементы, изъятые из почв с урожаем, не полностью возвращаются в нее с навозом. С органическими удобрениями возмещается только приблизительно четвертая часть химических элементов, изъятых из почв с урожаем. Большая часть химических элементов, связанных в фитомассе, в виде зерна, корне- и клубнеплодов, фруктов мигрирует за пределы сельскохозяйственных экосистем, главным образом для снабжения городского населения продуктами питания, для обеспечения нужд промышленности растительным сырьем.

За пределы сельскохозяйственных экосистем мигрируют химические элементы, содержащиеся не только в фитомассе, но и в зоомассе — в телах сельскохозяйственных животных и птиц, в получаемых от них продуктах: молоке, шерсти, яйцах и т. д. Химические элементы, экспортируемые с продуктами растениеводства и животноводства за пределы аграрных ландшафтов, выключаются из биотического круговорота сельскохозяйственных экосистем. Поступая с экскрементами людей в канализационные системы городов, других населенных пунктов, они вовлекаются в геологический круговорот.

Утечка химических элементов из сельскохозяйственных экосистем способствует традиционный способ утилизации трупов павших животных. Химические элементы, содержащиеся в них, при захоронении в могильники надолго выключаются из биотического круговорота сельскохозяйственных экосистем.

Биотический круговорот нарушается также в результате притока в сельскохозяйственные системы минеральных, азотных, фосфорных, калийных удобрений, пестицидов и других веществ.

В сельскохозяйственные экосистемы ежегодно поступает значительное количество разнообразных пестицидов, предназначенных для борьбы с вредными насекомыми, сорными растениями и другими вредителями сельского хозяйства. Пестициды включаются в пищевые цепи и биотический круговорот.

Следовательно, в сельскохозяйственных экосистемах изменяется баланс химических веществ: приток — отток. Это влияет на геохимическую обстановку в аграрных ландшафтах,

состояние флоры и фауны, биологическую продуктивность и воспроизводительную способность культурных растений.

### 1.3 Лекция 3 (2 часа)

**Тема:** «Организм и окружающая среда. Взаимодействие генотип – среда в реализации наследственной информации»

#### 1.3.1 Вопросы лекции

- 3.1. Среда и условия существования организмов.
- 3.2. Совместное действие экологических факторов на организм животного. Важнейшие абиотические факторы и адаптации к ним организмов.
- 3.3. Биологические факторы и их влияние на организм животных.
- 3.4. Фенотипическая изменчивость как результат взаимодействия генотипа и среды.
- 3.5. Генотипические и параптические факторы фенотипической изменчивости и их значение в селекции животных.

#### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Среда и условия существования организмов.

*Среда* – всё, что окружает организм и прямо или косвенно влияет на его жизнедеятельность, развитие, рост, выживаемость, размножение и т.д.

Среда каждого организма слагается из множества элементов неорганической и органической природы и элементов, привносимых человеком и его производственной деятельностью. При этом одни элементы необходимы организму, другие безразличны для него, третьи оказывают вредное воздействие.

*Условия существования*, или *условия жизни* – совокупность необходимых организму элементов среды, с которыми он находится в неразрывном единстве и без которых существовать не может.

Элементы среды как необходимые организму, так и отрицательно на него воздействующие, называются **экологическими факторами**.

Экологические факторы принято делить на три основные группы: абиотические, биотические и антропические.

**Абиотические** факторы – комплекс условий неорганической и органической среды, влияющих на организм. Абиотические факторы подразделяются на химические (химический состав воздуха, океана, почвы и др.) и физические (температура, давление, ветер, влажность, свет, радиационный режим и др.).

**Биотические** факторы – совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие. Они весьма разнообразны. Так, например, живые существа служат пищей (растения – для животных, животные – для хищников) и средой обитания (хозяин – для паразита, крупные растения – для эпифитов) для других организмов, способствуют размножению последних (опыление растений, распространение семян), оказывают химические, физические и другие воздействия.

**Антропические** факторы – совокупность воздействий деятельности человека на органический мир. Уже фактом своего существования человек оказывает влияние на среду (за счёт дыхания ежегодно в атмосферу поступает примерно  $1,1 \cdot 10^{12}$  кг  $\text{CO}_2$  и др.) и неизмеримо большее производственной деятельностью во всё возрастающей степени.

Влияние на организм абиотических факторов может быть прямым и косвенным (опосредованным). Так, например, температура среды определяет скорость физиологических процессов в организме и, соответственно, его развитие (прямое влияние); в то же время, влияя на развитие растений, являющихся кормом для животных, она оказывает на последних косвенное воздействие.

Эффект действия экологических факторов зависит не только от их характера, но и от дозы, воспринимаемой организмом (высокая или низкая температура, яркий свет или

темнота и др.). У всех организмов в процессе эволюции выработались приспособления к восприятию факторов в определенных количественных пределах. Причем, для каждого организма существует свой набор факторов, наиболее для него благоприятный.

Чем больше доза факторов отклоняется от оптимальной для данного вида величины (увеличение или уменьшение), тем сильнее угнетается его жизнедеятельность. Границы, за которыми существование организма невозможно, называются *нижним и верхним пределами выносливости (толерантности)*.

## 2. Совместное действие экологических факторов на организм животного. Важнейшие абиотические факторы и адаптации к ним организмов.

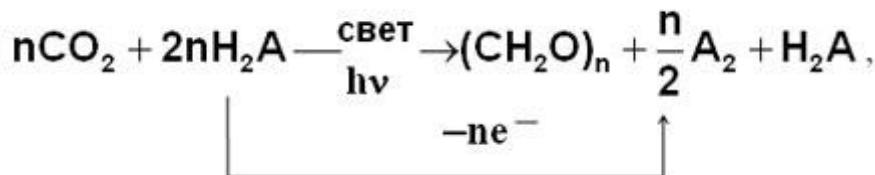
- Дайте характеристику света как абиотического фактора. Приведите классификацию экологических классов растений по отношению к свету.
- Охарактеризуйте температуру как абиотический фактор. Объясните экологический смысл правил Бергмана и Аллена (приведите примеры).
- В чем состоит различие между пойкилотермными и гомойотермными организмами?
- Как формулируется биоклиматический закон А. Хопкинса? Дайте ему экологическое объяснение.
- Охарактеризуйте влажность как абиотический фактор. Приведите примеры влаго- и сухолюбивых растений и животных, а также предпочитающих умеренную влажность.

Среди основных абиотических факторов рассмотрим свет, температуру и влажность.

Свет.

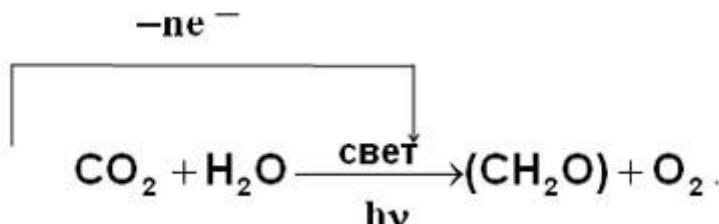
В свое время французский астроном Камиль Фламмарион (1842-1925) написал: "Мы об этом не думаем, но все, что ходит, движется, живет на нашей планете, есть дитя Солнца".

Действительно, только под влиянием света осуществляется важнейший в биосфере процесс фотосинтеза, который в общем виде может быть представлен следующим образом:

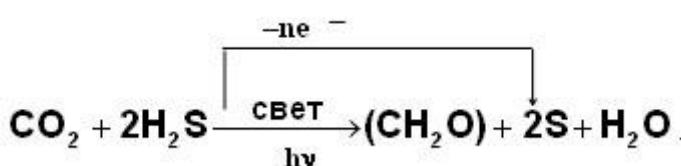


где А - донор электронов.

У зеленых растений (высших растений и водорослей) донором электронов является вода (кислород), поэтому в результате фотосинтеза образуется кислород:



У бактерий роль донора электронов могут выполнять, например, сероводород (серы), органические вещества. Так, у зеленых и пурпурных серобактерий идет следующий процесс:



В отношении света организмы стоят перед дилеммой: с одной стороны, прямое воздействие света на клетку может быть смертельно для организма, с другой - свет служит первичным источником энергии, без которого невозможна жизнь.

Видимый свет оказывает на организмы смешанное действие: красные лучи - тепловое воздействие; синие и фиолетовые лучи - изменяют скорость и направление биохимических реакций. В целом свет влияет на скорость роста и развития растений, на интенсивность фотосинтеза, на активность животных, вызывает изменение влажности и температуры среды, является важным фактором, обеспечивающим суточные и сезонные биологические циклы. Каждое местообитание характеризуется определенным световым режимом, определяемым интенсивностью (силой), количеством и качеством света.

Интенсивность (сила) света измеряется энергией, приходящейся на единицу площади в единицу времени: Дж/м<sup>2</sup>Чс; Дж/см<sup>2</sup>Чс. На этот фактор сильно влияют особенности рельефа. Самым интенсивным является прямой свет, однако более полно растениями используется рассеянный свет.

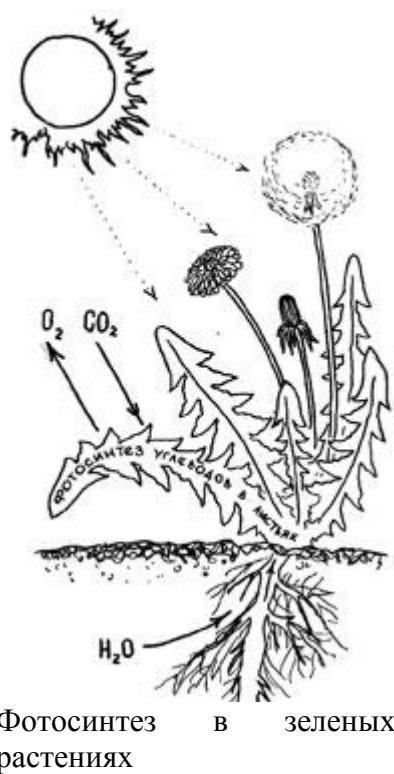
Количество света определяется суммарной радиацией. От полюсов к экватору количество света увеличивается. Для определения светового режима необходимо учитывать и количество отраженного света, так называемое альбедо. Альбедо (от лат. *albus* - белый) - отражающая способность поверхностей различных тел - выражается в процентах от общей радиации и зависит от угла падения лучей и свойств отражающей поверхности. Например, альбедо чистого снега - 85%, загрязненного - 40-50%, черноземной почвы - 5-14%, светлого песка - 35-45%, полога леса - 10-18%, зеленых листьев клена - 10%, осенних пожелтевших листьев - 28%.

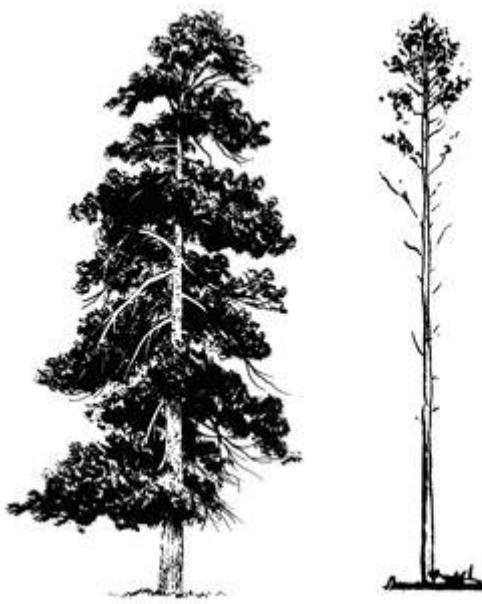
По отношению к свету как экологическому фактору различают следующие группы растений: гелиофиты (от греч. *helios* - солнце, *phyton* - растение), сциофиты (от греч. *skia* - тень) и теневыносливые растения (факультативные гелиофиты).

- Световые растения (гелиофиты) - обитают на открытых местах с хорошей освещенностью и в лесной зоне встречаются редко. Процесс фотосинтеза начинает преобладать над процессом дыхания только при высокой освещенности (пшеница, сосна, лиственница). Цветки таких светолюбивых растений, как подсолнечник, козлородник, череда, поворачиваются за солнцем.

- Теневые растения (сциофиты) - не выносят сильного освещения и живут под пологом леса в постоянной тени (это в основном лесные травы, папоротники, мхи, кислица). На вырубках при сильном освещении они проявляют явные признаки угнетения и часто погибают.

- Теневыносливые растения (факультативные гелиофиты) - могут жить при хорошем освещении, но легко переносят и затемненные места (большинство растений лесов, луговые растения, лесные травы и кустарники).





Влияние света на состояние сосны  
(по Г. Р. Эйтингену)

появляются светочувствительные светочувствительного "глазка" реагирует на степень освещенности среды. Начиная с кишечнополостных, практически у всех животных развиваются светочувствительные органы - глаза, имеющие то или иное строение.

Среди животных различают дневные, ночные и сумеречные виды. Имеются также виды, живущие в постоянной темноте и не выносящие яркого солнечного света (почвенные животные, обитатели пещер и больших глубин, внутренние паразиты животных и растений). Биолюминесценцией называется способность живых организмов светиться. Происходит это в результате окисления сложных органических соединений при участии катализаторов обычно в ответ на раздражения, поступающие из внешней среды. Световые сигналы, испускаемые рыбами, головоногими моллюсками и другими гидробионтами, а также некоторыми организмами наземно-воздушной среды (например, жуками семейства светляков), служат для привлечения особей противоположного пола, приманивания добычи или отпугивания хищников, ориентации в стае и др.

Важным экологическим фактором является температура.

Температура.

Одним из наиболее важных факторов, определяющих существование, развитие и распространение организмов по земному шару, является температура. Важно не только абсолютное количество тепла, но и его временное распределение, т. е. тепловой режим.

Растения не обладают собственной температурой тела: их анатомо-морфологические и физиологические механизмы терморегуляции направлены на защиту организма от вредного воздействия неблагоприятных температур.

В зоне высоких температур при пониженной влажности (тропические и субтропические пустыни) исторически сформировался своеобразный морфологический тип растений с незначительной листовой поверхностью или с полным отсутствием листьев. У многих пустынных растений образуется беловатое опушение, способствующее отражению солнечных лучей и предохраняющее их от перегрева (акация песчаная, лох узколистный).

К физиологическим приспособлениям растений, сглаживающим вредное влияние высоких температур, могут быть отнесены: интенсивность испарения - транспирация (от лат. *trans* - через, *spiro* - дышу, выдыхаю), накопление в клетках солей, изменяющих температуру

Теневыносливые древесные породы и теневые травянистые растения отличаются мозаичным расположением листьев. У эвкалиптов листья обращены к свету ребром. У деревьев световые и теневые листья (располагаются соответственно по поверхности и внутри кроны) - хорошо освещаемые и затененные - имеют анатомические различия. Световые листья толще и грубее, иногда они блестящие, что способствует отражению света. Теневые листья обычно матовые, неопущенные, тонкие, с очень нежной кутикулой или вовсе без нее (кутикула - наружная пленка, покрывающая эпидермис).

В лесу теневыносливые деревья образуют густо сомкнутые насаждения. Под их пологом растут еще более теневыносливые деревья и кустарники, а ниже - теневые кустарнички и травы. На рисунке показаны две сосны: одна из них росла на открытом пространстве при хорошем освещении (1), а другая в густом лесу (2).

Наибольшее значение свет как средство ориентации имеет в жизни животных. Уже у простейших органеллы. Так, эвглена зеленая с помощью

свертывания плазмы, свойство хлорофилла препятствовать проникновению солнечных лучей.

В мире животных наблюдаются определенные морфологические адаптации, направленные на защиту организмов от неблагоприятного действия температур. Свидетельством этого может служить известное правило Бергмана (1847 г.), согласно которому *в пределах вида или достаточно однородной группы близких видов теплокровные организмы с более крупными размерами тела распространены в более холодных областях*. Попытаемся объяснить это правило с позиций термодинамики: потеря тепла пропорциональна поверхности тела организма, а не его массе. Чем крупнее животное и компактнее его тело, тем легче поддерживать постоянную температуру (меньше удельный расход энергии), и наоборот, чем мельче животное, тем больше его относительная поверхность и теплопотери и выше удельный уровень его основного обмена, т. е. количества энергии, расходуемого организмом животного (или человека) при полном мышечном покое при такой температуре окружающей среды, при которой терморегуляция наиболее выражена.



У животных с постоянной температурой тела в холодных климатических зонах наблюдается тенденция к уменьшению площади выступающих частей тела (правило Аллена, 1877 г.).

Правило Аллена наглядно проявляется, например, при сравнении размеров ушей экологически близких видов: песца - обитателя тундры; лисицы обыкновенной - типичной для умеренных широт; фенека - обитателя пустынь Африки. Реакция животных на тепловой режим проявляется и в изменениях пропорций отдельных органов и тела (у горностая из северных районов увеличено сердце, почки, печень и надпочечники по сравнению с такими же зверьками в местностях с более высокой температурой). Из правил Бергмана и Аллена бывают исключения.

### 3. Биологические факторы и их влияние на организм животных.

**Внешняя среда.** На человека воздействуют различные факторы окружающей среды. При изучении многообразных видов его деятельности не обойтись без учета влияния природных факторов (барометрическое давление, газовый состав и влажность воздуха, температура окружающей среды, солнечная радиация – так называемая физическая окружающая среда), биологических факторов растительного и животного окружения, а также факторов социальной среды с результатами бытовой, хозяйственной, производственной и творческой деятельности человека.

Из внешней среды в организм поступают вещества, необходимые для его жизнедеятельности и развития, а также раздражители (полезные и вредные), которые нарушают постоянство внутренней среды. Организм путем взаимодействия функциональных систем всячески стремится сохранить необходимое постоянство своей внутренней

Деятельность всех органов и их систем в целостном организме характеризуется определенными показателями, имеющими те или иные диапазоны колебаний. Одни константы стабильны и довольно жесткие, например, pH крови 7,36–7,40, температура тела – в пределах 35–36°C, другие и в норме отличаются значительными колебаниями (например, ударный объем сердца – количество крови, выбрасываемой за одно сокращение – 50–200 см<sup>3</sup>).

**Природные социально-экономические факторы.** Природные и социально-биологические факторы, влияющие на организм человека, неразрывно связаны с вопросами экологического характера.

Экология (греч. *oikos* – дом, жилище, родина + *logos* – понятие, Нtae) – это и область знания, и часть биологии, и учебная дисциплина, и комплексная наука. Экология рассматривает взаимоотношение организмов друг с другом и с неживыми компонентами природы Земли (ее биосфера). Экология человека изучает закономерности взаимодействия человека с природой, проблемы сохранения и укрепления здоровья. Человек зависит от условий среды обитания точно так же как природа зависит от человека. В городах интенсивность солнечной радиации на 15–20% ниже, чем в прилегающей местности, зато среднегодовая температура выше на 1–2°C, менее значительны суточные и сезонные колебания, ниже атмосферное давление, загрязненный воздух. Все эти изменения оказывают крайне неблагоприятное воздействие на физическое и психическое здоровье человека. Около 80% болезней современного человека – результат ухудшения экологической ситуации на планете. Экологические проблемы напрямую связаны с процессом организации и проведения систематических занятий физическими упражнениями и спортом, а также с условиями, в которых они происходят.

**Биологические факторы:** безвредные и вредные микроорганизмы, вирусы, глисты, грибки, разные животные и растения и продукты их жизнедеятельности.

Физические, химические, в определенной мере и биологические факторы могут быть как природного, так и искусственного (антропогенно-техногенного) происхождения, чаще имеет место воздействие на человека совокупности этих факторов.

Следует учитывать, что помимо перечисленных материальных факторов, значительное влияние на человека оказывают и факторы информационно - психологические – воздействие устного и печатного слова, слуховые и зрительные восприятия.

Факторы окружающей внешней среды действуют на морфологические и биохимические процессы жизнедеятельности в организме человека, органы и ткани которого контактируют с этими факторами, принимая т.о. непосредственное участие в формировании внутренней (эндогенной) среды организма. Они могут быть причиной возникновения различных заболеваний и усугубления их течения, но могут также быть использованы для более скорого выздоровления после заболевания и укрепления здоровья человека в целом. На протяжении многовековой эволюции человечества, окружающая среда претерпевала серьезные изменения, существенно изменившие как саму эту среду, так и условия взаимодействия с ней населяющих Землю людей.

Эти изменения включают три последовательные исторические фазы.

Первая – начальный период зарождения человечества. В этот период окружающая среда представляла собой сугубо природное образование, с изначально присущими ему регионально-географическими особенностями. Воздействие человека на эту среду было локальным, минимальным и практически её не изменяло (зола от костров, умеренные повреждения растительности, органические выделения и т.п.). Именно в таком, первозданном природном окружении и происходило первичное формирование человека как биологического вида и присущих ему физиологических функций и параметров жизнедеятельности.

Второй период характеризуется уже видимыми, но так же преимущественно ограниченными, проявлениями последствий влияния человеческой деятельности на окружающую среду. Такое влияние было обусловлено строительством и плохим санитарно-техническим благоустройством городов, начальными формами производственной деятельности и развитием транспорта.

Но наиболее масштабное и опасное воздействие человека на окружающую среду (третий, современный этап) началось со второй половины XIX века. Его причинами стали интенсивная индустриализация, появление разнообразных новых мощных химических, металлургических и других промышленных предприятий, строительство крупных городов и

скопление населения в них (урбанизация). Еще более усилилось такое воздействие в процессе использования достижений современной научно-технической революции – мирное и военное использование атомной энергии, массивная «химизация» сельскохозяйственного производства и быта, увеличение уровня различных физических воздействий – шума, электромагнитного излучения и др.

Вследствие этих процессов окружающая человека среда претерпевает негативные глобальные изменения, обусловленные массивным её химическим и физическим загрязнением. Можно сказать, что в настоящее время значительная часть населения Земли живет не в изначальной природной среде, в которой оно возникло, а в среде искусственно денатурированной, насыщенной вредными для здоровья веществами и факторами. Для образной характеристики такой среды обитания современного человека, выдающийся ученый-геохимик, Владимир Иванович Вернадский еще в двадцатые годы минувшего столетия, вместо термина «биосфера» предложил термин «ноосфера Земли». Тем самым подчеркивается, что на современном этапе всемирной истории, в результате деятельности людей (антропогенно-техногенное воздействие), природная биосфера преобразовалась в качественно новую окружающую среду, являющуюся своеобразным сочетанием природных и антропогенно-техногенных факторов.

#### **4. Фенотипическая изменчивость как результат взаимодействия генотипа и среды.**

Ненаследственная (фенотипическая) изменчивость не связана с изменением генетического материала. Она является ответной реакцией организма на конкретные изменения окружающей среды. Изучение влияния новых условий на человека показало, что такие признаки, как тип обмена веществ, предрасположенность к некоторым заболеваниям, группа крови, узоры кожи на пальцах и другие, определяются генотипом и их выражение мало зависит от факторов окружающей среды. Другие признаки, такие как уровень интеллекта, вес, рост и т.п., обладают широким диапазоном изменений, и их проявление в значительной степени определяется окружающей средой. Те внешние различия, которые обусловлены средой, получили название модификаций. Модификации не связаны с изменением генетических структур особи, а являются лишь частной реакцией генотипа на конкретные изменения окружающей среды (температуры, содержания кислорода во вдыхаемом воздухе, характера питания, воспитания, обучения и т.д.). Однако пределы этих изменений признака в ответ на воздействие окружающей среды определяются генотипом. Конкретные изменения не наследуются, они формируются в процессе жизнедеятельности особи. Наследуется генотип с его специфическим нормой реакции на изменение среды. Таким образом, совокупность признаков особи (ее фенотип) является результатом реализации генетической информации в конкретных условиях окружающей среды. Формируется фенотип в процессе индивидуального развития, начиная с момента оплодотворения. Физическое, психическое и умственное здоровье человека – это результат взаимодействия унаследованных человеком особенностей с факторами окружающей среды, воздействующими на него на протяжении всей жизни. Ни наследственность, ни окружающая человека среда не являются неизменными. Этот важный принцип лежит в основе современного понимания процессов Изменчивости и наследственности. В мире нельзя найти двух людей, за исключением однояйцовых близнецов (развившихся из одной оплодотворенной яйцеклетки), обладающих одинаковым набором генов. Нельзя также найти двух людей, проживших жизнь в одинаковых условиях. Наследственность и среда не противопоставляются друг другу: они едины и немыслимы одна без другой.

##### Модификационная изменчивость

Среди различных типов изменчивости, рассмотренных выше, была выделена ненаследственная изменчивость, которую называют также модификационной. Общие закономерности изменчивости известны значительно хуже, чем законы наследования.

Модификационная изменчивость – это фенотипические различия у генетически одинаковых особей.

Внешние воздействия могут вызывать у особи или группы особей изменения, которые бывают для них вредными, безразличными или полезными, т.е. приспособленными.

Как известно, эволюционная теория, разработанная Ж.Б. Ламарком (1744-1829), основывалась на ошибочном постулате о наследовании изменений, приобретаемых в течение жизни, т.е. о наследовании модификации. Само по себе представление Ж.Б. Ламарка об эволюции органических форм было, несомненно, прогрессивным для своего времени, но его объяснение механизма эволюционного прогресса было неверным и отражало распространенное заблуждение, характерное для биологов XVIII столетия.

Ч. Дарвин (1809-1882) в своем «Происхождении видов...» разделил изменчивость на определенную и неопределенную. Эта классификация в общем соответствует нынешнему делению изменчивости на ненаследственную и наследственную.

Одним из первых исследователей, изучавших модификационную изменчивость, был К. Нэгели (1865), который сообщил, что если альпийские формы растений, например ястребинки, перенести на богатую почву Мюнхенского ботанического сада, то у них обнаруживается увеличением мощности, обильное цветение, а некоторые растения изменяются до неузнаваемости. Если же формы вновь перенести на бедные каменистые почвы, то они возвращаются к исходной форме. Несмотря на полученные результаты, К. Нэгели оставался сторонником наследования приобретенных свойств.

Впервые строгий количественный подход к исследованию модификационной изменчивости с позиций генетики применил В. Иогансен. Он изучал наследование массы и размера семян фасоли – признаков, в значительной степени меняющихся как под влиянием генетических факторов, так и условий выращивания растений.

Убежденным противником наследования свойств, приобретенных в онтогенезе, был А. Вейсман (1833-1914). Последовательно отстаивая дарвиновский принцип естественного отбора как движущую силу эволюции, он предложил разделить понятия соматогенных и бластогенных изменений, т.е. изменения свойств соматических клеток и органов, с одной стороны, и изменения свойств генеративных клеток – с другой. А. Вейсман указал на невозможность существования механизма, который передавал бы изменения соматических клеток половым таким образом, чтобы в следующем поколении организмы изменялись адекватно тем модификациям, которые претерпели родители во время своего онтогенеза. Иллюстрируя это положение, А. Вейсман поставил следующий эксперимент, доказавший ненаследование приобретенных признаков. На протяжении 22 поколений он отрубал белым мышам хвосты и скрещивал их между собой. В общей сложности он обследовал 1592 особи и ни разу не обнаружил укорочения хвоста у новорожденных мышат.

#### Типы модификационной изменчивости

Различают *возрастные, сезонные экологические модификации*. Они сводятся к изменению лишь степени выраженности признака; нарушения структуры генотипа при них не происходит. Следует отметить, что четкой границы между возрастными, сезонными и экологическими модификациями провести невозможно.

**Возрастные**, или онтогенетические, модификации выражаются в виде постоянной смены признаков в процессе развития особи. Это наглядно демонстрируется на примере онтогенеза земноводных (головастики, сеголетки, взрослые особи), насекомых (личинка, куколка, имаго) и других животных, а также растений. У человека в процессе развития наблюдаются модификации морфофизиологических и психических признаков. Например, ребенок не сможет правильно развиваться и физически и интеллектуально, если в раннем детстве на него не будут оказывать влияние нормальные внешние, в том числе социальные, факторы. Например, долгое пребывание ребенка в социально неблагополучной среде может вызвать необратимый дефект его интеллекта.

Онтогенетическая изменчивость, как и сам онтогенез, детерминируется генотипом, где закодирована программа развития особи. Однако особенности формирования фенотипа в онтогенезе обусловлены взаимодействием генотипа и среды. Под влиянием необычных внешних факторов могут происходить отклонения в формировании нормального фенотипа.

**Сезонные модификации**, особей или целых популяций проявляются в виде генетически детерминированной смены признаков (например, изменение окраски шерсти, появление подпушка у животных), происходящей в результате сезонных изменений климатических условий [Каминская Э.А.].

Ярким примером такой изменчивости является опыт с горностаевым кроликом. У горностаевого кролика на спине выбирают наголо определенный участок (спина горностаевого кролика нормально покрыта белой шерстью) и затем кролика помещают на холод. Оказывается, что в таком случае на оголенном месте, подвергшемся влиянию низкой температуры, появляется темнопигментированный волос и в результате на спине – темное пятно. Очевидно, что развитие того или иного признака кролика – его *фенотип*, в данном случае горностаевая окраска, зависит не только от его генотипа, но и от всей совокупности условий, в которых происходит это развитие.

## 5. Генотипические и параптические факторы фенотипической изменчивости и их значение в селекции животных.

**1.** Во времена Ч. Дарвина всю наблюдалую изменчивость делили на наследственную и ненаследственную. В настоящее время такое разделение правильно лишь в общих чертах. Генетика показала, что ненаследственных признаков нет и быть не может: все признаки и свойства организма в той или иной степени наследственно обусловлены. В процессе размножения от поколения к поколению передаются не признаки, а код наследственной информации, определяющий лишь возможность развития будущих признаков в каком-то диапазоне. Наследуется не признак, а норма реакции развивающейся особи на действие внешней среды.

**2.** Проявление мутаций зависит прежде всего от той генетической среды, в которую попадает мутантный аллель. Один и тот же мутантный ген у разных особей может обладать неодинаковым фенотипическим проявлением: **экспрессивностью** (выраженностью степени развития определяемого этим геном признака) в зависимости от условий, в которые он попадает, и **пенетрантностью** (частота проявления) аллеля, определяемой по проценту особей популяции из числа несущих данный аллель (у которых он проявился с любой экспрессивностью).

**3.** Наследственность определяет спектр возможных состояний данного признака – его норму реакции, но возникновение вариантов этой нормы определяет взаимодействие генотипа и среды. Мутация *bar* («лентовидная») вызывает редукцию передних и задних фасеток глаза у дрозофилы, в результате чего глаз представляет собой вертикальную полоску фасеток. Степень проявления этой мутации строго зависит от температуры: чем ниже температура, при которой развивались личинки мутантных дрозофил, тем большее число фасеток остается в глазу.

Спектр мутантных признаков, затрагиваемых мутациями, очень широк. Нет признаков и свойств, которые в той или иной степени не затрагивались бы мутациями. Наследственной изменчивости подвержены все морфологические, физиологические, биохимические, морфологические и другие признаки и свойства. Эти вариации по средним значениям варьирующих признаков выражаются как в качественных различиях, так и количественно. Мутации могут происходить и в сторону увеличения, и в сторону уменьшение выраженности определенного признака или свойства. Они могут быть выражены резко (вплоть до летальности) или представлены незначительными отклонениями от исходной формы («малые» мутации). Во многих работах показано, что мутации затрагивают существенные биологические признаки: общую жизнеспособность, способность к скрещиванию, плодовитость, скорость роста и др.

**4.** Таким образом, в настоящее время твердо установлено, что наследуются не сами признаки, а код наследственной информации, определяющий комплекс возможностей развития – норму реакции генотипа, в пределах которой возможно не приводящее к гибели

взаимодействие развивающейся особи со средой. При этом наследственная реализация каждого признака или свойства определяется не одним, а, как правило, очень многими генами (принцип полимерии в действии генов); с другой стороны, любой ген оказывает влияние не на один, а на многие признаки (принцип плейотропии в действии гена). Границы характерной для данного генотипа нормы реакции могут быть выражены, таким образом, лишь совокупностью фенотипов, развившихся из этого генотипа при всех возможных условиях среды. При анализе признаков продуктивности кур (*Callus domestica*): яйценоскости и массы яйца было показано, что у большинства пород (популяции) кур генотипическая составляющая (наследуемость) яйценоскости невелика (12—30%), а наследуемость массы яйца значительна (60—74%). Поэтому отбор в направлении увеличения яйценоскости обычно неэффективен, тогда как отбор на повышенную массу яйца сразу же дает положительные результаты. Однако японские селекционеры обнаружили популяцию кур, для которой показатель генотипической составляющей яйценоскости оказался заметно увеличенным. В результате умелого отбора из этой популяции сейчас выведена порода кур, дающих более 500 яиц в год.

**5.** Внутрипопуляционная изменчивость слагается из разнообразных выражений нормы реакции по любому признаку или свойству. Любой признак, который мы исследуем - это результат взаимодействия генетической программы и той среды, где происходило развитие особи. В настоящее время в целом установлено, что мутации разных типов вызывают изменения любых наследственных признаков и свойств.

#### Мутационная изменчивость в популяциях

**1.** Сейчас известно, что все природные популяции гетерогенны, они насыщены мутациями. Генетическая гетерогенность любой популяции при отсутствии давления внешних факторов должна быть неизменной, находиться в определенном равновесии. Впервые математически это доказано формулой Харди – Вайнберга, которая позволяет рассчитывать относительную частоту генотипов и фенотипов в популяции.

$$(q + (1 - q)^2 = q^2 + 2q(1 - q) + (1 - q)^2$$

**2.** С.С. Четвериков впервые указал о насыщенности всех популяций разнообразными мутациями. Практически нет двух популяций, имеющих одинаковые частоты встречаемости и спектры мутантных признаков. При этом близко расположенные, соседние популяции могут отличаться друг от друга столь же значительно, как и далеко расположенные. По изучению генетического состава природных популяций проведено очень много работ на разных группах растений (львиный зев, фиалка, пикульник), беспозвоночных (дрозофилы, непарный шелкопряд, божьи коровки и др.) и позвоночных (мышевидные хомячки, домовые мыши, крысы, полевки и др.). Во всех случаях популяции отличались друг от друга лишь встречаемостью генных, хромосомных или геномных мутаций. При сравнении близких природных таксонов (групп популяций, подвидов и близких видов) различия между ними сводились к различиям по наличию отдельных мутаций и их комбинаций.

**3.** Это дает основание полагать, что и во всех других случаях именно мутации как элементарные наследственные изменения - действительно элементарный эволюционный материал. Мутации как элементарные единицы наследственной изменчивости обладают рядом важных свойств, таких, как:

- 1) высокая частота их возникновения в природе,
- 2) изменение ими любых, в том числе и биологически важных признаков,
- 3) насыщенность природных популяций мутациями. Поэтому, они могут рассматриваться в качестве элементарного эволюционного материала.

Многими исследованиями доказано, что именно мутации и их комбинации первично определяют изменение генотипического состава популяции, т. е. возникновение элементарного эволюционного явления.

## 1.4 Лекция 4 (2 часа)

Тема: «Генофонд популяции и оценка его состояния»

### 1.4.1 Вопросы лекции

- 4.1. Факторы влияющие на генофонд популяции.
- 4.2. Генофонд популяции и критерии оценки его состояния.
- 4.3. Генетический груз, виды генетического груза. Генетический процесс.
- 4.4. Основные критерии состояния генофонда устойчивое воспроизведение в поколениях. Сохранение оптимального уровня генетического разнообразия. Нормальный или неблагоприятный генетический процесс.

### 1.4.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Факторы влияющие на генофонд популяции.

Генофонд – совокупность аллелей, образующих генотипы организмов данной популяции. Генофонды природных популяций отличает наследственное разнообразие (генетическая гетерогенность или полиморфизм), генетическое единство, динамическое равновесие долей особей с разными генотипами

Генетическая гетерогенность – наличие в популяции разных аллелей генов.

Внутрипопуляционный полиморфизм: внутри единой популяции существуют резко различимые, наследственно обусловленные фенотипы.

Наследственное разнообразие (гетерогенность или полиморфизм) связано с наличием в генофонде одновременно различных аллелей отдельных генов. Оно создается мутационным процессом. Мутации, будучи обычно рецессивными и не влияя на фенотипы гетерозиготных организмов, сохраняются в генофондах популяций в скрытом от естественного отбора состоянии. Накапливаясь, они образуют «резерв наследственной изменчивости». Благодаря комбинативной изменчивости этот резерв используется для создания в каждом поколении новых комбинаций аллелей.

Виды полиморфизма:

- а) половой – различие полов по внешним признакам, обусловленное генетическими факторами
- б) адаптационный
- в) гетерозиготный Пр: серповидноклеточная анемия

Генетическое единство обуславливается достаточным уровнем панмиксии.

В пределах генофонда популяции доля генотипов, содержащих разные аллели одного гена, при соблюдении некоторых условий из поколения в поколение изменяется.

Миграция – это поток генов популяции в популяциях.

Они и создают генетический груз – часть наследственной изменчивости популяции, которая определяет появление менее приспособленных особей, подвергающихся избирательной гибели в процессе естественного отбора *в зависимости от происхождения*:

- мутационный – вновь возникшие мутации
- сегрегационный – мутации, длительное время передающиеся из поколения в поколение, скрытые в гетерозиготном состоянии
- рекомбинационный – мутации на основе рекомбинации генов
- миграционный – мутации, передающиеся миграцией особей в популяции.

Генетический груз – сумма неблагоприятных летальных и сублетальных мутаций в генофонде популяции; это своеобразная плата за экологическую пластичность и эволюционную перспективу; неизбежное следствие генетического полиморфизма.

Виды:

- а) мутационный груз – обусловлен возникновением в популяции мутантных аллелей, поскольку отбор направлен против этих аллелей, их частота в популяции невелика и она поддерживается благодаря повторному возникновению (мутационному давлению);

*б) сегрегационный груз*-форма генетического груза, возникающего в результате появления менее приспособленных гомозигот в потомстве гетерозиготных особей; в связи с тем, что значительная часть мутантных аллелей оказывает в гетерозиготном состоянии положительное действие (эффект сверхдоминирования), то гетерозиготы (а следовательно, и вредные мутации) могут поддерживаться в ряду поколений;

*в) субституционный груз*- возникает при изменении адаптивной ценности особей и сохраняется в популяции до тех пор, пока другой аллель не заместит потерявшей адаптивную ценность первый аллель.

Полиморфизм – это существование в панмиксической популяции двух или более резко различающихся фенотипов; они могут быть нормальными или аномальными; явление внутрипопуляционное.

*I Генный* – наблюдается, когда ген представлен более чем одним аллелем.

Пр: система АВ0 группы крови.

*II Хромосомный* – между особями имеются различия по отдельным хромосомам; это результат хромосомных аберраций.

Пр: Синдром Дауна.

*III Переходный* – замещение в популяции одного старого аллеля новым, который более полезен в данных условиях.

Пр: у человека есть ген гемоглобина; он образует связь с гемоглобином и обуславливает слипание эритроцитов в острую фазу заболеваний.

*IV Сбалансированный* – возникает, когда ни один из генотипов преимущества не получает, а естественный отбор благоприятствует разнообразию.

Генетическая структура популяции характеризуется концентрацией аллелей и генотипов, составляющих генофонд популяции, находится в динамическом равновесии и только при достаточном числе генетических разнообразных партнеров при размножении возможно поддержание на необходимом уровне генетической разнокачественности всей системы в целом.

1908г. – закон генетического равновесия Харди-Вайнберга: генетическая структура популяции передается из поколения в поколение в неизменном виде при определенных условиях.

(Условия закона: большая численность, панмиксия, отсутствие влияния эволюционных факторов (мутации, миграций, ест. отбора), одинаковая вероятность образования и одинаковая жизнеспособность всех типов гамет и зигот поколения не прерываются во времени.)

Длительное необратимое и направленное изменение генетической структуры популяции – элементарное эволюционное явление.

Факторы, влияющие на генофонд популяции:

- демографические характеристики
- элементарные эволюционные факторы

## 2. Генофонд популяции и критерии оценки его состояния.

Показателем генетического состава всей популяции является генофонд.

Генофонд человека - это совокупность всех генов в общей популяции человека как биологического вида (гены всех живущих на Земле людей). Это понятие впервые ввел в 1928 году А.С. Серебровский.

Общая популяция человека обозначает совокупность всех людей Земли.

Термин - популяция впервые ввел В. Иогансен в 1903 году для обозначения неоднородной группы особей одного биологического вида

Генофонд популяции постоянно меняется под влиянием разных факторов. Генофонд или демографическая ситуация, воспроизводство населения, его состояние и динамика, оцениваются по основным показателям:

по уровням рождаемости и смертности,  
по разности между рождаемостью и смертностью - уровню естественного прироста,  
а также по двум дополнительным показателям (но не менее важным, чем первые два)

- уровню брачности (разводимости);
- по состоянию половозрастной структуры.

Половозрастная структура показывает активное влияние, как на состояние демографических процессов, так и на величину большинства демографических показателей (в последнем случае влияние половозрастной структуры зачастую приходится устранять с помощью специальных методов с тем, чтобы увидеть истинную роль рождаемости и смертности).

Особенности генофонда человека:

глубокая дифференцированность или неоднородность генотипов при сохраняющейся общей совокупности генов;

- зависимость генофонда современного человека от генофонда его предков;
- генетическая целостность генофонда;
- генетический груз.

Первые две особенности можно объединить одну общую особенность и означить ее как количественный и качественный состав генофонда, являющийся базой для характеристики геномного здоровья человека.

Третья особенность связана с репродуктивным процессом, в ходе которого осуществляется постоянный обмен наследственным материалом внутри общей популяции, и каждое новое поколение людей вносит в генофонд больший или меньший вклад в зависимости от приспособленности их генотипов к среде обитания.

В связи с тем, что условия окружающей среды по-разному влияют на жизнеспособность и репродуктивность организмов с разными генотипами, генофонд человека (человечества) постепенно изменяется в результате естественного отбора, и более приспособленные люди (генотипы) чаще других выживают и оставляют потомство.

Биологический смысл репродуктивного процесса - это способность индивида оставить после себя здоровое потомство, способное к новому воспроизведству, и тем самым - сохранению целостности генофонда.

Четвертая особенность связана с наличием в общей популяции ее меньшей части - людей с измененной наследственностью, т. е. имеющих наследственную патологию. Такие люди менее приспособлены к выживанию, у них повышенная заболеваемость и уменьшенная продолжительность жизни, в связи, с чем они подвергаются избирательной гибели в процессе естественного отбора.

Таким образом, все 4 особенности генофонда составляют для человека основу его геномного и репродуктивного здоровья.

Условием для сохранения генофонда является благоприятное воздействие на наследственный материал человека факторов окружающей среды. К положительно влияющим факторам окружающей среды, на здоровье и наследственность человека, относится здоровый образ жизни.

В определении понятия здорового образа жизни необходимо учитывать два основных фактора - генетическую природу данного человека и ее соответствие конкретным условиям жизнедеятельности.

Здоровый образ жизни - это способ жизнедеятельности, который соответствует генетически обусловленны

### **3. Генетический груз, виды генетического груза. Генетический процесс.**

Генетический груз – накопленная в геноме изменчивость, точнее разнообразие как форма существования генетической информации, особенно выраженная у примитивных видов и пород (первый тип популяций по Гранту), из-за чего «плата за отбор» оказывается

недостижимо высокой и форма оказывается в ловушке состояния примитивности: экологическая дифференциация (специализация) связана с редукцией ареала и практически всегда приводит к более тесному воспроизведению (инбридингу вплоть до самооплодотворения), что невозможно с высоким генетически грузом в геноме; с другой стороны, форма генетического груза позволяет существовать в геноме не только огромному количеству рецессивных мутантных генов под покровом гетерозиготности, но также и повторяющимся эгоистическим последовательностям, обеспечивающим перетасовки генов с поиском эволюционного смысла комбинаций (драйв) – имеется в виду так называемый мобилизационный резерв вида в определении С.М.Гершензона.

Генетический груз – накопленная в геноме изменчивость, точнее разнообразие как форма существования генетической информации, особенно выраженная у примитивных видов и пород (первый тип популяций по Гранту), из-за чего «плата за отбор» оказывается недостижимо высокой и форма оказывается в ловушке состояния примитивности: экологическая дифференциация (специализация) связана с редукцией ареала и практически всегда приводит к более тесному воспроизведению (инбридингу вплоть до самооплодотворения), что невозможно с высоким генетически грузом в геноме; с другой стороны, форма генетического груза позволяет существовать в геноме не только огромному количеству рецессивных мутантных генов под покровом гетерозиготности, но также и повторяющимся эгоистическим последовательностям, обеспечивающим перетасовки генов с поиском эволюционного смысла комбинаций (драйв) – имеется в виду так называемый мобилизационный резерв вида в определении С.М.Гершензона.

Фото: Son of Groucho

Генетический груз не поддается параметрической оценке, однако количественные показатели, определяющие размах изменчивости, теоретически должны уменьшаться в процессе согласованной эволюции и у близких видов или пород они реально уменьшаются от примитивных к специализированным: число хромосом, количество ДНК в ядре, доля повторов в геноме, исчисленная по кинетике реассоциации, соотношение полов в популяции и вообще интенсивность половой рекомбинации; теоретически генетический груз рецессивных мутаций можно снизить с помощью инбридинга – действительно, некоторые формы проявляют инбредную депрессию в течение шести-семи поколений тесного инбридинга, после чего приспособленность может превысить исходную величину, однако эффект скачкообразный (возможно, выражение динамических эффектов, как и гибридный дигенез) и связан с особенностями генетической конституции объекта; внешняя форма выражения генетического груза может быть различна в зависимости от породы или внутрипородной структуры и ее предшествующей истории.

Генетический груз - это часть наследственной изменчивости популяций, определяющая появление менее приспособленных особей, подпадающих под избирательное действие естественного отбора. Важнейшими его показателями служат распространность в популяции наиболее частых хромосомных и генных болезней, равно как и заболеваний с ярко выраженной наследственной составляющей, таких как лейкоз, мастит, туберкулез, болезни конечностей и др. (=92% болезней животных).

Предполагается прямая зависимость между интенсивностью загрязнения окружающей среды и частотой разных форм патологий, имеющих более или менее выраженную генетическую компоненту: наследственные болезни, аномалии развития, спонтанные аборты, мертворождения и т.п. В среде разведения сельскохозяйственных животных широко используются генетически активные вещества (физические и химические агенты, гормоны и т.п.), что может вести как к повышению уровня мутаций, так и уровня злокачественных новообразований.

Генофонд домашних животных включает достаточный генетический груз (мутационный и сегрегационный) рецессивных, скрытых в гетерозиготе, и доминантных (в т.ч. и хромосомных) мутаций, возникающих в каждом поколении *de novo*. Генетические аномалии занимают значительное место в патологии; основная их часть обусловлена

рецессивными аутосомными генами. В последнее время установлено, что и среди нейтральных мутаций встречаются функционально «ослабленные» аллели: «гены окружающей среды» (environmental genes) или «гены предрасположенности» (predisposing genes) к болезням, что ставит на повестку дня вопрос скрининга таких заболеваний.

Следует отметить, что до сих пор нет точных методов, позволяющих оценивать суммарный уровень наследственных изменений в популяциях животных. Можно выделить несколько основных подходов к мониторингу животных, при этом необходимы учет и оценка следующих событий:

- 1) генетические (в т.ч. хромосомные) болезни; учитываются разные отклонения в фенотипе от видовой и популяционной (породной, линейной и т.п.) нормы;
- 2) цитогенетический скрининг и мониторинг; учитываются показатели хромосомной изменчивости;
- 3) мониторинг на основе иммуногенетических и молекулярно-генетических показателей;
- 4) мониторинг нарушений внутриутробного развития (врожденные дефекты, мертворождения, abortionы и т.п.);
- 5) мониторинг на основе оценки компонентов фитнеса (приспособленности):
  - а) репродукции (соотношение полов, нарушение плодовитости, стерильность, качественные и количественные показатели спермы и др.);
  - б) роста и развития (масса при рождении и отъеме и др.);
  - в) жизнеспособности.

#### **4. Основные критерии состояния генофонда устойчивое воспроизведение в поколениях. Сохранение оптимального уровня генетического разнообразия. Нормальный или неблагоприятный генетический процесс.**

Генетическое внутривидовое разнообразие определяется структурой аллелофонда и генофонда популяций.

Аллелофонд – это множество аллелей в популяции. Для количественного описания структуры аллелофонда используется понятие «частоты аллелей».

Генофонд – это множество генотипов в популяции. Для количественного описания структуры генофонда используется понятие «частоты генотипов».

Для описания генетического разнообразия используют следующие показатели:

- доля полиморфных генов;
- частоты аллелей для полиморфных генов;
- средняя гетерозиготность по полиморфным генам;
- частоты генотипов.

На основании этих показателей вычисляют разнообразные индексы разнообразия (например, Шеннона-Увера, Симпсона).

Для элементарных биохимических признаков (например, при изучении белкового полиморфизма или полиморфизма ДНК) определить уровень биоразнообразия по указанным показателям сравнительно легко.

Однако для комплексных признаков, наследуемых сложным образом (например, продуктивность, устойчивость к неблагоприятным факторам-стрессорам, ритмы развития), этот подход неприменим. Поэтому уровень разнообразия оценивается менее строго.

Но выявление, сохранение, приумножение и рациональное использование генетического разнообразия таких видов – это задача, требующая немедленного решения.

Бурное развитие селекции происходит не за счет широкого использования современных методов (трансгенные сорта и породы все еще остаются экзотикой), а за счет экстенсивного расширения объемов селекционных работ.

Это возможно в том случае, если проведение таких работ экономически выгодно: результаты можно получить в относительно сжатые сроки, а эффект от внедрения этих результатов достаточно высок.

Как известно, отбор ведется по фенотипам. При этом подразумевается, что за определенным фенотипом скрывается соответствующий генотип.

Отбор по аллелям практически не ведется (за исключением селекции на гаплоидном уровне, селекции самоопылителей и селекции трансгенных организмов).

И тогда начинается самое интересное: из множества аллелей, существующих в природных, полуприродных и искусственных популяциях, сохраняются и используются лишь те, которые выгодны для человека, но не для самих организмов.

Тогда при высоком генотипическом разнообразии может наблюдаться низкий уровень аллельного разнообразия.

число аллелей	1	2	3	4	5	6	7	8	9
число генотипов	1	3	6	10	15	21	28	36	45

Одним из первых селекционеров, задумавшимся о необходимости сохранения и приумножения аллельного разнообразия, был Николай Иванович Вавилов.

Противники Н.И. Вавилова упрекали (и упрекают!) его за отсутствие практического выхода. Да, Н.И. Вавилов не был селекционером-практиком, создающим новые генотипы. Он искал не сочетания аллелей, а сами аллели.

И в наше время мы должны думать не о разнообразии сортов и пород, а о разнообразии аллелофондов, позволяющего создавать новые сорта и породы.

Поэтому при создании коллекций с максимальным возможным уровнем биоразнообразия следует собирать материал из разных популяций, даже если на современном уровне развития генетики и селекции этот материал не может быть немедленно использован.

Иначе говоря, коллекция, содержащая генотипы  $a_1a_1$ ,  $a_2a_2$  и  $a_3a_3$ , более ценна, чем коллекция генотипов  $a_1a_1$ ,  $a_1a_2$ ,  $a_2a_2$ , хотя внешне (по числу фенотипов и генотипов) они равнозначны.

При рассмотрении диаллельных систем ( $A-a$  или  $A-a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ ) достаточно условно можно выделить четыре уровня генетического разнообразия по частотам аллелей:

- Частота редкого аллеля составляет  $10^{-6} \dots 10^{-3}$ . Это уровень частоты мутаций, самый низкий уровень аллельного разнообразия. Обнаруживается только в очень больших популяциях (миллионы особей).
- Частота редкого аллеля  $0,001 \dots 0,1$ . Это низкий уровень. Частота гомозигот по данному аллелю меньше 1%.
- Частота редкого аллеля  $0,1 \dots 0,3$ . Это приемлемый уровень. Частота гомозигот по данному аллелю меньше 10%.
- Частота редкого аллеля  $0,3 \dots 0,5$ . Это максимально высокий уровень в диаллельной системе: частота гомозигот по данному аллелю сопоставима с частотой гомозигот и компаунд-гетерозигот по альтернативным аллелям.

При рассмотрении полиаллельных систем ( $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ ) уровень генетического разнообразия в большей степени зависит от числа аллелей в локусе, чем от частот этих аллелей.

#### Первичные механизмы возникновения генетического разнообразия

Источники новых генотипов – это рекомбинации, возникающие при мейозе и половом размножении, а также в результате разнообразных парасексуальных процессов.

Основные источники новых аллелей в популяции – это мутационный процесс иммиграции носителей новых аллелей.

Дополнительные источники связаны с латеральным (горизонтальным) переносом генов от одного биологического вида к другому: или при межвидовой половой гибридизации, или при симбиогенезе, или при участии организмов-посредников.

Единичная мутация – это редкое событие. В стационарной популяции мутантный аллель может *совершенно случайно* не перейти в следующее поколение.

## 1.5 Лекция 5 (2 часа)

**Тема:** «Антропогенное загрязнение окружающей среды»

### 1.5.1 Вопросы лекции

- 5.1. Загрязнение окружающей среды в связи промышленным и сельскохозяйственным производством.
- 5.2. Проблемы пестицидов, тяжелых металлов, рационального и техногенного воздействия на организмы растений и животных.
- 5.3. Техногенез

### 1.5.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Загрязнение окружающей среды в связи промышленным и сельскохозяйственным производством.

**Загрязнение окружающей среды** - нежелательное изменение ее свойств в результате антропогенного поступления различных веществ и соединений. Оно приводит или может привести в будущем к вредному воздействию на литосферу, гидросферу, атмосферу, на растительный и животный мир, на здания, конструкции, материалы, на самого человека. Оно подавляет способность природы к самовосстановлению своих свойств.

Загрязнение окружающей среды человеком имеет длительную историю. Еще жители Древнего Рима жаловались на загрязненность вод реки Тибр. Жителей Афин и Древней Греции беспокоило загрязнение акватории порта Пирей. Уже в средние века появились законы об охране окружающей среды.

Главный источник загрязнения - возвращение в природу той огромной массы отходов, которые образуются в процессе производства и потребления человеческого общества. Уже в 1970 г. они составили 40 млрд. т, а к концу XX в. возросли до 100 млрд. т.

При этом следует различать количественное и качественное загрязнение.

**Количественное загрязнение окружающей среды** возникает в результате возвращения в нее тех веществ и соединений, которые встречаются в природе в естественном состоянии, но в гораздо меньших количествах (например, это соединения железа и других металлов).

**Качественное загрязнение окружающей среды** связано с поступлением в нее неизвестных природе веществ и соединений, создаваемых в первую очередь промышленностью органического синтеза.

Загрязнение литосферы (почвенного покрова) происходит в результате промышленной, строительной и сельскохозяйственной деятельности. При этом в роли главных загрязнителей выступают металлы и их соединения, удобрения, ядохимикаты, радиоактивные вещества, концентрация которых приводит к изменению химического состава почв. Все более сложной становится и проблема накопления бытового мусора; не случайно на Западе по отношению к нашему времени иногда применяют термин "мусорная цивилизация".

И это не говоря уже о полном разрушении почвенного покрова в результате, прежде всего, открытых горных разработок, глубина которых - в том числе и в России - иногда достигает 500 м и даже большей. Так называемые бедленды ("дурные земли"), полностью или почти полностью потерявшие свою продуктивность, занимают уже 1 % поверхности суши.

Загрязнение гидросферы происходит, прежде всего, в результате сброса в реки, озера и моря промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод. К концу 90-х гг. общий мировой объем сточных вод приблизился к 5 тыс. км<sup>3</sup> в год, или к 25% от "водного пайка" Земли. Но поскольку для разбавления этих вод требуется в среднем в 10 раз больший объем чистой воды, фактически они загрязняют гораздо больший объем русловых вод. Нетрудно догадаться, что именно в этом, а не только в росте непосредственного водозабора - главная причина обострения проблемы пресной воды.

К числу сильно загрязненных относятся многие реки - Рейн, Дунай, Сена, Темза, Тибр, Миссисипи. Огайо, Волга, Днепр, Дон, Днестр. Нил, Ганг и др. Растет и загрязнение Мирового океана, "здоровью" которого угрожают одновременно с побережья, с поверхности, со дна, из рек и атмосферы. Ежегодно в Океан попадает огромное количество отходов. Наиболее загрязнены внутренние и окраинные моря - Средиземное, Северное, Ирландское, Балтийское, Черное, Азовское, внутреннее Японское, Яванское, Карибское, а также Бискайский, Персидский, Мексиканский и Гвинейский заливы.

Средиземное море - самое крупное внутреннее море на Земле, колыбель нескольких великих цивилизаций. На его берегах расположено 18 стран, живут 130 млн. человек, расположено 260 портов. Кроме того, Средиземное море - одна из главных зон мирового судоходства: в нем одновременно находятся 2,5 тыс. судов дальнего плавания и 5 тыс. каботажных. По его трассам ежегодно проходит 300 -350 млн. т нефти. В результате это море в 60-70-х гг. превратилось едва ли не в главную "помойную яму" Европы.

Загрязнение коснулось не только внутренних морей, но и центральных частей океанов. Возрастает угроза для глубоководных впадин: имели место случаи захоронения в них токсичных веществ и радиоактивных материалов.

## 2. Проблемы пестицидов, тяжелых металлов, рационального и техногенного воздействия на организмы растений и животных.

В Российской Федерации утвержден и действует ГОСТ 17.4.02-83, в соответствии с которым химические элементы, в том числе и тяжелые металлы по степени токсичного действия, подразделены на три класса опасности.

При попадании в организм человека в больших количествах тяжелые металлы начинают накапливаться в почках и печени. Коэффициент концентрации ( $K_k$ ) их определяется отношением его реального содержания в почве (Ср) к фоновому (Сф):  

$$K_k = C_p / C_f$$

Необходимо отметить, что тяжелые металлы играют важную роль в биосфере. Металлы, присутствуя в живых организмах в ничтожно малых количествах, выполняют весьма важные функции, входя в состав биологически активных веществ. Соотношение концентраций металлов в организмах выработалось на протяжении всего хода эволюции органического мира. Значительные отклонения от этих соотношений вызывают отрицательные, а часто губительные, последствия для живых организмов. Находясь преимущественно в рассеянном состоянии, они могут образовывать локальные аккумуляции, где их концентрация в сотни раз превышает среднепланетарные уровни. Наконец, являясь одним из главных природных ресурсов, непременным условием поддержания и развития современной цивилизации, металлы образуют группу наиболее опасных загрязнителей биосферы.

К тяжелым металлам относится более 40 химических элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева, масса атомов которых составляет от 45 и выше атомарных единиц. Эта группа элементов при содержании в организме в микрофазе активно участвует в биологических процессах, входя в состав многих ферментов. Поэтому группу «тяжелых металлов» в некоторых случаях можно отнести к понятию «микроэлементы». Для экзогенных повышенных концентраций элементов термин «микроэлементы» непригоден, в таких случаях обычно применяют термин «тяжелые металлы». Таким образом, под термином «тяжелые металлы» понимают такие элементы, как свинец, цинк, кадмий, ртуть, молибден, марганец, никель, олово, кобальт, титан, медь, ванадий и т.д.

Источники поступления тяжелых металлов делятся на *природные* (выветривание горных пород, минералов, эрозийные процессы, вулканическая деятельность) и *техногенные* (добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, влияние автотранспорта и т.д.). Часть техногенных выбросов, поступающих в окружающую среду в виде аэрозолей, переносится на значительные расстояния и тем самым вызывает глобальное загрязнение.

Интенсивная хозяйственная деятельность создает зоны местного загрязнения тяжелыми металлами или охватывает значительные площади сельскохозяйственных угодий, например, при химизации сельского хозяйства. По количеству содержания примесных элементов в почве определяются уровни их накопления в растениях. Существует тесная положительная корреляция между содержанием элемента в растении и его подвижностью в почве. По степени уменьшения коэффициента накопления тяжёлые металлы образуют следующий ряд: *кадмий > никель > цинк > медь > свинец > кобальт*. Значение коэффициента накопления для различных растений заметно варьирует, что связано с почвенными условиями и биологическими особенностями возделываемых аграрных культур. Хотя пестициды содержат в своём составе тяжёлые металлы: цинк, медь и железо, – они не представляют большой опасности для природной среды из-за малообъёмного их расходования на проведение защитных мероприятий.

Оценка уровня загрязнения почв ТМ основывается на сопоставлении данных их фонового и валового содержания на незагрязненных почвах, не вызывающего отрицательного биологического эффекта и повышения ПДК.

По абсолютному содержанию ТМ в растениях их можно разделить на 3 группы: элементы повышенной концентрации –Cr, Mn, Zn; средней –Cu, Ni, Pb, Сг; низкой – Hg.

При выборе вида растений для проведения детоксикации необходимо учитывать два фактора:

- толерантность различных видов растений по отношению к избытку содержания токсичных веществ в почве и размеры их накопления;
- воздействие не только на живые организмы, обитающие в почвенной толще, но и на культивируемые сельскохозяйственные растения. Высокая концентрация тяжелых металлов, находящихся в лабильном состоянии в почвенном растворе, способствует их поступлению через корневую систему в вегетативные органы возделываемых растений, что отрицательно оказывается на их состоянии. При большом накоплении тяжелых металлов в клетках сначала растения начинают вянуть, а затем погибают.

Показателем негативного воздействия многих элементов и соединений на живые организмы является их токсичность.

*Токсичность и канцерогенность – это свойства элементов и соединений, отрицательно влияющие на живые организмы и приводящие к уменьшению продолжительности жизни.* Количество, при котором химические ингредиенты становятся опасными для окружающей среды, зависит не только от степени загрязнения ими биосфера, то также от химических особенностей этих ингредиентов и от деталей их биохимического цикла. Для сравнения степени токсилогического воздействия химических ингредиентов на различные организмы пользуются молярной токсичностью, на которой основан ряд токсичности, отражающий увеличение молярного количества металла, необходимого для проявления эффекта токсичности при минимальной молярной величине, относящейся к металлу с наибольшей токсичностью.

Глобальный перенос токсикантов происходит через атмосферу и большие реки, несущие воды в океаны, землю, а ложи рек, морей и океанов служат резервуаром для их накопления. Факторами окружающей среды, влияющими на токсичность, являются температура, растворенный кислород, pH, жесткость и щелочность воды, присутствие хелатообразующих агентов и других загрязнителей в воде. Устойчивость живого организма по отношению к токсикантам может быть достигнута:

- 1) при уменьшении их поступления;
- 2) увеличении коэффициента его выделения;
- 3) переводе токсиканта в неактивную форму в результате его изоляции или осаждения.

Токсичность тяжелых металлов для живых организмов определяется как свойствами и уровнем концентраций элементов, так и их миграционной способностью в различных компонентах экосистемы, а также степенью накопления их в органах и тканях. В настоящее

время из 92 встречающихся в природе химических элементов 81 обнаружен в организме животных и человека. При этом многие микроэлементы признаны эссенциальными, то есть жизненно необходимыми. В то же время большинство из них относится к тяжелым металлам, а при высоких концентрациях они проявляют сильную токсичность. Практически каждый элемент в зависимости от концентрации может оказывать положительное или отрицательное воздействие на живые организмы, к которым относится и канцерогенез.

**Канцерогенез — это способность металла проникать в клетку и реагировать с молекулой ДНК, приводя к хромосомным нарушениям клетки.** Канцерогенными веществами являются никель, кобальт, хром, мышьяк, бериллий, кадмий. Различие в канцерогенной активности определяется биодоступностью металлопроизводных: наиболее потенциально активные соединения содержат ионы канцерогенных металлов, способные легко внедряться в клетки и воздействовать на молекулу ДНК.

По мнению Б.А. Ягодина, для комплексной оценки влияния тяжелых металлов для каждого элемента необходимо различать четыре уровня концентрации:

- дефицит элемента, когда организм страдает от его недостатка;
- оптимальное содержание, способствующее хорошему состоянию организма;
- терпимые концентрации, вызывающие начальную депрессию организма;
- губительное содержание для данного организма концентраций.

**Кадмий.** Установлено, что кадмий в ничтожно малых количествах способен стимулировать остроту зрения, активизирует сердечно-сосудистую деятельность, регулирует содержание сахара в крови, но самое незначительное отклонение его от ультрамикродоз отрицательно оказывается на деятельности головного мозга. Он повышает кровяное давление и может быть причиной инсульта и развития онкологических заболеваний. При систематическом потреблении пищи с очень высоким (1 – 2 мг/кг) содержанием кадмия у больных буквально рассыпаются кости от неосторожного резкого движения, иногда даже глубокой вздох может стать причиной перелома ребра. Повышенное содержание кадмия блокирует сульфогидрильные группы ферментов, нарушает обмен железа и кальция, нарушает синтез ДНК. Избыток кадмия в пище вызывает респираторные заболевания и почечную дисфункцию. В настоящее время установлены мутагенные и терратогенные свойства данного элемента. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает предельно-допустимым количеством поступление кадмия 1 мг/кг массы тела в сутки. По чувствительности к кадмию растения располагаются в следующем порядке: томаты < овес < салат < луговые травы < морковь < редька < фасоль < горох < шпинат.

**Цинк.** Цинк обнаруживается во всех тканях организма животного, но больше накапливается в костях. Высокое содержание цинка отмечено в коже, волосяном и шерстяном покровах животных. Он —составная часть ферментов карбоангидразы, участвующей в связывании и выведении из крови диоксида углерода карбоксипептидазы поджелудочной железы и дегидрогеназы глютаминовой кислоты. Клиническими признаками недостатка цинка у детей и подростков является задержка роста и полового созревания, сухая, шерховатая кожа, долго незаживающие раны, повышенная восприимчивость к инфекциям, сонливость, депрессия, жидкий стул. Пониженное содержание цинка в крови может стать причиной ишемической болезни сердца. Установлено, что потребность в цинке возрастает при беременности, лактации и в подростковый период быстрого роста. Патологии, возникающие при избытке цинка в жизнеобеспечивающих средах, связаны большей частью со вторичным дефицитом кальция и других жизненно необходимых элементов. Избыточное поступление цинка в организм человека и животных сопровождается падением содержания кальция в крови и костях, а также нарушением усвоения фосфора, что приводит к развитию остеопороза. Высокие концентрации цинка могут представлять мутагенную и онкогенную опасность. Вдыхание паров оксида цинка вызывает повышение температуры, боли в суставах и мышцах, озноб, кашель и др. (цинковая лихорадка). Среднее

содержание цинка в организме человека составляет 1,4 – 2,3 г. Дневная норма поступления в организм – 10 – 5 мг.

**Медь.**Медь относится к группе жизненно необходимых для организмов элементов. В организме животного медь необходима для нормальной пигментации, формирования нервной ткани, воспроизводительной функции, а также участвует в синтезе гемоглобина, в процессах кроветворения. Повышает клеточную проницаемость. Входит в состав или является активатором ряда ферментов, оказывает влияние на процессы углеводного обмена, активность половых гормонов. Однако при высоких уровнях содержания обладает широким спектром токсичного действия с многообразными клиническими проявлениями. Решающую роль в механизме токсичного действия меди играет способность ионов блокировать SH-группы белков, в особенности ферментов, вызывает отравления. Острая интоксикация ионами Cu<sup>2+</sup> сопровождается выраженным гемолизом эритроцитов. Интоксикации соединениями меди могут сопутствовать аутоиммунные реакции и нарушение метаболизмаmonoаминов. При малых концентрациях (6–15 мг/кг) меди в почве возможна анемия и заболевание костной системы, а избыток – более 60 мг – поражает печень и вызывает желтуху. Суточное потребление меди человеком должно составлять около 2 мг. Клинические признаки недостатка меди вызывают остеопороз, депигментацию волос и кожи, нарушение деятельности центральной нервной системы. Одной из причин гипертонического криза человека является повышенное содержание меди в сыворотке крови, но в то же время медь способствует заживлению ран, помогает при варикозных расширениях вен.

**Мышьяк.**Ядовитое высокотоксичное вещество, который вызывает у человека рак легких, кожные болезни, заболевание крови (белокровие). Ингибитор различных ферментов, отрицательно действует на метаболизм.

**Никель** способствует респираторным заболеваниям, астме, нарушению дыхательной защитной системы, появлению рака носа, легких, врожденные пороки, ингибитор оксидаз, обладает мутагенным свойством.

**Ванадий** приводит к раздражению дыхательных путей, к астме, нервным расстройствам, а также изменению формулы крови.

**Таллий** вызывает нарушение общего обмена веществ, он сильно токсичен по отношению к растениям и животным.

**Избыток бериллия** способствует появлению дерматитов, язв, вызывает воспаление слизистых оболочек.

### 3. Техногенез

Составляющими данных экосистем являются человек, производственный объект и окружающая среда. Подобные системы имеют свои особенности: неадекватность поведения естественных и искусственных объектов, многомерность протекающих в системе процессов. Подобно естественным экосистемам, которые представлены как микроэкосистемы (например, ствол гниющего дерева), мезоэкосистемы (лес, пруд), макроэкосистемы (океан, континент), экосистемы «человек – производственный объект – окружающая среда», могут быть трех уровней: глобальные (крупный промышленный регион), региональные (любое промышленное предприятие), локальные (цех, производственное помещение, рабочее место). Таким образом, предметом исследования инженерной экологии является взаимодействие технологических и природных процессов в промышленно-природных экологических системах «человек–производственный объект–окружающая среда» различных уровней. Для разработки технических методов защиты как человека, так и окружающей среды, некоторыми авторами (Медведев В.Т.) вводится обобщенное понятие *антропогенный производственный фактор (АПФ)* – фактор, способный вызвать негативные изменения здоровья человека, непосредственно занятого в производственном процессе, и антропогенные изменения окружающей среды, подверженной воздействию данного производственного процесса. Природа АПФ определяется физическими, химическими,

биологическими, психофизиологическими свойствами. По действию АПФ на живой организм они определяются следующим образом:

- вредные – при их воздействии на работающих возникают заболевания или снижение работоспособности (например, шум, вибрация, электромагнитные излучения);
- опасные АПФ – их воздействие вызывает у работающих резкое ухудшение здоровья или травмы (электрический ток, различные газы и т.д.);
- особо опасные АПФ – при определенных условиях приводят к промышленной аварии, т.е. катастрофическим последствиям (ионизирующее излучение, пожар, взрыв и выброс большого количества вредных газов).

Выявление и анализ антропогенных производственных факторов, разработка комплекса способов и средств, позволяющих достигнуть гармонизации взаимодействия человека с окружающей средой, являются по существу инженерно-экологическим обеспечением производственного процесса.

Приведем еще одно определение *промышленной (инженерной) экологии* (Иванов Н.И. с соавторами) – это область знаний, изучающая воздействие промышленности и транспорта от отдельного предприятия и транспортного средства до *техносферы* в целом на окружающую среду в целях ее охраны, а также обеспечение рационального природопользования и экологической безопасности населения. *Техносфера* представляет собой совокупность искусственных объектов, созданных целенаправленной деятельностью человека, и природных объектов, измененных этой деятельностью. Техносфера является составной частью ноосферы, построение которой должно стать основной целью мирового сообщества. Все что связано с производственной деятельностью человека, (перестройка биосферы и создание новой планетной оболочки – техносферы) называют *техногенезом*. Антропогенные факторы воздействия на окружающую среду являются результатами техногенеза.

Таким образом, методической основой курса экологии современного производства является научный анализ экологической характеристики современных промышленных процессов: технологии, аппаратурного оформления, сырьевых и вспомогательных материалов, их воздействия на окружающую среду, а также возможного взаимодействия и влияния на человека на всех этих уровнях.

Роль промышленной экологии как науки и курса экологии современного производства, одного из разделов этой науки, весьма важна, с точки зрения разработки стратегии и тактики перехода от насыщенной загрязнениями техносферы к преобразованной человеческой мыслью ноосфере.

Все, что связано с производственной деятельностью человека называется *техногенезом*, созданные в процессе техногенеза или возникшие как побочный результат искусственные (техногенные вещества, включая вышедшую из строя технику и оказывающие определенные воздействия на среду обитания организмов) называются *техногенной продукцией*. Техногенез, являясь антропогенным фактором, различается по объему воздействия на атмосферу, гидросферу, литосферу. Техногенез классифицируется по свойствам и по масштабам воздействия – на локальный, региональный, глобальный; по характеру – на прямой и косвенный; по продолжительности воздействия – на кратковременный, долговременный, постоянный. Классификация по агрегатному состоянию – жидкые, газообразные, твердые; по интенсивности воздействия и по общепринятой классификации – на физические, химические, биологические и психофизические. Именно психофизические факторы служат оценкой степени воздействия промышленных загрязнений, шума, энергоизлучений по их количеству, механизму воздействия. Поскольку система «человек – окружающая среда» замкнутая, любое нарушение баланса в ней может привести к катастрофическим последствиям. Например, в процессе эволюции в природе сложился тепловой баланс, определяемый аккумулированием энергии в органических соединениях и рассеянием ее в виде тепла.

Автотрофные организмы – растения трансформируют солнечную энергию в органические вещества, в отличие от этого процесса человек сжигает органические вещества и получает тепло, т. е. переводит запасенную энергию в тепло. При добыче органических ресурсов человек разрушает почвенный покров, нарушает биологический почвенный комплекс, что способствует деградации почв. Мы выше отмечали, что природные ресурсы используются человеком крайне неэффективно. Следовательно, основная причина отрицательного воздействия производства на окружающую среду состоит не столько в росте масштабов производства, сколько в характере его технологии. Самый мощный средообразующий фактор в современном мире – это деятельность человеческого общества. В погоне за максимальной отдачей вкладываемых средств люди не придают значения последствиям, которые могут возникнуть при этом, или просто не предвидят их. Особенно интенсивным было развитие экономики в последние 50 лет, когда возникла «пропасть между экономистами и экологами» в их восприятии реалий.

По этому поводу Л. Браун (2003) писал: «Экономисты смотрят на беспрецедентный рост мировой экономики, торговли и капиталовложений и полагают, что так будет продолжаться и дальше. Они с обоснованной, как им кажется, гордостью замечают, что масштабы мировой экономики выросли в 7 раз: стоимость товаров и услуг, произведенных в мире, в 1950 г. составляла 6 трлн долл., а в 2000 г. – уже 43 трлн, что позволило поднять уровень жизни на высоту, о которой прежде и не мечтали. Экологи смотрят на тот же рост и понимают, что он является результатом сжигания огромного количества ископаемого топлива, цена на которое искусственно занижена, и что этот процесс ведет к дестабилизации климата на планете. А в будущем они предвидят усиление жары, все более разрушительные шторма, таяние ледников в горах, а также подъем уровня Мирового океана, в результате чего сократиться поверхность суши, в то время как население планеты продолжает расти.

Экономисты видят показатели экономического процветания, а экологи озабочены последствиями, которые влечет за собой экономика, изменяющая климат планеты. Теми последствиями, которые пока нельзя предвидеть». По данным съемок из космоса, на суше сохранилось менее 30% земель, не вовлеченных в техносферу. Этот показатель существенно различается на разных материках, в % : Европа – 15,6 ненарушенных территорий, Африка – 48,9, Антарктида – 100,0, вся суши – 51,9, вся суши без учета ледяных, скальных и оголенных поверхностей 27. Современное состояние биосфера в первую очередь зависит от восьми стран – «экологических тяжеловесов» (Э – 8), которые объединяют более 50% населения Земли, мирового экономического производства, выброса углерода, лесного хозяйства и биоразнообразия. Э – 8 – это США, Россия, Япония, Германия, Китай, Индия, Индонезия и Бразилия (по Флейвин, 1998) На эти страны приходится, в долях, %: 56 в мировом населении; 59 в мировом валовом продукте; 58 в выбросе углерода, 53 в мировых запасах леса. Но внутри этого списка имеются большие различия. На долю США приходится (в выше приведенном порядке) 5, 26, 23 и 6. На долю России – 3, 2, 7, 21, доля Китая – 21, 2, 13, 4, 0,3 – соответственно.

Самые значительные запасы леса в России и Бразилии, большее количество населения в Китае и Индии – 21 и 13, соответственно. Можно сказать, что человек с целью обеспечения своему виду максимального выживания был вынужден пойти по пути техногенного развития, который давал ему неоспоримые преимущества перед любым другим видом живых организмов. Такой путь выбран человеком благодаря высокой степени организации его нервной системы, и прежде всего головного мозга. Степень воздействия человеческой деятельности на природные комплексы возрастает с каждым десятилетием. Для преобразованного человеческой деятельностью мира предложен термин *техносфера*, которая может быть определена как *область проявления технической деятельности человека*. Особенностью техносферы является то, что область жизни в ней постоянно подвергается разнообразным и порой чрезвычайным по мощности залповым воздействиям. В начале эволюции техносферы эти воздействия были направлены практически полностью на живое вещество с целью максимально возможного обеспечения человека пищевыми

ресурсами, т.е. человек как бы навязывал отдельным видам особый техногенный ритм жизнедеятельности. В результате многие виды животных и растений попросту исчезли, выпали из продолжающейся эволюции биосфера. С момента перехода к искусственному воспроизведению пищевых ресурсов (скотоводство и земледелие) человек начал вовлекать в сферу своих экономических интересов другие природные ресурсы – полезные ископаемые, воду и пр. С каждым десятилетием интенсивность хозяйственной деятельности ускоряется. В результате этого биосфера не только изменилась, она изменила свою пространственно-временную структуру и энергетическую сущность, превратившись в область активной технической деятельности, или в техносферу. Однако в связи с нарушением эволюционно выработанного равновесия, выпадением части звеньев, ускорением всех процессов техносфера как система весьма уязвима и крайне неустойчива.

Пример тому – глобальные катастрофы, обрушающиеся на планету в последние десятилетия, лавинообразное исчезновение видов растений и животных (например, в последнее время тараканов, мух, комаров; в зоопарках теперь есть разделы демонстрирующие этих животных, в том числе, блох, вшей), нарастание количества патогенных мутаций, вызывающих и провоцирующих совершенно чуждые человеку заболевания, и т.д. Кроме того, в техносфере появился новый, не свойственный биосфере элемент – *техноМАССА, техновещество*. Техновещество соотносится с биовеществом следующим образом:

Биовещество, т/год Техновещество, т/год  
(на суше) (на суше)

Биомасса  $10^{12}$  ТехноМАССА –  $10^{13} - 10^{14}$

Биопродукция –  $10^{11}$  Технопродукция –  $10^{11} - 10^{12}$

Техновещество обладает огромной геологической активностью и очень быстро изменяет облик планеты. В некоторых крупных промышленных регионах вырабатывается такое количество энергии, что оно практически соизмеримо с интенсивностью потока солнечной энергии. Сравнительная характеристика энергетической мощности биосфера и техносферы.

## 1.6 Лекция 6 (2 часа)

**Тема:** «Биогеохимические пищевые цепи в производстве сельскохозяйственной продукции.»

### 1.6.1 Вопросы лекции

1. Биоконверсия в системе «Почва – Растение – Животное – Продукция».
2. Почвенно-биотический комплекс – целостная материально-энергетическая подсистема био-агроценозов.
3. Нормированное содержание химических элементов в почве. Биогеохимические подходы к проведению агробиологического мониторинга.
4. Средовые факторы повреждения генома.
5. Аккумуляция мутагенов в растениях и организме животных.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Биоконверсия в системе «Почва – Растение – Животное – Продукция».

**Биоконверсия** – процесс превращения веществ с участием живых организмов, точнее процесс превращения одних соединений в другие при участии ферментных систем живых организмов.

Особенности биоконверсии:

- идет превращение веществ-субстратов в структурно-родственные соединения (под воздействием ферментов органические вещества превращаются в родственные им по структуре вещества);

- не идет полная деградация субстрата, присутствует лишь незначительные его изменения, которые приводят к получению целевого продукта (это связано с ограниченным числом ферментных реакций, т.е., если есть несколько субстратов: S1, S2, ..., Sn, но есть только один вид фермента, то будет идти превращение только одного вида).

Реакции, катализируемые ферментами:

- окисление;
- гидролиз;
- декарбоксилирование;
- дегидрирование;
- гидрирование;
- метилирование;
- деметилирование;
- изомеризация;
- ацелирование;
- восстановление;
- фосфорелирование;
- галагенирование.

Виды процессов биоконверсии:

1. Одноступенчатые:

- брожение (продуктами являются спирты и органические кислоты);
- изомеризация (превращение глюкозы во фруктозу);
- получение стероидных гормонов (из гидрокортизона получают преднизалон).

2. Многоступенчатые (требуются смешанные культуры микроорганизмов или последовательное, многостадийное добавление штаммов микроорганизмов):

- получение кормового белка;
- получение БАВ: гормоны, антибиотики, витамины;
- биоконверсионная очистка сточных вод;
- вермикультурирование (природная **биоконверсия**).

Преимущества биоконверсионных превращений в сравнении с химическими:

- получаются продукты точно химически заданного состава, без побочных включений;
- необходимые катализаторы синтезируются клетками микроорганизмов, что уменьшает число стадий производства, что в свою очередь влечет за собой удешевление;
- высокая специфичность реакций (протекает только один тип реакций);
- стереоспецифичность (образуются соединения родственные по структуре);
- мягкие условия протекания реакций;
- энергетически выгодно (т.к. мягкие условия, то реакции протекают при низких температурах, т.е. идут малые затраты энергии, при значительной скорости процесса);
- большое КПД целевых веществ (93-100%);
- возможность использования иммобилизованных клеток-микроорганизмов, которые более стабильны чем ферменты, как следствие увеличивается эффективность процесса и падает его цена);
- в результате очистки загрязнений (биоразрушения) не появляется второй загрязняющий агент.

Использование продукции **биоконверсии**:

1. Фармация, медицина (инсулин, преднизалон, соматотропин).
2. Пищевая промышленность (пищевой и кормовой белок, клеточная биомасса дрожжей, водоросли, грибы).
3. Очистка окружающей среды (вод) и ограничение загрязнений бытовыми и сельскохозяйственными отходами (от нефти). Большинство веществ может удаляться с помощью ана-, аэробных микроорганизмов в результате *биоконверсии* (брожение, метаногенез, ацетогенез).

4. Сельское хозяйство (биодеградация пестицидов в почве, биоразрушения ядохимикатов, использование натуральных удобрений).

Биоконверсионные разрушения могут внести большой вклад в решение комплексных экологических проблем. Хотя надо помнить, что экологическая проблема – это в первую очередь философская проблема – человек ее должен осознать, пропустить через себя.

#### Виды химических удобрений

##### 1. Азотные:

- Аммиачные;
- Нитратные;
- Аммиачно-нитратные;
- Амидные.

##### 2. Фосфорные:

- Суперфосфат;
- Фосфатшлак;
- Фосфорная мука;
- Обесфтореный фосфат.

##### 3. Калийные:

- Калий хлорид;
- Калийная селитра;
- Калий сульфат;
- Калимагнезия.

#### Загрязнения происходят из-за:

- использования больших доз минеральных удобрений;
- примесей в удобрениях (в частности, тяжелые металлы).

#### Применение натуральных удобрений

Бесхребетные дробят растительный материал, увеличивая общую поверхность и тем самым содействуют размножению микроорганизмов. Пропуская измельченную еду через пищеварительный тракт, бесхребетные изменяют и увлажняют ее при пищеварении, т.е. создают более оптимальные условия для развития микроорганизмов. Также в кишечнике червяков присутствуют микроорганизмы *Bacillus agglomeratus*, которые способны извлекать нитросоединения из белков. Червяки, также, выделяют витамин D и витамины группы В (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub>). Окислительные ферменты выделяемые червяками в грунт, обогащают его, увеличивая тем самым число активных веществ (ауксины, гибберелины), которые ускоряют прорастание зерен, значительно уменьшают стресс растений и увеличивают устойчивость к заболеваниям.

При использовании биогумуса уменьшается содержание нитратного азота, при необходимом обеспечении витаминами. Также установлено положительное влияние вермикомпоста на нормализацию содержания нитратов и микроэлементов в зерне, благодаря повышенной активности пироксидазы в листах и зерне зерновых культур. Биогумус смягчает действие гербицида, восстанавливает биологические процессы в грунте, загрязненном тяжелыми металлами, которые связываются в малодоступные растительные комплексы. Биогумус также уменьшает уровень радиации в разных органах растений, в том числе и в плодах.

#### Преимущества биогумуса:

- большая влагоемкость;
- гидрофильность;
- механическая прочность (ходы червяков);
- отсутствие семян бурьяндов;
- большое содержание БАВ (фитогормонов);
- большое разнообразие полезной микрофлоры;
- пролонгированное действие;
- оптимальная реакция среды для развития растений.

Благодаря этим преимуществам увеличивается плодородность грунта, активизируются процессы роста и увеличивается урожайность культур.

Вермикомпости кроме того, что экологически полезны ещё и экономически выгодны: из 1 тонны отходов можно получить около 600 кг экологически чистого удобрения, полученную биомассу червей можно применить как кормовую добавку или лекарственные препараты.

Вермикультивирование позволяет на биологической основе решать актуальные экологические проблемы:

- утилизация органических отходов;
- увеличение плодородности грунта;
- получение высококачественного экологически чистого органического удобрения.

## **2. Почвенно-биотический комплекс – целостная материально-энергетическая подсистема био-агроценозов.**

Почвенная биота. Почва — сложнейшая система, одним из основных функциональных компонентов которой являются населяющие ее живые организмы. От деятельности этих организмов зависят характер и интенсивность биологического круговорота веществ, масштабность и интенсивность фиксации основного биогенного элемента — атмосферного азота, способность почвы к самоочищению и пр. Многие ученые обращали внимание на преобладающую роль биохимических процессов в почве, связывали урожайность сельскохозяйственных культур с активным функционированием микроскопических почвенных существ.

**Состав ПБК.** Принято считать, что верхний слой почвы в целом состоит из минеральной субстанции (93 %) и органического вещества (7 %). В свою очередь, органическое вещество включает мертвое органическое вещество (85 %), корни растений (1 %) и эдафон (5 %). В структуру эдафона входят бактерии и актиномицеты (40 %), грибы и водоросли (40 %), дождевые черви (12%), прочая микрофауна (5 %) и мезофауна (3 %).

Масса бактерий составляет примерно 10т/га; такую же массу имеют микроскопические грибы; масса простейших достигает порядка 370 кг/га и т. д. На 1 га пашни приходится 250 тыс. дождевых червей (50... 140 кг/га), на 1 га пастбища-500... 1575 тыс. (1150...1680 кг/га), на 1 га сенокосных угодий — 2...5,6 млн (более 2 т/га). Среди животных организмов биосфера обитатели почвы характеризуются наибольшей биомассой. Исходя из предположения, что в среднем биомасса почвенной фауны составляет 300 кг/га, на площади 80 млн км<sup>2</sup> почвенного покрова Земли (без пустынь) суммарная биомасса почвенных животных всего земного шара составляет 2.5 млрд т. Деятельность почвенной фауны, или педофауны, состоит в разложении опада на комплексные органические производные (первоначальная функция дождевых червей); эти соединения затем переходят к бактериям, актиномицетам, почвенным грибам, высвобождающим из органических остатков исходные минеральные компоненты, которые опять ассимилируются продуцентами. От деятельности почвенной биоты зависит плодородие почвы, ее «здравье», качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды. Знание особенностей функционирования ПБК в различных экологических условиях принципиально важно для создания продуктивных и устойчивых агробиосистем производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и минимизации загрязнения биосферы.

## **3. Нормированное содержание химических элементов в почве. Биогеохимические подходы к проведению агробиологического мониторинга.**

Установление их предельно допустимых количеств (ПДК). Нормирование — одно из наиболее существенных мероприятий в системе охраны почв от химического загрязнения.

**Норматив гигиенический** — качественный или количественный показатель, соблюдение которого гарантирует безопасные или оптимальные условия существования

человека (например, норма жилой площади на одного члена семьи, нормативы качества питьевой воды, воздуха, предельного содержания загрязнителей в почве).

Норматив экологический степень максимально допустимого вмешательства человека в экосистемы, сохраняющая возможность их полноценного развития, т.е.. не ведущая к их деградации.

**ОБМЕН ИОННЫЙ** — процесс эквивалентного обмена находящихся в почвенном поглощающем комплексе катионов и анионов на катионы и анионы взаимодействующего с твердыми фазами почвы раствора.

**ОБЪЕМ НЕРАСТВОРИЮЩИЙ** — часть почвенной влаги, прочно связанная на поверхности частиц почвы; может быть выражен в массовой доле, в объемных процентах.

**О gleение** — более или менее плотная суглинистая или глинистая порода серого цвета с зеленоватым оттенком, формирующаяся в условиях длительного переувлажнения. Термины «глей» и «оглеение» были введены в научную терминологию Г. Н. Высоцким, который впервые указал на биохимическую природу глеообразования.

**Окисление** — реакция, широко распространенная в зоне выветривания. Окислению подвергаются многочисленные минералы, содержащие закисное железо или другие способные к окислению элементы. Характерным примером окислительных реакций при выветривании может служить взаимодействие сульфидов с молекулярным кислородом в водной среде.

В почве широко развиты окислительно-восстановительные процессы, и в этом отношении ее можно рассматривать как сложную окислительно-восстановительную систему. Один из распространенных подходов к определению критических точек основан на предположении, что критерием нормального состояния экосистемы является нормальный закон распределения ее переменных. В этом случае максимальные и минимальные критические значения ( $X_{kp}^{max}$  и  $X_{kp}^{min}$ ) находятся из соотношения

$$\Phi\left(\frac{X_{kp}^{min} - X_{kp}^{max}}{\sigma_x}\right) = \frac{1 - P(a)}{2},$$

где  $\Phi$  — функция нормированного нормального распределения;  $\sigma_x$  — среднеквадратическое отклонение;  $P(a)$  — вероятность соответствия нормальному закону (обычно  $P$  принимается равным 0,8; 0,95 или 0,99). Для малого числа наблюдений критические значения могут быть определены следующим образом:

$$X_{kp}^{max} = X_{cp} + k\sigma_x \text{ и } X_{kp}^{min} = X_{cp} - k\sigma_x.$$

Где  $k$  — толерантный множитель, используемый в математической теории надежности (его значения табулированы для данного  $P(a)$  и числа наблюдений);  $X_{cp}$  — среднее значение параметра.

В соответствии с основными положениями биогеохимии и геохимической экологии, организмы и биоценозы эволюционно адаптировались к химическим факторам среды. Из этого следует, что существующие в настоящее время средние концентрации металлов в

#### 4. Средовые факторы повреждения генома.

##### Механизм действия повреждающих факторов на организм

Приспособительное реагирование на изменяющиеся условия существования — одно из замечательных свойств живых организмов. В основе его лежит пластичность организма, способность к приспособительным биохимическим изменениям. Это проявляется на всех уровнях биологической организации: от одноклеточных простейших до человека, от клетки и ее субклеточных структур до целостного организма.

Биохимическая структура всякой клетки и ткани определяется информацией, заложенной в геноме клеток. Качественный состав и величина содержания структурных и ферментных белков определяются геномом, а интенсивность синтеза — условиями

существования. В свою очередь состояние ферментных систем и изменения концентрации субстратов и продуктов реакций обмена веществ регулируют расходование и синтез белковых компонентов клетки. Однако в каждый данный момент возможности синтеза как белков, так и небелковых веществ реализуются не полностью. Синтез тех или иных белков может быть ограничен репрессированием определенных участков генома, но может усиливаться в результате дерепрессии или индукции, вызванной повышением функциональной активности клетки или повреждающего ее воздействия.



Рис.1. Расщепление и синтез белков при действии повреждающих факторов среды

Увеличение расщепления клеточных белков под влиянием изменения условий существования, а также концентрации продуктов обмена веществ, расходование небелковых веществ, снижение их концентрации, вызывая изменения активности ферментов, могут усиливать синтез этих веществ и повышать их концентрацию в клетке. Как видим, повреждающий фактор оказывает влияние на клеточные структуры и ферменты. Первые при этом в той или иной мере нарушаются, а вторые активируются. Под действием ферментов усиливается расходование источников энергии, а освободившиеся из клеточных структур белки в какой-то мере подвергаются расщеплению. Расщепляясь при этом могут и сами ферменты. То и другое приводит к возрастанию концентрации метаболитов, которые нередко являются для генетического аппарата индукторами и дерепрессорами, т. е. способствуют отщеплению от гена репрессоров, ограничивающих синтез белков, и запускают процесс синтеза. В результате этого усиливается построение структурных и ферментных белков и восстанавливаются клеточные структуры.

### Механизм действия повреждающих факторов

Д.Н. Насонов и его сотрудники установили, что при повреждении клетки или даже при обратимом изменении ее функции и строения под влиянием повреждающего агента происходят обратимая денатурация тех или иных клеточных белков в результате нарушения в них различных связей, за исключением ковалентных, и изменения формы молекул, а также разрыхление их. При этом химически активные группы, например карбоксины и аминогруппы, которые находились внутри клубка белковой молекулы и были вовлечены в

образование нековалентных связей, могут размаскировываться. Освободившись, эти группы увеличивают возможности новых взаимодействий как внутри самой белковой молекулы, так и с другими молекулами. Кроме того, белковые молекулы с измененными высшими структурами становятся более легкодоступными действию расщепляющих их ферментов — протеиназ. Этому способствует и происходящий сдвиг реакции внутренней среды в кислую сторону, так как большинство протеиназ имеет оптимум рН в области кислых реакций. Усиливаются расщепление гликогена с образованием в конечном итоге молочной кислоты и гидролиз фосфолипидов. Последнее наряду с изменениями состояния белков неблагоприятно отражается на проницаемости клеточных и субклеточных мембран: она возрастает, низкомолекулярные вещества и ряд белков выходят в межклеточное пространство.

При систематическом действии альтерирующего агента, если сила его не очень велика и не вызывает необратимых изменений, постепенно повышаются устойчивость клетки к альтериющему фактору и адаптация к нему на молекулярном и клеточном уровнях. В реализации этого приспособления главную роль играют клеточные белки. Стойкость клетки к повреждающим агентам тем выше, чем больше ее возможности в отношении синтеза белков. Мало того, из клеток, приспособившихся к тому или иному повреждающему фактору, удалось выделить белки, более устойчивые к действию последнего. Все эти изменения белков, видимо, и лежат в основе прежде всего.

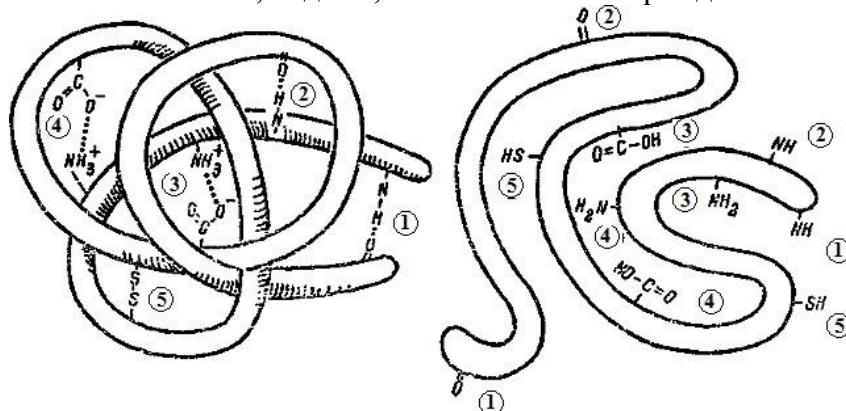


Рис.2. Схематическое изображение вы свобождения химически активных групп при обратимой денатурации белковой молекулы и разрыве водородных, ионных и дисульфидных связей

*1-5 — внутримолекулярные связи и активные группы, страдающие при их разрушении*

Тем не менее, даже на молекулярном и клеточном уровнях, характер изменений, возникающих при альтерации, зависит от природы и характера альтерирующего агента, и это является основой специфического приспособления. Различия становятся еще большими, когда мы поднимаемся от клетки к более высоким степеням организации: к ткани, органу, функциональной системе и к организму как целому. Благодаря наличию универсальных связей организм реагирует на изменения условий среды как сложноинтегрированная система, обеспечивающая наиболее эффективное уравновешивание его со средой. Поэтому при приспособлении организма к изменениям условий существования наряду с общим, неспецифическим повышением устойчивости все более проявляются черты специфического приспособления. Первые являются основой и реализуются только на молекулярном и клеточном уровнях, а вторые возникают в результате коррекций, вносимых в первые высшими ступенями организации, организмом как целым, регулируемым и координируемым нервной системой, и происходят не только на молекулярном и клеточном уровнях, но и на уровне функциональных систем и целостного организма.

Мы уже говорили о том, что действие альтерирующих факторов всегда вызывает усиление катаболических процессов, т. е. расщепление сложных химических соединений на более простые. В биохимии есть правило, установленное выдающимся советским биохимиком В. А. Энгельгардтом: всякая реакция расщепления вызывает или усиливает реакцию, производящую ресинтез. Поэтому уже во время действия альтерирующего фактора

усиливаются и биосинтетические процессы — приспособительный синтез структурных и ферментных белков и восстанавливаются запасы источников энергии, расходуемые во время действия вредных факторов окружающей среды.

## 5. Аккумуляция мутагенов в растениях и организме животных.

АККУМУЛЯЦИЯ ВЕЩЕСТВ ОРГАНИЗМАМИ - накопление в организмах минеральных элементов и некоторых соединений, находящихся в окружающей среде в низких концентрациях.

В живых организмах содержится 0,3 % азота, 0,07 % фосфора, 0,05 % серы, в золе растений — 7 % фосфора и 5 % серы. Азот накапливается преимущественно в живых организмах и почвах, но не в осадочных или изверженных породах. Это обусловлено неустойчивостью соединений азота вне живых организмов, их быстрым разложением, минерализацией и активной миграцией в биосфере. В почвах азот связан с живым органическим веществом или гумусом. Фосфор и сера образуют труднорастворимые соединения, в том числе гипс, фосфориты. Пройдя через стадию аккумуляции в организмах, они накапливаются не только в толще почв, но и в осадочных породах.

Органическое вещество разными путями покидает биосферу и формирует глобальный запас мертвой органической массы, которую можно назвать некросферой. Одна из ее фракций приведена в табл. 5-3 как подстилка на поверхности почвы сообществ суши. Количество подстилки на единицу площади убывает от влажных к сухим местообитаниям (поскольку в этом же направлении убывает продуктивность) и от холодного к теплому климату (поскольку в теплом климате быстрее протекает ее разложение). Общая масса подстилки, по-видимому, значительно меньше, чем «живая» биомасса суши (с включением в живую массу древесины стволов и мертвых сучьев на живом стволе), и примерно равна чистой годовой первичной продукции. Масса гумуса в почве варьирует, и ее трудно оценить, но полагают, что она много больше массы подстилки и, возможно, в глобальном масштабе имеет порядок от 2 до  $3 \times 10^{12}$  т. Имеются и другие, значительно большие вместилища органического вещества. Подсчитано, что оно составляет  $10 \times 10^{12}$  т.) Органические массы содержатся также в ископаемом топливе: в нефти ( $5 \times 10^{12}$  т) и угле ( $5 \times 10^{12}$  т). Ископаемое топливо — это результат аккумуляции чистой продукции экосистем в прошедшие геологические времена. Нефть, возможно, формировалась и жира диатомей и других морских организмов, которые постепенно аккумулировались в отложениях на дне океанов, где химические процессы преобразовывали их в углеводороды. Последние накапливались в некоторых горизонтах, откуда человек и извлекает сегодня нефть при помощи скважин. Угли формировались в больших заболоченных лесах из деревьев вымерших типов в условиях, когда их ткани не могли разлагаться, подобно тому, как это происходит в современных лесах. Некоторая часть чистой продукции экосистем может и сегодня накапливаться как жиры, представляющие ступень к превращению в нефть, и как отложения торфа в болотах, однако возможности для образования угля в современных лесах отсутствуют полностью. [...] Поскольку живые организмы обладают способностью биоаккумуляции загрязнений, в том числе и радиоактивных изотопов

Бг-90 и Се-137 — новые вещества, которые не существовали в природе до того, как человек расщепил атом. Они характеризуются длительными периодами полураспада. Аккумуляция этих радиоактивных изотопов в организме человека создает постоянный источник облучения, приводящего к канцерогенезу.

Все преобразования веществ в процессе круговорота требуют затрат энергии. Ни один живой организм не продуцирует энергию — она может быть получена только извне. В современной биосфере главнейший источник энергии, утилизируемой в биогенном круговороте, — это энергия солнечного излучения. Соответственно первый этап использования и преобразования энергии в цепях круговорота — фотосинтез, в процессе которого создаются вещества для построения тела растительного организма. Энергия,

полученная в виде солнечной радиации (ФАР), в процессе фотосинтеза преобразуется в энергию химических связей. Процесс аккумуляции энергии в организме фотосинтетиков сопряжен с увеличением массы организма. Массу веществ, созданных продуцентом-фотосинтетиком, обозначают как первичную продукцию; это биомасса растительных тканей.

В результате круговорота веществ происходит непрерывное перемещение химических элементов из живых организмов в неживую природу и обратно. Круговорот веществ включает два противоположно направленных процесса, связанных с аккумуляцией элементов в живых организмах и минерализацией в результате их разложения. Причем на поверхности земли преобладает образование живого вещества, а в почве и морских глубинах — минерализация.

В почвообразовании участвуют 3 группы организмов — зеленые растения, микроорганизмы и животные, образующие на суще сложные биоценозы. При совместном воздействии организмов в процессе их жизнедеятельности, а также за счет продуктов жизнедеятельности осуществляются важнейшие звенья почвообразования — синтез и разрушение органического вещества, избирательная концентрация биологически важных элементов, разрушение и новообразование минералов, миграция и аккумуляция веществ и другие явления, составляющие сущность почвообразовательного процесса и определяющие формирование главного свойства почвы — плодородия.

Вопрос установления ПДК загрязняющих веществ в почвах весьма сложен. С одной стороны, почвенный покров — среда, гораздо менее подвижная, чем поверхностные воды и атмосфера, и аккумуляция поступающих в почву химических соединений может происходить в течение долгого времени, постепенно приближаясь к предельно допустимым концентрациям. С другой стороны, активная микробиологическая жизнь почв и протекающие в ней физико-химические процессы способствуют трансформации посторонних веществ, поступающих в почву. В отличие от воздуха и воды почвы отличаются друг от друга по химическому составу и свойствам. Для них не могут быть установлены унифицированные уровни ПДК, и поступление вредных веществ в организм человека и животных непосредственно из почвы происходит в исключительных случаях в незначительных количествах.

## 1.7 Лекция 7 (2 часа)

**Тема:** «Наследственно-средовые, мультифакторные забавления и аномалии животных»

### 1.6.1 Вопросы лекции

1. Мутации – основной источник наследственных болезней и аномалий.
2. Мутационный процесс. Типы мутаций. Карцерогенез.
3. Увеличение генетического груза в потомстве: спонтанные abortionы, мертворождения, перинатальная смертность, наследственные заболевания, заболевания наследственной предрасположенностью.

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Мутации – основной источник наследственных болезней и аномалий.

Многие мутации являются причиной наследственных заболеваний, которых насчитывается около 2000. Изучение и возможное предотвращение последствий генетических дефектов человека – предмет медицинской генетики. Это так называемый «генетический груз» популяций людей.

Рассмотрим роль генных мутаций в формировании наследственных заболеваний.

Генные мутации называют ещё точковыми мутациями. Они обусловлены изменением молекулярной структуры ДНК. В соответствующем участке ДНК эти изменения касаются нуклеотидов, входящих в состав гена. Такие изменения нуклеотидного состава гена могут быть 4-х типов:

1. Вставка нового нуклеотида
2. Выпадение нуклеотида
3. Перестановка положения нуклеотидов
4. Замена нуклеотидов.

Любое из перечисленных изменений приводит к изменению триплета (триплетов) в мРНК, а это влечёт за собой изменение состава аминокислот в полипептиде, т.е. приводит к нарушению синтеза нормальной молекулы белка. Например:

Много сведений об изменении гена дало исследование гемоглобина. Было установлено, что при тяжёлом заболевании – серповидноклеточной анемии – эритроциты содержат аномальный гемоглобин (HbS) и имеют необычную, отличающуюся от нормальной форму. Нормальный гемоглобин (HbA) содержит четыре полипептидные цепи (две так называемые  $\alpha$ - и две  $\beta$ -цепи, а  $\beta$ -цепи HbS не отличаются от  $\beta$ -цепей HbA) Различие HbA и HbS заключается лишь в замене одного аминокислотного остатка, а именно глютаминовой кислоты, на валин в шестом положении  $\beta$ -цепи.

Последовательность аминокислот в начальном участке  $\beta$ -цепи нормального (HbA) изменённого (HbS) гемоглобина следующая:

	1	2	3	4	5	6	7	8
HbA	Вал...	Гис...	Лей...	Тре...	Про...	Глю...	Глю...	Лиз...
HbS	Вал...	Гис...	Лей...	Тре...	Про...	Вал...	Вал...	Лиз...

Глютамированную кислоту кодирует в мРНК триплет ГАГ. Изменения в мРНК, ответственное за включение валина вместо глютаминовой кислоты, состоит в замене одного нуклеотида, а именно А на У, вследствие чего получается триплет ГУГ, кодирующий валин. На этом основании можно заключить, что в структурном гене ДНК, кодирующем  $\beta$ -цепь гемоглобина, семнадцатый нуклеотид, в норме представленный Т, заменён на А.

Наследственных болезней, вызванных генными мутациями, насчитывается около 1500. Их условно подразделяют на: болезни обмена веществ и молекулярные болезни.

Болезней обмена веществ насчитывается около 600, они затрагивают изменения аминокислотного, углеводного и липидного состава клетки. Некоторые мутации вызывают возникновение даже злокачественных образований.

Признак	Характер наследования	
	Доминантный	рецессивный
Обмен веществ:		
аминокислотный		Альбинизм Фенилкетонурия
углеводный		Галактоземия Мукополисахаридозы (гарготилизм)
липидный		Амавротическая семейная идиотия (болезнь Тея-Сакса)
Злокачественные заболевания		Глиома сетчатки глаза Врождённый ихтиоз
	Нейрофиброматоз	

Из этой таблицы явствует, что генные заболевания могут наследоваться как по аутосомно-доминантному, так и по аутосомно-рецессивному типу.

По доминантному типу передаётся нейрофиброматоз, – хроническое заболевание, характеризующееся множественным образованием опухолей нервных стволов. Такие опухоли могут локализоваться в любых органах и тканях (в том числе и в ЦНС), но чаще всего они встречаются на коже, где имеют вид пигментированных бородавок с избыточным ростом волос. К симптомам заболевания относится даже отставание физического и умственного развития.

По рецессивному признаку передаётся фенилкетонурия (болезнь Феллинга) – резкое повышение содержания в крови и ликворе аминокислоты фенилаланина и превращение её в ряд продуктов, например в фенилпировиноградную и фенилмолочную кислоты. В отличие от гомогентезиновой кислоты, которая не оказывает явного неблагоприятного влияния на ткани мозга, продукты, образующиеся при фенилкетонурии, оказываются крайне токсичными. Поэтому у детей при этой патологии наблюдается резко выраженная умственная отсталость. Заболевание выражается также в снижении количества пигмента меланина, поэтому больные всегда выглядят, как голубоглазые блондинки со светлой кожей. В настоящее время диагноз можно поставить при рождении ребёнка экспресс-методом: на смоченную мочой плёнку наносят 5 капель 10% раствора  $FeCl_3$  или добавляют в 1мл подкислённой мочи (при заболевании наблюдается быстро проходящее потемнение).

Галактоземия – нарушение углеводного обмена. Она обусловлена нарушением деятельности печени, накоплением в тканях (в том числе и крови) галактозы. Без лечения развивается цирроз печени; в патологический процесс вовлекаются и другие жизненно важные органы. В конечном итоге болезнь приводит к слабоумию и ранней смерти. В начале жизни, как только новорождённый начинает получать молоко, наблюдается желтуха, рвота, диспепсические расстройства, падение массы тела. При ранней диагностике детей до трёхлетнего возраста переводят на безмолочное вскармливание, т. е. исключают продукты, содержащие галактозу. Такие дети развиваются нормально и отклонений в психике у них не наблюдается. Носительство гена, вызывающего заболевание, т. е. число гетерозигот, составляет в среднем 1:70 000.

Аномалии, связанные с нарушениями распада некоторых углеводосодержащих соединений, вызывают развитие мукополисахаридозов (гаргоилизмы). При этих заболеваниях поражена соединительная ткань, а следовательно, страдают опорно-трофические функции и моторика. Доля больных мукополисахаридозом характерно уродливое телосложение (дети напоминают уродцев – гаргоидов), наличие множественных пороков внутренних органов (печени органов, сердца, аорты, нервной системы) и глаз.

Нарушение липидного обмена – амавротическая идиотия (болезнь Тея-Сакса), связанная с отсутствием фермента гексосаминидазы А – тяжёлое расстройство нервной системы. Эту болезнь можно обнаружить лишь во второй половине первого года жизни ребёнка, когда наблюдается прогрессирующее отставание физического развития, нарушение зрения и интеллекта. В дальнейшем больной слепнет, развивается слабоумие и полная беспомощность. Тяжёлые симптомы нарастают, что приводит к смерти ребёнка до 4 – 5 лет.

Молекулярные болезни лучше всего изучены на элементах крови. Известно около 50 наследственных болезней крови. Некоторые из них наследуются по типу неполного доминирования. Например два вида гемоглобингопатий: серповидноклеточная анемия и талассимия (болезнь Кули). Гемоглобинопатии выражаются в гемолизе – в распаде аномальных эритроцитов. При этом наблюдается кислородное голодание, приступы лихорадки колики типа желчнокаменных и др. симптомы, которые могут закончиться смертью. Особенно тяжело эти заболевания протекают у гомозигот по данному признаку.

Ген серповидноклеточной анемии S, ответственный за синтез аномального гемоглобина HbS, приводит к образованию ненормальной серповидной формы эритроцитов.

## 2. Мутационный процесс. Типы мутаций. Карцерогенез.

При хромосомных мутациях происходят крупные перестройки структуры отдельных хромосом. В этом случае наблюдаются потеря (делеция) или удвоение части (дупликация) генетического материала одной или нескольких хромосом, изменение ориентации сегментов хромосом в отдельных хромосомах (инверсия), а также перенос части генетического материала с одной хромосомы на другую (транслокация) (крайний случай – объединение целых хромосом, т. н. Робертсоновская транслокация, которая является переходным вариантом от хромосомной мутации к геномной).

Числовые мутации кариотипа подразделяются на гетероплоидию, анеуплоидию, полиплоидию.

Гетероплоидия обозначает общее изменение числа хромосом по отношению к диплоидномуному набору.

Об анеуплоидии говорят в тех случаях, когда число хромосом в клетке увеличено на одну (трисомия) или более (полисомия) или уменьшено на одну (моносомия). Употребляют также термины «гиперпloidия» и «гипопloidия». Первый из них означает увеличенное число хромосом в клетке, а второй – уменьшенное.

Полиплоидией называют увеличение числа полных хромосомных наборов в четное или нечетное число раз. Полиплоидные клетки могут быть триплоидными, тетраплоидными, пентаплоидными, гексаплоидными и т.д.

Согласно теории Вирхова, патология клетки лежит в основе любой болезни. Канцерогенез – последовательный, многоступенчатый процесс накопления клеткой изменений ключевых функций и характеристик, приводящих к ее озлокачествлению. Клеточные изменения включают нарушения регуляции процессов пролиферации, дифференцировки, апоптоза и морфогенетических реакций. В результате клетка приобретает новые качества: иммортализацию ("бессмертие", т.е. способность к неограниченному делению), отсутствие контактного ингибирования и способность к инвазивному росту. Кроме того, опухолевые клетки получают способность избегать действия факторов специфического и неспецифического противоопухолевого иммунитета организма хозяина. В

настоящее время ведущая роль в индукции и промоции канцерогенеза принадлежит генетическим нарушениям. Около 1% генов человека ассоциированы с канцерогенезом.

4 стадии канцерогенеза:

1. Стадия инициации (изменение клеточных онкогенов, выключение генов-супрессоров)  
3 фазы:

- Фаза метаболической активации( превращение проканцерогенов в канцерогены)
- Фаза взаимодействия с ДНК ( прямой и непрямой генотоксический эффект)
- Фаза фиксации индуцированных изменений (повреждения ДНК должны проявиться в потомстве клеток-мишеней, способных давать пролиферативный пул.)

2. Стадия промоции

І(ранняя) фаза- перестройка фенотипа, происходящая вследствие эпигенетических изменений (т.е. генной экспрессии), индуцированных опухолевым промотором.

Изменение генной экспрессии, что дает возможность клетке функционировать в условиях пониженного синтеза генных продуктов.

ІІ (поздняя) фаза - представляет собой качественно-количественные изменения, охватывающие период функционирования клетки в условиях переключения генной активности, завершающийся образованием неопластически трансформированных клеток (неопластическая трансформация — проявление признаков, характеризующих возможность клеток к неограниченной пролиферации и дальнейшей профессии, т.е. накоплению злокачественного потенциала

3. Стадия прогрессии: разработана L.Foulds в 1969 г. Происходит постоянный стадийный прогрессирующий рост опухоли с прохождением ею ряда качественно отличных стадий в сторону повышения ее злокачественности. В ходе прогрессии опухоли может происходить ее клональная эволюция, появляются новые клоны опухолевых клеток, возникающие в результате вторичных мутаций. Опухоль постоянно изменяется: происходит прогрессия, как правило, в сторону повышения ее злокачественности, которая проявляются инвазивным ростом и развитием метастазов.

Стадия *инвазивной опухоли* характеризуется возникновением инфильтрирующего роста. В опухоли появляются развитая сосудистая сеть и строма, выраженная в различной степени. Границы с прилежащей неопухолевой тканью отсутствуют из-за прорастания в нее опухолевых клеток. Инвазия опухоли протекает в три фазы и обеспечивается определенными генетическими перестройками.

Первая фаза *инвазии опухоли* характеризуется ослаблением контактов между клетками, о чем свидетельствуют уменьшение количества межклеточных контактов, снижение концентрации некоторых адгезивных молекул из семейства CD44 и других и, наоборот, усиление экспрессии прочих, обеспечивающих мобильность опухолевых клеток и их контакт с экстрацеллюлярным матриксом. На клеточной поверхности снижается концентрация ионов кальция, что приводит к повышению отрицательного заряда опухолевых клеток. Усиливается экспрессия интегриновых рецепторов, обеспечивающих прикрепление клетки к компонентам экстрацеллюлярного матрикса - ламинину, фибронектину, коллагенам.

Во второй фазе опухолевая клетка секретирует протеолитические ферменты и их активаторы, которые обеспечивают деградацию экстрацеллюлярного матрикса, освобождая тем самым ей путь для инвазии. В то же время продукты деградации фибронектина и ламинина являются хемоаттрактантами для опухолевых клеток, которые мигрируют в зону деградации в ходе третьей фазы инвазии, а затем процесс повторяется снова.

4. Стадия метастазирования - заключительная стадия морфогенеза опухоли, сопровождающаяся определенными гено- и фенотипическими перестройками опухоли. Процесс метастазирования связан с распространением опухолевых клеток из первичной опухоли в другие органы по лимфатическим и кровеносным сосудам, периневрально, имплантационно, что стало основой выделения видов метастазирования. Процесс метастазирования объясняется теорией метастатического каскада, в соответствии с которой

опухолевая клетка претерпевает цепь (каскад) перестроек, обеспечивающих распространение в отдаленные органы.

### **3. Увеличение генетического груза в потомстве: спонтанные аборты, мертворождения, перинатальная смертность, наследственные заболевания, заболевания наследственной предрасположенностью.**

Болезни с наследственной предрасположенностью, в отличие от генных болезней, обусловлены как наследственными, так и, в значительной степени, факторами внешней среды. Эта группа болезней в настоящее время составляет 92% от общего числа наследственных патологий человека. С возрастом частота заболеваний возрастает. В детском возрасте процент больных составляет не менее 10%, а в пожилом — 25-30 %.

К наиболее часто встречающимся мультифакториальным болезням относятся: ревматизм, ишемическая болезнь сердца, гипертоническая и язвенная болезни, цирроз печени, сахарный диабет, бронхиальная астма, псориаз, шизофрения и др.

Болезни с наследственным предрасположением связаны с действием многих генов, поэтому их называют также мультифакториальными.

Являясь многофакторными системами, они сложны для генетического анализа. Лишь в последнее время успехи в изучении генома человека и картировании его генов открывают возможности выявления генетической предрасположенности и основных причин развития мультифакториальных заболеваний.

Наследственная предрасположенность может иметь моно- или полигенную природу. В первом случае она обусловлена мутацией одного гена, для проявления которой необходим определенный внешний фактор, а во втором случае — сочетанием аллелей нескольких генов и комплексом факторов внешней среды.

Клиническая картина и тяжесть течения мультифакториальных болезней человека в зависимости от пола и возраста очень различны. Вместе с тем, при всем их разнообразии, выделяют следующие общие особенности:

1. Высокая частота заболеваний в популяции. Так, шизофренией болеют около 1% населения, сахарным диабетом — 5%, аллергическими заболеваниями — более 10%, гипертонией — около 30%.

2. Клинический полиморфизм заболеваний варьирует от скрытых субклинических форм до ярко выраженных проявлений.

3. Особенности наследования заболеваний не соответствуют менделевским закономерностям.

4. Степень проявления болезни зависит от пола и возраста больного, интенсивности работы его эндокринной системы, неблагоприятных факторов внешней и внутренней среды, например, нерационального питания и др.

Генетический прогноз при мультифакториальных заболеваниях зависит от следующих факторов:

1. чем ниже частота болезни в популяции, тем выше риск для родственников пробанда;
2. чем сильнее степень выраженности болезни у пробанда, тем больше риск развития болезни у его родственников;

3. риск для родственников пробанда зависит от степени родства с пораженным членом семьи;

4. риск для родственников будет выше, если пробанд относится к менее поражаемому полу;

Для оценки риска при мультифакториальной патологии собирают эмпирические данные о популяционной и семейственной частоте каждого заболевания или порока развития.

Полигенная природа болезней с наследственной предрасположенностью подтверждается с помощью генеалогического, близнецового и популяционно-статистического методов.

Достаточно объективен и чувствителен близнецовый метод. При его использовании проводят сравнение конкордантностиmono- и дизиготных близнецов или сравнение конкордантности выросших вместе или порознь монозиготных близнецов. Было показано, что конкордантность монозиготных близнецов выше, чем дизиготных по ряду болезней сердечно-сосудистой системы (гипертонии, инфаркту миокарда, инсульту, ревматизму). Это указывает на генетическую предрасположенность к указанным заболеваниям. Изучение природы злокачественных новообразований у монозиготных близнецов показало невысокую конкордантность (11 %), но вместе с тем, она в 3-4 раза превышает таковую для дизиготных близнецов. Очевидно, что значение внешних факторов (особенно канцерогенных) для возникновения рака намного больше наследственных.

С помощью близнецового метода показана наследственная предрасположенность к некоторым инфекционным заболеваниям (туберкулез, полиомиелит) и многим распространенным болезням (ишемическая болезнь сердца, ревматизм, сахарный диабет, язвенная болезнь, шизофrenия и др.).

Распространение мультифакториальных болезней в разных популяциях человека может значительно варьировать, что связано с различием генетических и средовых факторов. В результате генетических процессов, происходящих в человеческих популяциях (отбор, мутации, миграции, дрейф генов), частота генов, определяющих наследственную предрасположенность, может возрастать или уменьшаться вплоть до полной их элиминации.

Успехи программы «Геном человека», выделение и расшифровка молекулярной организации генов, изучение причин их патологии несомненно будут способствовать разработке профилактических мероприятий и выявлению групп людей, склонных к мультифакториальным заболеваниям.

## 1.8 Лекция №8 (2 часа)

**Тема:** «Эколого-генетический мониторинг производства экологически безопасной продукции»

### 1.8.1 Вопросы лекции

1. Качество сельскохозяйственной продукции. Эколого-токсикологические нормативы.
2. Генотоксикаты при производственных процессах.
3. Генотоксичность лекарств и биопрепаратов.
4. Методология тестирования на мутагенность.
5. Антимутагенез. Пищевые ингибиторы мутагенеза. Фармакологические корректоры мутагенеза. Перспективы практического использования антимутагенов.

### 1.8.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Качество сельскохозяйственной продукции. Эколого-токсикологические нормативы.

**Понятие «экологическая безопасная продукция».** Производство экологически безопасной продукции – ключевая задача экологизации сельскохозяйственной деятельности. Понятие «экологически безопасная сельскохозяйственная продукция» основана на праве людей на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой. Под экологически безопасной сельскохозяйственной продукцией понимают такую продукцию, которая в течение принятого для различных ее видов «жизненного цикла» (производство — переработка - потребление) соответствует установленным органолептическим, обще гигиеническим, технологическим и токсикологическим нормативам и не оказывает негативного влияния на здоровье человека, животных и состояние окружающей среды.

Острые проблемы современности - проблемы недоедания и голода — усугубляются болезнями и смертностью в результате употребления некачественных продуктов, а ведь на Земле достаточно ресурсов, разработаны решения и технологии, которые дают возможность навсегда покончить с этими явлениями. Не хватает, к сожалению, лишь обязательств и ответственности.

Неблагоприятное действие ксенобиотиков связано с миграцией химических веществ по одной или нескольким экологическим цепям:

- воздух — человек;
- вода — человек;
- пищевые продукты - человек;
- почва — вода — человек;
- почва — растение - человек;
- почва — растение — животное — человек и т. д.

Чем длиннее миграционный путь при подземных путях миграции, тем меньшую опасность для здоровья человека представляет ксенобиотик, так как при продвижении химических веществ по экологическим цепям они подвергаются деструкции и превращениям.

Считается, что из ядов, регулярно попадающих в организм человека, около 70 % поступает с пищей, 20 % — из воздуха и 10 % — с водой. В России примерно 30...40 % продукции загрязнено нежелательными ингредиентами. Загрязнено также до 70 % питьевой воды (т. е. примерно семь человек из десяти пьют загрязненную воду). Наряду с такими источниками загрязнения, как энергетика (особенно ТЭС), промышленность, транспорт, есть «критические точки», вызывающие загрязнение продукции и окружающей среды, и в атмосфере. Проблему получения качественного продовольствия в условиях негативного антропогенного воздействия на окружающую природную среду, в том числе и в процессе сельскохозяйственного производства, можно решить на основе экологизации сложившихся или вновь создаваемых систем ведения сельского хозяйства.

Загрязнение продукции растениеводства и животноводства различными вредными веществами обусловлено множеством взаимосвязанных, идущих с различной интенсивностью процессов в сопряженных средах и компонентах экосистем. При этом во многих регионах не только возрастает прямое действие химических веществ, но и усложняется проявление этих воздействий.

**Оценка состояния агроэкосистем.** 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.). Работу следует начинать с оценки экологотоксикологического состояния агроэкосистем, прежде всего — почвенного покрова. Стремление повысить продуктивность возделываемых культур и выращиваемых животных без надлежащего учета природоохранных требований привело к необоснованному увеличению объемов применения минеральных удобрений (преимущественно азотных), пестицидов и мелиорантов. Выбросы промышленных производств и транспорта, коммунальные отходы поставляют в естественные и искусственные экосистемы соединения полихлорированных бифенилов, серы, тяжелых металлов и т. д. Среди природных загрязнителей выделяют афло - и другие микотоксины.

**Оценка сельскохозяйственной продукции.** 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. Пределы содержания загрязняющих веществ в пищевых продуктах и кормах устанавливают на основании результатов изучения токсичности препаратов для различных организмов. При содержании в продукции загрязняющих веществ в количествах, превышающих ПДК, ДОК или МДУ, такую продукцию в пищу или на корм использовать не разрешается. При оценке степени токсичности элемента (агрохимиката) для растений учитывают концентрацию элемента. При этом не должно быть снижения продуктивности растений, накопления агрохимиката в растениях, кормах и пищевых продуктах выше ПДК. Летальная концентрация вызывает гибель растений.

## 2. Генотоксикаты при производственных процессах.

Опасные факторы в сельскохозяйственном производстве, в основном, создаются в связи с: некомпетентностью работающего персонала, применяемыми в технологиях техническими устройствами, физическими и нервно-психическими перегрузками, повышенным содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны, повышенной запыленностью и загазованностью, воздействием внешних метеорологических факторов, работой в среде вредных и опасных химических веществ.

Методы и способы минимизации опасностей в сельскохозяйственном производстве включают:

- а) рациональную организацию и планирование всех производственных процессов;
- б) широкое применение автоматизации и дистанционного управления;
- в) устранение непосредственного контакта с источниками вредных и опасных факторов;

- г) профилактические мероприятия, пропаганду методов работы, снижающих уровень опасности;
- д) плановые инструктажи, рациональную организацию сочетания труда и отдыха;
- е) соблюдение правил и норм работы с пестицидами и другими вредными и опасными химическими веществами;
- ж) герметизацию источников выделения вредных веществ;
- з) обеспечение оптимального сочетания параметров микроклимата в зоне жизнедеятельности.

Мерой, которая устанавливает предел хозяйственного воздействия на природу, могут стать научно обоснованные нормативы. Разработка этих нормативов и их строгое соблюдение в хозяйственной деятельности человека и есть главная задача охраны окружающей природной среды. Принципы сформулированы в статье 3 Закона РФ «об охране окружающей природной среды».

Все виды сельскохозяйственного производства, так или иначе, взаимосвязаны с окружающей средой. Эрозия почв, засоление земель, образование подвижных песков и органов, снижение содержания гумуса и основных элементов минерального питания растений в почвах сельскохозяйственных угодий, повышение кислотности почв, истощение и загрязнение водных источников, ухудшение состояния сельскохозяйственных земель - все это представляет важные проблемы, связанные с невосполнимым ущербом, наносимым окружающей среде.

Значительный ущерб водным ресурсам наносят многочисленные склады минеральных и органических удобрений, ядохимикатов, а также горюче-смазочных материалов, на которых нарушаются правила их хранения и транспортировки. Для окружающей среды большую опасность представляют котельные, устаревшее холодильное оборудование, продукты сгорания топлива сельскохозяйственной техники, эксплуатационные и технологические разливы топливно-смазочных материалов и их склады.

Навозные и пометные стоки животноводческих комплексов и птицефабрик приводят к опасному загрязнению окружающей среды. Из образующихся стоков в качестве удобрений используют менее 70%, все остальное, сбрасывается на прилегающие земли, в очистные сооружения и водоемы (в том числе источники питьевого водоснабжения), поступает в подземные воды, загрязняя их.

На долю сельского хозяйства приходится 6-я часть объема сброса сточных вод в водоемы России. Годовой объем сброса в водоемы составляет около 10,25 млрд. м<sup>3</sup>, сброс загрязненных сточных вод - около 3,2 млрд.м<sup>3</sup>.

Значительно меньше примеров положительного влияния сельскохозяйственного производства на биосферу. Например, такие как насаждение лесополос между участками пашни, орошение засушливых и опустыненных земель, с целью повышения плодородия внесение в почву минеральных веществ. Воздействие человека на почву проявляется в самых разных формах. Основные виды воздействия следующие:

1. механическое - пахота, перемещение почвы, уплотнение, уничтожение;
2. агромелиоративное:
  - прямое - орошение, осушение;
  - косвенное - снижение уровня грунтовых вод, изменение микрорельефа (например, в результате создания водохранилищ);
3. химическое:
  - прямое - внесение минеральных удобрений, применение пестицидов, гербицидов и пр.;
  - косвенное - внесение в почву химических отходов промышленности;
4. через изменение животного мира - уничтожение землеройных животных, червей, личинок насекомых, изменение состава микроорганизмов;
5. через изменение растительного покрова (например, при вырубке леса и искусственных лесопосадочных полос);

Чтобы сохранить почву, следует меньше загрязнять ее, использовать щадящие способы ее обработки, правильно проводить осушение и обводнение, лучше очищать сточные воды промышленных предприятий в нашем городе. Необходимо проводить рекультивацию свалок, как комплекс инженерных и санитарно-гигиенических мероприятий. К радикальным защитам могут быть отнесены мероприятия по реконструкции и перепрофилированию вредных производств, вплоть до их ликвидации или выводы за пределы городской черты. Кроме того, важно вести постоянную локализацию и ликвидацию захламление земель, как потенциальных источников загрязнения. Для улучшения состояния воздушной среды необходимо внедрять новые источники энергии, устанавливать на промышленных предприятиях оборудование по очистке выбросов и т.д. Сохранение естественных источников является одной из важнейших задач. На предприятиях должны иметься и работать очистные сооружения для очистки отработанных твердых и жидким веществ, чтобы не загрязнять воду тяжелыми металлами (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, цинк). Прежде следует более бережно относиться к самой природе.

Организационную основу службы экологического контроля составляет Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РоскомГидромет) и ее подразделения на местах. В проведении государственного экологического мониторинга участвуют: ГосСанЭпиднадзор России - в части мониторинга неблагоприятных воздействий факторов окружающей среды на здоровье человека, Минсельхоз России в части мониторинга загрязнения почв, растительной продукции, вод и снега тяжелыми металлами, пестицидами, нитратами в агропромышленном комплексе, а также Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству, Комитет по геологии. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности. Основная нагрузка ложится на государственную систему мониторинга Роскомгидромета. В ее состав входит сеть пунктов режимных наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхности вод, морской среды, лесной растительности, за химическим составом осадков, снежного покрова, уровнем радиации.

### 3. Генотоксичность лекарств и биопрепараторов.

**Генотоксичные** препараты – это химотерапевтические агенты, которые влияют на нуклеиновые кислоты и изменяют их функции. Эти препараты могут прямо связываться с **ДНК** или могут косвенно вести к повреждению ДНК за счет влияния на ферменты, вовлеченные в репликацию ДНК. Быстроходящиеся клетки особенно чувствительны к генотоксичным агентам, поскольку они активно синтезируют новую цепь ДНК. При достаточном повреждении ДНК клетки часто индуцируются апоптоз, что эквивалентно клеточному самоубийству.

Препараты, используемые в генотоксической хемотерапии, включают в себя:

- **Алкилирующие агенты:** Этот класс химотерапевтических агентов был применен одним из первых. Препараты данного класса модифицируют основания в ДНК, влияют таким образом на репликацию и транскрипцию ДНК, что приводит к мутациям
- **Интеркалирующие агенты:** Эти препараты вклиниваются в промежутки между нуклеотидами двойной спирали ДНК. Они влияют на транскрипцию, репликацию и индуцируют мутации.
- **Ингибиторы ферментов:** Эти препараты ингибируют ключевые ферменты, такие как топоизомеразы, вовлеченные в процесс репликации ДНК, что индуцирует повреждение ДНК. Целью лечения всеми этими агентами является индукция поражений ДНК в раковых клетках. Достаточное повреждение ДНК ведет к апоптозу, что эквивалентно самоубийству клеток. Генотоксичные препараты действуют как на нормальные, так и на раковые клетки. Селективность действий препарата основана на особой чувствительности быстроделяющихся клеток (таких как раковые клетки) к лекарствам, повреждающим ДНК. Способ действия этих препаратов объясняет наличие множества побочных эффектов, которые появляются при их использовании в терапии. Быстроходящиеся клетки, например клетки кишечника и

стволовые клетки костного мозга, часто умирают вместе с раковыми клетками. Помимо своей цитотоксичности (клеточные яды), эти препараты являются мутагенными (вызывают мутации) и канцерогенными (вызывают образование рака). Лечение этими препаратами несет риск вторичного рака, такого как лейкемия. Эти лекарства в комбинации с другими препаратами используются для лечения различных тканевых раковых опухолей и рака крови.

Для получения подробной информации о конкретном препарате нажмите на ссылку, представленную ниже.

Бусулфан,  
Карбоплатин  
Кармустин  
Хлорамбуцил  
Цисплатин  
Циклофосфамид  
Дакарбазин  
Даунорубицин  
Доксорубицин  
Эпирубицин

#### **4. Методология тестирования на мутагенность.**

Тестирование на мутагенность. Стратегия тестирования на мутагенность. Для тестирования всех веществ, с которыми на протяжении жизни человек может контактировать, потребовался бы непомерно большой объем работы, поэтому была признана необходимость первоочередной проверки на мутагенность лекарств, пищевых добавок, пестицидов, гербицидов, инсектицидов, косметических средств, наиболее широко распространенных загрязнителей воды и воздуха, а также производственных вредностей. Второй методологический принцип заключается в выборочности тестирования. Это означает, что вещество анализируется на мутагенность при наличии двух обязательных условий: распространенности в среде обитания человека и наличии структурного сходства с известными мутагенами или канцерогенами. Отсутствие универсального теста, позволяющего одновременно регистрировать индукцию изучаемым веществом (и его возможными метаболитами) различных категорий мутаций в половых и соматических клетках, служит основанием третьего принципа - комплексного использования специализированных тест-систем. Наконец, четвертый методологический принцип подразумевает ступенчатость тестирования веществ на мутагенную активность.

Этот принцип берет начало от одной из первых и наиболее известных схем, предложенной в 1973 г. Б. Бриджесом и предусматривавшей три последовательных этапа исследования.

1. На первом этапе мутагенные свойства вещества изучали простыми и быстро выполнимыми методами (с использованием микроорганизмов и дрозофилы в качестве тест-объектов) для определения его способности индуцировать генные мутации. Выявление такой способности предполагало запрет на применение данного вещества.

2. В случае особой медицинской или экономической значимости мутагена его тестировали на млекопитающих *in vivo*. Аналогичное исследование проводилось также для веществ, не продемонстрировавших мутагенных свойств в тестах первого этапа. Если исследуемый агент не проявлял мутагенных свойств, постулировалась безопасность применения его человеком. Вещества, проявившие мутагенность, либо запрещали для использования, либо, если они относились к категории особо значимых, или незаменимых, исследовали дополнительно.

3. На заключительном этапе проводили тестирование для установления количественных закономерностей мутагенного действия таких специфических веществ и

оценку риска применения их человеком. Данная схема послужила прототипом целого ряда методик комплексного тестирования на мутагенность.

Принципиально новым шагом на пути развития этого направления следует считать программу, предложенную в 1996 г. Дж. Эшби с соавторами. Исключительно важной особенностью этой программы является ее направленность не только на оценку мутагенности тестируемого вещества, но и на прогноз канцерогенности данного химического соединения и возможного механизма канцерогенеза.

Современная система доказательств взаимосвязи между процессами мутагенеза и канцерогенеза включает целый ряд экспериментальных подтверждений обсуждаемой проблемы.

Среди них:

1) наличие хорошо изученных наследственных заболеваний, при которых одновременно с повышенной чувствительностью к действию мутагенов наблюдается многократное превышение средней частоты возникновения злокачественных новообразований;

2) четко установленная сопряженность мутагенного и канцерогенного действия противоопухолевых цитостатиков, индуцирующих мутации в соматических клетках и за счет этого оказывающих терапевтическое воздействие, но способных вызывать у леченных онкологических больных развитие вторичных опухолей;

3) накопленные сведения о возможной активацииprotoонкогенов за счет индукции генных и хромосомных мутаций;

4) описание случаев спорадических моногенных доминантных мутаций, обуславливающих развитие опухолей различных органов. В программе Дж. Эшби постулируется, что вещество не является канцерогеном, если оно не проявляет мутагенного и генотоксического действия *in vivo*. Те же вещества, которым названные эффекты свойственны, являются потенциальными генотоксическими канцерогенами.

## **5. Антимутагенез. Пищевые ингибиторы мутагенеза. Фармакологические корректоры мутагенеза. Перспективы практического использования антимутагенов.**

К повышению уровня мутационного процесса ведет радиационное и химическое загрязнение среды, поэтому первичная профилактика наследственной патологии не может быть полной без **охраны окружающей среды**. Но помимо этого необходимы поиски средств воздействия на сам организм для предотвращения действия проникающих в него химических мутагенов.

В 20-х годах нашего столетия, когда появились первые экспериментальные исследования по мутагенезу, перед учеными встал вопрос о возможности искусственного регулирования мутационного процесса. В 50-х годах появились научные данные о возможности снижения темпов мутации путем воздействия на организм некоторыми химическими факторами. Это явление получило название **антимутагенеза**. **Антимутагены** – это модификаторы мутационного процесса, снижающие частоту не только индуцированных, но и спонтанных мутаций.

На основании механизмов действие антимутагены можно классифицировать на несколько групп.

1. **Антимутагены** как факторы, уменьшающие ошибки репликации и репарации ДНК.
2. **Дисмутагены** – вещества, предотвращающие действие экзогенных мутагенов путем прямой инактивации их иногда еще до поступления в кровь и клетки.
3. **Ингибиторы метаболической активации** косвенных (непрямых) мутагенов.
4. Агенты, снижающие уровень индуцированных и спонтанных мутаций **с помощью неизвестного пока механизма**.

Сейчас известно, что антимутагены обладают рядом общих свойств. Во-первых, антимутагены могут оказывать антимутагенный эффект на различные организмы, то есть

могут носить универсальный характер. Во-вторых, антимутагены могут проявлять свою активность при воздействии на организм только определенных мутагенов и не действуют при других. Далее, антимутагены не приводят к полному подавлению мутаций, что могло бы иметь негативные последствия для эволюционного процесса.

Для ряда антимутагенов существует зависимость их эффекта от дозы. В некоторых случаях одно и то же вещество в малой дозе является антимутагеном, в больших дозах - мутагеном (например, кофеин, стрептомицин).

Механизм действия одних антимутагенов связан с репликацией и репарацией ДНК, поскольку антимутагены могут влиять на ферментные системы репликации ДНК и репарации. В других случаях профилактика мутагенеза начинается до повреждения молекул ДНК путем инактивации мутагенов дисмутагенами. Некоторые антимутагены ингибируют свободнорадикальные реакции.

Впервые антимутагенный эффект был показан в начале 50-х годов на пуриновых нуклеозидах - аденоzinе, и несколько позже - на тимидине. Механизм их действия пока не совсем ясен. В 60-х годах был показан антимутагенный эффект акридина и его метиловых производных, некоторых полиаминов, спермина и других химических веществ, например ряда аминокислот: метионина, гистидина, цистеина, глутаминовой кислоты.

Наиболее перспективными с точки зрения профилактики мутагенеза являются **растительные фенольные соединения**. Они нетоксичны, входят в состав овощей и фруктов, выступая, прежде всего, как **дисмутагены**. Кроме того, они обладают антиоксидантными и антирадикальными свойствами, ограничивая процессы свободнорадикального окисления, образования перекисей и других мутагенных продуктов. Дисмутагенным действием обладают: экстракты капусты, баклажанов, зеленого перца, яблок, лопуха, хрена, лука, ананасов, листьев мяты, редиса, винограда и др. Поиски эффективных растений продолжаются.

**Из ингибиторов свободнорадикальных процессов** антимутагенным действием обладает ряд **фенольных и полифенольных соединений**, галловая кислота и др.

Из **витаминов** к антимутагенам относятся: А, Е, С, В<sub>4</sub>, К.

Впервые антимутагенные свойства витамина Е (токоферол) были описаны в 70-х годах XX века. Было установлено, что антимутагенное действие токоферола практически универсально для различных факторов физико-химической и биологической природы. Токоферол содержится в растительных маслах, семенах (облепиха, паслён, семена шиповника) и проростках злаковых.

Витамин С – активный антиканцероген. Его много в зеленом и красном перце, черной смородине, петрушке, апельсинах, лимонах, грейпфрутах, помидорах, огурцах, клюкве, крыжовнике и др.

Витамин В<sub>4</sub> – (фолиевая кислота) служит барьером для вирусов, провоцирующих раковые заболевания.

Витамин К с высокой эффективностью снижает частоту aberrаций хромосом, возникающих под действием как физических, так и химических факторов.

Способность снижать уровень спонтанных мутаций характерна и для ряда **ферментов**, например, таких, как каталазы, пероксидазы и др.. С ними связана реализация эффекта действия генов-мутаторов и антимутаторов.

Существует, видимо, и ряд эндогенных метаболитов-антимутаторов. В пользу этого говорит тот факт, что на одной и той же территории, испытывающей мутагенное давление среды, одни виды оказываются более уязвимыми, другие - менее. Первые больше подвержены риску исчезновения.

## 1.9 Лекция 9 (2 часа)

**Тема:** «Животноводческие комплексы и охрана природы»

### 1.9.1 Вопросы лекции

1. Влияние отходов животноводства на окружающую природную среду.
2. Очистка и утилизация навозных стоков.
3. Использование биотехнологии для переработки отходов животноводства.
4. Генетико-экологическая экспертиза технологии производства животноводческой продукции.

### 1.9.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Влияние отходов животноводства на окружающую природную среду.

Никакая другая отрасль общественного производства не связана так с использованием природных ресурсов, как сельское хозяйство. Ведь труд земледельца и животновода - это по существу использование природы, окружающей нас естественной среды для удовлетворения потребностей человека. Сельское хозяйство необходимо рассматривать как огромный, постоянно действующий механизм охраны, культивирования живых природных богатств, и подходить к нему следует еще под одним углом зрения - охраны окружающей среды. Поэтому в условиях аграрного производства использование природных ресурсов и, прежде всего, земли должно сочетаться с мерами по охране окружающей среды. Плоды труда человека на земле - это самая необходимая предпосылка жизни каждого общества, на какой бы ступени развития оно не находилось. В сельском хозяйстве земля выступает не только местом деятельности и территориальной операционной базой, но и, прежде всего, служит в качестве орудия и главного средства производства.

Аграрно-животноводческий комплекс в современных условиях продолжает быть основным загрязнителем земель и других элементов окружающей среды: отходы и сточные воды животноводческих комплексов, ферм и птицефабрик, использование ядохимикатов и пестицидов, перерабатывающая промышленность, ослабление производственной и технологической дисциплины, трудности осуществления контроля на сельскохозяйственных объектах, разбросанных на обширных территориях, - все это приводит к тому, что состояние земли и всей окружающей среды в сельской местности, согласно государственным докладам об охране окружающей среды, остается тревожным, ряд регионов обладают признаками зон чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия.

Развитие животноводства на промышленной основе, создание прочной кормовой базы, расширение отгонных пастбищ, большая концентрация поголовья скота на ограниченной площади, изменение традиционных форм его содержания обусловливают необходимость использования большого количества воды из рек, озер и других водных объектов, что оказывает существенное влияние на состояние самих водоемов и окружающей среды в целом. Как известно, промышленное животноводство - один из самых крупных водопотребителей.

Высокая концентрация поголовья скота на ограниченных площадях, использование гидравлических систем уборки и удаления экскрементов животных приводят к образованию огромных объемов жидкого навоза, а также связанных с эксплуатацией производственных помещений значительных количеств вредных летучих химических веществ, неприятных запахов, интенсивного шума и др.

При решении вопросов размещения животноводческих комплексов, выбора систем обработки и использования отходов животноводства специалисты исходили из того, что ведущие компоненты окружающей среды - атмосферный воздух, почва, водоемы - практически неисчерпаемы с экологической точки зрения. Однако опыт эксплуатации первых построенных животноводческих комплексов свидетельствовал об интенсивном загрязнении объектов окружающей среды и неблагоприятном их воздействии на условия проживания населения. В связи с этим охрана окружающей среды от загрязнения,

профилактика инфекционных, инвазионных и других заболеваний людей и животных связаны с реализацией мероприятий по созданию эффективных систем сбора, удаления, хранения, обеззараживания и использования навоза и навозных стоков, усовершенствованием и эффективной работой воздухоочистных систем, правильным размещением животноводческих комплексов и сооружений обработки навоза по отношению к населенным пунктам, источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения и другим объектам, т.е. с комплексом мероприятий гигиенического, технологического, сельскохозяйственного и архитектурно-строительного профилей.

Специфика предприятий по выращиванию, откорму и содержанию животных определяется следующим:

- преобладающее влияние неорганизованных выбросов (пруды - отстойники, навозохранилища, очистные сооружения) - до 99,5% от общей массы выделений;
- нерегулярный характер процессов выделения и образования загрязняющих веществ, определяющих выбросы как от самих животных, так и от продуктов их жизнедеятельности, связанный с деятельностью микроорганизмов - деструкторов, которая зависит от температурных условий и среды обитания.

Санитарно-гигиенические условия на фермах также в основном поддерживаются с помощью воды: для мытья животных, очистки помещений и их дезинфекций, подготовки кормов, мытья посуды и аппаратуры, гидросмыва навоза и т.д. Вместе с тем с возрастанием потребления воды для нужд животноводства увеличивается сброс навозосодержащих сточных вод в водоемы, в результате чего они загрязняются и утрачивают свои полезные свойства. Даже сброс небольших доз неочищенных навозосодержащих сточных вод от животноводческих ферм и комплексов вызывает массовые заморы рыбы и причиняет значительный экономический ущерб. Поэтому интенсивное и разностороннее воздействие сельского хозяйства на окружающую среду объясняется не только растущим потреблением природных ресурсов, необходимых для непрерывного роста аграрного производства, но и образованием значительных отходов и сточных вод от животноводческих ферм, комплексов, птицефабрик и других сельскохозяйственных объектов.

Предприятиями сельского хозяйства выброшено в атмосферу более 25,58 тыс. тонн загрязняющих веществ. Химическому и биологическому загрязнению атмосферного воздуха в значительной мере способствуют также недостаточно отработанные технологии на промышленно-животноводческих комплексах и птицефабриках. Источниками загрязнения атмосферы являются помещения для содержания скота, откормочные площадки, навозохранилища, биологические пруды, пруды-накопители сточных вод, поля фильтрации, поля орошения. В зоне животноводческих комплексов и птицефабрик атмосферный воздух загрязнен микроорганизмами, пылью, аммиаком и другими продуктами жизнедеятельности животных, часто обладающими неприятными запахами (свыше 45 различных веществ). Эти запахи могут распространяться на значительном расстоянии (до 10 км), особенно от свинокомплексов.

## 2. Очистка и утилизация навозных стоков.

Свиной навоз и птичий помет являются агротехнически важными видами удобрения. Свежие отходы животноводческих комплексов (собираемая в лагунах навозная жижа) непригодны для немедленного использования в качестве удобрения. Свежий свиной навоз собираемый со свиноферм методом гидросмыва характеризуются как интенсивным загрязнением биогенными и органическими веществами взвешенные вещества  $> 20\ 000$  мг./литр, БПК\_5 $>2000$  мгО2/литр, БПК\_20 $>5000$  мгО2/литр, аммиак $>200$  мг/литр, фосфаты $>200$  мг./литр), так и условно патогенной и патогенной микрофлорой, и яйцами гельминтов, имеющих длительные сроки выживаемости (от 20 до 475 дней), кислой средой pH5-6. В свином навозе содержится аммиак - минеральный азот, в количествах далеко превосходящих потребность почвы и растений, "сжигающий" растения. Свежий навоз способен вызывать эрозию и деградацию почвы, загрязнение подземных вод, загрязнение и

"цветение" близлежащих водоемов, загрязнение атмосферы выбросами сероводорода, аммиака. Свежий навоз содержит большое количество сложной органики, имеющей длительный срок естественного разложения в почве. Свежий навоз опасен для окружающей среды, и его необходимо очистить - прежде чем свежий навоз превратится в удобрение ему предстоит пройти выдержку в лагунах до 3.5 лет. Птичий помет в свежем виде тоже не рекомендуется к использованию в качестве удобрения. Естественная очистка и обезвреживание свиного навоза также и птичьего помета и осуществляется путём выдерживания в навозохранилищах, лагунах до 3.5 лет. Во время открытого хранения навоз и помет выделяют в атмосферу значительные количества летучей органики обладающей резким интенсивным неприятным запахом и представляющей вред для здоровья человека и животных. Вдыхание навозных испарений может вызывать у человека продолжительные головные боли, ухудшение общего самочувствия.

Поэтому навозохранилища при строительстве располагают с учетом существующей розы ветров, чтобы исключить перенос органики с запахом воздушными течениями на населенные пункты. Вредны навозные испарения и для поголовья животных - постоянно вдыхая продукты естественного разложения собственных отходов животные чаще болеют и хуже набирают вес.

Препарат биодеструктор навоза Микрозим™ Вэйст Трит- полностью биологический препарат содержит живую синергическую консорцию 6-12 видов естественных почвенных аэробных и анаэробных факультативных сапрофитных микроорганизмов отобранных и адаптивно селекционированных по критерию эффективности разложения сложных органических соединений входящих в состав свежего свиного навоза. При попадании во влажную среду бактерии начинают активно размножаться, разрушая органику с образованием углекислого газа и воды. Синтезируя во внешнюю среду внеклеточные белки ферменты (липолитические, амилолитические, гидролитические, лигнолитические и др.), микроорганизмы превращают сложные органические вещества в легкодоступные для усвоения микроорганизмами и растениями простые молекулярные структуры. Конечным продуктом является очищенный от патогенной микрофлоры полупереваренный или перепревший навоз - гомогенная черная мажущаяся жижа.

Время полезной жизнедеятельности полезных микроорганизмов биопрепарата в среде навозных стоков лимитировано только доступностью питания. Действием биопрепарата на твердую и жидкую фракцию свиного навоза является:

- Разложение (биологическая деструкция) органической составляющей навоза, сложных органических веществ навоза: белков, жиров, углеводов, волоса, целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина до более простых веществ, доступных для прямого усвоения микроорганизмами и растениями.
- Интенсивное извлечение азота при разложении сложных органических веществ и конверсия аммонийного азота в необходимую для роста растений форму.
- Подавление образования сероводорода, аммиака и других летучих органических веществ с резким неприятным и тошнотворным запахом.
- Ускоренное обеззараживание навоза за счет многократной (более чем в 1000 раз) интенсификации микробного самоочищения навоза от патогенной и условно патогенной микрофлоры из организма домашних животных в результате антагонизма и конкуренции за источник питания. Многократно сокращаются сроки выживаемости гельминтов.

### **3. Использование биотехнологии для переработки отходов животноводства.**

Темпы роста сельскохозяйственного производства не обеспечивают в полной мере потребностей населения в продуктах питания. Медленное повышение темпов производства сельскохозяйственной продукции, рост цен и увеличение народонаселения в мире наводят на мысль ученых и практиков многих стран, в том числе и России, рассматривать вопросы переработки растительного и животного сырья в продукты питания. И в недалеком будущем

превращение в продовольствие отходов растительного и животного происхождения станет реальной необходимостью.

В настоящее время при организации безотходных технологий лишь ограниченная часть отходов сельскохозяйственного производства рационально используется, утилизируясь в производстве продуктов питания. Количество отходов часто превышает объем выпускаемой продукции. Особенно большой экономический ущерб наносят неутилизированные отходы. В результате загрязнение окружающей среды угрожает состоянию естественных экологических систем и нередко здоровью человека. В последнее время все больше внимания ученые и практики сосредоточивают на проблемах не только утилизации и переработки органических отходов, но и использования энергии, заложенной в них. При этом обращаются к самой природе, ее компонентам, которые были создателями и накопителями органической материи, т. е. к биоконверсии.

С нашей точки зрения, утилизация навоза, птичьего помета и других отходов животноводства должна быть способом получения целевого продукта с дальнейшим использованием его в сельском хозяйстве. Это могут быть органические удобрения (компосты), кормовые добавки, бактериальные препараты стимулирующего и защитного действия, биоблокаторы вредителей заболеваний, оздоровительные грунты для теплиц, микробные удобрения и т. д.

Наша концепция применения биоконверсии отходов не только связана с созданием устойчивого безотходного животноводства, но и позволяет решать важнейшую задачу преобразования энергии, заложенной в микроорганизмах и перерабатываемом сырье, в продукты, несущие дополнительную энергию.

Как правило, твердые отходы используют не всегда эффективно. Их вносят в почву на сельскохозяйственные угодья, подвергают высокотемпературной сушке, компостируют при естественных условиях, вермикультируют, перерабатывают в биогаз, личинками синантропных мух в биоперегной и т. д. Однако микробиологическая переработка навоза или помета, а также любых органических отходов имеет несравненные преимущества перед другими биотехнологиями не только благодаря возможности автоматизированного управления процессами и ускорения биохимической трансформации отходов. Высокая конкурентоспособность этого способа обусловлена также получением продуктов целевого назначения с заданными характеристиками и удовлетворяющих экологические требования: биоремедиация почв, получение биогаза, создание новых удобрений, кормовых и пищевых добавок и т. д. Усовершенствование методов микробной переработки даст возможность более полно использовать отходы животноводства и растениеводства в пищевых целях.

Нами сконструирован экспериментальный модуль, позволяющий управлять микробиологическими процессами при переработке отходов. Несомненно, он имеет ряд преимуществ. В частности, при использовании модуля контролируются скорость сукцессии микроорганизмов и ценозов природных и интродуцированных, сокращается длительность эксперимента, удобно проводить измерения, наблюдения и анализы, получать характеристики целевого продукта. Для получения эффекта трансформации отходов и обеспечения стабильности микробного сообщества в модуле требуются не только исходная микрофлора и субстрат, но и определенная тактика культивирования микроорганизмов, соблюдения правил и законов существования видов.

Возможность устойчивого существования экспериментально созданной ассоциации зависит от микроорганизмов-партнеров и режима минерализации субстрата. Метаболитные взаимодействия определяют целевой продукт утилизации исходных компонентов природного сырья и отходов животноводства, что установлено экспериментами и защищено патентами РФ (1993-1998 гг.).

Превращение отходов в удобрения микробиологическим методом - самый простой путь биоконверсии навоза и птичьего помета. В отечественном сельском хозяйстве сложилась парадоксальная ситуация: отходы животноводства являются чуть ли не основными загрязнителями природной среды, а почвы теряют гумус и катастрофически

падает их плодородие. По данным И.А. Архипченко (2000) по Российской Федерации общее содержание органических отходов составляет в свиноводстве 30,5 млн. т/год, в отрасли крупного рогатого скота 344,1 млн. т/год, птицеводстве 14,5 млн. т/год. Превращение отходов в высококачественное удобрение это наиболее эффективный и экономически оправданный метод утилизации. В 1 т бактериально переработанных навоза и помета содержится 30-40 кг азота, 20-30 кг фосфора, 20-30 кг калия, в больших количествах имеется кальций, микроэлементы, ростовые и антибиотические вещества; отношение углерода к азоту равно 1:17-25, pH 6-7.

Технологически микробный процесс позволяет перерабатывать отходы в любом количестве в зависимости от производственных мощностей конструкции биоферментеров в разных климатических условиях.

Прямая утилизация отходов в подкормки для скота требует составления определенных природных субстратов. Многие отходы не приемлемы в качестве компонентов питания, несмотря на их значительную питательную ценность и энергоемкость. Питательную ценность отходов можно повысить путем предварительной их обработки и регулирования процесса биоферментации с помощью изменения диапазона температур. Поскольку требования к охране окружающей среды все возрастают, использование отходов животноводства становится экономически выгодным. В перспективе появится возможность создания безотходного предприятия в целом — идеального современного способа переработки сельскохозяйственной продукции.

Переработка отходов микробным способом создает лучшие условия для качественной и количественной утилизации отходов и обеспечивает более гонкий контроль за санитарным состоянием целевой продукции и технологическим процессом. Эта биотехнология предполагает организацию экологически чистого и энергосберегающего производства. Вся продукция переработанных отходов (в том числе и побочная) имеет практическое применение в земледелии, животноводстве, микробиологической и пищевой промышленности и т. д.

Микробное превращение отходов в целевые продукты способно решить проблему утилизации птичьего помета, навоза любых животноводческих ферм, отходы растениеводства, плодоовоощеводства, пищевой промышленности и бытовых отходов. Безусловно, прямая утилизация отходов в качестве продуктов питания человека была бы идеальным решением проблемы, однако наши возможности в этом отношении весьма ограничены.

Возможно, в перспективе подготовка зооинженеров с сформировавшимся экологическим мировоззрением и знаниями технологов-переработчиков отходов сельского хозяйства позволит минимизировать отрицательное воздействие животноводства на окружающую среду и превращать отходы в продукцию, имеющую высокую рыночную стоимость. Правительством РФ поставлена задача разработать и внедрить новые, эффективные и рентабельные технологии утилизации отходов хозяйственной деятельности человека, среди которых на первое место выдвигаются биологические и, в частности, микробиологические технологии. Именно биологические технологии в XXI в. будут решать судьбу планеты в ближайшие 100 лет.

#### **4. Генетико-экологическая экспертиза технологии производства животноводческой продукции.**

Производство экологически безопасной продукции — ключевая задача при экологизации сельскохозяйственной деятельности. Понятие «экологически безопасная сельскохозяйственная продукция» основано на праве людей на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой. Под экологически безопасной сельскохозяйственной продукцией понимают такую продукцию, которая в течение принятого для различных ее видов «жизненного цикла» (производство — переработка — потребление) соответствует

установленным органолептическим, общигигиеническим, технологическим и токсикологическим нормативам и не оказывает негативного влияния на здоровье человека, животных и состояние окружающей среды.

Острые проблемы современности — проблемы недоедания и голода — усугубляются болезнями и смертностью в результате употребления некачественных продуктов, а ведь на Земле достаточно ресурсов, разработаны решения и технологии, которые дают возможность навсегда покончить с этими явлениями. Не хватает, к сожалению, лишь обязательств и ответственности.

Неблагоприятное действие ксенобиотиков связано с миграцией химических веществ по одной или нескольким экологическим цепям:

ксенобиотики — воздух — человек;» — вода — человек;» — пищевые продукты — человек;» — почва — вода — человек;» — почва — растение — человек;» — почва — растение — животное — человек и т. д.

Чем длиннее миграционный путь при подземных путях миграции, тем меньшую опасность для здоровья человека представляет ксенобиотик, так как при продвижении химических веществ по экологическим цепям они подвергаются деструкции и превращениям.

Считается, что из ядов, регулярно попадающих в организм человека, около 70 % поступает с пищей, 20 % — из воздуха и 10 % — с водой.

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.

Пределы содержания загрязняющих веществ в пищевых продуктах и кормах устанавливают на основании результатов изучения токсичности препаратов для различных организмов. При содержании в продукции загрязняющих веществ в количествах, превышающих ПДК, ДОК или МДУ, такую продукцию в пищу или на корм использовать не разрешается.

При оценке степени токсичности элемента (агрохимиката) для растений учитывают концентрацию элемента. При этом не должно быть снижения продуктивности растений, накопления агрохимиката в растениях, кормах и пищевых продуктах выше ПДК.

Летальная концентрация вызывает гибель растений.

Санитарно-гигиеническая оценка продовольственного сырья и пищевых продуктов растениеводства и животноводства

Экологическую и санитарно-гигиеническую оценку продовольственной сельскохозяйственной продукции проводят с учетом правил, норм и гигиенических нормативов (СанПиН 2.3.2.560—96), разработанных для Российской Федерации. На территории России они введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России № 27 от 24 октября 1996 г. В них описаны установленные законом или ограниченные правилами и стандартами нормируемые параметры, четко сформулированы термины и понятия.

Под продовольственным сырьем в СанПиН 2.3.2.560—96 подразумеваются объекты живой и косной природы, используемые для производства пищевых продуктов. Продукты, потребляемые в пищу в натуральном или переработанном виде, называются пищевыми. Термин «пищевой продукт» следует отличать от термина «пищевая продукция». В

федеральных санитарных правилах, нормах и гигиенических нормативах термином «пищевая продукция» обозначают продовольственное сырье, пищевые продукты и их ингредиенты, этиловый спирт и алкогольную продукцию. «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов», 1997).

Часть сельскохозяйственной продукции рассматривается одновременно и как продовольственное сырье, и как пищевой продукт. Так, например, томаты, предназначенные для изготовления томатного сока, — продовольственное сырье. Те же томаты, потребляемые в пищу, — пищевой продукт. Молоко, используемое для приготовления сливочного масла и других молочных продуктов, — продовольственное сырье. То же молоко, потребляемое в пищу, — пищевой продукт.

"Федеральные санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы — это научно обоснованный и законодательно утвержденный правовой документ. Он позволяет эксперту гигиенисту-экологу сделать обоснованное заключение о доброкачественности или недоброкачественности продовольственного сырья и пищевых продуктов сельскохозяйственного производства. Заключение о качестве продовольственного сырья и пищевых продуктов основывается на результатах экспертизы с применением законодательно утвержденных методов исследований.,

При исследовании продовольственной сельскохозяйственной продукции используют органолептические, физико-химические, радиологические, микологические, микробиологические, паразитологические методы. Система показателей, полученных в результате исследований, позволяет судить о пищевой ценности, потребительских свойствах и безопасности для человеческого организма оцениваемой продукции.

Органолептические показатели — общий вид, цвет, запах, вкус и консистенция исследуемого материала — должны соответствовать признакам, характерным для данного вида пищевой продукции, ее специфическим свойствам. Продовольственное сырье и пищевые продукты не должны иметь посторонних запахов, привкусов и включений.

Содержание потенциально опасных химических соединений, радионуклидов и биологических объектов, обнаруженных с помощью специальных исследований, не должно превышать допустимых уровней в заданной массе (объеме) исследуемого материала. Например, содержание кадмия в продовольственном зерне (пшенице, ячмене, рисе, кукурузе, просе и др.) не должно превышать 0,1 мг/кг, в мясе и в полуфабрикатах — 0,05 мг/кг. В зерне и в мясе допустимый уровень ртути не более 0,03 мг/кг.

При экспертизе пищевой продукции большое внимание уделяется определению остаточных количеств минеральных удобрений, средств защиты растений и т. д. В продовольственном сырье и пищевых продуктах растениеводства определяют соли азотной и азотистой кислот, в мясе — метаболиты нитратов (N-нитрозамины). При экспертизе продовольственного сырья и пищевых продуктов проводят определение остаточных количеств пестицидов как глобальных загрязнителей.

Большое экологическое и санитарно-гигиеническое значение имеет оценка продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание в них радионуклидов, особенно долгоживущих — цезия-137 и стронция-90.

В мясе, других продуктах животного происхождения регламентируется содержание стимуляторов и фармакологических препаратов, используемых в животноводстве и ветеринарии.

Продукты убоя исследуют на наличие в них остаточных количеств применяемых в хозяйстве антибиотиков группы тетрациклина, гризина, бацитрацина. В молоке и молочных продуктах определяют содержание пенициллина, стрептомицина, левомицетина, тетрациклина.

Продовольственное сырье и пищевые продукты растительного и животного происхождения, предназначенные для детского питания, должны быть свободны от бензопирена — опасного тератогена и мутагена.

Большое внимание уделяют оценке продовольственной продукции на содержание в ней микотоксинов. Для зерновых продуктов основным микотоксином-загрязнителем

считается дезоксиниваленол (вомитоксин), для орехов и семян масличных культур — афлатоксин B1 для фруктов и овощей — патулин, для молока — афла-токсинM].

Паразитологическим исследованиям подвергают продовольственную продукцию растительного (овощи, фрукты, ягоды) и животного (мясо и др.) происхождения. Не допускается наличие яиц и личинок гельминтов и цист кишечных патогенных простейших в свежей столовой зелени, овощах, фруктах и ягодах, личинок трихинелл и финн (цистицерков) в мясе и мясных продуктах.

Большое санитарно-гигиеническое и экологическое значение имеют микробиологические исследования по обнаружению в пищевой продукции условно-патогенных (кишечная палочка и др.), патогенных (сальмонеллы и др.) микроорганизмов, особенно вызывающих общие болезни животных и человека (зооантропонозы).

Уделяется внимание контролю продовольствия на содержание в нем дрожжей, плесневых грибов и других микроорганизмов «порчи».

О пищевой ценности продовольственной продукции судят по содержанию в ней белков, жиров, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов.

Санитарно-гигиеническая оценка качества продовольственного сырья и пищевых продуктов растениеводства и животноводства — одно из основных условий в системе мероприятий по сохранению здоровья людей. Экологический союз России будет присваивать товарам с экологическими достоинствами знак «белый лотос».

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### **2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).**

**Тема:** «Актуальность генетико-экологических проблем в сельском хозяйственном производстве»

#### **2.1.1 Цель работы:**

Рассмотреть примеры актуальности генетико-экологических проблем в животноводстве

#### **2.1.2 Задачи работы:**

Выяснить возможности и применения генетико-экологических проблем в животноводстве на примерах

#### **2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Методические указания

#### **2.1.4 Описание (ход) работы:**

Оценка эколого-экономического ущерба в сельскохозяйственном производстве

Экологические мероприятия, как и материальное производство, должны приобрести экономическую оценку. В связи с этим возникла конкретная задача оценки размеров деградационных процессов в ценовом выражении в системе земледелия. Экономическим критерием экологических мер может служить величина предотвращенного ущерба.

Эколого-экономический ущерб показывает фактические или возможные убытки, причиняемые природному потенциалу территории в результате ухудшения состояния окружающей среды, и зависит от многих факторов.

Ведение адаптивно-ландшафтных систем земледелия становится экономически целесообразным при условии, что выручка от реализованной продукции будет не меньше затрат на возделывание выращиваемых культур и возмещение эколого-экономического ущерба. Таким образом, условия оценки целесообразности ведения полеводства следующие:  $V_{пр} \cdot Ц_{пр} \cdot З_{вз} + У_{ээ}, (1)$

где  $V_{пр}$  - объем произведенной продукции, т, ц;

$Ц_{пр}$  - цена продукции, руб.;

$З_{вз}$  - затраты на возделывание технологических культур, руб.;

$У_{ээ}$  - эколого-экономический ущерб от потерь почвенного плодородия при ведении сельскохозяйственного производства, руб.

Разрушение почв может происходить вследствие различных воздействий сельскохозяйственных технологий и техники

В качестве наиболее опасных с учетом механизации выделяют три воздействия: применение химических средств и ядохимикатов;

увеличение животноводческих стоков, выброс вредных газов в атмосферу из животноводческих помещений;

отрицательное воздействие самого машинного земледелия на почву и окружающую среду.

Размер удельного эколого-экономического ущерба от утраченного плодородия почвы определяем по формуле:

$У_{ээi} = З_{пп} + П_{нед} + З_{хз} + X, (2)$

где  $З_{пп}$  - сумма затрат, необходимых для восстановления утраченного плодородия почвы, руб.;

Пнед - стоимость сельскохозяйственной продукции, недополученной из-за снижения плодородия почвы от уплотнения пахотного слоя движителем, руб.;  
 Зхз - затраты на устранение последствий химического загрязнения почвы, руб.;  
 Х - стоимость прочих неучтённых факторов, требующих возмещения, руб.

Количество лимитирующих факторов устойчивого развития аграрного производства значительно больше, поэтому включённые в данную формулу элементы затрат по возмещению ущерба не могут считаться окончательными и по мере развития научного знания будут дополняться.

Предприятие, предвидя наносимый в результате производства ущерб, может или предотвратить его, затрачивая средства на проведение природоохранных мероприятий, в результате чего увеличивается себестоимость произведенной продукции, или возместить уже нанесенный окружающей среде ущерб, тем самым уменьшая полученную прибыль. Второй вариант более затратный. Учитывая данный подход, товаропроизводитель сам выберет наиболее приемлемый для него вариант решения.

Для полной картины необходимо определение эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного производства, которая выявляется с учетом оценки эколого-экономического ущерба и эколого-экономического эффекта.

При оценке экономической эффективности базовых технологий возделывания культур во Владимирском Ополье учеными Владимирского НИИСХ Кудаков А. С. Эколого-экономический ущерб и его оценка в сельскохозяйственном производстве

В качестве примера предлагаем рассмотреть показатели экономической эффективности возделывания картофеля на серых лесных почвах с учетом ущерба от смыва и минерализации гумуса (табл.1) и при различных уровнях интенсификации (табл.2).

Таблица 1. Показатели экономической эффективности возделывания картофеля на серых лесных почвах при разных классах деградации почв

Показатель	Класс деградации				
	0	I	II	III	IV
1. Урожайность, т/га	13,7	17,4	13,0	12,5	9,5
2. Стоимость полученной продукции, руб. /га	61	78	58	56	42
	650	300	500	250	750
3. Технологические затраты, руб. /га	23	23	23	23	23
	820	989	788	765	628
4. Условный чистый доход, руб. /га	37	54	34	32	19
	830	311	712	485	122
5. Эколого-экономический ущерб (Уээ), руб. /га	2534	2736	2420	2430	1977
6. Уровень рентабельности, %	159	226	146	137	81
7. Уровень рентабельности с учетом Уээ, %	148	215	136	126	73

Таблица 2. Показатели экономической эффективности возделывания картофеля на серых лесных почвах при разных уровнях интенсификации

Показатель	Уровень интенсификации		
	A	Б	В
1. Урожайность, т/га	7,97	13,0	14,4
2. Стоимость полученной продукции, руб. /га	35 068	58 500	74 905
3. Технологические затраты, руб. /га	20 432	23 788	23 860
4. Условный чистый доход, руб. /га	14 636	34 712	51 045
5. Эколого-экономический ущерб (Уээ), руб. /га	2420	2420	2420
6. Уровень рентабельности без учета Уээ, %	72	146	214
7. Уровень рентабельности с учетом предотвращенного Уээ, %	64	132	194
8. Уровень рентабельности с учетом нанесенного Уээ, %	60	136	204

Уровень интенсификации производства, безусловно, оказывает влияние на его результаты. Применение интенсивных технологий позволяет получить большую урожайность, а следовательно, и большую стоимость полученной продукции.

Данные табл.2 свидетельствуют об увеличении уровня рентабельности производства с ростом его интенсивности. Учет эколого-экономического ущерба снижает эффективность возделывания культур. При применении экстенсивной технологии экономически целесообразнее предотвратить ущерб, что позволит получить уровень рентабельности 64%. Для нормального и интенсивного уровней интенсификации производства выгоднее возместить нанесенный экологический ущерб, при этом уровень рентабельности составит соответственно 136 и 204%.

Результаты исследования могут применяться как для оценки эколого-экономического ущерба конкретного поля и агроландшафта, так и для крупных регионов России согласно административно-экономическому делению.

## **2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).**

**Тема:** «Агроэкосистемы круговорот веществ и потоки энергии в с.-х. экосистемах»

### **2.2.1 Цель работы:**

Рассмотреть примеры круговорота веществ и потоки энергии на примере

### **2.2.2 Задачи работы:**

Выяснить возможности и продолжительности круговорота определенного вещества в природе

### **2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Методические указания

### **2.2.4 Описание (ход) работы:**

В пределах территорий, находящихся под влиянием формирующихся и функционирующих агроэкосистем, складываются свои взаимосвязи. Многоплановая производственная деятельность человека вносит заметные корректизы в процессы массо- и энергообмена, затрагивая и изменяя их территориальные и временные характеристики. Агроэкосистемы, разумеется, причастны к данным изменениям (и подчас в немалой степени), способствуя, в частности, разомкнутости круговоротов веществ и др. Так, вследствие разомкнутости круговорота азота под влиянием химизации агроэкосистем планеты в воде и почвах накапливается и не возвращается в атмосферу ориентировано около 10 млн т данного элемента. Избыток биогенных веществ - причина загрязнения природных вод, развития нежелательных процессов в почвах и т.д. Нарушение естественных круговоротов веществ - не единственное последствие вмешательства человека в природные циклы. Сельское хозяйство изменяет в круговороте веществ и потоков энергии интенсивность и траектории их перемещения. Особенно опасно вовлечение в круговорот искусственно синтезированных веществ, в том числе и ксенобиотиков.

В пределах территорий, находящихся под влиянием формирующихся и функционирующих агроэкосистем, складываются свои особенности развития и перемещения миграционных потоков веществ, что по-разному оказывается на состоянии природных комплексов и их компонентов и требует нестандартных решений при рассмотрении конкретных природоохранных ситуаций.

В природных системах внутренний круговорот питательных веществ по объему значительно превышает их поступление из атмосферы и потери на вымывание из почвы. В управляемой сельскохозяйственной экосистеме распределение питательных веществ

меняется, что проявляется в снижении их переноса от первичных продуцентов к потребителям (консументам), а также в последующем закономерном изменении режима поступления этих веществ к редуцентам. Такого рода обстоятельства вызваны применением в агроэкосистемах пестицидов, осуществлением агротехнических мероприятий (регулирующего фактора). Характерно, что после заделки растительных остатков при последующей обработке почвы активность редуцентов повышается. Важно, что в результате управления агроэкосистемой наблюдается изменение обычного («консервативного») круговорота питательных веществ и увеличение скорости их перехода в абиотическое состояние. В агроэкосистемах изменяются или подавляются присущие природным системам свойства саморегулирования, что ведет к снижению биотической устойчивости.

Все экосистемы функционируют на основе прохождения биогеохимических циклов - эволюционно сложившихся универсальных природных процессов. В соответствии с принципами гомеостаза заметные изменения любого из формирующих экосистему функциональных компонентов могут послужить первопричиной существенных изменений других компонентов; при этом нарушается прежнее внутреннее строение системы (состав растительных и животных сообществ, доминирование органического вещества и т.д.). Стабильность экосистемы сохраняется и в том случае, если она переходит на новый уровень гомеостаза. Если же исключается или становится неэффективным любой из функциональных компонентов, экосистема может разрушиться под действием абиотических факторов, например под действием эрозии.

Достижение стабильного функционирования агроэкосистем, предотвращение возникновения и развития деградационных процессов требуют постоянной целенаправленной работы: научного осмыслиения особенностей биологического продуцирования, формирования целесообразных направлений практической деятельности. Принципиально важна сравнительная оценка свойств природных и культивируемых систем (табл.). В перспективе должно быть обеспечено максимальное приближение свойств искусственных образований к свойствам природных - к этому, по сути, и должны сводиться агроэкологические решения, основывающиеся на учете особенностей природных экосистем.

Свойства	Экосистемы		Свойства	Экосистемы	
	природные	культивируемые		природные	культивируемые
<i>Абиотические</i>			<i>Биотические</i>		
Скорость инфильтрации	Высокая	Низкая	Внутренний круговорот веществ, осуществляемый растениями	Выше	Ниже
Объем стока	Низкий	Высокий			
Эрозия	Низкая	Высокая	Синхронизация активности растений и микроорганизмов	Высокая	Низкая
Растительный покров	Значительный	Малый	Разнообразие биологической активности по времени	Высокое	Низкое
Опад и другие остатки	Много	Мало			
Камни	Много	Мало			
Потери почвенной влаги на испарение	Высокие	Низкие	Соотношение активности растений и микроорганизмов	1	Менее 1
Почвенные коллоиды	Много	Мало	Разнообразие растительных популяций	Высокое	Низкое

Потери на вымывание	Низкие	Высокие	Генетическое разнообразие	Высокое	Низкое
Температура почвы	Ниже	Выше	Потенциал воспроизведения	Высокий	Низкий

### 2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

**Тема:** «Организм и окружающая среда. Взаимодействие генотип-среда»

#### 2.3.1 Цель работы:

1. Выявить взаимодействие «генотип среда»

#### 2.3.2 Задачи работы:

**Научиться применять дисперсионный анализ в расчетах**

#### 2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Алгоритм расчета дисперсионного анализа

#### 2.3.4 Описание (ход) работы:

**Взаимодействие генотипа и среды.** Основной вывод из результатов большинства психогенетических исследований может быть сформулирован следующим образом: в психическом развитии ведущую роль играет взаимодействие генотипа и среды. Примером такого взаимодействия может служить обучение детей с разными генетическими задатками в обычной школе (среда 1) и в гимназии с углубленным изучением предметов (среда 2). Графически эффект взаимодействия генотипов с разными средовыми условиями представлен на рис. 4-5.

Изучение результатов взаимодействия разных генотипов с различными средовыми условиями приводит к выводу, что существует некая норма реакции — свойственный данному генотипу характер реакции на изменения условий среды, определяющий пределы изменения фенотипического признака.

Различают три вида генотип-средового взаимодействия:

1) пассивное, которое не предполагает целенаправленных действий со стороны индивида (например, ребенок эмоционально нестабильных родителей получает и гены, и семейную среду, способствующие развитию у него нейротизма);

2) реактивное, имеющее место в том случае, когда среда «подстраивается» под генотип (например, если часто плачущий ребенок получает положительное подкрепление — игрушки, сладости, — то такая форма поведения закрепляется);

3) активное, которое выражается в целенаправленных действиях индивида, связанных с поиском или созданием среды, способствующей реализации генотипа в фенотипе.

Поскольку в психологии нет возможности экспериментировать с объектом изучения как, например, в физике или сельскохозяйственной генетике, ценность результатов психогенетических исследований для понимания процесса психического развития определяется специфической процедурой получения данных в генетике поведения. Психогенетика пользуется естественными «экспериментальными» ассоциациями (близнецы, приемные дети и др.). Это один из немногих подходов, который позволяет «контролировать» традиционно неконтролируемую переменную психологического исследования — переменную испытуемого — так, в случае монозиготных близнецов идентичность генотипа обеспечивает абсолютное равенство испытуемых по критерию наследственности.

В зоотехнической практике и научных исследованиях довольно часто возникают ситуации, когда необходимо подвергнуть сравнительному анализу одновременно не две, а несколько групп животных: например, при испытании пород, линий, при оценке производителей по качеству потомства, определении стандартности линии или отобранный для каких-либо целей группы животных и в других случаях, связанных с изучением влияния различных факторов (биологических, кормовых, гигиенических) на рост, развитие, продуктивность, здоровье животных и другие интересующие зоотехника (или биолога) признаки.

В большинстве случаев важно не только установить факт воздействия на изучаемый объект того или иного фактора (т. е. достоверность влияния), но и выяснить степень этого воздействия, т. е. оценить его относительную силу. Сравнить одновременно несколько средних, определить достоверность и силу влияния различных факторов позволяет метод дисперсионного анализа — один из сложнейших и не до конца разработанных разделов биометрии.

Фактором может быть любое воздействие на изучаемые объекты, в частности на животных. Все факторы можно разделить на четыре группы.

I. Внешние по отношению к объекту воздействия: температура, влажность, место обитания, условия жизни и питания, стимуляторы жизненных функций и т.

II. Состояние животных: беременность (разные периоды), лактация, возраст, пол, работа, здоровье и т. п.

III. Отдельные признаки животных, влияющие на развитие других признаков: например, убой коров в зависимости от их живой массы. Здесь дисперсионный анализ соприкасается с корреляционным, и одновременное их проведение составляет так называемый *полный корреляционный анализ*.

IV. Происхождение животных от разных пород, линий, семейств, от отдельных производителей или отдельных маток, от групп производителей или от групп маток разного качества. Изучение влияния факторов четвертой группы играет важную роль в селекции животных, а также в генетических исследованиях.

Обычно приходится изучать разные степени действия фактора — разные его дозы, называемые *градациями фактора*. Так, например, при изучении наследственных влияний градациями фактора будут отдельные производители (или отдельные матки).

При изучении действия только одного фактора (в нескольких градациях) необходимую информацию о его силе и достоверности получают путем анализа *однофакторного дисперсионного комплекса*. При изучении действия одновременно двух или более факторов анализируют двухфакторный (или многофакторный) дисперсионный комплекс.

Следует отметить, что трехфакторный и более дисперсионный анализ используют в практике довольно редко вследствие ненадежности получаемых оценок силы влияния. Кроме того, существуют некоторые обязательные условия организации многофакторных комплексов. Одно из них — полная независимость изучаемых факторов друг от друга — обычно трудно выполнимо.

Например, нельзя изучать влияние таких факторов, как рост и живая масса, на продуктивность животных методом двухфакторного дисперсионного анализа, поскольку рост и масса животных взаимозависимы. Лучше в этом случае провести два однофакторных дисперсионных анализа.

Группа животных, которая подвергается воздействию определенной градации фактора, образует *градацию дисперсионного комплекса*. Таким образом, число градаций комплекса соответствует числу градаций фактора.

Наиболее важный момент в исследовании — отбор животных в группы — градации

Градации комплекса составляют таким образом, чтобы обеспечить случайность действия всех остальных факторов (кроме изучаемого), их неорганизованность, равновероятную направленность (рандомность) действия, что создаст фон, на котором можно выделить закономерность действия организованного в градации фактора.

*Градации комплекса* — это выборки, сделанные из заведомо разных генеральных совокупностей, поэтому наиболее приемлемым принципом формирования градаций комплекса является принцип случайного отбора в них отдельных объектов из совокупностей.

В тех случаях, когда не удается избежать систематического влияния на объект неизучаемого фактора (не удается рандомизировать его влияние), прибегают к двухфакторному дисперсионному анализу. И хотя второй фактор сам по себе может не интересовать исследователя, его влияние учитывают, чтобы выявить степень влияния

изучаемого фактора. Влияние фактора оценивают по изменениям у животных отдельного признака, который называют *результативным признаком*.

В эксперименте изучали влияние витаминно-минеральной подкормки на приросты поросят. Было сформировано четыре группы поросят (аналогичные по полу, возрасту, происхождению и т. д.) по 3 гол. в каждой. (Для учебных целей этого количества достаточно, но в практике исследований объем градаций — т. е. число животных в группе — должно быть оптимальным). Поросята 1-й группы получали обычный рацион (без подкормки), 2-й — тот же рацион, но с подкормкой в определенной дозе, 3 и 4-й — соответственно с двойной и тройной дозами подкормки. В конце опыта определили, сколько килограммов прироста получено *от каждого поросенка* в каждой из групп. По данным *индивидуальных* взвешиваний рассчитали средний прирост поросят в каждой группе. Результаты оформили в виде специальной таблицы — однофакторного дисперсионного комплекса, анализируя который выяснили силу и достоверность влияния изучаемого фактора.

При дисперсионном анализе можно пользоваться не фактическими значениями признака, а их преобразованными значениями, что сильно облегчает расчеты. Так, в нашем примере применили следующее преобразование: из фактических значений приростов за опытный период (месяц) вычли 19 кг, т. е. фактический прирост первого поросенка составлял 20, а последнего — 26 кг, а в дисперсионный комплекс занесли соответственно 20—19=1 кг и 26—19=7 кг.

Анализ комплекса проводят по следующей схеме.

1. Изучение частных средних с целью уяснения закономерности их изменения.
2. Разложение общей дисперсии ( $C_y$ ) на факториальную (межгрупповую) —  $C_x$  и случайную (внутригрупповую) —  $C_z$  дисперсии.
3. (Определение числа степеней свободы общего, факториального и случайного разнообразия:  $v_y$ ;  $v_x$ ;  $v_z$  и расчет вариант  $\sigma_y^2$ ;  $\sigma_x^2$ ;  $\sigma_z^2$ ).
4. Определение силы влияния фактора.
5. Определение достоверности влияния фактора.
6. Итоговая сводка показателей однофакторного дисперсионного комплекса и общие выводы.
7. При необходимости — проведение попарных сравнений частных средних друг с другом.

Таблица 2

Однофакторный дисперсионный комплекс

Фактор - витаминно-минеральная подкормка – ВМП.

Градации фактора: 0 - основной рацион без подкормки;

1 - основной рацион + одинарная доза ВМП;

2 - основной рацион + двойная доза ВМП;

3 - основной рацион + одинарная доза ВМП.

Градация комплекса – поросята, получавшие подкормку в разных дозах. Результативный признак – прирост массы за опытный период, кг

Градация фактора Показатель	0	1	2	3	Число градаций $g=4$
Величина результативного признака, $V$	1; 2; 3	4; 3; 2	9; 8; 7	6; 8; 7	$n_1=n_2=n_3=n_4=3$
Объем градаций (число животных в группе), $n$	3	3	3	3	Объем комплекса: $N=\sum n=12$
Сумма, $\sum v$	6	9	24	21	$\sum v=6+9+24+21=60$
Частные средние: $X_i=\frac{\sum v}{n}$	2	3	8	7	Общая средняя по комплексу: $X_{\Sigma}=\frac{\sum \sum v}{N}=\frac{60}{12}=5$

Факториальное разнообразие, $X$	$X_i - X_{\Sigma}$	-3	-2	3	2	Факториальная дисперсия (сумма квадратов отклонений): $Cx = \sum n * (X_i - X_{\Sigma})^2 = 27 + 12 + 7 + 12 = 78$
	$(X_i - X_{\Sigma})^2$	9	4	9	4	
	$N * (X_i - X_{\Sigma})^2$	27	12	27	12	
Случайное разнообразие, $Z$	$v - X_I$	-1; 0; +1	+1; 0; -1	+1; 0; -1	-1; +1; 0	Случайная дисперсия: $Cz = \sum (v - X_I)^2 = 8$
	$(v - X_I)^2$	1; 0; 1	1; 0; 1	1; 0; 1	1; 0;	
Общее разнообразие, $Y$	$v - X_{\Sigma}$	-4; -3; -2	-1; -2; -3	4; 3; 2	1; 3; 2	Общая дисперсия: $C_Y = \sum (v - X_{\Sigma})^2 = 16 + 9 + 4 + 1 + 4 + 9 + 16 + 9 + 4 + 1 + 9 + 4 = 86$
	$(v - X_{\Sigma})^2$	16; 9; 4	1; 4; 9	16; 9; 4	1; 9; 4	

Рассмотрев в табл. 2 частные средние ( $X_i$ ), можно составить представление о закономерностях действия фактора (в изучаемых градациях). В нашем примере с его усилением увеличивается средний прирост массы поросят: при малых дозах подкормки приrostы поросят меньше, при больших дозах — больше. Следует также отметить, что использование тройной дозы дает некоторый отрицательный эффект — приросты становятся меньше, чем при двойной дозе. Можно предположить, что в этих границах (от двойной до тройной дозы) находится оптимальная доза подкормки.

Сопоставление между собой частных средних дает основание высказать мысль о том, что степень их разнообразия (Может служить показателем силы влияния фактора. Как уже известно, частные средние (т. е. средние отдельных групп — выборок) могут отличаться друг от друга за счет случайности выборок. Поэтому, чем больше степень разнообразия частных средних по сравнению с уровнем их разнообразия, обусловленным случайностями, тем сильнее влияние фактора. Можно рассмотреть вопрос о влиянии фактора и в другом аспекте: чем меньше разнообразие частных средних по сравнению с уровнем случайного их разнообразия, тем сильнее, влияние фактора при его стабилизирующем, уравнивающем действий.

Степень разнообразия, как известно, оценивается такими показателями, как дисперсия —  $C$  (сумма квадратов центральных отклонений) и варианса —  $\sigma^2$ .

В однофакторном дисперсионном комплексе можно рассчитать при вида центральных отклонений (а следовательно, и три вида дисперсий  $C$  и варианс  $\sigma^2$ ):

1. Факториальные (межгрупповые) — отклонения частных средних от общей средней комплекса:  $X_i - X_{\Sigma}$ . В нашем примере они равны по градациям: 2-5=-3; 3-5=-2; 8-5=3; 7-5=2.
2. Случайные (внутригрупповые) — отклонения отдельных вариантов внутри каждой градации от своей частной средней:  $v - X_I$ . Поскольку в каждой отдельно взятой градации организованный фактор действовал на всех животных с одной и той же силой, то ясно, что разнообразие животных внутри каждой градации вызвано действием всех остальных - реномализированных (неорганизованных) факторов, случайным их действием. В нашем примере для первой градации: 1-2=-1; 2-2=0; 3-2=+1. Для второй: 4-3=+1; 3-3=0; 2-3=-1 и т. д. Эти данные занесены в строке ( $v - X_I$ ) таблицы дисперсионного комплекса (см. табл. 2).
3. Общие — отклонения каждого варианта от общей средней по комплексу:  $v - X_{\Sigma}$ . Они составляют для первой градации: 1-5=-4; 2-5=-3; 3-5=-2; для второй: 4-5=-1; 3-5=-2; 2-5=-3 и т. д.

На основе рассчитанных отклонений можно вычислить три дисперсии — суммы квадратов центральных отклонений: факториальную ( $Cx$ ), случайную ( $Cz$ ) и общую ( $C_Y$ ):  $Cx = \sum n * (X_i - X_{\Sigma})^2$ ;  $Cz = \sum (v - X_I)^2$ ;  $C_Y = \sum (v - X_{\Sigma})^2$ .

Факториальная дисперсия ( $Cx$ ), характеризующая разнообразие животных, обусловленное действием фактора ВМП, определяется сложением взвешенных числом

животных в каждой группе квадратов центральных отклонений частных средних от общей средней комплекса:

$$Cx=(-4)^2*3+(-2)^2*3+3^2*3+2^2*3=78.$$

Случайная (остаточная, внутригрупповая) дисперсия ( $Cz$ ), характеризующая разнообразие животных, вызванное влиянием всех других, не изучаемых причин, действие которых было реномизировано, определяется сложением квадратов отдельных отклонений значений признака от своей частной средней внутри каждой градации по всем градациям:  $Cz=(-1)^2+0+1^2+0+(-1)^2+u$  т. д. =8.

Общая дисперсия ( $Cy$ ) определяется как сумма квадратов отклонений значений каждого отдельного варианта от общей средней комплекса:

$$Cy=(-4)^2+(-3)^2+(-2)^2+(-1)^2+(-2)^2+u$$
 т. д. =86.

Заметим, что общая дисперсия ( $Cy$ ) в точности равна сумме двух остальных дисперсий — факториальной ( $Cx$ ) и случайной ( $Cz$ ):

$$Cy=Cx+Cz=78+8=86.$$

В этом состоит основное свойство структуры дисперсионного комплекса. Равенство справедливо для любых комплексов и может использоваться для проверки расчетов.

Таким образом, общая дисперсия  $Cy$  оказалась разложенной на две составляющие — дисперсию факториального разнообразия —  $Cx$  и дисперсию случайного разнообразия —  $Cz$ .

Для расчета варианса ( $\sigma_i^2=\frac{C_i}{v_i}$ ) необходимо определить число степеней свободы факториального, случайного и общего разнообразия.

Число степеней свободы факториального разнообразия определяют по формуле  $v_x=g-1$ , где  $g$  — число градаций комплекса (число частных средних),  $v_x=4-1=3$ .

Число степеней свободы случайного разнообразия  $v_z=N-g$ . Эта формула выводится вследствие сложения числа степеней свободы для каждой отдельной градации по всем градациям, т. е.

$$v_z=(n_0-1)+(n_1-1)+(n_2-1)+(n_3-1)=\sum n_i-4=12-4=8.$$

Число степеней свободы общего разнообразия:  $v_y=N-1=12-1=11$ .

Вариансы рассчитывают путем деления соответствующей дисперсии на одноименное число степеней свободы:

а) факториальная варианса:  $\sigma_x^2=\frac{Cx}{v_x}=\frac{78}{3}=26$ ;

б) случайная варианса:  $\sigma_z^2=\frac{Cz}{v_z}=\frac{8}{8}=1$ ;

в) общая варианса:  $\sigma_y^2=\frac{Cy}{v_y}=\frac{86}{11}=7,822$ .

Заметим, что в дисперсионных комплексах  $\sigma_y^2$  не равна сумме факториальной и случайной варианс:

$$\sigma_y^2 \neq \sigma_x^2 + \sigma_z^2; 7,82 \neq 26 + 1.$$

Далее рассчитаем силу влияния фактора. Для этого существует несколько способов:

а) (путем расчета квадрата корреляционного отношения  $\hat{\eta}_x^2$  через отношение факториальной дисперсии к общей):

$$\hat{\eta}_x^2=\frac{Cx}{Cy}=\frac{78}{86}=0.907.$$

Это основной способ, непосредственно вытекающий из того, что  $Cy=Cx+Cz$ . Из формулы хорошо видно, что чем сильнее влияние фактора, тем больше факториальная

дисперсия  $C_x$  и меньше случайная дисперсия  $C_z$ , и наоборот — чем меньше влияние фактора, тем меньше  $C_x$  и больше  $C_z$ .

Поэтому по доле факториальной дисперсии в общей дисперсии можно прямо судить о силе влияния фактора:

$$\eta_x^2 = \frac{C_x}{C_y}.$$

Разумеется, доля (часть) никогда не может превышать целого (т. е. быть больше единицы) или быть меньше нуля, т. е. отрицательным числом. Основной показатель силы влияния фактора, рассчитываемый через отношение дисперсий, может принимать значения в пределах от нуля до единицы.

Другие способы расчета силы влияния фактора, хотя и имеют определенное логико-математическое обоснование, в исследованиях могут давать биологически бессмысленные результаты — отрицательны величины или значения больше единицы;

б)  $L = 1 - \frac{\sigma_z^2}{\sigma_y^2} = 1 - \frac{1}{7,82} = 0,872$ ;

в)  $r_\omega = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_z^2}{\sigma_x^2 + (n-1)*\sigma_z^2}$ .

Этот способ оценки силы влияния путем расчета так называемого коэффициента внутриклассовой корреляции  $r_\omega$  широко применялся в селекционно-генетических работах для оценки коэффициента наследуемости до отцам (производителям). Однако более глубокий теоретический анализ (З. С. Никоро и Э. Х. Гинзбург, 1976) показал, что коэффициент внутриклассовой корреляции по отцам вообще не может быть использован для оценки степени наследуемости.

В нашем примере:

$$r_\omega = \frac{26 + (3-1)*1}{26-1} = 0,893.$$

В том случае, если число животных в каждой градации было неодинаковым, вместо  $n$  используют  $n_0$ , рассчитанное по формуле

$$n_0 = \frac{1}{g-1} \left( N - \frac{\sum n_i^2}{N} \right).$$

В нашем примере рассчитанные значения силы влияния фактора близки между собой. Все три оценки состоятельны в смысле сходимости по вероятности, что дает основание использовать основной способ как более подходящий в биологических исследованиях.

Для определения достоверности влияния фактора используют отношение вариансы факториальной к случайной:

$$F = \frac{\sigma_q^2}{\sigma_\epsilon^2}.$$

Полученное значение  $F_{\text{факт}}$  следует сравнить с табличным  $F_{st \text{ (табл)}}$  критерия Фишера для тех двух степеней свободы, которые рассчитаны в комплексе  $v_i = v_x$  для большей — факториальной дисперсии и  $v_2 = v_z$  для меньшей — случайной дисперсии.

В основе такого сравнения дисперсий лежит уже известный факт: частные средние могут отличаться друг от друга в силу чисто случайных причин, даже когда изучаемый фактор не оказывает никакого воздействия на объект. Для того, чтобы можно было с достаточно высокой вероятностью (0,95 и выше) говорить о влиянии фактора, разнообразие частных средних, определяемое при анализе комплекса, должно превышать степень их случайного разнообразия.

Величину этого превышения и определяют в несколько математически измененном виде отношением факториальной вариансы к случайной —  $F$ . Если полученное значение  $F$

будет больше (или равно) любого из трех табличных для данного в комплексе числа степеней свободы, можно делать вывод о достоверности влияния фактора.

Определим достоверность влияния фактора в нашем примере:

$$F_{факт} = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_z^2} = \frac{26}{1} = 26''$$

## 2.4 Лабораторная работа № 4 (2 часа).

**Тема:** «Генофонд популяции и оценка его состояния»

### 2.4.1 Цель работы:

Определить состояние генетической популяции по частоте аллелей

### 2.4.2 Задачи работы:

Научиться определять генетическое равновесие генетической популяции по уравнению Харди-Вайнберга

### 2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Алгоритм расчета генетической популяции

### 2.4.4 Описание (ход) работы:

Расчет частот генотипов и аллелей в популяции

Основой анализа генетического равновесия является вычисление частот генотипов и аллелей, их образующих. Для нахождения частоты встречаемости определенного генотипа в популяции подсчитывают число несущих его животных –*m*. Частота генотипа может быть выражена как в абсолютном (*m*), так и в относительном (*p*=*m*/N) виде. Однако для расчета частоты аллелей обычно используют абсолютные величины. Частоту аллелей вычисляют по следующей формуле:

$$P_i = (2m_{ii} + \sum m_{ij})/2N \quad (1.1)$$

где *P<sub>i</sub>*- частота *i*-того аллеля;

*m<sub>ii</sub>*- частота гомозиготных носителей данного аллеля;

$\sum m_{ij}$ - сумма частот гетерозиготных носителей;

*N*- численность популяции.

В том случае, если ген представлен только двумя аллелями, уравнение принимает следующий вид:

$$P_i = (2m_{ii} + m_{ij})/2N \quad (1.2)$$

Для частот, рассчитанных по формулам 1.1 и 1.2, справедливо следующее равенство:  $\sum P_i = 1$ .

Разберем расчет частоты аллелей на следующем примере:

У крупного рогатого скота красной горбатовской породы выявлено два аллеля гена трансферрина (TF): A, D и E. Число животных с генотипами равно: AA - 10; AD - 24; AE - 1; DE - 1; DD - 16; EE

Рассчитать частоту аллелей.

*P<sub>i</sub>* – частота аллелей A, D и E.

*m<sub>ii</sub>* - число гомозиготных носителей аллелей AA, DD и EE = 10, 16, 1.

*m<sub>ij</sub>* – число гетерозиготных животных с генотипами AD, AE, DE, число которых равно 24, 1 и 1.

*N* – сумма всех генотипов = (10+24+1+1+16) = 53.

Частота аллеля A будет равна:

$$P_A = (2m_{AA} + m_{AD} + m_{AE})/2N = (2*10 + 24 + 1)/2*53 = 45/106 = 0,424$$

Частота аллеля D:

$$P_D = (m_{DD} + m_{AD} + m_{DE})/2N = (2*16 + 24 + 1)/2*53 = 57/106 = 0,538$$

Частота аллеля E:

$$P_E = (m_{EE} + m_{AE} + m_{DE})/2N = (2*1 + 1 + 1)/2*53 = 4/106 = 0,038.$$

$$\sum P_i = 0,424 + 0,538 + 0,038 = 1.$$

Расчет частоты аллелей A, D и E выполнен верно.

Выполнить самостоятельно следующие задания:

**Задание 1**

У крупного рогатого скота красной горбатовской породы выявлено два аллеля гена постальбумина (PALB): А и В. Число животных с генотипами равно: АА – 4; АВ – 14; ВВ – 24. Рассчитать частоту аллелей.

**Задание 2**

У крупного рогатого скота выявлено два гена посттрансферрина (PTF): А и В. Число животных с генотипами равно: АА – 18; АВ – 14; ВВ – 12. Рассчитать частоту аллелей.

**Задание 3**

У овец кавказской породы в М-системе выявлено 2 аллеля. Число животных с генотипом М<sub>aa</sub> = 6; М<sub>ab</sub> = 39; М<sub>bb</sub> = 53. Рассчитать частоту аллелей.

**Анализ генетического равновесия**

В 1908 г. Г.Харди и В.Вайнберг независимо друг от друга сформулировали основной закон популяционной генетики, названный из именами, который гласит: «В популяции, в которой скрещивания осуществляются случайно, при условии равновесия, не нарушающего ни отбором, ни мутациями, и при высокой её численности соотношение генов и генотипов из поколения в поколение остается абсолютно постоянным». Соотношение частот генотипов в этой ситуации описывается уравнением, получившим название уравнение Харди-Вайнберга:

$$1 = (p_A - p_a)^2 \text{ при этом } p + q = 1 \quad (1.3)$$

В традиционном виде уравнение принято записывать так:

$$p^2_{AA} + 2pq_{Aa} + q^2_{aa} = 1$$

Например:

У крупного рогатого скота ген каппа-казеина, влияющий на технологические свойства молока, представлен двумя аллелями: А и В. Для производства твердых сыров пригодного только молоко, содержащее казеин ВВ. В таблице 1.1 приведены данные о числе животных разных генотипов по каппа-казеину в выборках, полученных из популяций черно-пестрого, швицкого и красного горбатовского скота.

Частота различных генотипов каппа-казеина у крупного рогатого скота (Н.А.Зиновьева и др, 1999; Ю.А.Столповский и др., 1999)

Порода	Генотипы		
	АА	АВ	ВВ
Черно-пестрая	17	28	20
Швицкая	17	45	85
Красная горбатовская	20	26	8

Частота генотипов каппа-казеина у скота черно-пестрой породы

$$p^2_{AA} = 17, \quad pq_{AB} = 28, \quad q^2_{BB} = 20, \quad (\text{табл.1.1}).$$

$$\text{Частота аллелей из уравнения 1.2 составит: } p = (2m_{AA} + m_{AB})/2n = (2*17 + 28)/2(17 + 28 + 20) = 62/130 = 0,477.$$

$$q = (2m_{BB} + m_{AB})/2n = (2*20 + 28)/130 = 0,533.$$

Частота генетических генотипов для данной группы популяции равна:

$$p^2_{AA} + 2pq_{AB} + q^2_{BB} = 0,477^2 + 2 * 0,477 * 0,533 + 0,533^2 = \\ 0,228 + 0,499 + 0,273 = 1$$

Теоретическая численность животных составляет  $AA = 0,228 * 65 = 15$ ,  
 $AB = 0,499 * 65 = 32$ ,  $BB = 0,273 * 65 = 18$ .

Следовательно, теоретическая и фактическая численность животных не совпадает. Однако следует выяснить закономерна ли разница между фактической и теоретической частотой или она зависит от случайных факторов.

Для этого, по методу хи-квадрат используется для проверки гипотез путем сравнения фактического распределения с теоретическим. Использование ошибок выборочных показателей и сравнение двух вариационных рядов основаны на нулевой гипотезе ( $H_0$ ), которая предполагает, что между сравнильными выборками нет достоверных различий. Нулевая гипотеза опровергается или остается в силе. Критерием оценки этих суждений является уровень достоверности –  $P$ .

Вычисления критерия соответствия хи-квадрат также основано на принципах нулевой гипотезы. Критерий хи-квадрат используют при сравнении частот двух эмпирических рядов или сравнении эмпирических рядов с теоретическим при гибридологическом анализе, при проверке различных гипотез, при оценке эффективности применения лекарственных средств, закономерности распределения частот в популяциях и др. Критерий хи-квадрат – показатель приближенный. Он применим для выборок численностью 20 особей и более. Его нельзя использовать, когда частоты выражаются в относительных величинах. Критерий хи-квадрат вычисляется по формулам:

$$x^2 = (O - E)^2 / E \quad (1.4)$$

$$x^2 = [(O - E) - 1/2]^2 / E \quad (1.5)$$

где  $O$  – наблюдаемое число особей  
 $\chi^2$ -поправка Йетса

Если  $n$  и ожидаемые величины велики, то можно пользоваться формулой 1.4 без поправки.

Подставив в формулу 1.4 фактические и теоретические частоты, получим:

O	E	O - E	$(O - E)^2$	$(O - E)^2 / E$
17	15	2	4	0,27
28	32	-4	16	0,5
20	18	2	4	0,22
$\Sigma=65$	$\Sigma=65$			$\Sigma=0,99$

Полученная  $(O - E)^2 / E$  представляет собой величину хи-квадрат. В данном примере он равен 0,99.

При оценке согласия принято пользоваться тремя уровнями значимости:  $P=0,05$ ;  $P=0,01$ ;  $P=0,001$ , для которых в приложении 1 приведены стандартные значения хи-квадрат. Если вычисленные значения хи-квадрат больше стандартного, находящегося в графе  $P=0,01$  и тем более в графе  $P=0,001$ , то следует считать, что гипотеза не согласуется с полученными в опыте данными. Если вычисленная величина хи-квадрат меньше табличной, находящаяся в графе  $P=0,01$ , но больше той, которая находится в графе  $P=0,05$ , согласие наблюдаемых данных с ожидаемыми является сомнительным. Однако это не дает право отбросить нулевую гипотезу. Если вычисленная величина хи-квадрат меньше табличной графы  $P=0,05$ , то соответствие наблюдаемых данных с ожидаемыми считаются установленным.

Величина хи-квадрат зависит от числа степеней свободы. Поэтому для каждого значения вероятности ( $P$ ) дано несколько значений хи-квадрат, расположенных в приложении 1 под определенным уровнем значимости. В рассматриваемых нами примерах число

степеней свободы ( $v$ ) на единицу меньше числа классов. В задаче имеются два класса, число степеней равно 1. следовательно, для решения задачи нужно использовать из приложения 1 уровни вероятности и строку « $v=1$ ». В этой строке стоят три значения хи-квадрат: 3,8; 6,6; 10,8. вычисленные значения хи-квадрат значительно меньше табличных. Следовательно, частота генотипов по каппа-казеину соответствует теоретически ожидаемому и находится в генетическом равновесии.

## **2.5 Лабораторная работа № 5 (2 часа).**

**Тема:** «Загрязнение окружающей среды в связи с с.-х. производством»

### **2.5.1 Цель работы:**

Ознакомиться с основными источниками загрязнения окружающей среды

### **2.5.2 Задачи работы:**

Научиться классифицировать загрязнения окружающей среды по видам и меры борьбы с ними

### **2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Рекомендации, и характеристики загрязнений окружающей среды

### **2.5.4 Описание (ход) работы:**

Загрязнение окружающей среды – поступление в окружающую среду веществ и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

В обиходе загрязнением в узком смысле считается привнесение в какую-либо среду новых, не характерных для нее физических и биологических агентов или превышение естественного среднемноголетнего уровня этих агентов в среде.

Загрязнение – широкое понятие. Это комплекс загрязнителей.

Загрязнитель – более узкое понятие.

Загрязняющее вещество – вещество или смесь веществ, количество и (или) концентрация которых превышают установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов нормативы и оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Загрязнение на бытовом уровне – все то, что не в том месте, не в то время, не в том количестве, какое естественно.

То, что дает загрязнение – источники загрязнения, которые бывают: первичные, вторичные, стационарные и передвижные.

- первичные – непосредственно любое промышленное предприятие, теплоэлектростанция, животноводческий комплекс, от которого поступают различные загрязнители;
- вторичные – в ходе накопления трансформации первичных (воздух, вода, продукты питания);
- стационарные – любые предприятия АПК;
- передвижные – транспорт.

Классификации основных видов загрязнения

Классификация загрязнения по происхождению:

- естественное – возникает в процессе мощных природных явлений без участия человека (извержение вулканов, лесные пожары, лавины, пылевые бури);
- антропогенное – является результатом деятельности человека и по масштабам превосходит природное.

Антропогенное загрязнение делится на 4 группы:

- промышленное;
- транспортное;
- бытовое;
- сельскохозяйственное.

Промышленное – потенциальными источниками загрязнения среды в Саратовской области является около 33,3 тыс. предприятий. В окружающую среду (атмосферный воздух) поступает свыше 400 наименований загрязняющих веществ различных классов опасности. Выбросы от стационарных источников в 2009 г. составили 120, 867 тыс. т. По объему выбросов лидируют: транспорт (трубопроводный) и связь (ООО «Газпром трансгаз Саратов») – 60,1 % от общей доли выбросов, обрабатывающие производства – 23,9 %, производство и распределение электроэнергии, газа и воды – 7,8 %, добыча полезных ископаемых – 4,8 %, прочие виды экономической деятельности – 3,4 %. В целом по области произошло снижение объемов выбросов ЗВ на 23,0 %. Саратов лидирует по количеству выбросов и сбросов среди всех городов области.

Транспортное – 89% всех выбросов приходится на предприятия автомобильного транспорта, 2% – авиатранспорт 1% – водный транспорт. Транспорт дает 60% – 70% химического и 90% шумового загрязнения. Отработанные газы двигателей внутреннего сгорания содержат более 200 наименований различных загрязнений, в том числе канцерогенных. С транспортом связано более 90% свинцового загрязнения. В Саратовской области выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников в 2009 г. составили 312,374 тыс. т. При увеличении на 2,4 % общего количества зарегистрированных на территории области автомобилей выбросы ЗВ уменьшились на 6,5 %. Этот факт объясняется уменьшением количества грузового транспорта и автобусов, вносящих наибольший вклад в загрязнение воздушной среды.

Бытовое – ЖКХ является поставщиком различных отходов. Отходы, образующиеся от жизнедеятельности населения относятся к 4 классу опасности. В Саратовской области ежегодно образуется более 4 млн. м<sup>3</sup> ТБО, которые захораниваются на соответствующих полигонах и свалках. На территории области имеется 746 объектов размещения отходов: полигонов ТБО – 21, санкционированных свалок – 351, несанкционированных свалок – 331, шламонакопителей – 17, иных мест размещения отходов (иловые площадки, отвалы) – 26. Обустройство и эксплуатация большинства существующих свалок ТБО не отвечает в полной мере санитарным и экологическим требованиям. В Саратовской области резко возросло количество несанкционированных свалок, которые являются источниками загрязнения окружающей среды, тяжелыми металлами и диоксинами, причем диоксиновое загрязнение может обнаруживаться на расстоянии 5 км.

Сельскохозяйственное – проблема связана с загрязнением водоемов продуктами эрозии, химическое загрязнение менее выражено, что связано с резким сокращением объемов внесения агрохимикатов и с появлением новых классов химических соединений в меньшей степени влияющих на окружающую среду. Тем не менее в 2009 г. ФГУ «Саратовский ЦГМС» обследовал почвы вокруг склада ГУП «Аткарсагропромхимия» Аткарского района (250 га). Максимальные значения для остаточного количества были обнаружены по ДДТ – 37 ПДК и по ГХЦГ – 6,7 ПДК. Значительное загрязнение обнаруживалось в западном направлении на расстоянии 50 и 100 м от склада. При изучении состояния почв в районе склада пестицидов ОАО «Ершовская сельхозхимия» также были обнаружены остаточные количества вышеперечисленных препаратов, но в значительно меньших концентрациях.

Классификация загрязнения по сущности:

- физическое;
- химическое;
- физико – химическое;
- биологическое.

Физическое – связано с изменением физических температурно-тепловых, волновых и других параметров среды. Различают тепловое, шумовое, радиоактивное, световое, электромагнитное.

Тепловое – сточные воды ТЭС теплее на 8 – 10 градусов, чем вода в водоемах. Такая температура способствует усиленному развитию водорослей планктона; температурная

граница преграждает путь на нерест лосося и угря. Для развития икры налима температурный перепад выше 1,5 градусов достаточно губителен. Кроме того тепловое загрязнение способствует развитию некоторых заболеваний рыб.

Шумовое – человек всегда жив в мире звуков. В природе громкие звуки редки, шум относительно слаб и непродолжителен. Тихий шелест листвы, журчанье ручья, шум прибоя – эти звуки всегда были приятны человеку, они успокаивают его, снимают стресс.

Звуки большой мощности поражают слуховой аппарат, нервные центры, могут вызвать болевые ощущения и шок. Длительный шум неблагоприятно действует на орган слуха, понижает его чувствительность к звуку.

## **2.6 Лабораторная работа № 6 (2 часа).**

**Тема:** «Биогеохимические пищевые цепи в производстве с.-х. продукции»

### **2.6.1 Цель работы:**

Рассмотреть пищевые биогеохимические и трофические связи в природе

### **2.6.2 Задачи работы:**

Проанализировать трофические связи в природе и дать оценку

### **2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Примеры трофических связей

### **2.6.4 Описание (ход) работы:**

Одним из наиболее существенных свойств экосистем является наличие в них пищевых цепей и сетей. Трофическая (пищевая) цепь – последовательность видов организмов, отражающая движение в экосистеме органических веществ и заключенной в них биохимической энергии в процессе питания организмов. Термин происходит от греч. *trofe* – питание, пища. Для дальнейшего изучения рассмотрим следующие термины: продуценты, консументы и редуценты.

*Продуценты* (от англ. *to produce* – производить) – организмы, производящие органические вещества из неорганических соединений. Продуцентами в экосистеме являются автотрофные организмы, преобразующие путем фотосинтеза внешнюю (солнечную) энергию в биохимическую энергию, заключенную в органическом веществе. Примерами продуцентов в наземных экосистемах являются растения. Фитопланктон – мельчайшие водоросли – является другим примером продуцентов, характерных для морских и вообще водных экосистем.

*Консументы* (от лат. *конsume* – потреблять) – это организмы, питающиеся органическим веществом, произведенным другими организмами (продуцентами). Такими организмами в экосистеме являются гетеротрофы. Различают консументы 1-го и 2-го порядков. *Консументы 1-го порядка* – растительноядные организмы (например, овца, заяц). *Консументы 2-го порядка* – плотоядные, которые строят свои белки из белков растительного и животного происхождения (хищники).

*Редуценты* – организмы (главным образом, бактерии, грибы и др.), превращающие органические остатки в неорганические вещества (минерализация). Синоним термина – деструкторы (от англ. *to destruct* – разлагать).

Трофические (пищевые) уровни. В любой экосистеме можно выделить несколько трофических уровней или звеньев. Первый уровень представлен продуцентами, а второй и последующий уровни – консументами. Последний уровень в основном образуется микроорганизмами и грибами, питающимися мертвым органическим веществом (редуцентами). Их основная функция в экосистеме – разложение органического вещества до исходных минеральных элементов. Взаимосвязанный ряд трофических уровней и представляет цепь питания, или трофическую цепь.

Важно подчеркнуть, что цепь питания не всегда может быть полной. Во-первых, в ней могут отсутствовать продуценты (растения). Такие цепи питания характерны для сообществ, формирующихся на базе разложения животных или растительных остатков, например,

накапливающихся в лесах на почве (лесная подстилка). Во-вторых, в цепях питания могут отсутствовать (либо находится в очень малом количестве) гетеротрофы (животные). Например, в лесах отмирающие растения или их части (ветви, листья и др.), т.е. продуценты, сразу включаются в звено редуцентов.

Виды трофических цепей. Трофические цепи в зависимости от числа уровней подразделяются на *простые* и *сложные* (многоуровневые) цепи. Примером простой цепи, в которой представлены все три вида уровней (продуцент, консумент и редуцент), может служить следующая последовательность организмов:

ОСИНА – ЗАЯЦ – ЛИСА.

Простая трофическая цепь имеет три трофических уровня. Сложные цепи в отличие от рассмотренных выше простых имеют большее число уровней, но обычно не превышающее 5–6 в реальных природных экосистемах. Ниже приводится пример сложной пятиуровневой цепи:

ТРАВА – ГУСЕНИЦА – ЛЯГУШКА – ЗМЕЯ – ХИЩНАЯ ПТИЦА.

Различают три основных типа трофических цепей:

- цепи хищников;
- цепи паразитов;
- сапрофитные цепи.

Примеры трофических цепей хищников:

ТРАВА – ОВЦА – ВОЛК;

ЛИСТ ДУБА – ГУСЕНИЦА – СИНИЦА – ЯСТРЕБ.

Отличительной особенностью трофических цепей паразитов от цепей хищников является то, что в цепях хищников размеры особей увеличиваются по мере продвижения по уровням цепи (слева направо), а в цепях паразитов – наоборот. *Сапрофитные* (от греч. *сапрос* – гнилой) цепи – это трофические цепи с разложением органического вещества, т.е. включающие редуцентов. К сапрофитам относятся организмы (грибы, некоторые растения и др.), питающиеся органическим веществом и преобразующие его в минеральные соединения. Ниже приведен пример такой трофической цепи:

ЛИСТВЕННЫЕ ДЕРЕВЬЯ – ЧЕРВИ – ГРИБЫ.

Трофические сети. В реальных природных экосистемах, включающих большое число видов организмов, функционируют и большое количество трофических цепей, причем некоторые виды участвуют одновременно в нескольких различных цепях питания, т.е. некоторые цепи образуют общие уровни. Комбинации различных трофических цепей, имеющих общие уровни в экосистеме, называются *трофическими сетями*.

## 2.7 Лабораторная работа № 7 (2 часа).

Тема: «Наследственно-средовые мультифакторные заболевания»

### 2.7.1 Цель работы:

Ознакомиться с основными наследственными и наследственно-средовыми заболеваниями

### 2.7.2 Задачи работы:

Определить частоту встречаемости мутаций и возможность сохранения мутаций в популяции

### **2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

#### **2.7.4 Описание (ход) работы:**

Мутации, представляющие собой стойкие изменения в структуре ДНК, хромосом и количественном составе кариотипа, постоянно и с определенной частотой возникают в популяциях животных.

Фенотипически мутации нередко проявляются в формах врожденных уродств (аномалий), в смертности, снижении жизнеспособности и устойчивости к болезням, нарушении воспроизводительной функции. В популяциях сельскохозяйственных животных в процессе длительного их существования накоплен определенный груз вредных рецессивных мутаций и аберраций хромосом. Для профилактики распространения вредных мутаций необходима прежде всего организация учета всех форм патологии животных.

Генетический контроль (мониторинг) вредных мутаций должен включать тщательный клинический анализ болезней и уродств, экспертизу происхождения аномальных животных, выяснение роли наследственности в их этиологии. Значение проблемы генетического мониторинга в современном животноводстве связано с рядом обстоятельств. Так, в связи с использованием искусственного осеменения постоянно сокращается число производителей; следовательно, степень влияния каждого из них на генофонд стада, распространение наследственных дефектов значительно увеличилась. Поэтому особо важное значение при организации крупномасштабной селекции приобрела оценка генотипов быков, хряков, баранов, используемых в интенсивном воспроизводстве. Контроль воспроизводительных способностей производителей общепринятыми методами по качеству потомства не дает полных сведений о возможности генетического влияния их на оплодотворяемость, эмбриональную смертность, рождение аномального и нежизнеспособного, подверженного заболеваниям плода. Ситуация осложняется тем, что большинство аномалий и уродств — это рецессивно наследуемые генные мутации, фенотипически проявляющиеся только в гомозиготном состоянии. Наследуемые хромосомные аномалии фенотипически проявляются лишь у взрослых дочерей производителей в виде гибели эмбрионов.

Для проверки производителей на носительство скрытых генетических дефектов и элиминации их из воспроизводства необходимы регистрация всех случаев уродств и аномалий, контроль состояния структуры и функции хромосом.

Организация мониторинга в животноводстве позволяет контролировать уровни мутагенов в окружающей среде, их влияние на хромосомный аппарат, рост, развитие и продуктивность животных, осуществлять профилактику распространения генетической патологии.

В норме распространение аномалий – 1%. Распространитель летальных и полулетальных генов – производитель.

#### **Аномалии у к.р.с.:**

1. Укорочение нижней челюсти – аутосомный рецессивный.
2. Отсутствие носовых отверстий – аутосомный рецессивный.
3. Пупочная грыжа – или аутосомный рецессивный, или доминантный. Относительная частота отдельных типов аномалий в каждой популяции различна.

#### **Аномалии у свиней:**

1. Мозговая грыжа – аутосомный рецессивный.
2. Отсутствие анального отверстия – не какого наследования.
3. Расщепление нёба (волчья пасть) – доминантный.

#### **Аномалии у овец:**

1. Отсутствие нижней челюсти и непроходимость пищевода - аутосомный рецессивный.
2. Коротконогость - аутосомный рецессивный. 3. Комолость.

**Аномалии у птиц:** наиболее часто встречаются аномалии клюва (клюв попугая, перекрещивающийся клюв)

Аномалии у лошадей: у тяжеловозных пород чаще встречается атрезия ободочной кишки, пупочная грыжа. Главный метод профилактики – выявления гетерозиготных носителей наследственных аномалий.

Способы выявления:

- 1) анализирующее скрещивание – полулетальные;
- 2) кровосмешение – летальные;
- 3) спаривание с матками неизвестного генотипа.

Распространение генетических аномалий животных

В современных условиях разведения животных, когда генотип производителя за короткое время может быть репродуцирован тысячами его потомков, ущерб от рождения аномального приплода, снижения его плодовитости и жизнеспособности может быть больше улучшающего эффекта по продуктивности, если производитель является носителем вредных генов или аберраций хромосом.

При использовании в разведении быков, содержащих в кариотипе вредные гены, их самих, а также их сыновей и внуков частота генетической аномалии быстро возрастает. Например, в костромской породе интенсивно использовали быка Бурхана 6083, в потомстве которого было зарегистрировано несколько типов уродства (укорочение нижней челюсти, мопсовидность и пучеглазие, водянка, слепота, уродства конечностей и др.). В результате, если частота этих аномалий в приплоде Бурхана составила 4,87 %, то у его внука быка Жетона 3501 уже 17,3 % потомков имели уродства головы.

Анализ 14 линий костромского скота (Жигачев А. И., 1986) выявил большое число уродств в линии Ладка. Причиной такого явления обычно служит насыщение родственной группы животных (линий) рецессивными мутациями при отсутствии браковки гетерозиготных по вредным генам животных.

Влияние дрейфа генов, усиление концентрации вредного аллеля возрастают при повышении нагрузки на одного производителя. Скорость протекания генетико-автоматических процессов (дрейфа) зависит от эффективной численности популяций. Для определения последней используют формулу  $Ne = 4Nf Nm/Nf + Nm$ , где  $Ne$  – эффективная численность популяции;  $Nf$  – количество самок;  $Nm$  – количество самцов, участвующих в размножении.

Зависимость интенсивности генетико-автоматических процессов (дрейфа) от размера популяции определяется по формуле  $K = 1/2 Ne$ , где  $K$  – доля, на которую изменяется концентрация аллеля.

Так, если на поголовье 1000 маток будут использоваться 5 быков, величина  $K$  составит 2,0 %, а при использовании одного быка  $K$  будет равна 10 %. Особенno резко может повыситься частота мутантного аллеля в популяции, если при разведении линии генотип гетерозиготного родоначальника будет репродуцироваться с применением инбридинга, как это имело место в линии Ладка и его продолжателя Бурхана. В пяти поколениях этой линии зарегистрировано 117 телят-уродов. З большинстве случаев родословные отцов и матерей замыкались на трех предков – быков Бурхана, его отца Ладка и деда Салата. В ряде случаев инбридинг был комплексным – одновременно на указанных производителей или усиливающимся, что повышало вероятность перехода мутантных генов в гомозиготное состояние.

Следует иметь в виду, что при интенсивном использовании ограниченного контингента производителей в товарных хозяйствах генетическое разнообразие популяции суживается даже при своевременной ротации линий. Такое положение может привести к сочетанию родственных по генотипам (гетерозиготных носителей вредных генов) производителей и маток. С другой стороны, интенсивное кроссирование линий в племенных хозяйствах неизбежно будет приводить к стихийному родственному спариванию в товарных хозяйствах и массовому проявлению инбредной депрессии, в том числе повышению частоты уродств и аномалий в популяциях.

Инбредная депрессия может возрасти в результате миграции. Под миграцией в животноводстве понимают импорт производителей, маток или гамет (спермиев, а также яйцеклеток и эмбрионов), закупки племенных животных из других зон страны. При использовании завезенных животных в местную популяцию могут быть введены не только желательные гены, повышающие продуктивность, но и аллели, обусловливающие летальные и полулетальные аномалии. Сдвиги концентраций рецессивного аллеля  $q$  при миграциях определяются по формуле  $q = -t (q - q_m)$ , где  $t$  - величина обмена генами, а  $q_m$  - средняя концентрация аллеля по всей системе популяций, между которыми идет обмен генами, или в тон определенной популяции, откуда поступают животные (Дубинин Н. П., 1985). Из формулы видно, что величина сдвига концентраций рецессивного аллеля зависит от частоты рецессивного аллеля в исходной популяции, откуда мигрируют особи, и частоты миграции.

Чтобы не допустить массового распространения наследственной патологии, необходимы проверка генотипов производителей на носительство вредных генов и исключение из интенсивного использования носителей мутации.

Вновь возникшая мутация находится в абсолютном большинстве случаев гетерозиготном состоянии. Вероятность сохранения ее в последующем зависит от числа потомков. При стабильной численности популяции и отсутствии полигамии, через несколько сотен поколений она, как это было показано Р.Фишером (1936), полностью исчезнет. Зависимость между числом потомков и вероятностью сохранения мутации, в общем случае, задается распределением Бернулли. Чтобы избежать сложных расчётов, воспользуемся тем фактом, что вероятность утери мутации в зависимости от числа потомков задается простым уравнением:

$$Q = (1/2)^k \quad (2.1)$$

где:  $k$  – число потомков носителя мутации.

Отсюда вероятность сохранения этой мутации находим из выражения:

$$P = 1 - (1/2)^k \quad (2.2)$$

Вероятность сохранения единичной мутации зависит от смены поколений и количества потомков. Рассчитаем:

$$G(s) = 1 - ((2/3)/(1-s/3))^k \quad (2.3)$$

Где  $G(s)$  – искомая вероятность,  $s$ -вероятность утери мутации в предыдущем поколении. Между  $s$  и  $G(s)$  существует простая связь:  $s$  для  $F_1$  равна  $1 - G(s)$ , для  $F_0$   $s = 0$ .

Отсюда вероятность утери мутации в 1 поколении. По условию  $G(s)_0 = 1$  и  $s = 0$ , тогда при одном потомке ( $k = 1$ ) вероятность сохранения мутации в  $F_1$  равна:

$$G(s)_1 = 1 - ((2/3)/(1-0/3))^1 = 1 - (2/3)^1 = 1/3, s = 2/3.$$

Для двух потомков ( $k = 2$ )  $G(s)_1 = 1 - (2/3)_2 = 1 - 4/9 = 5/9$ , и т.д.

Для второго поколения при  $k = 1$ ,  $s = 1 - G(s)_1 = 1 - 1/3$ ,  $s = 2/3$ . Тогда  $G(s)_2 = 1 - (2/3)/(1 - (2/3)/3)^1 = 1 - (2/3)/(1 - 2/9)^1 = 1 - (2/3)/(7/9) = 1 - 6/7 = 1/7$

Для  $k = 2$   $s = 4/9$ ,  $G(s)_2 = 1 - (2/3)/(1 - (4/9)/3)^2 = 1 - ((2/3)/(1 - 4/27))^2 = 1 - ((2/3) - (23/27))^2 = 1 - (18/23)^2 = 0,387$ .

Задание 1:

Рассчитайте вероятность сохранения мутации при числе потомков 1, 2, 5, 10, 20, 50 и 100 в первом, втором, третьем, четвёртом и пятом поколениях. Представьте результаты в виде таблицы

Зависимость вероятности сохранения мутации в ряде поколений от числа потомков

Поколение	Число потомков

	1	2	10	20	50	100

### Задание 2:

Из уравнений 2.2 и 2.3 следует, что вероятность сохранения единичных мутаций в потомстве пропорциональна числу потомков её носителя. Эта закономерность важна в селекционном плане. Для сельскохозяйственных животных характерна полигамия, имеющая наибольшее выражение при использовании искусственного осеменения.

Средняя нагрузка на производителя в молочном скотоводстве составляет 1000-1500 маток в год. Для того, чтобы ответить на вопрос, как может повлиять наличие мутации производителя на структуру популяции, рассмотрим следующий пример:

В популяции численностью 20000 коров используется 10 производителей. Один из них несёт мутацию в гомозиготном состоянии.

1. Чему равна частота носителей мутантных генотипов и мутантного аллели в F?
2. Как изменятся эти частоты, если число производителей уменьшится до 5, при условии сохранения среди них мутанта?

## 2.8 Лабораторная работа № 8 (2 часа).

**Тема:** «Эколого-генетический мониторинг производства экологически безопасный продукт»

### 2.8.1 Цель работы:

Ознакомиться с методами эколого-генетического мониторинга

### 2.8.2 Задачи работы:

Проанализировать методы генетического анализа и выявить положительные и отрицательные стороны

### 2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Алгоритмы генетических исследований , инструкции и рекомендации

### 2.8.4 Описание (ход) работы:

По прогнозам ЮНЕСКО, к 2050 г. Численность населения в мире приблизится к 10 млрд. человек, что потребует резкого увеличения объемов производства продуктов питания и других товаров широкого потребления. Несмотря на то, что за последние 40 лет производство сельскохозяйственной продукции выросло более, чем в 2 раза, дальнейший его рост представляется маловероятным. В течение последних 20 лет человечество потеряло свыше 15% плодородного почвенного слоя. Большая часть пригодных к возделыванию земель уже вовлечена в сельскохозяйственное производство.

Каждую неделю население нашей планеты увеличивается на 1.2 млн. человек, при этом темпы производства продукции все больше отстают от темпов роста населения. Уже сейчас дефицит пищевых продуктов в мире превышает 60 млн. тонн, а число людей страдающих от недостаточного питания, выросло на 25 млн. лишь за период с 2002 по 2003 гг., а общая цифра голодающих приближается к 1 млрд. человек. Таким образом, современная стратегия производства пищевых продуктов должна быть направлена на поиск выхода из продовольственного кризиса в кратчайшие сроки. Возникла необходимость в применении принципиально новых подходов к созданию высокопродуктивных агросистем обеспечивающих значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности скота.

Одним из способов решения поставленной задачи, как утверждают некоторые ученые, является применение новейших способов селекции. Этому способствуют огромные возможности, появившиеся в результате революционных достижений в области генетики и биотехнологии.

Новейшая биотехнология - это наука о генно-инженерных и клеточных методах и технологиях создания и использования генетически трансформированных биологических объектов для интенсификации производства или получения новых видов продуктов различного назначения.

Основная цель современной биотехнологии – получений трансгенных организмов методами клеточной и генетической инженерии. Отличие генетической инженерии от традиционной селекции состоит в том, что при селекции перенос генов осуществляется только между близкородственными растениями, генная же инженерия позволяет перенести в растение гены из любого организма.

Генетическая инженерия известна довольно давно, ее рождение условно относят к 1972 г., когда в лаборатории Бэрга впервые была синтезированная рекомбинантная молекула ДНК. Существует несколько определений раскрывающих понятие генной инженерии. В федеральном законе « О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности » закреплено, что «генная инженерия - совокупность методов и технологий, в том числе технологий получений рекомбинантных рибонуклеиновых и дезоксирибонуклеиновых кислот, по выделению генов из организма, осуществлению манипуляций с генами и введению их в другие организмы».

Всего выделяют 4 группы метода генной инженерии:

- методы получения рекомбинантных ДНК и РНК;
- методы выделения генов из организмов;
- методы создания искусственных генетических программ
- методы введения трансгенов в микроорганизмы;

Каждая группа методов в настоящее время активно развивается и совершенствуется. Использования методов генной инженерии приводит к созданию генетически модифицированных организмов. В директиве 2001/18/EC Европейского Парламента и Совета определено что « генетически модифицированный микроорганизм означает организм, за исключением людей, генетический материал которого изменен способом, который не может быть достигнут естественным путем скрещивания или рекомбинации»

Можно выделить следующие основные характеристики генетически модифицированного организма:

- это любой биологический организм способный к воспроизведству или передаче генетического материала;
- содержит искусственную генетическую программу;
- получен, с применением методов генной инженерии;

В работе используется понятие «генетически модифицированные продукты (организмы)», под которыми понимаются продукты питания содержащие результаты генно-инженерной деятельности.

## **2.9 Лабораторная работа № 9 (2 часа).**

**Тема:** «Генетико – экологическая экспертиза животноводства»

### **2.9.1 Цель работы:**

Ознакомиться методом ПЦР как основным при мониторинге экологически чистой продукции свободным от ГМО

### **2.9.2 Задачи работы:**

Ознакомиться с технологией и методикой работы ПЦР анализа

### **2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:** Лаборатория ПЦР при Оренбургском ГАУ

#### **2.9.4 Описание (ход) работы:**

ПЦР позволяет выявлять даже единичные клетки бактерий или вирусов. ПЦР-анализ обнаруживает наличие возбудителей инфекционных заболеваний в тех случаях, когда другими методами (иммунологическими, бактериологическими, микроскопическими) это сделать невозможно. Чувствительность ПЦР-анализа составляет 10-100 клеток в пробе (чувствительность иммунологических и микроскопических тестов - 103-105 клеток).

Универсальность процедуры выявления различных возбудителей.

Материалом для исследования методом ПЦР служит ДНК возбудителя. Метод основан на выявлении фрагмента ДНК или РНК, являющегося специфичным для конкретного организма. Сходство химического состава всех нуклеиновых кислот позволяет применять унифицированные методы проведения лабораторных исследований. Это дает возможность диагностировать несколько возбудителей из одной биопробы. В качестве исследуемого материала могут использоваться различные биологические выделения (слизь, моча, мокрота), соскобы эпителиальных клеток, кровь, сыворотка.

Высокая скорость получения результата анализа.

Для проведения ПЦР-анализа не требуется выделение и выращивание культуры возбудителя, что занимает большое количество времени. Унифицированный метод обработки биоматериала и детекции продуктов реакции и автоматизация процесса амплификации дают возможность провести полный анализ за 4-5 часов.

Возможность диагностики не только острых, но и латентных инфекций.

Особенно эффективен метод ПЦР для диагностики трудно культивируемых, некультивируемых и персистирующих форм микроорганизмов, с которыми часто приходится сталкиваться при латентных и хронических инфекциях, поскольку этот метод позволяет избежать сложностей, связанных с выращиванием таких микроорганизмов в лабораторных условиях. Применение ПЦР-диагностики также очень эффективно в отношении возбудителей с высокой антигенной изменчивостью и внутриклеточных паразитов.

Следует отметить, что методом ПЦР возможно выявление возбудителей не только в клиническом материале, полученном от больного, но и в материале, получаемом из объектов внешней среды (вода, почва и т.д.).

#### **Ограничения метода ПЦР**

1. Амплифицируется ДНК как живого, так и погибшего микроорганизма.

Это налагает определенные требования при использовании ПЦР для контроля эффективности лечения. В общем случае подобный контроль должен проводиться спустя промежуток времени, в течение которого происходит полная элиминация возбудителя. Обычно этот интервал составляет 4-8 недель.

2. Возможность перекрестной реакции.

Подбор праймеров происходит на основе существующих знаний о геноме данного и сходных микроорганизмов. Теоретически существует возможность присутствия такого же фрагмента и у других микроорганизмов, геном которых в настоящее время не расшифрован, и которые не были протестированы на возможность перекрестной реакции. Присутствие в пробе таких микроорганизмов может привести к ложноположительному результату анализа.

3. Изменчивость микроорганизмов.

Хотя при конструировании тест-системы фрагмент генома, используемый для амплификации, выбирается из высоко консервативной области, изменчивость микроорганизмов может приводить к тому, что некоторые генотипы или штаммы

исследуемого возбудителя могут приобретать мутации в амплифицируемом участке генома, и, таким образом, становиться неуловимыми данной тест-системой.

Последние два пункта важны для разработчиков ПЦР-диагностикумов. В настоящее время разработаны стандарты, регламентирующие объем испытаний (включая проверку на перекрестные реакции, а также тестирование известных штаммов определяемого возбудителя), которые должна выдержать тест-система, прежде чем она попадет на рынок.

**Основные принципы организации ПЦР-диагностических лабораторий и требования к проведению ПЦР-анализа**

Работы в ПЦР-лаборатории проводятся согласно:

- СП 3.1/3.2.558-96 "Общие требования по профилактике инфекционных и паразитарных заболеваний";
- СП 1.2.731-99 "Безопасность работы с микроорганизмами III-IV групп патогенности и гельминтами";
- методическим рекомендациям МУ 1.3. 1888-04 "Организация работы при исследованиях методом ПЦР материала, инфицированного патогенными биологическими агентами III-IV групп патогенности";
- МУ 3.5.5.1034-01 "Обеззараживание исследуемого материала, инфицированного бактериями III-IV групп патогенности, при работе методом ПЦР".

Проведение ПЦР-диагностики инфекций связано с проблемой, обусловленной высокой чувствительностью метода, - возможностью контаминации. Попадание в реакционную пробирку следовых количеств положительной ДНК (специфических продуктов амплификации ДНК - ампликонов; ДНК-стандарта, используемого в качестве положительного контроля; положительной ДНК клинического образца) приводит к амплификации в процессе ПЦР специфического фрагмента ДНК и, как следствие, к появлению ложноположительных результатов.

В процессе работы могут встретиться два вида контаминации:

1) перекрестная контаминация от пробы к пробе (в процессе обработки клинических образцов или при раскапывании реакционной смеси), приводящая к появлению спорадических ложноположительных результатов;

2) контаминация продуктами амплификации (ампликонами), имеющая наибольшее значение, т.к. в процессе ПЦР ампликоны накапливаются в огромных количествах и являются идеальными продуктами для реамплификации.

Контаминация следовыми количествами ампликонов посуды, автоматических пипеток и лабораторного оборудования, поверхности лабораторных столов или даже поверхности кожи сотрудников лаборатории приводит к появлению систематических ложноположительных результатов.

Как правило, определить источник контаминации бывает очень трудно и требует значительных затрат времени и средств. Накопленный к настоящему времени опыт работы лабораторий, использующих метод ПЦР для диагностики позволяет сформулировать основные требования к организации таких лабораторий и проведению самих анализов. Соблюдение данных требований позволяет исключить возможность контаминации и получения ложноположительных результатов.

Необходимо территориально разделить различные стадии проведения анализа, размещая их в отдельных помещениях:

-Пре-ПЦР-помещение, где производится обработка клинических образцов, выделение ДНК, приготовление реакционной смеси для ПЦР и постановка ПЦР (при наличии условий два последних этапа рекомендуется также проводить в дополнительном отдельном помещении). В этих помещениях запрещается проводить все другие виды работ с инфекционными агентами, ПЦР-диагностика которых проводится в данной лаборатории.

-Пост-ПЦР-помещение, где проводится детекция продуктов амплификации. В этом помещении допускается использовать другие методы детекции инфекций. Желательно комнату детекции продуктов амплификации расположить как можно дальше от пре-ПЦР-помещений.

Рабочие помещения должны быть оснащены ультрафиолетовыми лампами с максимумом излучения в области 260 нм (типа ДБ-60) из расчета 2,5 Вт на 1 м<sup>3</sup>. Лампы должны быть расположены так, чтобы прямому облучению подвергались поверхности рабочих столов, оборудование и материалы, с которыми имеет контакт оператор во время проведения ПЦР-анализа. Облучение необходимо проводить в течение 1 часа до начала работы и в течение 1 часа после окончания работы.

Работа должна проводиться в лабораторной одежде, сменяемой при переходе из одного помещения в другое, и в одноразовых перчатках, так как анализируемые биопробы являются потенциально опасным инфицированным материалом. Обработка одежды из разных помещений должна производиться отдельно. Желательно, чтобы на разных этапах проведения ПЦР-анализа работали различные сотрудники.

Следует использовать отдельные наборы дозаторов, пластиковой и стеклянной посуды, лабораторного оборудования, халатов и перчаток предназначенные для различных стадий анализа и не переносимые из одного помещения в другое. Оборудование, материалы и инвентарь в каждой комнате должны иметь соответствующую маркировку.

Все этапы работы проводить только с использованием одноразовых расходуемых материалов: наконечников для автоматических пипеток, пробирок, перчаток и т.д. Обязательно менять наконечники при переходе от пробы к пробе. Желательно использовать наконечники с фильтром - аэрозольным барьером для предотвращения попадания микрокапель раствора в пипетку. Использованные пробирки и наконечники должны сбрасываться в специальные контейнеры или емкости, содержащие дезинфицирующий раствор.

Клинические образцы следует хранить отдельно от реагентов.

Для обработки и уборки рабочего места необходимо в каждом помещении иметь ватно-марлевые тампоны (салфетки), пинцет, дезинфицирующий и инактивирующий растворы. Следует исключить проведение в ПЦР-диагностической лаборатории работ, связанных с получением (клонированием) и выделением рекомбинантных плазмид, содержащих последовательности ДНК или фрагментов генов возбудителей, которые диагностируются в данной лаборатории.