

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.Б.ДВ.10.01 Экология микроорганизмов

Направление подготовки 06.03.01 Биология

Профиль образовательной программы Микробиология

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1.1 Лекция № 1 Предмет, задачи, методы экологии микроорганизмов. Краткая история экологии микроорганизмов.....	3
1.2 Лекция № 2 Аутэкология.....	6
1.3 Лекция № 3 Демэкология.....	8
1.4 Лекция № 4-5 Синэкология.....	11
1.6 Лекция № 6-7 Микроорганизмы и биосфера.....	14
1.8 Лекция № 8 Микробиологические процессы в биотехнологии окружающей среды.....	17
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ	19
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Введение в экологию микроорганизмов. Экологическая классификация микроорганизмов.....	19
2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 Экологические факторы. Концепция экологической ниши.....	20
2.3 Лабораторная работа № ЛР-3 Понятие популяция в микробной экологии. Статические и динамические характеристики.....	23
2.4 Лабораторная работа № ЛР-4 Итоговое занятие за 1 модуль.....	25
2.5 Лабораторная работа № ЛР-5 Проблема динамики численности микробной популяции и подходы к ее решению. Основные типы экологических стратегий.	25
2.6 Лабораторная работа № ЛР-6 Взаимодействие микробных популяций. Основные типы межпопуляционных взаимодействий и их разновидности.....	27
2.7 Лабораторная работа № ЛР-7 Взаимоотношение микроорганизмов с беспозвоночными и позвоночными животными.....	28
2.8 Лабораторная № ЛР-8 Итоговое занятие за 2 модуль.....	30
2.9 Лабораторная работа № ЛР-9 Взаимоотношения микроорганизмов и растений....	31
2.10 Лабораторная работа № ЛР-10 Экология водных микроорганизмов.....	34
2.11 Лабораторная работа № ЛР-11 Экология воздушных микроорганизмов....	37
2.12 Лабораторная работа № ЛР-12 Итоговое занятие за 3 модуль.....	39
2.13 Лабораторная работа № ЛР-13 Экология почвенных микроорганизмов.....	39
2.14 Лабораторная работа № ЛР-14 Роль микроорганизмов в глобальных циклах элементов.....	41
2.15 Лабораторная работа № ЛР-15 Итоговое занятие за 4 модуль.....	43

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Предмет, задачи, методы экологии микроорганизмов. Краткая история экологии микроорганизмов»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Экология микроорганизмов - одно из направлений современной микробиологии и экологии.
2. Определение микробной экологии.
3. Современные взгляды на определение предмета и задач экологии микроорганизмов.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Одним из направлений современной микробиологии является экология микроорганизмов.

В настоящее время эта наука бурно развивается, используя новые методы микроэлектродной техники для изучения микроокружения экологических ниш микробов, точные методы химического анализа с применением техники высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), газовой хроматографии и масс-спектропии (ГХ-МС), методы молекулярной биологии в манипулировании и анализе экстрактов нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) из природных образцов, позволяющих с высокой избирательностью исследовать состав микробных сообществ на молекулярном уровне. Не теряют актуальности методы анализа микроорганизмов в отношении состава жирных кислот, клеточной стенки, отдельных липидов.

Исследователи, занимающиеся проблемами экологии микро-организмов, доказали, что среда обитания последних охватывает весьма широкие зоны биосферы, часто с экстремальными условиями обитания, где не могут развиваться ни растения, ни животные. Микроорганизмы найдены в самых глубоких слоях океана, где рядом с подводными термальными источниками они формируют новые оазисы жизни, не основанной на первичной фототрофной продукции органического вещества, а полностью зависящей от образования органического вещества в результате деятельности хемолитотрофных микроорганизмов. В толще скальных пород на глубинах 4 — 6 км микроорганизмы осуществляют «водородный» и «метановый» циклы. Наконец, микроорганизмы обнаружены высоко в горах, вплоть до высоты 8 км, а также внутри метеоритных остатков.

Микроорганизмы часто рассматриваются в качестве первых обитателей Земли. Впервые за живыми микроорганизмами наблюдал под микроскопом А.Левенгук в 1776 г., а роль их в превращениях химических веществ и возникновении болезней была доказана в работах Л. Пастера и Р. Коха в конце XIX столетия. Постулаты Коха создали надежную основу для изучения роли микроорганизмов в инфекционном процессе. Хотя термин «экология микроорганизмов» («микробная экология») стали широко использовать в 60-х годах XX в., экологически ориентированные работы с микроорганизмами проводили уже давно. Еще Левенгук обнаружил микроорганизмы в каплях дождевой воды (их естественное местообитание) и выявил действие перца на микробы (влияние окружающей среды). В конце XIX — начале XX вв. С. Н. Виноградский и М.Бейеринк разработали принципы элективных культур, что можно определить как дату рождения науки, которую впоследствии стали называть «экология микроорганизмов». С. Н. Виноградскому принадлежит идея использовать градиенты света, сульфида и кислорода (знаменитая «колонка Виноградского») для изучения природных популяций сульфид- окисляющих фотоавтотрофных бактерий, сульфатвосстанавливающих и хемоавтотрофных сульфид- и сероокисляющих бактерий, одновременно присутствующих в одном местообитании и

осуществляющих взаимозависимые процессы. Экология микроорганизмов является наукой, которая специальным образом изучает взаимоотношения между микроорганизмами и их биотическим или абиотическим окружением.

2. Последующее развитие микробиологии было связано с постоянным выделением микроорганизмов из их природных местообитаний, определением метаболического потенциала и изучением их роли в биогеохимических циклах азота и серы. Микроорганизмы стали находить в каждой пробе воды, почвы, воздуха, у животных и растений. Микроорганизмы продемонстрировали огромное разнообразие форм и мест заселений, включая экстремальные по температурам, давлению, солености и pH. За последние 30 лет стало понятно, что из определенных мест выделяют определенные микроорганизмы с определенными функциями. Тот факт, что в пробах, взятых в природе, почти никогда не находят микроорганизмов в виде чистых культур, позволил сделать вывод о взаимодействии микробных популяций друг с другом и микроокружением, с его быстро изменяющимися физико-химическими параметрами. Было также продемонстрировано, что микроорганизмы обладают сенсорами, т. е. способны к фото- и хемотаксису, и активно выбирают для себя наиболее выгодные места в градиентных местообитаниях.

В большинстве своем современные экологи были вначале зоологами, ботаниками или микробиологами. Это обстоятельство приводило их к специализации в области экологии растений или животных (макрэкология) или экологии микроорганизмов. Однако изучение экосистем и глобальных процессов требует более интегративного подхода. В учебниках по экологии объяснение феноменов экологии растений и животных удовлетворительно объединено в одно целое, тогда как объяснение процессов с участием микробов все еще рудиментарно, если вообще приведено. В лучшем случае объяснены процессы биodeградации органического вещества и циклы минералов с участием микроорганизмов (хотя пока не более чем с позиций «загадки черного ящика»).

Не вызывает сомнений, что в будущем экология микроорганизмов интегрируется в общую экологию, но этот процесс потребует длительного времени. Одной из причин исторического разделения макро- и микроэкологии являются значительные различия в методологическом аппарате этих двух частей одной науки. Макрэкологи используют полевые наблюдения и количественные оценки состава и разнообразия видов в качестве основного методического подхода. Лабораторные исследования лишь помогают им обрабатывать данные и позволяют проводить некоторые химические анализы. Напротив, эколог-микробиолог помимо сбора образцов для анализа мало что может сделать в поле. Основную работу он проводит в лаборатории. Немногие экспериментаторы одинаково владеют приемами и методами макрэкологии и экологии микроорганизмов, что заставляет организовывать совместные проекты, где работают большие группы специалистов разного профиля и развиваются научно-методологические контакты между макрэкологами и микробными экологами.

Хотя микроорганизмы часто не попадают в поле зрения классических экологов вследствие своего малого размера и быстрых скоростей размножения, они имеют значительные преимущества как объекты при изучении динамики популяций. Знаменитые эксперименты были проведены Г. Ф. Гаузе (1934) по изучению динамики равновесия системы хищник—жертва с *Paramecium caudatum* и *Didinium nasutum*, в которой последний организм питался инфузорией, а также системы *Schizosaccharomyces pombe* (дрожжи) и *Paramecium bursaria* (реснитчатые), в которой простейшее выполняло роль хищника.

В то время эти эксперименты едва были замечены микробиологами, однако вызвали живую дискуссию среди зоологов и экологов.

3. Экология микроорганизмов имеет дело с популяциями и взаимоотношениями популяций в их экологических нишах. Наиболее полно и глубоко в этом плане изучена микробиология рубца жвачных животных. Огромный вклад в эти

исследования профессора Р.Хангейта признан во всем мире и неоспорим. Разработанные им приемы («техника Хангейта») сделали возможной работу со строгими анаэробами и позволили описать сложную пищевую микробную цепь, формирующуюся в рубце и приводящую к образованию метана. При изучении популяций строгих анаэробов была разработана концепция «синтрофных микроорганизмов», позволяющих совместными усилиями проводить такие реакции и перерабатывать вещества, которые не под силу переработать ни одному члену сообщества в отдельности. При этом возникла концепция «межвидового переноса водорода», позволяющая существовать синтрофным ассоциациям микроорганизмов за счет термодинамически сложных процессов. Микробные процессы, приводящие к перевариванию целлюлозы в рубце, стали также примером взаимоотношения микроорганизмов и животных. Впоследствии аналогичное взаимоотношение было обнаружено при изучении пищевой цепи термиты — ассоциации микробов — высшие организмы. Пищевые цепи, подобные этим, приводящие к разложению мортмассы, обнаружены в морских и пресноводных осадках, а также в системах очистки стоков в анаэробных метантенках.

В природе микробные сообщества растут, образуя биопленки, о чем впервые сообщили К. Зобэлл и М.Андерсон еще в 50-х годах XX столетия, однако документированные подтверждения уникальности проходящих там процессов были получены лишь в последние 20 лет благодаря в основном развитию техники микроэлектродов. В настоящее время общепринято, что при развитии в природе биопленки преобладают над свободноживущими микроорганизмами как в численном отношении, так и по уровню метаболизма. Доказано, что клетки в составе биопленки фенотипически отличаются от свободноживущих и что способностью к образованию биопленок обладают все представители домена бактерий. Тесные структурные ассоциации клеток в составе биопленок ведут к интенсивному обмену метаболитами (химическая коммуникация) и, возможно, генетическим материалом, что может приводить к адаптивной изменчивости функций всего сообщества.

Фундаментальным подходом к изучению экологии высших растений и животных являются количественные наблюдения за развитием отдельных популяций в различных условиях среды. За более чем 100 лет наблюдений экологи растений и животных приобрели ценный опыт, который позволяет предсказывать появление и направление развития отдельных популяций растений и животных в зависимости от смены условий существования. Были построены модели развития той или иной популяции и взаимоотношений между популяциями. К сожалению, наши знания о микробных сообществах пока находятся на «эмбриональном уровне» как в отношении описания систем, так и в плане предсказания их развития.

В 1956 г. голландский профессор А. Клюйвер предположил, что половина существующей на Земле «живой протоплазмы» принадлежит клеткам микроорганизмов. В настоящее время эта догадка научно обоснована, но даже существующие современные методы все еще не дают возможности экологам-микробиологам наблюдать за развитием микроорганизмов в их микроокружении, не нарушая последние в процессе наблюдений. Так же трудно подсчитать количество живых и неживых клеток микроорганизмов в их природных местообитаниях. Новые методы исследований позволяют глубже понять принципы функционирования микробных сообществ в их естественных местообитаниях, однако до сих пор эти методы далеки от идеала. С приходом методов молекулярной биологии стало возможным определять количество микроорганизмов и находить новые без их выделения в чистые культуры. Эти же методы поставили микробиологов перед шокирующим фактом, что выделенных чистых культур по отношению ко всей численности видов в природе удивительно мало: они составляют лишь менее 0,1 % от общего количества. Некоторые расчеты показывают, что при существующей скорости описания новых видов все растения и животные будут описаны в течение ближайших 50 лет, тогда как на описание всех микроорганизмов потребуется 10000 лет! Сколько

интересных открытий должно таиться в остающихся невыделенными и неизученными 99,9 % микроорганизмов, которые вызовут к жизни новые биотехнологические процессы и приведут к открытию новых веществ, полезных для практики.

Микробы и их сообщества рассматривали в качестве универсальных «химических машин», которым под силу расщепить любые органические молекулы аэробно либо анаэробно. И если данное положение верно для любых природных молекул, сколь бы сложны они ни были, то для препаратов антропогенного происхождения этого сказать нельзя. Появление таких практически не поддающихся микробному разложению веществ, как ДДТ или полихлорированные бифенилы (ПХБ), привело к возникновению концепции о применении в качестве гербицидов, пестицидов или антимикробных препаратов только таких субстанций, которые впоследствии могут быть расщеплены в природе до простых молекул.

Толчком к развитию методов экологии микроорганизмов послужили также исследование космического пространства и поиск микробной жизни на других планетах. Проверку приборов и систем, которые были призваны определить наличие жизни вне Земли, проводили в жестких условиях высокой или низкой температуры, высокого давления или экстремальной солености и кислотности среды. Такие тесты позволили обнаружить жизнь микробов в Антарктике при -36°C , на дне океанов при давлении более 800 атм, в горячих вулканических, наземных и подводных источниках при pH 0,5, солености 30 ‰ и температуре до 113°C .

Часто говорят, что успехи экологии микроорганизмов ограничены методами, которые применяют для анализа микробных систем. И хотя постоянное развитие микроэлектродной техники и оптических методов увеличивает наши возможности измерять и наблюдать микроорганизмы в их природных экологических нишах, попытки создать более тонкие и чувствительные инструменты исследований должны продолжаться для более точного понимания изменений в микробных сообществах и для предсказания влияния таких изменений на функции сообщества. Значительная часть исследований связана с восстановлением участков окружающей среды, загрязненных вследствие антропогенной активности. Умелое использование свойств природных микробных сообществ может в значительной степени помочь процессу ремедиации (лечения) загрязненных территорий, что является предметом прикладного направления экологии микробов.

1.2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Аутэкология».

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Понятие об экологических факторах.
2. Понятие об абиотических факторах и экологической физиологии.
3. Понятие экологической нише.

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Абиотические факторы по их физической природе и механизму действия на организмы могут принципиально отличаться друг от друга, тем не менее характер зависимости показателей жизнедеятельности организма от уровней этих факторов при всем их многообразии во многом очень сходен.

Для любого абиотического фактора можно найти интервал изменений, в пределах которого показатели состояния организма меняются мало или не меняются вовсе, оставаясь на уровне, называемом оптимальным. Соответственно и сам интервал получил

название «зона, или область, оптимума». Более низкие уровни фактора не обеспечивают полноценное функционирование организма (ограничивают интенсивность процессов жизнедеятельности), и соответствующий интервал называют зоной лимитирования. В свою очередь, избыточные уровни фактора могут подавлять жизнедеятельность организма. Этот интервал называют зоной ингибирования.

Физиологи предпочитают называть зону оптимума зоной (областью) адаптации, имея в виду, что слово «оптимум» означает «наилучший», тогда как далеко не всегда можно точно определить, что для организма «хорошо», а что «плохо». Адаптация же (независимо от ее конкретного механизма) проявляется именно в том, что при изменении силы внешнего воздействия в определенном интервале некоторый показатель жизнедеятельности организма остается практически неизменным.

Существуют такие экстремально низкие или экстремально высокие уровни фактора, при которых жизнь организма становится невозможной. Крайние пределы изменений фактора, которые организм еще способен перенести, принято называть пределами толерантности. Различные организмы имеют значительно различающиеся пределы толерантности по отношению к одному и тому же экологическому фактору. Организмы с широкими пределами толерантности называются эврибионтами, а организмы, способные существовать только в относительно узких пределах изменений экологического фактора, — стенобионтами.

2. Для стенобионтов следует также принимать во внимание и положение их зоны оптимума на всей шкале возможных изменений данного фактора. В частности, среди стенотермных организмов различают психрофилов, чей температурный оптимум находится в области низких температур (т. е. близких к 4 °С и порой даже ниже 0 °С), и термофилов с оптимальными температурами в некотором интервале около точки кипения воды (70—110 °С!).

Впрочем, приходится упомянуть о существовании огромного числа абиотических факторов, для которых понятие экологического оптимума в принципе лишено смысла. К ним относятся так называемые ксенобиотики — вещества, как правило, ядовитые. В большинстве своем они вообще не существовали в природе до того, как были синтезированы человеком.

Рассмотренные выше зависимости отражают наши представления о действии на организм каждого экологического фактора как единственного, т. е. вне зависимости от действия других факторов или по крайней мере на фоне постоянства уровней остальных факторов. Между тем реакция организма на изменение любого внешнего фактора может в сильнейшей степени зависеть от того, на каком уровне находятся остальные факторы. Подобная зависимость действия одного фактора от уровня другого называется взаимодействием факторов.

Наличие взаимодействий факторов создает серьезные трудности при изучении их влияния на организмы, так как требует постановки многофакторных опытов, в которых необходимо варьировать одновременно и независимо друг от друга все исследуемые факторы. Соответствующие планы эксперимента оказываются чрезвычайно громоздкими. Например, для получения наиболее простого нелинейного описания — модели 2-го порядка — зависимости роста микробной культуры всего от семи факторов необходимо поставить примерно 150 вариантов опытов. Между тем в окружающей нас среде обитания действуют десятки абиотических факторов. К их числу приходится, к сожалению, относить и так называемые антропогенные факторы, которые представляют собой множество самых разнородных воздействий результатов деятельности человека, — от возделывания сельскохозяйственных угодий и вырубки лесов до загрязнения атмосферы, почвы и водоемов многочисленными отходами промышленного производства. Последние в большинстве своем относятся к категории вышеупомянутых ксенобиотиков.

3. Есть, однако, и другое, не менее принципиальное затруднение, возникающее при любой попытке исследовать влияние даже единственного фактора на какой-либо

конкретный организм. Речь идет о выборе того самого показателя жизнедеятельности организма по изменению которого собственно и определяют зону адаптации и пределы толерантности этого организма по отношению к данному фактору. Во-первых, показателей жизнедеятельности может быть много (во всяком случае, больше одного), а конкретный вид зависимости каждого из них от любого экологического фактора может быть весьма различным даже у одного и того же индивидуума.

Во-вторых, — и это, наверное, наиболее важно — хорошо известно, что характер изменений любого физиологического показателя состояния организма в ответ на любое внешнее воздействие может заметно различаться у особей одного и того же вида. Чтобы получить более или менее ясное представление о реакции особей данного вида на изменение экологического фактора, необходимо многократно повторять измерения выбранного показателя жизнедеятельности в экспериментах с группой особей этого вида. Тогда можно вывести некоторые обобщенные оценки, относящиеся уже не к отдельной особи, а к группе особей, принадлежащих одному и тому же виду. Таким образом, переходим от экологии особей (а правильнее — от экологической физиологии) к экологии популяций.

1.3 Лекция №3 (2 часа)

Тема: «Демэкология».

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Определение популяции в экологии, микробной экологии и генетике.
2. Рост микробной популяции.

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Совокупность особей одного вида представляет собой самостоятельный объект исследования. У данного объекта имеются свойства, которые можно измерить, но которых нет у одной отдельной особи. Это, например, количество особей в совокупности, скорость изменения их обилия, средний размер особи в совокупности и т. п.

Русскому слову «совокупность» соответствует английское слово «population», которое при употреблении в обычной повседневной речи переводится, как «население». Объединяя особей одного вида в группы и обращая при этом особое внимание на то, где и в каком количестве данные особи обитают, англоязычные экологи называли их, естественно, тем же словом «population», но при переводе соответствующих статей и книг на русский язык с самого начала было использовано как термин иностранное слово «популяция».

В разных учебниках экологии можно встретить различные определения популяции. Подробное обсуждение причин такого положения и различные варианты определений приведены в книге А. М. Гилярова «Популяционная экология» (М.: Изд-во МГУ, 1990). Поэтому здесь мы ограничимся только одним определением, предложенным в этой книге в качестве своего рода «усредненной» Формулировки, наиболее пригодной для использования в экологических исследованиях:

«Популяция — любая способная к самовоспроизведению совокупность особей одного вида, более или менее изолированная в пространстве и времени от других аналогичных совокупностей того же вида».

Важнейшие характеристики популяции — это численность и плотность (т. е. число особей на единицу занимаемой территории). Добавим к ним такие специфические

характеристики популяции, как соотношение полов, распределение особей по возрасту (возрастная структура), размерам {размерная структура} и особенности пространственного распределения особей (пространственная структура). Эти показатели относятся к категории статических характеристик популяции. Слово «статический» вовсе не означает постоянство этих характеристик во времени, а лишь отражает то обстоятельство, что их измерение дает нам сведения о состоянии популяции, подобные фотографическому снимку. Мы как бы фиксируем положение, к которому пришла популяция в момент измерения, как итог всей предшествующей истории этой популяции.

Для того же, чтобы оценить изменения во времени, происходящие в популяции, надо, очевидно, провести серию измерений через определенные интервалы времени. Тогда можно оценить скорости соответствующих процессов в популяции. Эти скорости также являются групповыми характеристиками популяции, и их принято называть динамическими. К ним относятся такие важнейшие показатели, как рождаемость — количество особей в популяции, родившихся за единицу времени; смертность — количество особей, погибших в той же популяции за единицу времени. Добавим к ним также скорость изменения численности популяции (чаще всего ее называют не совсем точно скоростью роста), количество потребляемой пищи за определенный период времени (например, суточный рацион), количество органического вещества, синтезированного организмами данной популяции за единицу времени, — это будут соответственно суточная, сезонная или годовая продукция популяции.

Поскольку наш объект — это гипотетическая популяция, изолированная от окружающего мира и состоящая из абсолютно одинаковых особей, в равной степени способных к размножению и потребляющих абсолютно одинаковое количество ресурса, трудно найти реальную популяцию, поведение которой можно было бы сопоставить с поведением модели, основанной на уравнении (2). Пожалуй, ближе всего к такой идеализированной популяции может быть лабораторная популяция бактерий, растущих в пробирке или колбе на полноценной питательной среде в термостате при оптимальной температуре. И действительно, в огромном числе работ по микробиологии так называемая логистическая модель, основанная на гипотезе (2), обеспечивает вполне удовлетворительное согласие теоретических и экспериментальных данных. Заметим, однако, что в этой модели не учитывается наличие лаг-фазы и фазы отмирания культуры, а поэтому весьма велико количество работ, в которых предлагаются совсем иные модели роста.

Следует также вспомнить о биотических факторах, т.е. о возможном влиянии на изучаемую популяцию других популяций, населяющих то же местообитание. Вообще говоря, в рассмотренной выше модели изолированной популяции в неявном виде присутствовала по крайней мере еще одна популяция (а может быть, и две). Действительно, что скрывается за емкостью среды K ? Мы говорили — ресурс или, в более узком смысле, — количество пищи. Но за исключением зеленых растений и некоторых бактерий — фото- и хемосинтетиков — все остальные живые существа потребляют в пищу другие организмы или продукты их жизнедеятельности. Значит, емкость среды — это прежде всего обилие популяции (возможно, и многих популяций) организмов, которые служат пищей организмам рассматриваемой популяции. С другой стороны, в соответствии с основным уравнением динамики Π мы рассматривали прирост численности изолированной популяции как разность между рождаемостью и смертностью. Но смертность сама по себе есть сумма нескольких слагаемых, одно из которых — выедание хищниками, т.е. тоже эффект влияния на нашу популяцию какой-то другой популяции.

2. Разнообразие взаимодействий двух популяций достаточно велико, поэтому, как принято в таких ситуациях, полезно провести некоторую классификацию этих взаимодействий, хотя бы для того, чтобы установить определенный порядок в их рассмотрении. Воспользуемся здесь подходом, который был предложен Ю. Одумом в его известной книге «Экология». За основной признак предлагается принять изменение удельной скорости роста численности каждой из популяций как результат их взаимодей-

ствия. Таким образом, мы рассматриваем каждую из популяций как биотический фактор внешней среды, а скорость роста популяции — как показатель ее жизнедеятельности, аналогично тому, как это делают при рассмотрении влияния на организмы абиотических факторов.

Если две популяции сосуществуют на одном и том же местообитании, то присутствие каждой из них может, очевидно, либо способствовать ускорению роста второй, либо замедлять его, но, возможно, скорость роста одной из популяций никак не меняется при наличии второй. Обозначим ускорение роста знаком «+», замедление роста знаком «-», а отсутствие влияния — «О». Тогда получим шесть основных типов межпопуляционных взаимодействий.

(ОО)-Взаимодействие, или нейтрализм. Как говорят математики, это «вырожденный» вариант: взаимодействие, при котором каждая из популяций никак не влияет на скорость роста другой популяции.

(0+)-Взаимодействие, или комменсализм. В присутствии первой популяции вторая растет быстрее, но это никак не отражается на скорости роста первой.

(О-)-Взаимодействие, или аменсализм. В присутствии первой популяции рост второй замедляется, но это никак не отражается на скорости роста первой.

(++)-Взаимодействие, имеющее в природе разные формы своего проявления и в зависимости от этого называемое по-разному. Если две популяции не только взаимно ускоряют рост численности друг друга, но и вообще друг без друга существовать не могут, то такое «взаимовыгодное сотрудничество» называют мутуализмом. Если же такое взаимодействие возникает при более или менее случайной встрече и не является остро необходимым, его называют протокооперацией.

(+-)-Взаимодействие, проявляемое также в двух видах, названия которых говорят сами за себя: хищничество и паразитизм. Общее между этими видами взаимодействий сводится к тому, что для одной из популяций присутствие второй несомненно «+», так как и для хищника, и для паразита жертва или соответственно хозяин служит пищей. Для второй популяции присутствие первой очевидный «-», так как деятельность хищника сокращает численность жертвы, а деятельность паразита, если и не приводит обязательно к гибели хозяина, то может снизить его биотический потенциал в результате истощения организма.

(—)-Взаимодействие, называемое чаще всего конкуренцией. Такое взаимодействие проявляется в том, что при совместном существовании скорость роста каждой из популяций оказывается меньше, чем в отсутствие конкурента. В разных учебниках экологии можно встретить определения конкуренции, иногда существенно отличающиеся друг от друга. Выше мы уже обсуждали содержание понятия внутривидовой конкуренции при рассмотрении модели роста популяции при ограничении по ресурсу. По сути конкуренция между двумя популяциями — межвидовая конкуренция — отличается от внутривидовой только тем, что дефицитный ресурс распределяется между особями разных видов. Поэтому наиболее точным представляется определение, данное Р. Риклефсом в его учебнике «Основы общей экологии»: «Конкуренцию можно определить как использование некоего ресурса (пищи, воды, света, пространства) каким-либо организмом, который тем самым уменьшает доступность этого ресурса для других организмов».

1.4 Лекция №4-5 (4 часа).

Тема: «Синэкология».

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Понятие о биоценозе
2. Структурная организация биоценозов
3. Видовая структура биоценозов

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Понятие о биоценозе

В природе популяции разных видов объединяются в системы более высокого ранга-сообщества. Наименьшей единицей, к которой может быть применен термин “сообщество”, является биоценоз. Термин “**биоценоз**” предложен немецкий зоологом К. Мебиусом 1877 г.

Любой биоценоз занимает определенный участок абиотической среды. Биотоп — пространство с более или менее однородными условиями, заселенное тем или иным сообществом организмов.

Биоценоз — это совокупность всех популяций биологических видов, принимающих существенное (постоянное или периодическое) участие в функционировании данной экосистемы. Следовательно, в биоценоз включается не только виды растений, животных и микроорганизмов, постоянно обитающих в рассматриваемой экосистеме, но и виды, проводящие в ней только часть своего животного цикла, но оказывающие существенное воздействие на жизнь экосистемы. Например, многие насекомые размножаются в водоемах, где служат важным источником питания рыб и др. животных, а во взрослом состоянии ведут наземный образ жизни, т.е. выступают как элементы сухопутных биоценозов.

Масштаб биоценозов различный — от сообщества (т.е. населения) нор, муравейников, до населения целых ландшафтов: лесов, степей, пустынь и т.п.

Экология сообществ (синэкология)¹ — это также научный подход в экологии, в соответствии с которым прежде всего исследуют комплекс отношений и господствующие взаимосвязи в биоценозе. Синэкология занимается преимущественно биотическими экологическими факторами среды.

В пределах биоценоза различают фитоценоз — устойчивое сообщество растительных организмов, зооценоз — совокупность взаимосвязанных видов животных и микробиоценоз — сообщество микроорганизмов:

ФИТОЦЕНОЗ + ЗООЦЕНОЗ + МИКРОБИОЦЕНОЗ = БИОЦЕНОЗ.

При этом в чистом виде ни фитоценоз, ни зооценоз, ни микробиоценоз в природе не встречаются, как и биоценоз в отрыве от биотопа.

Сообщества часто имеют расплывчатые границы, иногда неувлимо переходя одно в другое. Тем не менее, они вполне объективно, реально существуют в природе.

Понятие биоценоза неотделимо от понятия **биотоп**. Участок абиотической среды, которую занимает биоценоз, называют биотопом. (от гр. *topos* – место). Если определить биотоп как место существования биоценоза, то биоценоз можно рассматривать как исторически сложившийся комплекс организмов, характерный для данного, конкретного биотопа.

Биоценозы образуют с биотопами систему еще более высокого ранга - систему **биогеоценоза** (предложил В.Н. Сукачев в 1942 г.). По В.Н. Сукачеву, биогеоценоз — “это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, гор, растительности, животных, микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействия этих слагающих компонентов и определенный тип обмена веществ и

энергией между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое единство, находящееся в постоянном движении, развитии.

2. Структурная организация биоценозов

Биоценоз формируют межвидовые связи, обеспечивающие структуру биоценоза — численность особей, распределение их в пространстве, видовой состав и тому подобное, а также структуру пищевой сети, продуктивность и биомассу. Для оценки роли отдельного вида в видовой структуре биоценоза используют обилие вида — показатель, равный числу особей на единицу площади или объема занимаемого пространства.

3. Видовая структура биоценозов

Видовая структура — это количество видов, образующих биоценоз, и соотношение их численностей. Точные сведения о числе видов, входящих в тот или иной биоценоз, получить чрезвычайно трудно из-за микроорганизмов, практически не поддающихся учету.

Видовой состав и насыщенность биоценоза зависят от условий среды. На Земле существуют как резко обедненные сообщества полярных пустынь, так и богатейшие сообщества тропических лесов, коралловых рифов и т. п. Самыми богатыми по видовому разнообразию являются биоценозы влажных тропических лесов, в которых одних растений фитоценоза насчитываются сотни видов.

Виды, преобладающие по численности, массе и развитию, называют доминантными (от лат. *dominantis* — господствующий). Однако среди них выделяют эдификаторы (от лат. *edifi-kator* — строитель) — виды, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени формируют среду обитания, предопределяя существование других организмов. Именно они порождают спектр разнообразия в биоценозе. Так, в еловом лесу доминирует ель, в смешанном — ель, береза и осина, в степи — ковыль и типчак. При этом ель в еловом лесу наряду с доминантностью обладает сильными эдификаторными свойствами, выражающимися в способности затенять почву, создавать кислую среду своими корнями и образовывать специфические подзолистые почвы. Вследствие этого под пологом ели могут жить только тенелюбивые растения. Одновременно с этим в нижнем ярусе елового леса доминантой может быть, например, черника, но эдификатором она не является.

Предваряя обсуждение видовой структуры биоценоза, следует обратить внимание на принцип Л. Г. Раменского (1924) — Г. А. Глизна (1926) или принцип континуума¹:

широкое перекрытие экологических амплитуд и рассредоточенность центров распределения популяций вдоль градиента среды приводят к плавному переходу одного сообщества в другое, поэтому, как правило, не образуют строго фиксированные сообщества.

Принципу континуума Н. Ф. Реймерс противопоставляет принцип биоценотической прерывности: виды формируют экологически определенные системные совокупности — сообщества и биоценозы, отличающиеся от соседних, хотя и сравнительно постепенно в них переходящие.

Пространственная структура биоценозов. Популяции различных видов биоценоза, подчиняясь соответствующим природным закономерностям, располагаются в пределах пространственных границ биотопа как по площади, так и по высоте.

Пространственная структура наземного биоценоза определяется закономерностью распределения надземных и подземных органов растительности по ярусам (расчленением растительных сообществ по высоте). Ярусное строение растительности (фитоценоза) позволяет максимально использовать лучистую энергию Солнца и зависит от теневыносливости растений. Ярусность хорошо выражена в лесах умеренного пояса. Так, например, в широколиственном лесу выделяются 5—6 ярусов: деревья первой, второй величины, подлесок, кустарник, высокие травы, низкие (приземные) травы. Существуют межъярусные растения — лишайники на стволах и ветках, лианы и др. Ярусность существует и в травянистых сообществах лугов, степей, саванн.

Ярусное строение подземных органов определяется разной глубиной проникновения корневых систем. В каждом ярусе растительности преимущественно обитают свои животные из состава биоценоза. Также существует разделение птиц на экологические группы по месту их питания (воздух, листва, ствол, земля).

Несмотря на то что каждый вид стремится обзавестись собственной нишей, некоторая межвидовая конкуренция между ними за доступные ресурсы неизбежна.

Ярусное строение наземных биоценозов тесно связано с их функциональной активностью. Так, пастбищные пищевые цепи преобладают в наземной части биоценозов, а детритные — в подземной. В водных экосистемах крупномасштабная вертикальная структура задается в первую очередь абиотическими условиями. Определяющими факторами являются градиенты освещенности, температуры, концентрации биогенов и т. п. На значительных глубинах усиливается влияние гидростатического давления. В донных биоценозах важны состав грунтов, гидродинамика придонных течений. Особенности вертикальной структуры выражаются в видовом составе, смене доминирующих видов, показателях биомассы и продуктивности. Фотосинтезирующие водоросли преобладают в верхних, хорошо освещенных горизонтах, что формирует вертикальные потоки вещества и энергии в направлении глубоководных биоценозов, жизнь которых основывается на привнесенной органике.

Пространственная структура биоценозов по горизонтали проявляется в их мозаичности и реализуется в виде неравномерного распределения популяций по площади из-за неоднородности почвенно-грунтовых условий, микроклимата, рельефа и т. п. Основой горизонтальной структуры могут служить особи одного вида, обладающего средообразующими свойствами, например, сосна со всеми связанными с ней микроорганизмами, грибами, лишайниками, насекомыми, птицами и т. д.

Трофическая структура биоценозов. Важнейший вид взаимоотношений между организмами в биоценозе, фактически формирующими его структуру, — это пищевые связи хищника и жертвы: одни — поедающие, другие — поедаемые. При этом все организмы, живые и мертвые, являются пищей для других организмов: заяц ест траву, лиса и волк охотятся на зайцев, хищные птицы (ястребы, орлы и т. п.) способны утащить и съесть как лисенка, так и волчонка. Погибшие растения, зайцы, лисы, волки, птицы становятся пищей для детритофагов (редуцентов или иначе деструкторов).

Все организмы, входящие в биоценоз по способу питания, подразделяют на автотрофов и гетеротрофов.

Автотрофы (от греч. autos – сам) – осуществляют превращение неорганических веществ в органические (зеленые растения и некоторые микроорганизмы).

По механизму превращения неорганических веществ в органические автотрофы делится на :

- а) фототрофы (фотосинтез) – зеленые растения, сине-зеленые водоросли;
- б) хемотрофы (хемосинтез) – серные бактерии и др.

Гетеротрофы (от греч. разный) – используют для питания готовые органические вещества (все животные и человек, паразиты, грибы и др). По современным данным Дж. Н. Андерсона, гетеротрофов делят на:

- а) некротрофы (от греч. nekros – мертвый) трупоядные животные;
- б) биотрофы (от греч. biosis – живой) питаются за счет других живых организмов (паразиты, кровососы и др);
- в) сапротрофы (от греч. sarpas – гниль) питаются отмершей органикой.

Существуют организмы и со смешанным типом питания, которых наз. миксотрофами (П.Пфеффер. от англ. mix – смешивать).

Поддержание жизнедеятельности организмов и круговорот веществ в экосистемах возможно только за счет постоянного притока энергии.

В конечном итоге вся жизнь на земле существует за счет энергии солнечного излучения, которая переводится фотосинтезирующими организмами (автотрофами) в

химические связи органических соединений. Все остальные организмы получают энергию с пищей. Все живые существа являются объектами питания других, т.е. связаны между собой энергетическими отношениями. Пищевые связи в сообществах – это механизмы передачи энергии от одного организма к другому.

Перенос энергии пищи от ее источника – автотрофов (растений) – через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими, называется пищевой (трофической) цепью.

1.5 Лекция №6-7 (4 часа).

Тема: «Микроорганизмы и биосфера».

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Понятие о биосфере.
2. Биогеохимические функции разных групп микроорганизмов.
3. Соотношение биотических и абиотических источников свободного кислорода в атмосфере Земли.

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1. Микроорганизмы — наиболее многочисленные обитатели биосферы, занимающие все доступные для жизни уголки планеты. Благодаря разнообразию условий, в которых могут расти эти существа, наши представления о границах жизни постоянно расширяются.

Повсеместное распространение микроорганизмов обусловлено их малыми размерами, позволяющими легко переноситься с потоками воды и воздуха, разнообразием и гибкостью метаболизма, устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Особенности экологии микроорганизмов определяются их преимущественно химическим взаимодействием со средой обитания. Обладая высокой химической активностью, они представляют действительно важнейшую геологическую силу, причем речь идет не только о взаимодействии с горными породами или о процессах минералообразования, но прежде всего об участии их в процессах деструкции и минерализации органического вещества как природного (например, разложение целлюлозы), так и антропогенного происхождения.

Интенсивное развитие промышленности и сельского хозяйства в годы, последовавшие за окончанием Второй мировой войны, сопровождалось растущим из года в год потреблением всех видов природных ресурсов (полезных ископаемых, пресной воды, лесных ресурсов, целинных почв и т.д.) с одновременным ухудшением условий окружающей среды, особенно в крупных городах и промышленных областях нашей планеты. Впервые за всю историю цивилизации люди начали понимать, что ресурсы планеты и ее биосферы не безграничны и их потребление необходимо контролировать и по возможности возобновлять.

К сожалению, классические методы прямого учета и количественной оценки специализированных групп микроорганизмов на селективных питательных средах не дают информации о реальной геохимической деятельности микроорганизмов в природных условиях, поскольку на питательных средах вырастают не только активные микробы, но и все жизнеспособные формы, включая споры и покоящиеся клетки. Современные молекулярно-биологические методы также не позволяют количественно оценивать активность микроорганизмов в условиях *in situ*. Поэтому для количественной оценки специализированных физиологических групп микроорганизмов в биогеохимические процессы круговорота биогенных элементов (углерода, серы, кислорода, азота), были раз-

работаны специальные методы и подходы, основанные на детальном изучении геохимических условий в природных экосистемах, населенных микроорганизмами, а также методики, основанные на использовании радиоактивных и стабильных изотопов.

Детальный анализ распределения субстратов и метаболитов специфических физиологических групп микроорганизмов позволяет в ряде случаев получить ценную информацию о геохимической активности микроорганизмов в природных условиях. Так, например, при анализе послойного распределения метана по профилю заболоченной почвы или анаэробного озерного ила можно составить представление о продукции метана метаногенами и о процессах микробного окисления части этого метана. Анализируя изменение содержания сульфата и сероводорода в подземном водоносном горизонте от области «питания» до области «разгрузки», можно получить довольно полное представление о масштабах процесса сульфатредукции в изучаемых подземных водах.

Более полную информацию о природных микробиологических процессах получают при проведении краткосрочных экспериментов с изолированными природными образцами (озерная, морская и подземная вода, образцы почвы, грунта и донных осадков), к которым добавляют радиоактивно меченные субстраты, используемые теми или иными физиологическими группами микроорганизмов.

Данными методами определяют содержание специфического субстрата (M , мг/кг или мг/л), радиоактивность добавленного меченого субстрата (R , имп/мин на 1 л или 1 кг) и радиоактивность метаболитов ($г$, имп/мин), образовавшихся за время краткосрочной инкубации (t , ч) изолированного образца, населенного микроорганизмами. Расчет продукции метаболитов (P) осуществляют по формуле $P = Mr/Rt$ (мг на 1 л или 1 кг природного образца за 1 ч).

2. Разработанные отечественными микробиологами методы количественной оценки геохимической активности микроорганизмов с использованием меченых соединений углерода и серы широко используются во всем мире для количественной оценки активности фото- и хемоавтотрофных бактерий, метаногенов, метанотрофов, сульфатредукторов, аэробных и анаэробных серных и тионовых бактерий.

Полезную информацию о природных микробиологических процессах дает также изучение соотношения стабильных изотопов серы, углерода, азота, кислорода и водорода в различных природных соединениях (органические вещества, серные и углерод-содержащие газы и минералы), образуемых и потребляемых микроорганизмами.

В последней трети XX в. были проведены многочисленные исследования скоростей природных биогеохимических процессов, позволившие создать физические модели глобальных циклов биогенных элементов. Модели состоят из оценок запасов тех или иных элементов в различных геосферах (атмосфере, гидросфере, почве, литосфере) и потоков вещества между основными резервуарами.

Основные потоки, соединяющие четыре главных природных резервуара (атмосферу, почву, литосферу и гидросферу), не связаны с деятельностью живых организмов. Исключение составляет процесс сульфатредукции в восстановленных донных осадках Мирового океана.

В полном соответствии с законами биологического фракционирования стабильных изотопов находится и изотопный состав восстановленных серных соединений из донных осадков разных зон океана.

Суммарная продукция восстановленной серы в осадках океана достигает 492 Мт серы в год. Таким образом, годовая продукция микробного сероводорода почти в три раза превышает суммарную годовую добычу всех видов серосодержащего сырья (169 Мт), используемого человечеством.

Основная часть микробного сероводорода, образующегося в восстановленных донных осадках, окисляется в верхних горизонтах осадков или в придонной воде, однако около 111 Мт восстановленной серы ежегодно связывается с металлами и выводится из

глобального круговорота в виде сульфидов, главным из которых является дисульфид железа — пирит.

Полученные экспериментальным путем оценки глобальной продукции микробного сероводорода позволяют рассчитать и количество органического углерода, потребляемого анаэробными сульфатредукторами в осадках Мирового океана.

Главным отличием глобального цикла углерода от цикла серы является ведущая роль в реакциях цикла живых организмов, в первую очередь фотосинтезирующих организмов, продуцирующих органическое вещество из CO_2 , и микроорганизмов, разлагающих органику и возвращающих CO_2 в круговорот углерода.

В континентальном секторе за счет совокупной деятельности беспозвоночных животных и микроорганизмов (органотрофных бактерий и мицелиальных грибов) ежегодно минерализуется порядка 50 — 55 Гт (гигатонн) органического углерода листового опада. Еще от 3 до 6 Гт органического углерода почвы и торфа также минерализуется микроорганизмами.

Из 43 Гт органического углерода, фиксируемого в процессе фотосинтеза в Мировом океане, около 40 Гт минерализуется в водной толще, причем участие микроорганизмов в этом процессе оценивается в 70—75 %. Кроме того, из 3 Гт органического углерода, достигающих поверхности донных осадков океана, более двух третей минерализуется донной микрофлорой, при этом аэробные органотрофы окисляют 1,9 Гт органического углерода, сульфатредукторы минерализуют 0,37 Гт, метаногены — 0,04 Гт.

Суммарная оценка выброса в атмосферу углерода в виде CO_2 за счет сжигания всех видов ископаемого топлива (каменный уголь, нефть, газ) составляет 5 — 6 Гт в год.

Таким образом, геохимическая активность микроорганизмов, метаболизирующих природные органические вещества, более чем на порядок величин превышает минерализующую активность шестимиллиардного населения Земли.

Систематические наблюдения за изменением химического состава атмосферы, организованные с середины прошлого века, и изучение состава газовых пузырьков в ледниках Антарктиды и Гренландии, позволяющие судить об изменении химического состава атмосферных газов за последние 300 — 400 лет, показали, что в атмосфере Земли нарастающим темпом увеличивается содержание так называемых парниковых газов, в первую очередь CO_2 и CH_4 .

3. Увеличение концентрации парниковых газов может привести к потеплению климата планеты, что будет сопровождаться таянием ледников и вечномёрзлых почв и грунтов, повышением уровня Мирового океана и опустыниванием наиболее плодородных почвенно-климатических зон, в частности зоны русских черноземов.

В связи с проблемой увеличения концентрации парниковых газов усилился интерес к изучению круговорота метана, поскольку, хотя содержание метана в атмосфере значительно ниже, чем содержание CO_2 , ежегодный прирост концентрации этого газа в атмосфере в три раза выше, чем концентрации CO_2 , и, кроме того, парниковый эффект метана в 23 раза выше, чем парниковый эффект такого же количества CO_2 .

Основная часть метана, поступающего в атмосферу, имеет микробное происхождение.

Основными источниками микробного метана являются болотные и увлажненные почвы, в том числе поля для выращивания риса, а также растительоядные животные и термиты, у которых метан образуется в пищеварительном тракте.

Значительная часть метана, образуемого метаногенами в этих экосистемах, не достигает атмосферы, так как на границе аэробных и анаэробных условий существенная часть метана (до 50 % и более) окисляется аэробными метанотрофами.

Более того, в последние годы показано, что сообщество пока еще не идентифицированных анаэробных метанотрофов и сульфатредукторов окисляет часть метана в строго анаэробных условиях.

Детали механизма анаэробного окисления метана и взаимодействия компонентов микробного сообщества находятся в стадии изучения и обсуждения, однако сам факт интенсивного анаэробного окисления метана, по крайней мере в морских осадках и анаэробной водной толще, четко регистрируется с помощью краткосрочных экспериментов *in situ* с добавкой $^{14}\text{CH}_4$ и уже не вызывает сомнений.

Таким образом, если в глобальном цикле серы крупномасштабная геохимическая активность микроорганизмов проявляется лишь на этапе восстановления сульфатов до сероводорода, то в глобальном цикле углерода их активность сопоставима с активностью фотосинтезирующих организмов, а биогеохимический цикл метана практически полностью зависит от активности микроорганизмов, продуцирующих и потребляющих метан.

Не вызывает сомнения также, что микроорганизмы, в особенности азотфиксаторы и нитрификаторы первой и второй фазы, играют ведущую роль в глобальном цикле азота, а водородокисляющие и углеводородокисляющие бактерии являются основными потребителями водорода, жидких и газообразных углеводородов в аэробных условиях. К сожалению, количественная оценка этих процессов как на экосистемном, так и на глобальном уровне пока сдерживается методическими трудностями. Это же замечание относится и к оценке геохимической деятельности микроорганизмов, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях преобразования элементов с переменной валентностью (железо, марганец, уран, технеций и др.). Продолжение этих исследований и осознание, а тем более количественная оценка роли микроорганизмов в крупномасштабных природных процессах круговорота элементов в биосфере — это путь к созданию новых биотехнологий добычи и переработки полезных ископаемых и к разработке эффективных методов очистки окружающей среды, основанных на использовании специфических групп микроорганизмов.

На этом пути уже сделаны первые шаги: разработаны и широко используются в горнодобывающей промышленности биотехнологии бактериально-химического извлечения цветных и благородных металлов, биогеотехнологические методы повышения нефтеотдачи и многочисленные технологии очистки бытовых и промышленных сточных вод.

1.6 Лекция №8 (2 часа).

Тема: «Микробиологические процессы в биотехнологии окружающей среды».

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Биотические связи с участием микроорганизмов.

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

Значение коэволюции в симбиозах микроорганизмов с макроорганизмами. Необходимы ли микроорганизмам, вступающим в различные симбиозы, особые свойства по сравнению со свободноживущими микроорганизмами?

Для микроорганизма более крупный организм — новая экологическая ниша, которую он стремится занять, используя все свои адаптивные возможности, выработанные в процессе эволюции. Это — способность к адгезии, колонизации, синтезу антибиотиков, ферментативная активность и т.д. За 2,5 млрд лет эволюции прокариот (до возникновения эукариот) уже сложились многие типы биотических взаимоотношений, позволяющие этим микроорганизмам выживать в борьбе за существование. При использо-

вании в качестве новой экологической ниши других живых организмов микроорганизмы столкнулись с новыми трудностями — реакциями хозяина на воздействие симбионта. Осталось и большинство «старых» проблем (кроме, пожалуй, недостатка питания), так как необходимо устанавливать разные типы биотических связей и с другими микроорганизмами, вступившими в симбиоз с этим хозяином.

Таким образом, в организме хозяина создается микроценоз, члены которого взаимодействуют между собой разными биотическими связями, а также осуществляют взаимодействие с хозяином, а уже через него — с внешней средой.

Для успешной борьбы за существование в новых условиях у микроорганизмов должны были в результате эволюции усовершенствоваться старые возможности и выработаться (появиться) новые, например способствующие проникновению в организм хозяина специфические факторы подавления его защитных реакций и др. Поэтому при совместном (симбиотическом) существовании микроорганизмов с макроорганизмом идет процесс их коэволюции. Это приводит к увеличению генетической пластичности симбиотических, особенно микробных, популяций. В последних наиболее интенсивно стимулируются перенос генов и селективные процессы. Так, с помощью современных методов популяционной генетики на примере энтеробактерий показано, что у этих симбионтов высших организмов (как мутуалистов, так и паразитов) популяции в целом более разнообразны, чем у свободноживущих форм или у малоспециализированных симбионтов. Также показано, что хозяин (макросимбионт) обычно оказывает более сильное влияние на структуру микросимбионтов, чем условия окружающей среды.

Для микроорганизмов-симбионтов характерен особый тип изменчивости — экотипический полиморфизм. Это одновременное присутствие в популяциях микроорганизмов форм как симбиотически активных, так и асимбиотических, способных только к автономному образу жизни. Экотипический полиморфизм связан с присутствием или отсутствием «симбиотических» генов, которые или компактно локализованы на хромосомах (например, в составе генных кассет, «островов патогенности»), или находятся на специальных плазидах. Перенос генов вносит в структуру симбиотических бактериальных популяций не менее значимый вклад, чем мутации или отбор, так как обычно приводит к возникновению генотипов с качественно новыми (расширенными) экологическими возможностями. Такие новые генотипы являются материалом для макроэволюции прокариот.

Большинство случаев интенсивного переноса генов выявлено у бактерий, взаимодействующих с высшими организмами, именно для этих прокариот характерны более полиморфные популяции, чем для свободноживущих. В ряде симбиозов микробные клетки дифференцированы на две формы: участвующие в создании эффекта мутуализма и ответственные за размножение популяции. Кроме того, в симбиотических системах у микроорганизмов иногда проявляются признаки, которые не нужны для самих микроорганизмов, однако повышают жизнеспособность хозяина. Происходит коэволюция симбионтов в составе эволюционирующих сообществ, поэтому обычно облигатные симбионты не способны развиваться вне организма хозяина. Симбионты используют общий поток энергии, экспрессия их генов часто регулируется совместно. Кроме того, есть много путей взаимной передачи между членами симбиоза физиологической, клеточной, организменной, социальной информации благодаря уже упомянутым регуляторным системам или их модификациям.

Таким образом, симбиотические взаимоотношения микроорганизмов с макроорганизмом-хозяином являются важным эволюционным фактором для всех членов этой системы. Иногда их называют внутренним фактором эволюции. Благодаря огромному разнообразию взаимоотношений микроорганизмов со всеми представителями царств живой природы эволюция микроорганизмов проходит под воздействием более многочисленных форм отбора в их сложном сочетании во времени и пространстве, чем у высших растений и животных.

Типичными представителями облигатных ацидофилов служат бактерии рода *Thiobacillus* (*T. thiooxidans*, образующая серную кислоту), *Leptospirillum ferrooxidans*, термофильная архебактерия *Sulfolobus*, окисляющие глюкозу бактерии *Acidiphilus*, уксуснокислые *Acetobacter*, термофильная одноклеточная водоросль *Cyanidium*. Умеренными ацидофилами являются большинство грибов.

Алкалофилы имеют оптимум pH в области 9 – 11, причем облигатные алкалофилы имеют границы толерантности 9 – 11,5, а факультативные алкалофилы сохранили способность развиваться при pH от 5 до 11,5. Примерами крайних алкалофилов могут служить архебактерии *Natronobacterium*, уробактерии *Sporosarcina urea*, разлагающие мочевины с образованием аммиака, обитатели содовых солончаков *Bacillus*. В последнее время были открыты экстремально алкалофильные сульфатредукторы *Desulfonatrono vibrio* и *Desulfonatronum*, гомоацетогенный галоанаэроб *Natroniella* и ряд других организмов. Много алкалофилов среди цианобактерий.

Организмы разделяются на физиологические группы в соответствии с осмотическими условиями среды.

1. Негалофильные бактерии, не нуждающиеся в и способные существовать в средах с ничтожным содержанием растворенных веществ, даже в дистиллированной воде. Угнетение таких бактерий обычно начинается при его концентрации 3 %. К этой группе относятся многочисленные бактерии, обитающие в пресных водах, почвах, связанные с организмом человека, животных, с растениями. Например, к таким бактериям относятся обитатели ультрапресных вод развиваются в среде с содержанием солей ниже 100 мг/л (0,01 %), в том числе в дистиллированной, дождевой воде или в воде сфагновых болот. Следует отметить, что почвенные организмы правильнее считать галотолерантными, так как концентрация почвенного раствора резко меняется в зависимости от дождей или засухи. Поэтому почвенные организмы должны приспосабливаться к резким изменениям осмотических свойств среды обитания (наиболее характерны грамположительные организмы).

2. Морские бактерии, оптимальный рост которых наблюдается при концентрациях 2,5 – 5 %, они иногда обнаруживают абсолютную потребность в ионах +, а иногда и - . Например, к ним относится псевдомонада.

3. Умеренные галофилы (или просто галофилы), растущие при концентрациях NaCl 5 – 15 %, например *Paracoccus halodenitrificans*.

4. Экстремальные и крайне галофильные бактерии, развивающиеся при концентрациях, начиная с 12 – 15 % и до насыщенных растворов соли (30 %). К ним относятся архебактерии.

Контрольные вопросы: 1. Понятие термина «экология микроорганизмов». 2. Дать определение пределам толерантности, стенобиотики, ксенобиотиков 3. Биологические и другие факторы, влияющие на экофизиологию бактерий.

2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

Тема: «Экологические факторы. Концепция экологической ниши».

2.2.1 Цель работы: Выявить экологические факторы, действующие на микроорганизмы.

2.2.2 Задачи работы:

Изучить основные экологические факторы, формирующие экологическую нишу.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Мультимедиа аппаратура, раздаточный материал.

2.2.4 Описание (ход) работы:

С экологических позиций среда – это природные тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных отношениях. Окружающая организм среда характеризуется огромным разнообразием, слагаясь из множества динамичных во времени и пространстве элементов, явлений, условий, которые рассматриваются в качестве факторов.

Экологический фактор – это любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы, хотя бы на протяжении одной из фаз их индивидуального развития. В свою очередь организм реагирует на экологический фактор специфичными приспособительными реакциями.

Таким образом, экологические факторы – это все элементы естественной среды, которые влияют на существование и развитие организмов, и на какие живые существа реагируют реакциями приспособления (за пределами способности приспособления наступает смерть).

Следует отметить, что в природе экологические факторы действуют комплексно. В особенности важно помнить это, оценивая влияние химических загрязнителей. В этом случае "суммарный" эффект, когда отрицательное действие одного вещества накладывается на отрицательное действие других, а к этому прибавляется влияние стрессовой ситуации, шумов, различных физических полей, значительно изменяет значения ПДК, приведенные в справочниках. Этот эффект называют синергитическим.

Важнейшим является понятие лимитирующего фактора, то есть такого, уровень (доза) которого приближается к границе выносливости организма, концентрация которого ниже или выше оптимальной. Это понятие определяется законами минимума Либиха (1840 г) и толерантности Шелфорда (1913 г.). Наиболее часто лимитирующими факторами есть температура, свет, биогенные вещества, течения и давление в среде, пожары и т.п.

Более всего распространены организмы с широким диапазоном толерантности относительно всех экологических факторов. Высочайшая толерантность характерна для бактерий и сине-зеленых водорослей, которые выживают в широком диапазоне температур, радиации, солености, рН и др.

Экологические исследования, связанные с определением влияния экологических факторов на существование и развитие отдельных видов организмов, взаимосвязей организма с окружающей среды, являются предметом науки аутэкологии. Раздел экологии, который исследует ассоциации популяций различных видов растений, животных, микроорганизмов (биоценозов), пути их формирования и взаимодействия с окружающей средой, называется синэкологией. В границах синэкологии выделяют фитоценологию, или геоботанику (объект изучения – группировки растений), биоценологию (группировки животных).

Таким образом, понятие экологического фактора – одно из наиболее общих и чрезвычайно широких понятий экологии. В соответствии с этим задача классификации экологических факторов оказалась весьма сложной, так что общепринятого варианта до сих пор нет. В то же время достигнуто согласие относительно целесообразности использования при классификации экологических факторов определенных признаков.

Традиционно выделяли три группы экологических факторов:

- 1) абиотические (неорганические условия – химические и физические, такие, как состав воздуха, воды, грунта, температура, свет, влажность, радиация, давление и т.п.);
- 2) биотические (формы взаимодействия между организмами);
- 3) антропогенные (формы деятельности человека).

Сегодня различают десять групп экологических факторов (общее количество – около шестидесяти), объединенных в специальную классификацию:

- по времени – факторы времени (эволюционные, исторические, действующие), периодичности (периодические и непериодические), первичные и вторичные;
- по происхождению (космические, абиотические, биотические, природные, техногенные, антропогенные);
- по среде возникновения (атмосферные, водные, геоморфологические, экосистемные);
- по характеру (информационные, физические, химические, энергетические, биогенные, комплексные, климатические);
- по объекту влияния (индивидуальные, групповые, видовые, социальные);
- по степени влияния (летальные, экстремальные, ограничивающие, возмущающие, мутагенные, тератогенные);
- по условиям действия (зависимые или независимые от плотности);
- по спектру влияния (выборочного или общего действия).

Прежде всего, экологические факторы делятся на внешние (экзогенные или *энтопические*) и внутренние (эндогенные) по отношению к данной экосистеме.

К внешним относятся факторы, действия которых в той или иной степени определяют изменения, происходящие в экосистеме, но сами они практически не испытывают ее обратного воздействия. Таковы солнечная радиация, интенсивность атмосферных осадков, атмосферное давление, скорость ветра, скорость течения и т.д.

В отличие от них внутренние факторы соотносятся со свойствами самой экосистемы (или отдельных ее компонентов) и в действительности образуют ее состав. Таковы численности и биомассы популяций, запасы различных веществ, характеристики приземного слоя воздуха, водной или почвенной массы и т.д.

Второй распространенный классификационный принцип – это деление факторов на биотические и абиотические. К первым относятся разнообразные переменные, характеризующие свойства живого вещества, а ко вторым – неживых компонентов экосистемы и ее внешней среды. Деление факторов на эндогенные – экзогенные и на биотические – абиотические не совпадают. В частности, существуют как экзогенные биотические факторы, например интенсивность заноса извне семян некоторого вида в экосистему, так и эндогенные абиотические факторы, такие, как концентрация O_2 или CO_2 в приземном слое воздуха или воде.

Широкое использование в экологической литературе находит классификация факторов по *общему характеру их происхождения* или *объекту воздействия*. Например, среди экзогенных различают метеорологические (климатические), геологические, гидрологические, миграционные (биогеографические), антропогенные факторы, а среди эндогенных – микрометеорологические (биоклиматические), почвенные (эдафические), водные и биотические.

Важным классификационным показателем служит характер динамики экологических факторов, в особенности наличие или отсутствие ее периодичности (суточной, лунной, сезонной, многолетней). Связано это с тем, что приспособительные реакции организмов к тем или иным факторам среды определяются степенью постоянства воздействия этих факторов, то есть их периодичностью.

Биологом А.С. Мончадским (1958) выделялись первичные периодические факторы, вторичные периодические факторы и непериодические факторы.

К первичным периодическим факторам относятся в основном явления, связанные с вращением Земли: смена времен года, суточная смена освещенности, приливные явления и т.п. Эти факторы, которым свойственна правильная периодичность, действовали еще до появления жизни на Земле, и возникающие живые организмы должны были сразу адаптироваться к ним.

Вторичные периодические факторы – следствие первичных периодических: например, влажность, температура, осадки, динамика растительной пищи, содержание растворенных газов в воде и т.п.

К непериодическим относятся факторы, не имеющие правильной периодичности, цикличности. Таковы почвенно-грунтовые факторы, разного рода стихийные явления. Антропогенные воздействия на окружающую среду часто относятся к непериодическим факторам, которые могут проявляться внезапно и нерегулярно. Поскольку динамика естественных периодических факторов—одна из движущих сил естественного отбора и эволюции, живые организмы, как правило, не успевают выработать приспособительных реакций, например, к резкому изменению содержания тех или иных примесей в окружающей среде.

Особая роль среди экологических факторов принадлежит суммативным (аддитивным) факторам, характеризующим численности, биомассы или плотности популяций организмов, а также запасы или концентрации различных форм вещества и энергии, временные изменения которых подчиняются законам сохранения. Подобные факторы называются ресурсами. Например, говорят о ресурсах тепла, влаги, органической и минеральной пищи и т.д. В отличие от них такие факторы, как интенсивность и спектральный состав радиации, уровень шума, окислительно-восстановительный потенциал, скорость ветра или течения, размер и форма пищи и т.д., которые сильно влияют на организмы, не относятся к категории ресурсов, т.к. к ним не применимы законы сохранения.

Число всевозможных экологических факторов представляется потенциально неограниченным. Однако по степени воздействия на организмы они далеко не равносильны, вследствие чего в экосистемах разного типа некоторые факторы выделяются как наиболее существенные, или императивные. В наземных экосистемах из числа экзогенных факторов к ним, как правило, относятся интенсивность солнечной радиации, температура и влажность воздуха, интенсивность атмосферных осадков, скорость ветра, скорость заноса спор, семян и других зародышей или притока взрослых особей из других экосистем, а также всевозможные формы антропогенного воздействия. Эндогенными императивными факторами в наземных экосистемах являются следующие:

- 1) микрометеорологические —освещенность, температура и влажность приземного слоя воздуха, содержание в нем CO_2 и O_2 ;
- 2) почвенные —температура, влажность, аэрация почвы, физико-механические свойства, химический состав, содержание гумуса, доступность элементов минерального питания, окислительно-восстановительный потенциал;
- 3) биотические —плотность популяций разных видов, их возрастной и половой состав, морфологические, физиологические и поведенческие характеристики.

Контрольные вопросы: 1. Что такое экологический фактор? 2. Зона действия экологического фактора. 3. Что такое экологическая ниша? 4. Закономерности формирования экологической ниши для микроорганизмов.

2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа).

Тема: «Понятие популяция в микробной экологии. Статические и динамические характеристики».

2.3.1 Цель работы: Изучить основные понятия микробной популяционной экологии.

2.3.2 Задачи работы:

1. Изучить статические характеристики микробной популяции.
2. Изучить динамические характеристики микробной популяции.

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Мультимедиа аппаратура, раздаточный материал.

2.3.4 Описание (ход) работы:

Экологическая популяция формируется как совокупность элементарных популяций. В основном это внутривидовые группировки, приуроченные к конкретным биогеоценозам. Например, белка заселяет различные типы леса. Поэтому могут быть четко выделены «сосновые», «елово-пихтовые» и другие экологические популяции ее. Они слабо изолированы друг от друга, и обмен генетической информацией между ними происходит довольно часто, но реже, чем между элементарными популяциями.

Состояние популяции на данный момент времени характеризуют **статические показатели**. К ним относятся следующие:

Численность - общее количество особей на выделяемой территории или в данном объеме. Этот показатель популяции никогда не бывает постоянным, он зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности.

Плотность популяции - среднее число особей (или биомассы) на единицу площади или объема занимаемого популяцией пространства. Плотность популяции также изменчива, она зависит от численности. В случае возрастания последней плотность популяции не увеличивается лишь в том случае, если возможно расселение ее, т.е. расширение ареала.

Динамические показатели популяции включают рождаемость и смертность, прирост и темп роста популяции.

Рождаемость (плодовитость) - число новых особей, появившихся за единицу времени в результате размножения. Живые организмы обладают огромной способностью к размножению. Она характеризуется так называемым биотическим потенциалом, представляющим собой скорость, с которой при непрерывном размножении (возможном только теоретически при идеальных экологических условиях существования) особи определенного вида могут покрыть земной шар равномерным слоем. Это важнейший, хотя и условный, показатель имеет самые различные значения. Так, для слонов он составляет 0,3 м/с, а для некоторых микроорганизмов - сотни метров в секунду. Удивительный факт: один одуванчик менее чем за 10 лет способен заселить своими потомками земную поверхность, если все семена прорастут (Н. Дажо, 1975). На практике такая громадная плодовитость никогда не реализуется

Смертность популяции - число погибших в популяции особей в определенный отрезок времени. Подобно плодовитости, смертность изменяется в зависимости от условий среды обитания, возраста и состояния популяции; смертность выражается в процентах к начальной или чаще к средней величине ее.

Прирост популяции - разница между рождаемостью и смертностью; прирост может быть положительным, нулевым и отрицательным.

Темп роста популяции - средний прирост ее за единицу времени

Контрольные вопросы: 1. Какие вам известны статические характеристики популяции? 2. Охарактеризуйте статические характеристики популяции. 3. Какие вам известны динамические характеристики популяции? 4. Охарактеризуйте динамические характеристики популяции.

2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа).

Тема: «Итоговое занятие за 1 модуль».

2.4.1 Цель работы: Проверить уровень знаний у студентов по пройденному материалу

2.4.2 Задачи работы:

Закрепить полученные знания по пройденному материалу.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Мультимедиа аппаратура, раздаточный материал.

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. Понятие термина «экология микроорганизмов».
2. Дать определение пределам толерантности, стенобиотики, ксенобиотиков
3. Биологические и другие факторы, влияющие на экофизиологию бактерий.
4. Что такое экологический фактор?
5. Зона действия экологического фактора.
6. Что такое экологическая ниша?
7. Закономерности формирования экологической ниши для микроорганизмов.
8. Какие вам известны статические характеристики популяции?
9. Охарактеризуйте статические характеристики популяции.
10. Какие вам известны динамические характеристики популяции?
11. Охарактеризуйте динамические характеристики популяции.

2.5 Лабораторная работа №5 (2 часа).

Тема: «Проблема динамики численности микробной популяции и подходы к ее решению. Основные типы экологических стратегий».

2.5.1 Цель работы: Изучить основные проблемы динамики численности микробных популяций

2.5.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с основными подходами к решению проблемы динамики численности бактерий.
2. Изучить основные типы экологических стратегий.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Аудитория, мультимедиа проектор.

2.5.4 Описание (ход) работы:

Численность популяций не остается постоянной, так как меняются условия их существования. *Возникающие изменения численности популяций во времени называются динамикой численности.* Ее изучение важно для прогноза перспектив дальнейшего существования популяций и оценки их роли в природных сообществах.

Диапазон колебаний численности популяций зависит от степени изменчивости абиотических и биотических факторов, а также от биологических особенностей

конкретного вида (плодовитости, скорости смены поколений, возраста достижения половой зрелости особей и др.). Самые большие диапазоны колебаний численности характерны для мелких быстро размножающихся организмов — бактерий, инфузорий, насекомых, грызунов.

Типы динамики численности. Выделяют сезонный, многолетний, периодический и устойчивый типы динамики численности.

Сезонный тип динамики численности характерен для видов с резко возрастающей плотностью популяций в течение одного сезона. Он свойствен небольшим по размеру организмам, которые дают многочисленное и быстро созревающее потомство и способны поэтому в короткий срок резко увеличить свою численность. К таким организмам относятся представители планктона — дафнии, циклопы, коловратки, а среди наземных — многие виды насекомых, грызунов и однолетних травянистых растений. Например, домашние мухи появляются весной после зимовки в небольшом количестве, однако потомство одной их пары при средней плодовитости самки около 100 яиц за 5—6 поколений может быть очень многочисленным. В действительности этого не происходит из-за гибели значительной части отложенных яиц, личинок и куколок. И тем не менее численность мух от поколения к поколению сильно увеличивается.

Многолетний тип динамики численности охватывает период в несколько лет и характеризуется фазой *минимума*, или депрессии, фазой *подъема*, или нарастания, и фазой *максимума*, или массовой вспышки, после которой численность снижается, и многолетний цикл повторяется вновь. У разных видов продолжительность полного цикла различна и охватывает период от 2 до 10 лет. Такой тип динамики численности имеют саранча, колорадский жук, обитатели тундры — лемминги. Знание циклов динамики численности видов-вредителей позволяет прогнозировать их массовое появление и рассчитывать время для борьбы с ними.

Устойчивый тип динамики численности характерен для видов с более или менее постоянной численностью в течение длительного периода времени. Этот тип динамики свойствен, как правило, крупным животным с большой продолжительностью жизни, поздним наступлением половозрелости, дающим малочисленное с высокой выживаемостью потомство. Примером могут служить копытные млекопитающие, китообразные, крупные орлы, некоторые пресмыкающиеся.

Экологическая стратегия — сформировавшиеся в различных условиях естественного отбора способы взаимодействия организмов с внешней средой. Благодаря разным реакциям определенных организмов на одинаковые изменения условий среды возможно оптимальное развитие популяций, а также переживание ими неблагоприятных условий.

Три основных типа экологической стратегии, соответствующим разным типами отбора:

K-стратегия — благодаря наиболее эффективному использованию субстрата (ресурсов), т. е. высокой конкурентоспособности и достижению высокой плотности популяции;

r-стратегия — высокая удельная скорость роста при освоении новых субстратов;

L-стратегия — чрезвычайно высокая приспособленность к переживанию неблагоприятных условий.

Для бактерий характерны элементы нескольких типов экологических стратегий. Например, даже в популяции одного штамма имеются *диссоцианты* — отдельные группы клеток, отличающиеся особенностями структуры генома, что обуславливает изменение морфологии, физиологии и биохимии клеток. Обычно в популяции присутствует *три основные типа диссоциантов*, различающихся по морфологии. Их отличия в скорости потребления субстратов и другие реакции напоминают K-, r-, L- стратегов.

У бактерий много типов экологических стратегий, которые не определены для высших организмов.

Например:

- жизнеспособное, но некультивируемое состояние;
- экстремофильность;
- экстремотолерантность;
- образование структурированных популяций в биопленках;
- образование нанобактерий при наступлении неблагоприятных условий.

Важно, что *динамика численности бактерий в природных популяциях* определяется не столько соотношением скорости роста и смертности (высшие организмы), сколько *выживаемостью в неблагоприятных условиях*.

Таким образом, у большинства бактерий стратегия выживания комплексная. Она складывается из многих типов реакций, комбинация которых чрезвычайно велика, на изменения факторов среды. Две группы факторов - биотические и абиотические.

Контрольные вопросы. 1. Охарактеризуйте основные типы динамики численности микроорганизмов. 2. Охарактеризуйте основные экологические стратегии бактерий. 3. Назовите подходы к решению проблемы динамики численности микробной популяции.

2.6 Лабораторная работа №6 (2 часа).

Тема: «Взаимодействие микробных популяций. Основные типы межпопуляционных взаимодействий и их разновидности».

2.6.1 Цель работы: Изучить основные типы взаимодействий между популяциями микроорганизмов.

2.6.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с симбиотическими типами межпопуляционных взаимодействий.
2. Изучить с антагонистическими типами межпопуляционных взаимодействий

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Аудитория, мультимедиа проектор.

2.6.4 Описание (ход) работы:

Теоретически взаимодействие популяций двух видов можно выразить в виде следующих комбинаций символов: 00, --, ++, +0, -0, + -. Выделяют 9 типов наиболее важных взаимодействий (по Ю Одуму, 1986):

- *нейтрализм* (00) - ассоциация двух видов популяций не сказывается ни на одном из них;
- *взаимное конкурентное подавление* (- -) - обе популяции взаимно подавляют друг друга;
- *конкуренция из-за ресурсов* (- -) - каждая популяция неблагоприятно воздействует на другую при недостатке пищевых ресурсов;
- *аменсализм* (-0) - одна популяция подавляет другую, но сама при этом не испытывает отрицательного влияния;
- *паразитизм* (+ -) - популяция паразита наносит вред популяции хозяина;
- *хищничество* (+ -) - одна популяция неблагоприятно воздействует на другую в результате прямого нападения, но зависит от другой;

- *комменсализм* (+0) - одна популяция извлекает пользу от объединения с другой, а другой популяции это объединение безразлично;
- *протокооперация* (++) - обе популяции получают пользу от объединения;
- *мутуализм* (++) - связь благоприятна для роста и выживания обеих популяций, причем в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой.

Тип взаимодействия определенной пары видов может изменяться в зависимости от условий или от последовательных стадий их жизненных циклов.

Контрольные вопросы: 1. Назвать и охарактеризовать основные симбиотические типы межпопуляционных взаимодействий. 2. Назвать и охарактеризовать основные антагонистические типы межпопуляционных взаимодействий. 3. Привести примеры межпопуляционных взаимоотношений из микробного мира.

2.7 Лабораторная работа №7 (2 часа).

Тема: «Взаимоотношения микроорганизмов с беспозвоночными и позвоночными животными».

2.7.1 Цель работы: Изучить типы отношений между микроорганизмами и животными

2.7.2 Задачи работы:

Ознакомиться с основными типами взаимодействий между микроорганизмами и животными.

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Аудитория, мультимедиа проектор.

2.7.4 Описание (ход) работы:

Нормальная микрофлора позвоночного животного – необходимое условие сохранения здоровья макроорганизма. Нарушение микробных биоценозов в разных органах и системах организма ведет к развитию патологических процессов, снижению активности защитных сил организма, развитию дисбактериоза. Если новорожденного выращивать в стерильных условиях, кормить стерильной пищей, т.е. лишить его нормальной микрофлоры, он будет плохо развиваться, отстанет в росте и может погибнуть.

Многие из микроорганизмов, обитающих в организме животного, представляют нормальную микрофлору и относятся по патогенности к непатогенным или условно – патогенным. Обитающие в теле животного представители сапрофитной и условно – патогенной микрофлоры в прошлом изучались меньше, так как эту микрофлору считали безвредной для макроорганизма и основное внимание было направлено на представителей патогенной микрофлоры.

Сапрофитные и условно – патогенные микробы, находящиеся в организме, или проникшие из окружающей среды, при определенных условиях на фоне инфекции, авитаминоза, постоянного физического и умственного переутомления, переохлаждения, стрессовых ситуаций, радиоактивного облучения, белкового истощения и других факторов могут вызывать у животных инфекционные заболевания, которые нередко оканчиваются летальным исходом. Резидентная микрофлора полости рта может играть

существенную роль в заболеваниях инфекционного происхождения (например, при агранулоцитозе), при этом обнаруживаются бактериоиды, фузиформные бактерии, стрептококки, *P.aeruginosa*, *C.albicans*, *S.aueus*, *E.coli*.

Такие микроорганизмы, как *E.coli*, *K.pneumoniae*, *P.vulgaris*, *C.perfringens*, *S.aureus*, входящие в состав нормальной микрофлоры кишечника могут вызвать развитие воспалительных процессов, а нередко – и абсцессы. Представители резидентной микрофлоры могут стать возбудителями бактериемии и сепсиса. Сапрофитные и условно – патогенные микроорганизмы могут обусловить развитие бактериального шока, который развивается в результате одновременного поступления в кровь значительного количества микробных особей и их токсинов, или даже только микробных токсинов. Бактериальный шок возникает после внезапно наступившей массовой бактериемии вследствие хронической очаговой инфекции, преодолевшей защитные барьеры, хирургического вмешательства на фоне септического очага. Очень часто бактериальный шок развивается при манипуляциях мочеполовой системы в период инфекции, при переливании загрязненной микробами крови, при продолжительных внутривенных вливаниях медикаментов и питательных веществ, с которыми в кровь попадают и бактерии. Наиболее частыми возбудителями бактериального шока являются *E.coli*, *P.aeruginosa*, *P.vulgaris*, *S.epidermidis*, *S.aureus*, *K.pneumoniae*, представители рода *Bacteroides*, *C.perfringens*, гемолитический стрептококк, менингококки, пневмококки.

Роль беспозвоночных в почвообразовании во многом связана с регуляцией состава и активности микроорганизмов. Обратим внимание на селективное потребление животными микробов и на те события, которые происходят с микроорганизмами в пищеварительном тракте. Одна из фундаментальных закономерностей — изменение в соотношении мицелиальных грибов/бактерий: в почве бактерий становится больше, а грибов меньше. Беспозвоночные предпочитают в основном грибы. Однако не все группы, виды и даже штаммы микроорганизмов, попав в кишечник животного, ведут себя одинаково. С ними могут происходить разные события: гибель популяции (например, дрожжевых грибов), подавление роста, сохранение жизнеспособности, инициация прорастания спор, размножение. Животные почему-то предпочитают в пищу грибы, содержащие в гифах темный пигмент меланин. При оценке микробного загрязнения почв необходимо помнить, что генетически модифицированные человеком бактерии могут размножаться и даже передавать генетическую информацию диким бактериям в кишечнике, а возможно, и получать от почвенных бактерий новые гены, например устойчивости к антибиотикам. Наш тезис — у каждого животного есть свой круг микробов-жертв. В этом и проявляется функциональное биологическое разнообразие — в трофических сетях животные не стоят в очереди за пищей, а каждый имеет свою, согласно со способностями переварить ее.

Для объяснения причин избирательной гибели микроорганизмов в кишечнике животных мы проверили активность пищеварительных экстрактов некоторых беспозвоночных (многоножек-кивсиков, мокриц, виноградной улитки). Получили предсказуемый результат: часть микроорганизмов гибнет, другие не чувствительны, беспозвоночные отличаются разной антимикробной активностью. Позже такую киллерную активность обнаружили и у дождевых червей. Под действием кишечной жидкости быстро, в течение нескольких минут, подавляется дыхание - гибнут клетки. Чувствительные к перевариванию клетки изменяются в облике уже через несколько секунд. В просвечивающем электронном микроскопе видно, что под действием кишечной жидкости многоножки кивсяка *Pachyiulus flavipes* цитоплазма дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae* становится гранулированной, исчезают ядро, митохондрии, вакуоли. Большинство клеток сохраняют целостность и клеточную стенку. Изменения внутриклеточной организации позволяет говорить о мембранотропном действии веществ кишечной жидкости.

Чувствительны к киллерной активности, как правило, обитатели листового опада или почвы, а устойчивы обитатели кишечника и экскрементов животных, что говорит об их адаптации к кишечной среде животного. Киллерные агенты имеют небелковую природу. Среди них обнаружено новое вещество - 16-сульфо-гидроксипальмитиновая кислота: $-\text{SO}_3-\text{O}-(\text{CH}_2)_{15}-\text{COOH}$, имеющая свойство умеренного детергента.

Скорость и степень разрушения клеток под действием пищеварительной жидкости мы исследовали по выходу в водный раствор ^{14}C — меченых органических соединений. После нескольких минут пребывания в этой активной среде клетки теряют до 80% своего содержимого, причем киллерная фракция, хотя и не содержит ферментов, тоже вызывает лизис. Механизм такого переваривания микроорганизмов представляется нам следующим образом. Чувствительные микробные клетки быстро гибнут под действием киллерных веществ: они нарушают барьер проницаемости, и в раствор выходит часть содержимого цитоплазмы. Гидролиз клеточного материала осуществляют вместе автолитические ферменты микробной клетки и ферменты животного. Каждый вид животного, очевидно, имеет свой круг микробов-жертв — благодаря различному составу киллерных веществ.

Предложенный нами механизм сходен с описанным для позвоночных индуцированным автолизом: жертва обеспечивает собственное переваривание, индуцируемое веществами пищеварительного тракта хищника. При этом живые организмы перевариваются эффективнее мертвых. Известно, что состав автолитических ферментов любой клетки более широк, чем спектр пищеварительных ферментов животного, — это модель «искусственного удава». Причина селективности переваривания до сих пор не ясна. Возможно, киллерные вещества специфически взаимодействуют с мембранными фосфолипидами и, подобно детергентам, вызывают деструкцию мембран. Участие жирных кислот в переваривании микроорганизмов животными до сих пор не отмечалось. Индуцированный автолиз, видимо, существует и у других беспозвоночных — насекомых, нематод. Многие хищные насекомые парализуют и убивают жертву ядами, а переваривание происходит вне кишечника (внекишечное пищеварение) аналогично индуцированному автолизу. Значит, пищеварительный тракт беспозвоночного можно представить как селективный «фильтр» и одновременно как ферментер для микроорганизмов.

Контрольные вопросы: 1. Назовите и охарактеризуйте основные типы взаимоотношений между микроорганизмами и беспозвоночными животными. 2. Охарактеризуйте значение микрофлоры для беспозвоночных животных. 3. Назовите и охарактеризуйте основные типы взаимоотношений между микроорганизмами и позвоночными животными. 4. Охарактеризуйте значение микрофлоры для позвоночных животных.

2.8 Лабораторная работа №8 (2 часа).

Тема: «Итоговое занятие за 2 модуль»

2.8.1 Цель работы: Проверить уровень знаний студентов.

2.8.2 Задачи работы:

Закрепить знания студентов, полученные по пройденному материалу.

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Аудитория, мультимедиа проектор.

2.8.4 Описание (ход) работы:

1. Охарактеризуйте основные типы динамики численности микроорганизмов.
2. Охарактеризуйте основные экологические стратегии бактерий.
3. Назовите подходы к решению проблемы динамики численности микробной популяции.
4. Назвать и охарактеризовать основные симбиотические типы межпопуляционных взаимодействий.
5. Назвать и охарактеризовать основные антагонистические типы межпопуляционных взаимодействий.
6. Привести примеры межпопуляционных взаимоотношений из микробного мира.
7. Назовите и охарактеризуйте основные типы взаимоотношений между микроорганизмами и беспозвоночными животными.
8. Охарактеризуйте значение микрофлоры для беспозвоночных животных.
9. Назовите и охарактеризуйте основные типы взаимоотношений между микроорганизмами и позвоночными животными.
10. Охарактеризуйте значение микрофлоры для позвоночных животных.

2.9 Лабораторная работа №9 (2 часа).

Тема: «Взаимоотношения микроорганизмов и растений».

2.9.1 Цель работы: Изучить основные типы взаимоотношений микроорганизмов и растений

2.9.2 Задачи работы: Ознакомиться с взаимоотношениями растений и микроорганизмов и усвоить значение микрофлоры для растения.

2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Аудитория, мультимедиа проектор 0,9% р-р хлорида натрия, центрифужные пробирки, пипетка Сали, пипетка на 5 мл, предметные и покровные стёкла.

2.9.4 Описание (ход) работы:

В природных условиях высшие растения и микроорганизмы тесно взаимосвязаны, между ними существуют различные формы взаимоотношений и взаимного влияния. Здесь, конечно, в первую очередь необходимо отметить тесный симбиоз бобовых растений и клубеньковых бактерий, описанный нами в разделе о круговороте азота.

Корни растений в процессе жизнедеятельности выделяют некоторое количество органических соединений: кислоты, сахара, спирты и иногда даже аминокислоты. На поверхности корней и в почве, непосредственно примыкающей к корням растений, содержится много питательных веществ, и микроорганизмы здесь усиленно развиваются. Слой почвы, примыкающий к корням и находящийся под влиянием деятельности корневой системы растений, называется ризосферой.

В ризосфере различают три зоны:

- 1) поверхность корней, наиболее богатую микробами;
- 2) непосредственно прилегающий к поверхности корней тончайший слой почвы;
- 3) зону собственно ризосферы, расположенную на расстоянии 0,5-1 мм от поверхности корня.

В ризосфере имеется гораздо больше питательных для микробов веществ, чем вне ризосферы.

В районе ризосферы микробов содержится в десятки, сотни раз больше, чем вне зоны деятельности корней. Даже такие автотрофные бактерии, как нитрифицирующие, в ризосфере встречаются в гораздо большем количестве, чем в остальной почве. Количество микроорганизмов в ризосфере изменяется в зависимости от фазы развития растения. Общее количество их возрастает от начала прорастания семени до цветения. Во время цветения число их падает. Но разные группы и виды микроорганизмов имеют свой максимум развития на корнях. Так, грибы, актиномицеты и клетчатко разлагающие бактерии в большом числе встречаются во втором периоде развития растения.

В ризосфере обычно больше беспоровых бактерий, а из них преобладают различные виды псевдомонас, радиобактеров, микобактерий и др. В ризосфере различных растений может наблюдаться специфическая микрофлора, т. е. преобладание одних видов микробов над другими.

Микробы ризосферы, питаясь корневыми выделениями, сами готовят питательные вещества для растений путем разложения растительных остатков, гумуса, выделения различных физиологически активных веществ.

Свою микрофлору имеют и наземные части растений - листья, стебли. На них также приспособились существовать особые виды микробов, например: *Bact. herbicola*, имеющая желтый пигмент, молочнокислые и флюоресцирующие бактерии, дрожжи, плесени. Пищей им служат некоторые вещества, выделяемые растениями на поверхность эпидермиса.

Эти микроорганизмы, называемые эпифитными, размножаются на семенах. Правильно сохраняющиеся семена с нормальной всхожестью имеют определенный состав эпифитной микрофлоры, так что по эпифитной микрофлоре можно определить качество посевных семян.

Ризосферная и эпифитная микрофлора живет на поверхности растительных покровов за счет выделений клеток растений. В отличие от них паразитарные микроорганизмы нарушают целостность покровов, внедряются в организм и вызывают его заболевание.

Между грибами и корнями растений также имеются особые симбиотические взаимоотношения. У подавляющего большинства растений - древесных, злаковых и других - на корнях имеются микоризы. Микориза (грибокорень) представляет собой грибной мицелий, развившийся на корнях растения. Микоризообразующие грибы имеются среди фикомицетов, аскомицетов и базидиальных грибов.

Микориза - очень распространенное явление, и такой симбиоз имеет важное значение в жизни растения и гриба, представляя собой микотрофный тип питания.

Различают наружную (экто) и внутреннюю (эндо) микоризу. Наружная микориза окутывает корень плотным чехлом мицелия, который проникает в корень на небольшую глубину, главным образом в межклетники коровой паренхимы. От грибного чехла во все стороны почвы отходит густая сеть гиф мицелия. Корневые волоски отмирают.

При эндотрофной микоризе сплошного оплетения мицелием корней не происходит. Только часть гиф выходит в почву. Волоски корней сохраняются. Мицелий эндомикоризы размещается главным образом между клетками коровой паренхимы. Мицелий проникает внутрь клеток, образуя в них клубки гиф. Но клетки корня остаются живыми, они постепенно переваривают проникший в них мицелий. Наблюдается еще экто-эндотрофная микориза, совмещающая в себе признаки, свойственные обеим формам микоризы.

Значение микоризного симбиоза высшего растения с грибом многообразно. Грибной мицелий увеличивает рабочую поверхность корня и таким образом усиливает всасывание воды и различных питательных веществ. Гриб также усиливает питание растения за счет растворения труднорастворимых неорганических и органических соединений, снабжает растение азотистым питанием в виде аммиака при минерализации органических остатков. Особенно большое значение имеет снабжение растения витаминами, ростовыми веществами.

Основное значение высшего растения для гриба заключается в снабжении его глюкозой и специальными метаболитами корневой системы. Энергия, заложенная в глюкозе, дает возможность грибу усваивать труднорастворимые соединения фосфора и разлагать органические вещества, например торф.

Особенно тесная взаимосвязь с грибом существует у орхидных растений. Микориза у орхидей эндотрофная. Прорастание семян орхидных растений без микоризы происходит с трудом или совсем не происходит. Оказалось, что у этих растений очень понижен синтез витаминов: никотиновой кислоты (РР), витамина В₁ и др. Когда эти витамины прибавляли к семенам, то они быстрее прорастали. Тропические орхидеи хорошо растут в стерильных условиях без гриба, но при наличии витаминов. Выявившееся значение витаминов для орхидных открывает новую сторону микоризного питания.

Эктотрофную микоризу имеет большинство древесных пород. По Н. В. Лобанову, высокомикотрофными являются сосна, дуб, ель, лиственница, слабомикотрофными - береза, липа, осина, тополь. Немикотрофными являются бересклет, боярышник, бузина и др.

При полезащитных лесонасаждениях в степных районах рекомендуется применять искусственную микоризацию путем внесения в лунку с семенами лесной земли, богатой микоризой.

Микотрофный способ питания имеется у некоторых однолетних сельскохозяйственных растений, например твердой пшеницы, проса. Но бесспорных доказательств, что грибы при этом играют важную роль в питании растений, еще нет.

Микроорганизмы вырабатывают особые физиологически активные вещества. Сюда относятся различные факторы роста, витамины, ферменты, ауксины, антибиотики, гиббереллины, некоторые аминокислоты. Растения сами могут образовывать их, но не всегда в достаточном количестве. Так, ауксины (стимуляторы роста) синтезируются самими растениями. Но все же дополнительное внесение стимуляторов оказывает очень большое влияние на растения. Гетероауксины в настоящее время получают синтетически, но в естественных условиях растения получают их дополнительно от микроорганизмов ризосферы.

Биотические вещества образуются бактериями, грибами, дрожжами, актиномицетами, водорослями. По способности образовывать биотические вещества микробы можно разделить на две группы. Одни образуют все необходимые для роста вещества сами и поэтому могут развиваться на синтетических средах без витаминов. Сюда относятся хемосинтезирующие бактерии, например нитрификаторы, *Thiobacillus thiooxydans* и др. Энергично образует витамины группа бактерий, не усваивающих углекислоту, по развивающихся на синтетических средах, не содержащих витаминов, как, например, большинство почвенных бактерий: азотобактер, клубеньковые бактерии, псевдомонас и др. Избыток витаминов они выделяют в почву. По подсчетам М. Н. Мейселя, в одном гектаре плодородной почвы накапливается за год 400 г витамина В₁, 300 г витамина В₆, 1 кг никотиновой кислоты. Физиологически активные вещества могут находиться в адсорбированном состоянии длительное время, до 50-60 дней, не теряя активности. Часто недостаток витаминов испытывают корни, поставщиками витаминов для которых является микрофлора ризосферы и эндотрофная микориза.

Среди почвенных микробов особенно много образующих антибиотические вещества. В растениеводстве установлено, что под влиянием различных антибиотиков лучше прорастают семена, усиливается рост корней. Они очень перспективны для лечения некоторых бактериальных и грибных болезней растений. Они не ядовиты для человека и животных, поэтому имеют преимущество перед химическими средствами и могут оказывать не только антибиотическое, но и стимулирующее действие. Эффективность их действия в растениеводстве еще слабо изучена.

Гиббереллины выделены впервые из аскомицетного гриба *Gibberella*. Теперь такие вещества найдены и у микробов, актиномицетов и дрожжей. Они увеличивают во много

раз вегетативную массу растений. В минимальных количествах, измеряемых микрограммами, гиббереллиновая кислота увеличивает высоту капусты, кукурузы, размеры плодов томатов, картофеля, гороха и др. в несколько раз.

Физиологически активные вещества влияют положительно только при определенном оптимальном количестве. Как при недостатке, так и при избытке их растения повреждаются. В больших концентрациях они уже губят растения. Поэтому некоторые из них используются как гербициды для уничтожения сорняков.

Здесь необходимо также отметить, что найдены в последнее время микроорганизмы - сильные антагонисты насекомых - вредителей сельскохозяйственных культур и лесов. Так, найдены бактерии, которые оказались очень патогенными для гусениц сибирского шелкопряда (*B.dendrolimus*, *B.tuviensis*) - этого бича сибирских лесов. Обработка лесов культурами этих бактерий путем опрыскивания с самолетов губит до 95% гусениц и куколок шелкопряда. Дальнейшие поиски подобных микроорганизмов, несомненно, приведут к открытию новых способов уничтожения других вредителей сельскохозяйственных растений.

Работа 1

Задание. Определить состав симбионтной микрофлоры растений.
Заполнить таблицу

Ризосфера	Ризоплана	Роль

Контрольные вопросы: 1. Охарактеризовать понятия ризосферная и эпифитная микрофлора. Привести примеры. 2. Обозначить роль ризосферной микрофлоры для развития растения. 3. Обозначить роль эпифитной микрофлоры в развитии растения.

2.10 Лабораторная работа №10 (2 часа).

Тема: «Экология водных микроорганизмов».

2.10.1 Цель работы: Изучить экологию водных микроорганизмов

2.10.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с основными экологическими группами водных микроорганизмов.
2. Изучить особенности физиологии водных микроорганизмов.

2.10.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:
Аудитория, мультимедиа проектор.

2.10.4 Описание (ход) работы:

Основные экологические типы микроорганизмов. Средой обитания для микроорганизмов внутренних водоемов являются водная толща и иловые отложения. В водной массе преобладают планктонные формы и формы, прикрепляющиеся для

поддержания клеток во взвешенном состоянии. Подвижные формы передвигаются с помощью жгутиков. Неподвижные виды или содержат газовые вакуоли, или имеют чрезвычайно малые размеры и ничтожную массу, препятствующие быстрому оседанию. Среди микрофлоры иловых отложений также имеются подвижные жгутиковые формы, однако для бентосных микроорганизмов характерна способность прикрепляться к субстрату или передвигаться скольжением. Особенно широко представлены скользящие формы на поверхности ила, имеющего контакт с кислородной зоной

Как водная толща, так и иловые осадки стратифицированы по физико-химическим свойствам. Они содержат неодинаковое количество питательных субстратов и поэтому представляют собой чрезвычайно сложную динамическую систему, открывающую возможность для развития разнообразных видов микроорганизмов Жизнь водоема — это непрерывная цепь превращения органических и минеральных веществ, как образующихся в самом водоеме, так и привносимых извне. Микроорганизмы обеспечивают цикличность круговорота всех главных элементов и осуществляют энергетическую взаимосвязь процессов, происходящих в разных экологических зонах единой экосистемы. Группы микроорганизмов в силу физиологических особенностей (типа обмена, специфичности используемого субстрата, конкурентных и метабологических взаимоотношений) занимают строго определенные экологические зоны. В водоеме можно найти почти всех представителей систематических и физиологических групп бактерий. Их можно подразделить на аллохтонные, поступающие извне, и на автохтонные, которые составляют собственную микрофлору экосистемы. Последние приспособлены к экологическим условиям конкретного водоема. В водоемах с экстремальными условиями среды обитания существуют высокоприспособленные экстремофильные, преимущественно прокариотные реликтовые сообщества микроорганизмов.

Разработка прямых методов исследования микрофлоры водоемов в сравнении с методом посева на питательные среды показала громадный разрыв результатов при учете численности бактерий. Современные молекулярно-биологические методы диагностики природных сообществ подтверждают присутствие в морях и озерах большого количества пока не культивируемых форм микроорганизмов.

Распределение бактерий. В евтрофных водоемах численность бактерий может достигать десятки миллионов клеток на 1 мл, а в мезотрофных и олиготрофных она на несколько порядков меньше. Распределение бактерий зависит от гидрологического режима водоема и времени года. В перемешиваемых голомиктических озерах с гомогенной водной массой бактерии распределяются равномерно от поверхности воды до дна. К этому типу водоемов кроме многих озер относятся также океаны и большинство морей. В стратифицированных водоемах, и прежде всего меромиктических, бактерии концентрируются в эпилимнионе, в зоне максимума оксигенного фотосинтеза, в зонах галоклина и термоклина, хемоклина, а также непосредственно вблизи донных отложений. Во всех случаях численность бактерий увеличивается на границе резких изменений физико-химических условий, что объясняется плотностными изменениями водной среды, поступлением в эти зоны встречных диффузионных потоков газов, органического вещества, биогенных элементов или минеральных источников энергии (сульфид, аммоний, Fe(II) и др.). Часто в меромиктических озерах, содержащих сульфид, наблюдается массовое развитие фотосинтезирующих пурпурных и зеленых серобактерий в виде узкого слоя

В морях и океанах распределение бактерий в водной толще от теплых и холодных подводных течений, но основные продукционно-деструкционные процессы в них сосредоточены в ее наименее прогреваемых поверхностных слоях воды.

Отличительная особенность донных отложений как местообитания микроорганизмов состоит прежде всего в том, что они представляют собой твердый субстрат с очень тонкой стратификацией физико-химических условий. В перемешиваемых водоемах в них тесно соседствуют как аэробные, так и анаэробные

процессы. Общее число микроорганизмов в поверхностных слоях озерных, морских и океанических отложений выражается сотнями миллионов на 1 г сырого ила, что в евтрофных и мезотрофных озерах составляет от 2 до 8 % от органического вещества осадков. В глубинных слоях осадков число бактерий снижается в несколько раз, оставаясь высоким по сравнению с водной массой.

Основные экологические типы микроорганизмов. Средой обитания для микроорганизмов внутренних водоемов являются водная толща и иловые отложения. В водной массе преобладают планктонные формы и формы, прикрепляющиеся для поддержания клеток во взвешенном состоянии. Подвижные формы передвигаются с помощью жгутиков. Неподвижные виды или содержат газовые вакуоли, или имеют чрезвычайно малые размеры и ничтожную массу, препятствующие быстрому оседанию. Среди микрофлоры иловых отложений также имеются подвижные жгутиковые формы, однако для бентосных микроорганизмов характерна способность прикрепляться к субстрату или передвигаться скольжением. Особенно широко представлены скользящие формы на поверхности ила, имеющего контакт с кислородной зоной.

Как водная толща, так и иловые осадки стратифицированы по физико-химическим свойствам. Они содержат неодинаковое количество питательных субстратов и поэтому представляют собой чрезвычайно сложную динамическую систему, открывающую возможность для развития разнообразных видов микроорганизмов. Жизнь водоема — это непрерывная цепь превращения органических и минеральных веществ, как образующихся в самом водоеме, так и привносимых извне. Микроорганизмы обеспечивают цикличность круговорота всех главных элементов и осуществляют энергетическую взаимосвязь процессов, происходящих в разных экологических зонах единой экосистемы. Группы микроорганизмов в силу физиологических особенностей (типа обмена, специфичности используемого субстрата, конкурентных и метабологических взаимоотношений) занимают строго определенные экологические зоны. В водоеме можно найти почти всех представителей систематических и физиологических групп бактерий. Их можно подразделить на *аллохтонные*, поступающие извне, и на *автохтонные*, которые составляют собственную микрофлору экосистемы. Последние приспособлены к экологическим условиям конкретного водоема. В водоемах с экстремальными условиями среды обитания существуют высокоприспособленные экстремофильные, преимущественно прокариотные *реликтовые сообщества микроорганизмов*.

Распределение бактерий. В евтрофных водоемах численность бактерий может достигать десятки миллионов клеток на 1 мл, а в мезотрофных и олиготрофных она на несколько порядков меньше. Распределение бактерий зависит от гидрологического режима водоема и времени года. В перемешиваемых голомиктических озерах с гомогенной водной массой бактерии распределяются равномерно от поверхности воды до дна. К этому типу водоемов кроме многих озер относятся также океаны и большинство морей. В стратифицированных водоемах, и прежде всего меромиктических, бактерии концентрируются в эпилимнионе, в зоне максимума оксигенного фотосинтеза, в зонах галоклина и термоклина, хемоклина, а также непосредственно вблизи донных отложений. Во всех случаях численность бактерий увеличивается на границе резких изменений физико-химических условий, что объясняется плотностными изменениями водной среды, поступлением в эти зоны встречных диффузионных потоков газов, органического вещества, биогенных элементов или минеральных источников энергии. Часто в меромиктических озерах, содержащих сульфид, наблюдается массовое развитие фотосинтезирующих пурпурных и зеленых серобактерий в виде узкого слоя

Микроорганизмы аэробной зоны. В аэробной зоне водной части водоема можно выделить несколько экологических ниш, отличающихся условиями окружающей среды и соответственно микробным населением. Первая экологическая ниша аэробной зоны — *поверхностная пленка воды*. Она характеризуется обилием питательных веществ, преимущественно липидов, которые вследствие высокого поверхностного натяжения

накапливаются здесь из водной массы и из воздуха. Поверхностная пленка представляет собой аналог твердого субстрата, к которому прикрепляются в массовом количестве микроорганизмы, такие, как *Caulobacter*, *Hyp- homicrobium* и др.

В зимний период особым местообитанием является **граница раздела фаз — льда и воды**. Нижняя поверхность льда, соприкасающаяся с водой, имеет губчатую структуру. Она сорбирует биогенные факторы из водной массы, сюда поступают и концентрируются газы, нередко проникает свет, здесь образуется талая вода. Все эти факторы способствуют относительно густому по сравнению с водой заселению данной экологической зоны микроорганизмами, включая первичные продуценты. Роль таких сообществ особенно важна в арктических морях и океанах, всегда или большую часть времени года покрытых льдом.

Работа 1.

Задание.

1. Ознакомиться с микроценозами водоёмов.

Работа 2.

Задание. Рассмотреть основные группы микроорганизмов пресных и солёных водоёмов и заполнить таблицу.

Заполнить таблицу.

Экологические особенности	Указать особенности групп микроорганизмов	
	Океаны, моря	Пресные водоёмы

Контрольные вопросы: 1. Роль экологических условий рек и озёр и влияние на микробиоту. 2. Дать определение галоклин и пикноклин. 3. Галофильные организмы озёр. 4. Аэробное фототрофное сообщество микроорганизмов озёр. Особенности микроценозов.

2.11 Лабораторная работа №11 (2 часа).

Тема: «Экология воздушных микроорганизмов».

2.11.1 Цель работы: Изучить экологию воздушных микроорганизмов

2.11.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с основными экологическими группами воздушных микроорганизмов.
2. Изучить особенности физиологии воздушных микроорганизмов.

2.11.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:
Аудитория, мультимедиа проектор.

2.11.4 Описание (ход) работы:

Микроорганизмы – существенная часть любой экосистемы, выполняющая функции синтеза нового органического вещества в процессе первичной продукции и деструкции органических веществ.

Воздух как среда обитания неблагоприятен для развития микробов вследствие действия таких факторов среды как:

- *отсутствие питательных веществ
- *отсутствие достаточной влаги
- *отсутствие оптимальной температуры
- *губительное действие солнечных лучей
- *губительное действие высушивания

Состав микробиоты воздуха зависит от: степени загрязнения воздуха минеральными и органическими взвешиваемыми; температуры; осадков; характера местности; влажности и др.

Микрофлора воздуха зависит от микрофлоры почвы или воды.

В воздухе бактерии не размножаются, однако некоторое время микробы могут сохраняться.

Микробы попадают в воздух с пылью, уносимой с поверхности земли ветром. Попадая в воздух, они быстро отмирают или вновь оседают на поверхности земли и различных предметов.

Ультрафиолетовые лучи губительны для бактерий, но если последние адсорбированы на частицах пыли или других веществ, то становятся надежно защищенными от действия ультрафиолетового облучения.

Количество микробов в воздухе колеблется в больших диапазонах – от нескольких экземпляров до многих десятков тысяч в 1 м³. В холодных климатических районах и над морскими просторами воздух содержит лишь несколько клеток в больших объемах воздуха, в воздухе городов количество бактерий несоизмеримо больше. Хвойные леса вырабатывают огромное количество фитонцидов, обладающих бактерицидными свойствами.

С порывами ветра микроорганизмы могут разноситься на большие высоты над уровнем суши и моря.

Воздух более загрязнен вблизи земной поверхности.

В воздухе микроорганизмов тем больше, чем больше плотность населения. Весьма богат микробами воздух в закрытых помещениях, особенно в кинотеатрах, вокзалах, школах, в животноводческих помещениях и др. В них часто находят в 1 м³ от 5 до 300 тыс. бактерий.

В зависимости от времени года в воздухе меняются состав и количество микрофлоры. Если принять общее количество микробов зимой за 1, то весной оно будет составлять 1,7, летом – 2, осенью – 1,2.

Микрофлора воздуха состоит в основном из бактерий, обитающих в почве, на растениях и живых организмах. В воздухе часто встречаются пигментные сапрофитные бактерии (микрококки, различные сарцины). Эти бактерии выработкой пигментов надежно защищены от действия ультрафиолетовых лучей.

Споровые бактерии *Bacillus subtilis*, *B. megaterim*, *B. cereus*, *B. mesentericus*, *B. mycoides* попадают в воздух из почвы.

Pseudomonas glaucum, *Mucor mucedo*, *Micrococcus roseus*, *M. candidans*, *Staphylococcus citreus*, актиномицеты, плесневые, дрожжевые грибы и др. довольно часто входят в состав бактериоценоза воздуха.

При чихании, кашле, разговоре, через воздух, вместе с аэрозолем и каплями слизи и мокроты, могут передаваться возбудители воздушно-капельных бактериальных и вирусных инфекционных заболеваний. При их быстром распространении велика вероятность эпидемий и пандемий.

Работа 1.

Задание. Рассмотреть основные группы воздушных микроорганизмов и заполнить таблицу.

Заполнить таблицу.

Экологические особенности	Указать особенности групп микроорганизмов	
	Воздух на расстоянии 1 км от земли	Воздух на расстоянии более 1 км от земли

Контрольные вопросы: 1. Роль экологических условий воздуха – как биотопа и влияние на микробиоту. 2. Дать характеристику микробиоценоза воздуха. 3. Каковы особенности физиологии микроорганизмов, населяющих воздушное пространство

2.12 Лабораторная работа №12 (2 часа).

Тема: «Итоговое занятие за 3 модуль»

2.12.1 Цель работы: Проверить знания студентов по пройденному материалу

2.12.2 Задачи работы: Закрепить знания, полученные студентами на занятиях.

2.12.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:
Аудитория, мультимедиа проектор.

2.12.4 Описание (ход) работы:

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризовать понятия ризосферная и эпифитная микрофлора.
2. Привести примеры.
3. Обозначить роль ризосферной микрофлоры для развития растения.
4. Обозначить роль эпифитной микрофлоры в развитии растения.
5. Роль экологических условий рек и озёр и влияние на микробиоту.
6. Дать определение галоклин и пикноклин.
7. Галофильные организмы озёр.
8. Аэробное фототрофное сообщество микроорганизмов озёр.
9. Особенности микроценозов.
10. Роль экологических условий воздуха – как биотопа и влияние на микробиоту.
11. Дать характеристику микробиоценоза воздуха.
12. Каковы особенности физиологии микроорганизмов, населяющих воздушное пространство

2.13 Лабораторная работа №13 (2 часа).

Тема: «Экология почвенных микроорганизмов».

2.13.1 Цель работы: Изучить экологию почвенных микроорганизмов

2.13.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с основными экологическими группами почвенных микроорганизмов.
2. Изучить особенности физиологии почвенных микроорганизмов.

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе: Аудитория, мультимедиа проектор.

2.13.4 Описание (ход) работы:

Пестрая микроразнообразная картина среды обитания предполагает высокое разнообразие почвенных микроорганизмов, что подтверждается разными методами. В частности, при всей условности подхода на основе кинетики реассоциации ДНК:ДНК ожидаемое число видов бактерий в 1 г лесной почвы, по данным В. Тор-свика (V. Torsvik), существенно превышает 10 000. Для расчета числа видов грибов при определенных условиях (логнормальное распределение) можно воспользоваться формулой

$$S = S_0(3,4^{\circ} - s/a),$$

где S — общее число видов; S_0 — число видов модальной октавы; a — константа (часто приблизительно равная 0,2).

Данный подход позволил по показателям обилия учитываемых посевом конкретных видовых популяций рассчитать общее число видов грибов (в том числе и не выявленных при посеве): 30 — 40 видов в 1 г почвы. Таким образом, и для более крупных и существенно более однородных в функциональном отношении по сравнению с бактериями обитателей почвы характерно высокое биоразнообразие.

Масса биоты, включая бактерии, грибы, водоросли, по данным прямых методов микроскопии, может достигать нескольких тонн на гектар почв. В первом приближении по биомассе в поверхностных почвенных образцах (особенно в таежно-лесной зоне) доминируют грибы. Биомасса бактерий сопоставима по порядку величин с биомассой грибов, а остальные компоненты, включая представителей почвенной фауны, составляют второй план. Вместе с тем сами по себе показатели биомассы, к тому же рассчитанные на основе тотальных количественных учетов (без дифференциации «активной» и «неактивной и мертвой» биомассы), не дают представления о функциональной роли отдельных представителей почвенной биоты.

Более обоснована в этом случае оценка «активной» поверхности (например, с признаками эстеразной активности по расщеплению диацетата флуоресцеина или с признаками дыхания по тесту с люминесцирующими солями тетразола), через которую осуществляется взаимодействие клеток с окружающей средой. При учете «активной» поверхности бактерии не уступают грибам в функциональном отношении. Несомненно также, что бактерии выполняют важнейшие пищеварительные функции в организме почвенных животных. В целом можно охарактеризовать почву как чрезвычайно гетерогенную среду обитания, в которой существует обильная и разнообразная микробная биомасса.

Почвенные микроорганизмы не просто обитают в естественной гетерогенной среде, но сами являются ключевым фактором почвообразования и участвуют в процессах преобразования горной породы в почву с характерным строением. Оценивая роль микроорганизмов, Т. В. Аристовская выделила пять важнейших элементарных почвенно-микробиологических процессов: разложение растительного опада, образование гумуса, разложение гумуса, деструкция минералов почвообразующей породы и новообразование минералов. Указанные и другие функции почвенных микроорганизмов составляют как бы фундамент наземных экосистем. Относительно более подробно исследован процесс разложения органического вещества в почве.

Ежегодно при фотосинтезе связывается примерно $5 \cdot 10^{10}$ т атмосферного углерода, а в виде опада в почву поступает приблизительно $4 \cdot 10^{10}$ т. Основную часть опада почвенные микроорганизмы минерализуют до углекислого газа и воды. Вместе с

тем существенная часть опада превращается в гуминовые вещества (от 0,6 до 2,5-109 т) — особый класс природных соединений, для которых до сих пор нет точных молекулярных формул и выделение которых задается операционально (процедурой). Гуминовые вещества извлекают из почвы раствором щелочи. Затем осаждают кислотой фракцию гуминовых и гиматомелановых кислот. В растворе остаются фульвокислоты и неспецифические вещества. Нерастворимую часть называют *гумином*.

Все гуминовые вещества содержат большой набор функциональных групп. При их гидролизе в раствор переходят до 22 аминокислот (их массовая доля достигает 10%), разнообразные моносахариды (до 25 %) и другие соединения. Продуктами окисления являются в основном бензолполикарбоновые кислоты. Источниками аминокислот и Сахаров в гуминовых веществах могут быть белки и углеводы растений и микроорганизмов, а исходным материалом для бензоидных циклов служат лигнин и флавоноиды. Некоторое представление о содержании гумуса дает окраска почвы. В сухом состоянии малогумусные почвы (не более 1,5 % гумуса) имеют светло-серый цвет. Черный или буро-черный цвет (5 — 6 % гумуса и более) сухих образцов характерен для почв с высоким уровнем плодородия (чернозем). Несмотря на то что до сих пор дискуссионными остаются многие вопросы по строению, механизмам образования и разложения гуминовых веществ, эти соединения играют исключительную роль в поддержании плодородия и других почвенных характеристик. Согласно одной из гипотез образования гумуса (П. А. Костычев, Т. Г. Мирчинк, Д. Г. Звягинцев и др.), ядра молекул гумуса представлены микробными меланинами.

Работа 1.

Задание.

1. Ознакомится и указать основные микробиоценозы почв различных типов.

Заполнить таблицу.

Тип почвы	Экологические особенности	
	Почвенные горизонты	Группы микроорганизмов

Контрольные вопросы: 1. Почвенные карты и микроорганизмы чернозёмов. 2. Почвенные карты и микроорганизмы тундровых почв. 3. Почвенные карты и микроорганизмы подзолистых почв. 4. Почвенные карты и микроорганизмы серых лесных почв. 5. Простейшая схема микробного ценоза почвы. 6. Преобразование энергии микробного ценоза. 7. Биомасса почвенных микроорганизмов и их разнообразие. 8. Регуляторные механизмы микробных ассоциаций.

2.14 Лабораторная работа №14 (2 часа).

Тема: «Роль микроорганизмов в глобальных циклах элементов».

2.14.1 Цель работы: Систематизировать знания по глобальным циклам биогенных элементов

2.14.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с микробным сообществом микроорганизмов, участвующим в глобальном цикле элементов.

2. Изучить этапы основных глобальных циклов элементов с участием микроорганизмов.

2.14.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе: Аудитория, мультимедиа проектор.

2.14.4 Описание (ход) работы:

Интенсивное развитие промышленности и сельского хозяйства в годы, последовавшие за окончанием Второй мировой войны, сопровождалось растущим из года в год потреблением всех видов природных ресурсов (полезных ископаемых, пресной воды, лесных ресурсов, целинных почв и т.д.) с одновременным ухудшением условий окружающей среды, особенно в крупных городах и индустриальных областях нашей планеты. Впервые за всю историю цивилизации люди начали понимать, что ресурсы планеты и ее биосферы не безграничны и их потребление необходимо контролировать и по возможности возобновлять.

К сожалению, классические методы прямого учета и количественной оценки специализированных групп микроорганизмов на селективных питательных средах не дают информации о реальной геохимической деятельности микроорганизмов в природных условиях, поскольку на питательных средах вырастают не только активные микробы, но и все жизнеспособные формы, включая споры и покоящиеся клетки. Современные молекулярно-биологические методы также не позволяют количественно оценивать активность микроорганизмов в условиях *in situ*. Поэтому для количественной оценки специализированных физиологических групп микроорганизмов в биогеохимические процессы круговорота биогенных элементов (углерода, серы, кислорода, азота), были разработаны специальные методы и подходы, основанные на детальном изучении геохимических условий в природных экосистемах, населенных микроорганизмами, а также методики, основанные на использовании радиоактивных и стабильных изотопов.

Детальный анализ распределения субстратов и метаболитов специфических физиологических групп микроорганизмов позволяет в ряде случаев получить ценную информацию о геохимической активности микроорганизмов в природных условиях. Так, например, при анализе послойного распределения метана по профилю заболоченной почвы или анаэробного озерного ила можно составить представление о продукции метана метаногенами и о процессах микробного окисления части этого метана. Анализируя изменение содержания сульфата и сероводорода в подземном водоносном горизонте от области «питания» до области «разгрузки», можно получить довольно полное представление о масштабах процесса сульфатредукции в изучаемых подземных водах.

Более полную информацию о природных микробиологических процессах получают при проведении краткосрочных экспериментов с изолированными природными образцами (озерная, морская и подземная вода, образцы почвы, грунта и донных осадков), к которым добавляют радиоактивно меченные субстраты, используемые теми или иными физиологическими группами микроорганизмов.

Данными методами определяют содержание специфического субстрата (M , мг/кг или мг/л), радиоактивность добавленного меченого субстрата (R , имп/мин на 1 л или 1 кг) и радиоактивность метаболитов (g , имп/мин), образовавшихся за время краткосрочной инкубации (t , ч) изолированного образца, населенного микроорганизмами. Расчет продукции метаболитов (P) осуществляют по формуле $P = Mr/Rt$ (мг на 1 л или 1 кг природного образца за 1 ч).

Разработанные отечественными микробиологами методы количественной оценки геохимической активности микроорганизмов с использованием меченых соединений углерода и серы широко используются во всем мире для количественной оценки активности фото- и хемоавтотрофных бактерий, метаногенов, метанотрофов, сульфатредукторов, аэробных и анаэробных серных и тионовых бактерий.

Полезную информацию о природных микробиологических процессах дает также изучение соотношения стабильных изотопов серы, углерода, азота, кислорода и водорода в различных природных соединениях (органические вещества, серные и углерод-содержащие газы и минералы), образуемых и потребляемых микроорганизмами.

Лабораторные эксперименты с чистыми культурами микроорганизмов показали, что продукты метаболизма заметно обогащаются легкими стабильными изотопами, а в остаточном субстрате происходит накопление тяжелых стабильных изотопов. Наиболее изотопно легкие метаболиты накапливаются при использовании первых порций субстрата и при медленной удельной скорости потребления субстрата. Кроме того, величина эффекта фракционирования стабильных изотопов при прочих равных условиях выше на небольших моле групп ацетата и остаточного бикарбоната в зависимости от доли потребленного бикарбоната в процессе ацетогенеза чистой культурой *Sporomusa sphaeroides*.

Небольшие величины фракционирования стабильных изотопов (в пределах долей промиллей и единиц промиллей) наблюдаются и при таких физико-химических процессах, как диффузия, растворение газа в жидкости, кристаллизация из растворов. Однако эти величины не идут ни в какое сравнение с масштабами фракционирования, проходящего при процессах метаболизма).

Важно подчеркнуть, что изотопный состав минералов, органических веществ и газов микробного происхождения не изменяется с момента образования этих соединений, поэтому по изотопному составу можно судить не только о современных микробных процессах, но и процессах, происходивших в геологическом прошлом нашей планеты.

В последней трети XX в. были проведены многочисленные исследования скоростей природных биогеохимических процессов, позволившие создать физические модели глобальных циклов биогенных элементов. Модели состоят из оценок запасов тех или иных элементов в различных геосферах (атмосфере, гидросфере, почве, литосфере) и потоков вещества между основными резервуарами.

Работа 1.

Задание. Нарисовать схемы циклов С и N.

Заполнить таблицу.

Элемент	Этапы	Микроорганизмы и их группы	Рисунок с обозначениями

Контрольные вопросы: 1. Основные потоки биогенных элементов в почве. 2. Основные потоки биогенных элементов в воде. 3. Методы исследования потоков биогенных элементов.

2.15 Лабораторная работа №15 (2 часа).

Тема: «Итоговое занятие за 4 модуль».

2.15.1 Цель работы: Проверить знания студентов, полученные ранее

2.15.2 Задачи работы: Закрепить знания студентов по пройденному материалу

2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Аудитория, мультимедиа проектор.

2.15.4 Описание (ход) работы:

Контрольные вопросы:

1. Почвенные карты и микроорганизмы чернозёмов.
2. Почвенные карты и микроорганизмы тундровых почв.
3. Почвенные карты и микроорганизмы подзолистых почв.
4. Почвенные карты и микроорганизмы серых лесных почв.
5. Простейшая схема микробного ценоза почвы.
6. Преобразование энергии микробного ценоза.
7. Биомасса почвенных микроорганизмов и их разнообразие.
8. Регуляторные механизмы микробных ассоциаций.
9. Основные потоки биогенных элементов в почве.
10. Основные потоки биогенных элементов в воде.
11. Методы исследования потоков биогенных элементов.