

Федеральное агентство по образованию
Дальневосточный государственный технический университет
(ДВПИ им. В. В. Куйбышева)

Е.А. Жарикова

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром в качестве учебного пособия для студентов специальности 020808 «Геоэкология» вузов региона

Владивосток

2005

Одобрено Редакционно-издательским советом ДВГТУ

УДК 504.53+631.45
Ж 34

Жарикова Е.А.

Экология почв в вопросах и ответах: учебн. пособие. – Владивосток:
Изд-во ДВГТУ, 2005. – 150 с.

ISBN 5-7596-0505-4

Данное учебное пособие построено по принципу «вопрос – ответ». В нем вы найдете ответы на более чем 150 вопросов по теме «Экология почв».

Будет полезно для студентов специальности «геоэкология», а также может быть использовано студентами небиологических специальностей вузов.

Рецензенты:

А.С. Корляков, д. биол. наук, профессор

А.М. Дербенцева, д. с.-х. наук, профессор

Отпечатано с оригинал-макета, подготовленного автором

ISBN 5-7596-0505-4

© ДВГТУ Изд-во ДВГТУ, 2005

© Жарикова Е.А., 2005

ПРЕДИСЛОВИЕ

В течение всей истории цивилизации почва, главным образом, интересовала людей лишь как источник получения продуктов питания, но в XX веке стало очевидно, что значение почвы в жизни природы и человека намного шире. Человечество начало осознавать, что почва является основной средой обитания всего органического мира на Земле.

Целью данного курса является рассмотрение проблем, связанных с взаимоотношениями между почвой как природным телом и биотическим компонентом геоэкосистем. Почва, являясь одним из важнейших экологических факторов биосферы, в то же время представляет собой продукт функционирования экосистем. В задачу курса входит и обоснование необходимости тщательной охраны от деградации и загрязнения почвенного покрова – бесценной тончайшей пленки, окутывающей поверхность нашей планеты.

Во введении традиционно рассматриваются предмет и задачи науки.

Глава первая посвящена глобальным экологическим функциям почв в биосфере. Разбираются вопросы влияния почв на литосферу, атмосферу, гидросферу и общебиосферные функции почв.

Во второй главе рассматривается влияние водно-физических и физико-химических свойств почв на экологические особенности растений, затрагиваются вопросы геологической фитоиндикации.

Третья глава посвящена роли свойств почв и их режимов в жизни почвообитающих и наземных животных. Рассматриваются закономерности распространения отдельных групп живых организмов в почвах различных природных зон России.

Глава четвертая освещает вопросы неоднородности почв и почвенного покрова и биологического разнообразия, саморазвития и эволюции почв, сукцессионных процессов.

В пятой главе рассматриваются основные негативные тенденции изменения почвенного покрова Земли под воздействием человека (деградация, дегумификация, загрязнение).

При работе было использовано большое количество литературных источников, однако не все они приведены в библиографическом списке. В него вошли лишь принципиально обобщающие работы по отдельным разделам курса.

Курс «Экология почв» предназначен для студентов технических университетов, обучающихся по специальности «геоэкология», и для всех желающих, интересующихся проблемами экологии.

ВВЕДЕНИЕ

Что такое почва?

Почва. Ежедневно сталкиваясь с этим величайшим творением природы, как мало мы о нем знаем! Что может быть интересно обычному человеку в этой «грязи», смеси пыли и песка под ногами? Абсолютное большинство людей даже не представляют себе, что почва – это особый мир, живущий своей жизнью. В обыденном бытовом представлении почва – это лишь твердая опора под ногами, то, на чем можно прочно стоять и строить, субстрат, на котором произрастают деревья и травы, в котором роют норы некоторые животные.

Между тем, почва – это уникальная среда обитания огромного количества живых организмов, которая снабжает их водой, воздухом, питательными элементами и защищает от резких колебаний внешней среды (влажности, температуры и т.д.).

Почва – это основное связующее звено в биосфере между атмосферой, гидросферой и литосферой, наличие почвенной сферы (педосферы) обеспечивает на Земле возможность биологического круговорота вещества и энергии.

Почва обладает плодородием, является главным источником питания не только человечества, но и всех наземных живых существ.

По мнению Вернадского, тончайший почвенный покров на поверхности нашей планеты является именно той пленкой сгущения жизни, которая обеспечивает ее разнообразие и эволюцию. Поэтому почва является не просто одним из факторов окружающей среды, а главным, наиболее устойчивым компонентом наземных экосистем всех уровней организации, вплоть до биосферы в целом.

Почва – это компонент биосферы, естественно-историческое тело, являющееся результатом взаимодействий горных пород, климата, рельефа и биоты в течение длительного времени и обладающее плодородием. Плодородие является основным свойством почвы, которым она отличается от всех других природных образований.

Почва – это сложная multifunctional открытая четырехфазная структурная система в поверхностной части коры выветривания горных пород, являющаяся комплексной функцией горной породы, организмов, климата, рельефа и времени и обладающая плодородием. Четыре фазы, составляющий почву, это: твердая фаза (твердые породы и минералы, остатки органических веществ животного и растительного происхождения); жидкая фаза (почвенный раствор); газообразная фаза (почвенный воздух в поровом пространстве) и живая фаза (почвенная биота – микроорганизмы, растения и животные, обитающие в почве).

Почва, по мнению А.Д. Фокина [19], является наиболее наглядным и масштабным результатом возникновения и эволюции жизни на Земле. Эта тонкая пленка на поверхности суши – важнейший участник всех совре-

менных процессов трансформации и миграции вещества в биосфере, всех биогеохимических круговоротов.

Почва является одновременно и результатом длительного взаимодействия факторов почвообразования и той средой, в которой это взаимодействие осуществляется в настоящее время, продуктом и условием существования биосферы. В целом, почва является устойчивой или слабо изменчивой частью биосферы, наиболее консервативной и инерционной по сравнению с биотой, атмосферой и водами суши, полностью воспроизводимой в бесконечном процессе функционирования биосферы.

В истории Земли почва неоднократно уничтожалась геологическими разрушительными процессами и снова возобновляла свое существование как результат взаимодействия биотических и абиотических компонентов биосферы.

Какие факторы играют ведущую роль в почвообразовании?

Основными факторами почвообразования являются горные породы, климат, рельеф, живое вещество, время.

Горные породы. Почвообразующая порода является материальной основой почвы и передает ей свой механический, минералогический и химический состав, а также физические и химические свойства, которые в дальнейшем постепенно изменяются в различной степени под воздействием почвообразовательного процесса. Минеральное вещество составляет 60-90% всего веса почвы.

Климат. Под атмосферным климатом понимается среднее состояние атмосферы той или иной территории, характеризующееся средними показателями метеорологических элементов (температура, осадки, влажность воздуха) и их крайними показателями, дающими амплитуды колебаний в течение суток, сезонов, целого года. С климатом сопряжены водный режим почв при одинаковом положении их в рельефе, окислительно-восстановительный потенциал почв, степень выветрелости и выщелоченности, глубины и продолжительности промерзания при прочих равных условиях. Чем больше тепла и влаги, тем интенсивнее идут почвенные процессы.

Рельеф. Выступает как главный фактор перераспределения солнечной радиации и осадков в зависимости от экспозиции и крутизны склонов и оказывает влияние на водный, тепловой, питательный, окислительно-восстановительный и солевой режимы. Рельефом обусловлена поясность почвенного покрова в горах.

Под *биологическим фактором* понимается многообразное участие живых организмов и продуктов их жизнедеятельности в почвообразовательном процессе (растительность, животные, микроорганизмы). *Растения* являются основным фактором, способствующим дифференциации почвы на генетические горизонты. Растительность – главный источник гумуса, она влияет на структуру и характер органических веществ почвы, ее влажность, перераспределение различных элементов в профиле почв. Степень и характер этого влияния зависит от видового состава растений, густоты их

стояния, химического состава и многих других факторов. Основная функция *животных и микроорганизмов* в почве – преобразование органических веществ и перемешивание почв. Растительные и животные остатки, попадая в почву, подвергаются сложным изменениям. Определенная их часть распадается до углекислоты, воды и простых солей (процесс минерализации), другие переходят в новые сложные органические вещества самой почвы.

Время. Каждый новый цикл почвообразования вносит определенные изменения в превращение органических и минеральных веществ в почвенном профиле. Абсолютный возраст почв – время, прошедшее с начала формирования почвы до настоящего времени, колеблется от нескольких лет до миллионов лет. Относительный возраст почв характеризует быстроту смены одной стадии развития почв другой.

Что изучает экология почв?

Экология почв изучает многообразие соотношений и связей, между почвами и факторами почвообразования, включая антропогенные воздействия. Первое, традиционное направление изучает закономерные соотношения, существующие в естественных условиях между почвой и факторами почвообразования. Большое значение при этом придается исследованию роли почв как среды обитания живых организмов и их реакции на изменения почвенных процессов. Второе направление рассматривает современные проблемы взаимоотношений человека и почв и исходит из концепции антропогенной динамики биологических систем.

Основоположник почвоведения В.В. Докучаев, не используя термин «экология почв», считал, что в науке о почвах фундаментальным является «...интереснейший вопрос о закономерных соотношениях между характером и распределением почв и факторами почвообразованиями...» [11]. Л.И. Прасолов под «педоэкологией» понимал науку об «отношении почв к окружающим их условиям».

Базовые научные концепции экологии почв были сформулированы в трудах В.Р.Волобуева, созвучны им и идеи Э.О. Эвальда (Германия). Экология почв, по мнению И.А. Соколова [18], может рассматриваться как связующее звено между учением о генезисе (механизме образования почвенных свойств) и учением о географии почв (законах распределения почв в пространстве). Это наука о почве как экологической системе, наука о закономерностях функционирования почв в биосфере.

Предметом современной экологии почв является изучение закономерных соотношений между почвой и средой ее формирования в их естественной и антропогенной динамике по системе «свойства – процессы – факторы». Наиболее актуальна при этом проблема взаимоотношений человека и почвенного покрова, негативного антропогенного воздействия на почвы (загрязнение и деградация почв).

I. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

Какие гидросферные функции присущи почве?

Гидросфера – жидкая земная оболочка, включающая в себя все свободные воды Земли, не связанные физически и химически с минералами земной коры, которые могут двигаться под влиянием гравитационной силы и тепла. Гидросфера отличается высокой динамичностью, движущей силой которой является круговорот воды. Благодаря ему гидросфера находится в тесной непрерывной связи с атмосферой, биосферой и литосферой (особенно ее поверхностным слоем – почвой). Почвенный раствор, по мнению В.И. Вернадского, является связующим звеном между морской, речной и дождевой водами.

Вода является особым специфическим природным образованием, обладающим значительной растворяющей способностью, химической активностью и подвижностью, высокой теплоемкостью и теплопроводностью, значительной буферностью и способностью находиться в трех агрегатных состояниях в сравнительно небольшом интервале температур. Вода обладает исключительно благоприятным сочетанием физических и химических параметров для использования ее живыми организмами в качестве основы своего существования и среды обитания.

Среди гидрологических факторов почва стоит на втором после климата месте. Почва играет роль посредника между климатом, речным и подземным стоком (рис.1). Ни одно явление водного баланса не минует почву, обладающую разнообразными свойствами которые подвергаются сильным антропогенным воздействиям. Детальные исследования по гидрологии почв в целом были выполнены Г.Н. Высоцким, В.И. Лебедевым, А.А. Роде, И.И. Суднициным, А.Д. Ворониным и др.

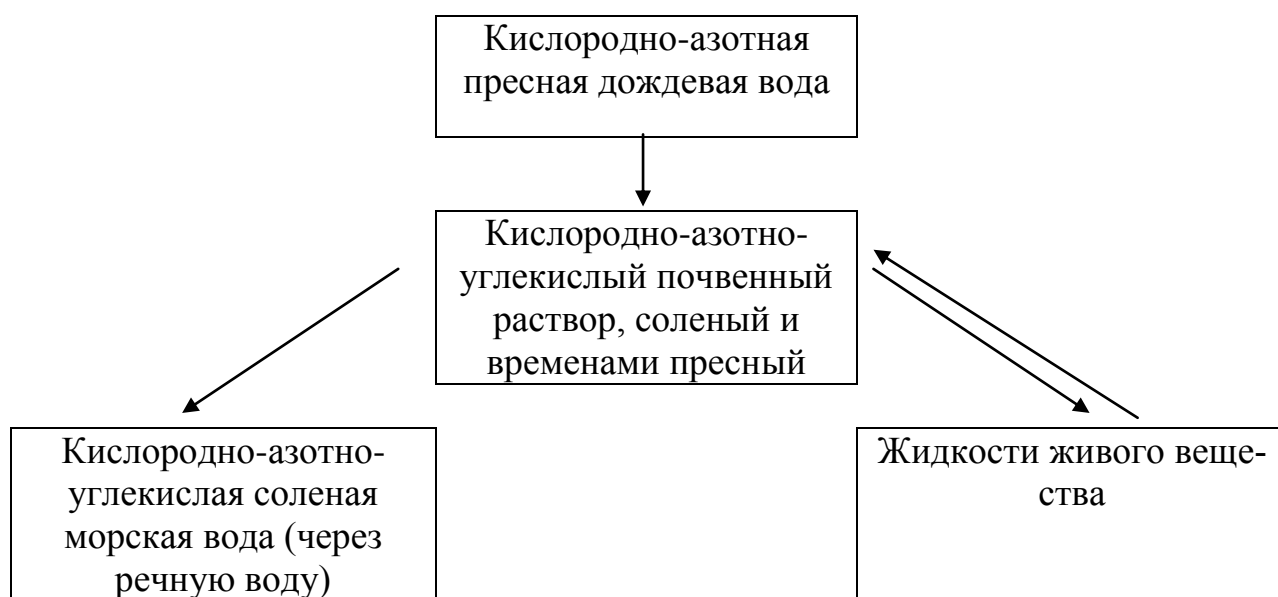


Рис. 1. Схема зависимости почвенных и других вод (по В.И. Вернадскому)

В настоящее время Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным [10] выделены 4 глобальные гидросферные функции почв:

- трансформация атмосферных осадков в грунтовые воды;
- участие в формировании речного стока;
- фактор биопродуктивности водоемов за счет привносимых почвенных соединений;
- сорбционный защищающий от загрязнений барьер акваторий.

Что происходит с атмосферными осадками при трансформации их в грунтовые воды?

Подземные воды, расположенные ниже почвенной толщи и дренируемые реками или вскрываемые эрозионной сетью, называют *грунтовыми водами*. Преобразование атмосферных осадков в грунтовые воды сильно зависит от первоначального состава самих осадков и от свойств и состава почв. Осадки как привносят различные вещества в почву, так и вымывают их из нее. Химический состав речных и грунтовых вод суши – это смесь водных экстрактов из живой и мертвой биомассы, метаболитов и подвижных продуктов почвообразования и выветривания.

При прохождении через почвенный профиль меняется не только химический состав атмосферных осадков, но и газовый состав воды. Это связано с тем, что почвы являются собой сложными, изменчивыми в пространстве и времени образованиями, состоящими из разнообразных компонентов – минеральных и органических веществ (в твердом, растворенном и газообразном состоянии), а также остатков и продуктов биохимического разложения обитающих в почве и на ее поверхности организмов. Увеличение мощности почвенного профиля также вызывает возрастание степени минерализации грунтовых вод.

Химический состав грунтовых вод всецело зависит от характера почвы. Если вода фильтруется через бедные торфянистые, подзолистые и супесчаные почвы, то она обогащается значительным количеством органических веществ и малым – солей. Намного больше обогащают солями воду черноземные, каштановые и засоленные почвы.

При взаимодействии подзолистых почв с кислыми атмосферными осадками происходит обогащение инфильтрационных вод химическими компонентами за счет растворения почвенных солей и катионного обмена. Кислые осадки значительно ухудшают почвенное плодородие и вынуждают применять повышенные дозы минеральных удобрений, что сразу сказывается на составе природных вод. Эти воды нередко подвергаются загрязнению, поэтому существует проблема охраны подземных вод от промышленного, сельскохозяйственного и бытового загрязнения.

В случае щелочных осадков в подзолах происходит обратный процесс – потеря раствором химических компонентов и накопление их в ППК (почвенном поглощающем комплексе). В засоленных почвах или почвах, обогащенных солями гуминовых кислот, будет наблюдаться дополнительное насыщение щелочных осадков химическими соединениями почв.

Изменение газового состава атмосферных осадков при прохождении их через почву происходит из-за процессов окисления органических веществ, вызывающих расход кислорода и выделение углекислого газа. Поэтому при фильтрации через почву воды, в последней происходит резкое снижение количества кислорода и возрастание содержания углекислоты.

Характер изменения атмосферных осадков при прохождении через почвенный профиль определяется не только генетическими свойствами почв, возникающими в результате почвообразования, но и свойствами, унаследованными от материнских пород. Большая часть пород, образованных сложными силикатами и алюмосиликатами, нерастворима в воде, и только при длительном воздействии воды на них часть соединений переходит в раствор. Это CaCO_3 , MgCO_3 , NaHCO_3 , KHCO_3 . Значительно интенсивнее обогащают воду осадочные породы, особенно такие, как известняки, доломиты, мергели, гипс.

При взаимодействии атмосферной влаги и почвы меняется и изотопный состав воды. При прохождении атмосферных осадков через почву происходит обогащение грунтовых вод кислородом – 18.

Как почвы участвуют в формировании речного стока?

Полный речной сток – это передвижение дождевой и талой воды на поверхности Земли (*поверхностный сток*) и подземной воды в порах и трещинах почв и горных пород к природным дренам (*подземный сток*). С поверхностным стоком происходят наиболее масштабные абиотические перемещения вещества в современных почвах.

Главная форма участия почвы в формировании речного стока – это влияние почвы на соотношение грунтового и поверхностного стока. В хорошо оструктуренных, обогащенных органическим веществом почвах поверхностный сток легко переводится во внутрипочвенный. Существуют два типа зависимости элементов водного баланса от водно-физических свойства почв (при одинаковых атмосферных осадках):

- в тяжелых хорошо оструктуренных почвах при одновременном увеличении водопропускности инфильтрационная и водоудерживающая способности почв изменяются параллельно (одновременно возрастают или убывают). При малых значениях этих показателей основная масса осадков расходуется на поверхностный сток; питание подземных вод очень слабое, испарение с поверхности почв незначительно, а полный речной сток почти равен величине атмосферных осадков; в межпаводковый период реки сильно пересыхают, из-за незначительного питания за счет подземных вод. При больших значениях инфильтрационной и водоудерживающей способности почв поверхностный сток уменьшается; увеличивается испарение за счет образовавшихся ресурсов почвенной влаги, питание рек подземными водами при этом оптимально;

- в легких по гранулометрическому составу почвах при увеличении инфильтрационных показателей происходит уменьшение их водоудерживающей способности. В этом случае поверхностный сток резко уменьшается, а подземный сильно возрастает.

Поэтому, если почвы отличаются хорошей водопроницаемостью, а в подстилающей толще имеются рыхлые и трещиноватые породы (хорошие аккумуляторы влаги), то создаются благоприятные условия для равномерного питания рек. При слабовыраженной впитывающей способности почв активизируется поверхностный сток, что может вызвать длительные паводки в поймах весной и пересыхание рек в засушливый период, недостаточную влагозарядку почв, активизацию эрозии и т.д.

Существенные различия выявлены в поверхностном стоке в случае разных генетических типов почв. Наименьший поверхностный сток наблюдается на типичных черноземах, обладающих большой водопроницаемостью. На север и юг от зоны типичных черноземов происходит рост поверхностного стока, что связано с ухудшением структуры и изменением гранулометрического состава почв.

Структура стока может очень существенно меняться в зависимости от конкретных свойств почв. В лесной зоне на суглинках поверхностный сток больше, чем на песках на лугу – в 2,5 раза, на зяби – в 4 раза, в лесу – в 20 раз. Влияют на сток и свойства почв, не имеющие строго выраженную генетическую природу, например промерзаемость (черноземы протаивают быстрее, чем подзолы и серые лесные почвы).

Растения, закрепляя почву корневой системой, создают в ней дополнительные поры и дрены и способствуют переводу поверхностного стока во внутрипочвенный. Но водорегулирующая способность почв различается также и в зависимости от характера произрастающей растительности. В лесу, в отличие от поля, поверхностный сток мал из-за более благоприятных физических свойств почв, в частности меньшей плотности. В связи с этим при рубке леса важно не нарушать структуру почвы, для чего необходимо избегать применения тяжелых тракторов. Снижение поверхностного стока на пашне происходит при зяблевой вспашке, под ее влиянием в степной зоне России весенний склоновый сток уменьшается на 40-60%.

Среди приемов оптимизации водного баланса важное место занимает сохранение естественной растительности, в первую очередь лесов, с ненарушенным почвенным покровом и создание лесных полос и массивов в районах интенсивного земледелия. При сведении лесов и распашке почв на обширных площадях происходит снижение количества выпадающих осадков и снижение урожайности на территории, удаленной от мест вырубок на расстояние в несколько километров.

Как привносимые почвенные соединения влияют на биопродуктивность водоемов?

Почвенные соединения привносятся в водоемы вследствие воздействия почвенного покрова на химический состав поверхностных и грунтовых

вод, питающих реки, озера и моря (океаны). Эти соединения (биофильные макро- и микроэлементы и гумус) активно вовлекаются в продукционный процесс водных экосистем и в биохимические циклы. По примерным подсчетам Б.Б. Полынова до 95% кальция, 50% магния, 30% калия, кремний, фосфор и другие элементы, вымытые из почв и кор выветривания, при их попадании в моря и океаны извлекаются из растворов живыми организмами [10]. Поэтому в области контакта морских и речных вод и в поймах рек выделяются зоны высокой биологической продуктивности и наблюдается самая большая плотность жизни.

В мало измененных человеческой деятельностью регионах большая часть веществ, растворенных в водах, сформировалась в результате естественных процессов почво- и корообразования. Современные почвы регионов интенсивного антропогенного воздействия зачастую негативно влияют на продукционный процесс в водоемах вследствие техногенного и сельскохозяйственного загрязнения. Среди наиболее негативных последствий выделяется упрощение структуры биологической продукции и снижение видового состава обитателей водоемов, которое происходит при значительном загрязнении ядохимикатами. Перестройка водных фитоценозов от преобладания диатомовых водорослей к преобладанию сине-зеленых связана прежде всего с изменением соотношения содержания фосфора и азота в воде. При изменении их соотношения от 1:40 до 1:8 наступает быстрая деградация видового состава фитопланктона.

Почему почва служит сорбционным барьером, защищающим акватории от загрязнения?

Основное проявление защитной функции почв заключается в том, что почва благодаря своей огромной активной поверхности может поглощать многие вредные соединения на пути их миграции в водные экосистемы и снижать избыточное поступление биофильных элементов в них. Это имеет очень важное значение, т.к. радиоактивные изотопы из водной среды поглощаются организмами гораздо активнее, чем из почвы. Коэффициенты накопления большинства изотопов у пресноводных растений достигают порядка десятка тысяч, тогда как у наземных растений они обычно меньше единицы. Такое резкое снижение поступления их в растения из почвы – наглядный пример того, что она представляет собой сильный природный сорбент, является барьером для многих элементов и соединений на пути их миграции в водоемы стока.

Но возможности сорбционной функции почв далеко не беспредельны. В связи с возросшей антропогенной нагрузкой почвы часто не справляются со своими задачами, и в водоемы поступают избыточные количества многих соединений. В результате возникает явление *эвтрофирования* водоемов, когда в них наблюдается острый дефицит растворенного кислорода из-за его расхода на окисление органических веществ, избыточное минеральное и азотное питание водорослей и микроорганизмов, происхо-

дит образование сероводорода, метана, этилена, гибель рыбы и других водных животных, заболевания людей и животных.

Выброс во внешнюю среду отходов и нерациональное применение агрохимикатов вызывают непригодность почв для сельскохозяйственного использования из-за увеличения в ней содержания тяжелых металлов и канцерогенов. Часто от загрязнения рек страдают пойменные почвы. Пребывание в почве сорбированных ею загрязнений нередко измеряется годами и даже десятилетиями.

Почва выполняет также важную роль *сорбционного защитного экрана* от загрязнения подземных вод. Описаны случаи, когда при фильтрации сточных вод до 95% загрязнителей задерживалось в верхнем 15-30 см слое почвы. Но при длительном интенсивном загрязнении почвенный покров не может полностью выполнить свои функции.

Качество практически всех вод гидросферы зависит от санитарного состояния почвы. Загрязнение почвы в результате выброса мусора и промышленных отходов, нерационального применения высоких доз минеральных удобрений, полива сточными водами, загрязнения автотранспортом неизбежно приводит к снижению качества природных вод, причем не только поверхностных, но и подземных.

Какие атмосферные функции присущи почве?

Атмосфера, представляющая собой газовую оболочку Земли, сформировалась в результате геологической эволюции и непрерывной деятельности живых организмов. Состав современной атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого действиями автотрофных и гетеротрофных организмов и различными геохимическими явлениями глобального масштаба. Атмосфера предотвращает резкие колебания температуры на поверхности планеты, уменьшает поступление доз ультрафиолетовой радиации и космического излучения, является носителем газов, обеспечивающих важнейшие жизненные процессы у животных и растений. Кроме того, она является средой распространения микроорганизмов, пылицы, семян, плодов, средой обитания и жизнедеятельности многих живых организмов.

Тесная зависимость состава и динамики атмосферы от почвы обусловлена их взаимопроникновением через газообразную фазу почвы и постоянным физическим воздействием на динамичные нижние слои воздушной оболочки подстилающей поверхности, представленной не только океаном и растительностью, но и почвенным покровом.

Поскольку между различными частями атмосферы существует постоянный обмен веществом и энергией, то результаты взаимодействия нижних слоев атмосферы с почвой сказываются в той или иной мере на всей атмосфере.

Г.В.Добровольским и Е.Д.Никитиным [10] выделяются 4 глобальных атмосферных функций почв:

- регулирование газового режима атмосферы, поглощение и удержание некоторых газов от ухода их в космическое пространство;
- регулирование влагооборота атмосферы;
- источник твердого вещества и микроорганизмов;
- поглощение и отражение солнечной радиации.

Как почва регулирует газовый режим атмосферы?

Современная атмосфера, возникшая в ходе длительного развития Земли, находится в состоянии непрерывного пространственно-временного изменения, особенно в нижних слоях тропосферы. Значительное воздействие на состав атмосферы обусловлено особыми свойствами почв, определяющими ее влияние на воздушную оболочку.

Газорегуляторная функция почвы складывается из выделения многочисленных газообразных продуктов в атмосферу, биологического и физико-химического поглощения газов тропосферы и фиксации газов, выделяющихся из недр Земли. Важную роль при этом играет *пористость почв*, поры в почве могут занимать от 10 до 60% ее объема. Газообмен между почвой и воздухом совершается довольно интенсивно благодаря расположению почвы на стыке с атмосферой, пористому сложению и активному продуцированию газов биотой. 20-см слой почвенного покрова обменивает свой воздух с атмосферой в течение нескольких часов. Интенсивность газообмена почвы и атмосферы существенно зависит от разности температур почвы и воздуха, влияния ветра, осадков, уровня грунтовых вод и верховодки, уровня увлажненности почвы.

Влияние почвы на динамику состава приземного воздуха атмосферы определяется и различиями газовой фазы почв разных ландшафтов. Существенны также сезонные колебания состава почвенного воздуха. Особенно заметным может быть изменение приземных слоев тропосферы на локально-ландшафтном уровне в безветренную погоду, когда замедляется перемешивание воздушных масс. В это время выделяемые почвой и живыми организмами газообразные соединения концентрируются в пограничном слое тропосферы и ее изменившийся за короткое время состав может иначе воздействовать на обитателей биогеоценозов (БГЦ). Поэтому важно знать состав выделенных почвой в атмосферу летучих соединений и газов, в том числе микрогазов и воздушных органических примесей, активно воздействующих на жизнедеятельность наземных организмов.

Каков состав почвенного воздуха?

Почвенный воздух по ряду показателей намного отличается от атмосферного, несмотря на высокоскоростной обмен между ними, так как продуцирование и потребление газов почвы осуществляется весьма быстро в силу интенсивной деятельности почвенной биоты. По сравнению с атмосферным почвенный воздух содержит в 10-100 раз больше углекислоты и во много раз меньше кислорода, в нем постоянно присутствуют пары воды, микрогазы и летучие органические соединения. Последние имеют

большое значение из-за быстрого круговорота и способности к сильному физиологическому воздействию, несмотря на весьма малое их содержание.

Содержание *азота* в почвенном воздухе близко к его содержанию в атмосфере. Количество *кислорода* колеблется в широких пределах – от десятых долей до 21 %. Сильный перепад содержания кислорода в почве угнетает развитие корневых волосков растений, способствует развитию болезнетворных микроорганизмов, вызывающих корневую гниль, что приводит к массовой гибели растений. Экологическое значение *углекислого газа* почвы неоднозначно. Положительная его роль связана с обеспечением им процесса фотосинтеза. Поэтому так важны процессы дыхания и разложения, протекающие в почве для атмосферных запасов CO_2 (который на 90% имеет почвенное происхождение). При избытке углекислого газа отмечается угнетение почвенной биоты.

В состав *микрогазов* и летучих органических соединений включают закись, окись и двуокись азота (N_2O , NO , NO_2), окись углерода (CO), этилен, ацетилен, метан, водород, сероводород, аммиак, спирты, эфиры пары органических и неорганических кислот и т.д. Происхождение микрогазов в почве определяется реакциями разложения и новообразования органических веществ и метаболизмом микроорганизмов, трансформацией удобрений и гербицидов.

В чем сущность газопоглощительной функции почв?

В проблеме взаимодействия почвы и атмосферы важное место занимает и процесс *поглощения почвой различных атмосферных газов*. Исключительно важное значение имеют вопросы биологического поглощения азота почвами в ходе *микробиологической фиксации азота*. Этот экологически безвредный для окружающей среды процесс позволяет избежать огромных энергозатрат, так как осуществляется за счет солнечной энергии. По данным Е.Н. Мишустина [17] суммарная *азотфиксация* наземных экосистем в течение года составляет 175-180 млн. т, что значительно превышает то количество азота, которое усваивается посевами из вносимых азотных удобрений.

Газопоглощительная функция почв отмечается и по отношению к другим газам. Почвы поглощают органические газы тем быстрее и тем в больших количествах, чем больше их молекулярный вес и число замещенных функциональных групп (азотных, кислородных, фосфорных, серных). Активно поглощаются почвенными микроорганизмами окись углерода, диоксид серы и углеводород, особенно в естественных почвах по сравнению с окультуренными и почвах с большим содержанием органики и низким уровнем pH. В значительной степени поглощается почвой и этилен, содержащийся в выхлопных газах.

Почва поглощает и газы, выделяющиеся из недр Земли. Атмосфера в обычном понимании и подземная атмосфера стыкуются через коры выветривания и почвы, а точнее через почвенную атмосферу. Несмотря на иной химический состав подземной атмосферы, многие содержащиеся в

ней газы не попадают в воздушную оболочку, так как поглощаются в процессе взаимодействия с подземными слоями и особенно с почвой. Благодаря деятельности почвенных и подпочвенных микроорганизмов атмосферная среда обитания высших организмов оказывается защищена от воздействия подземных горючих газов (водорода, пропана, гептана).

Как почва регулирует влагооборот атмосферы?

Вследствие своего пористого строения почвы задерживают на поверхности суши выпадающие атмосферные осадки, поэтому оказывается возможным испарение значительной их части и повторное выпадение. Осадки местного испарения способствуют увеличению влажности воздуха и ослабляет негативное действие засух. Почвы не только способствуют увеличению количества водяного пара в атмосфере, но и посредством местного круговорота выравнивают процесс водообеспечения ландшафтов, что имеет важное значение, поскольку влагоперенос с океана на сушу подвержен резким колебаниям. В то же время существование многих неустойчивых экосистем Земли тесно связано с особенностями микроклимата в почвенно-растительном ярусе. Так после вырубки практически не возобновляются реликтовые леса в засушливых районах.

Интенсивное использование почвенного покрова нарушает веками сложившийся вклад почвы в общий круговорот влаги в атмосфере. Уничтожение лесов и широкая распашка земель привели к общему снижению водозадерживания на суше и уменьшению буферной водорегулирующей способности почвенного покрова Земли. Это явилось причиной аридизации многих участков суши и учащения резких колебаний климата. Возросла частота экстремальных явлений в воздушной оболочке: засух и сопутствующих им пыльных бурь, ливней и наводнений, резких понижений температуры в зимний период.

Анализ «климатообразующей» функции почв является очень важной составной частью исследований всей системы факторов, формирующих современный климат Земли, поскольку существовавшие ранее представления о высокой устойчивости современного климата не отвечают действительности.

Какое воздействие на атмосферу оказывают попавшие в нее частицы почвы?

В различные слои воздуха постоянно попадают частицы почвенного мелкозема в результате его развеивания (дефляции), и соли с поверхности солончаков под действием эолового фактора. При *дефляции* (ветровой эрозии) вовлекается в движение и переносится на большие расстояния огромное количество пылеватого материала. Особенно значительного размаха она достигает во время пыльных бурь. Только за один день 12 мая 1934 г. с Великих Равнин США ветер снес 300 млн т почвы, что значительно снизило плодородие земель на площади около 4 млн га.

Попавшая в атмосферу пыль может переноситься на сотни и тысячи километров. Так, 6 марта 1977 г. в Шотландии было отмечено облако тонкой пыли, выпавшее на землю в виде «красного дождя». Пылевидный материал был принесен из Сахары. Весной 2002 г. в южных районах Приморья дожди способствовали осаждению на поверхность большого количества пыли, слоем до 5 мм. Ее источником оказались пыльные бури на северо-западе Китая и Монголии.

Попадающие в атмосферу частицы почвенного мелкозема оказывают разнообразное воздействие на процессы, происходящие в ней. Наличие небольшого количества пыли способствует:

- выпадению дождей, поскольку частички пыли оказываются центрами конденсации паров влаги;
- снижению притока солнечной радиации к поверхности в районах, страдающих от перегрева нижних слоев атмосферы.

Большое количество мелкозема в воздухе оказывается причиной многих стихийных бедствий: засыпание песком селений, водоемов, сельскохозяйственных угодий и растительности, ухудшение качества воздуха. За счет увеличения концентрации пыли в атмосфере происходит усиленное таяние высокогорных ледников.

Вместе с мелкоземом в атмосферу поступают и микроорганизмы почвы, количество которых зависит от особенностей местности, сезона года и других факторов. В 1 м³ атмосферного воздуха может содержаться до нескольких тысяч бактерий и микроскопических грибов. Источником большей части бактерий в воздухе служат пылевидные частички почвы, подхватываемые ветром. Микробы, попавшие в атмосферу с восходящим током воздуха, могут подниматься на высоту более 3000 м. Воздушное распространение микроорганизмов способствует переносу возбудителей различных заболеваний растений, животных и человека и освоению организмами новых территорий.

В чем состоит функция поглощения и отражения солнечной радиации?

От процессов поглощения и отражения почвой солнечной радиации во многом зависит конкретная динамика тепла и влаги в прилегающих к поверхности Земли слоях атмосферы. Почвы в различных зонах и в разное время года обладают неодинаковой отражательной способностью. Это оказывается важным фактором их энергетического баланса. В связи с широкой распашкой территорий существенно возросло взаимодействие солнечной радиации с поверхностью обнаженных почв. Почвообразование заметно меняет отражательную способность почв, поэтому поглощение и отражение солнечных лучей почвой и материнскими породами различаются. Если почвообразующие бурые суглинки отражают 18-19% солнечной радиации, то свежевспаханные черноземы на тех же породах – 5-7%, а подзолы – до 30%.

Как человек влияет на изменение атмосферных функций почв?

Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин [11] указывают, что, став фактором глобального масштаба, человеческая деятельность существенно отразилась на атмосферных функциях почвенного покрова. В настоящее время происходит ослабление и изменение экологически важных атмосферных функций педосферы. Данное явление тесно связано с деградиционными процессами в биосфере, вызванными нерациональным использованием ее ресурсов.

Воздействие почвы на газовый состав атмосферы во многом уменьшилось из-за разрушения земель и снижения их плодородия на обширных территориях. Зона активно функционирующих почв за исторический период сильно сократилась физически (потери почв из-за эрозии, прокладки дорог, строительства хозяйственных и бытовых объектов), а сохранившиеся почвы сильно изменили свои свойства, причем преимущественно в негативную сторону. Одна из причин этого – активная дебиологизация биосферы, существенно снижающая естественную продуктивность экосистем и плодородие почв.

Наибольшие изменения в почвенном воздухе производят водные мелиоративные мероприятия. При избыточном орошении в почвах снижается сумма углекислого газа и кислорода, что приводит к увеличению в почвенной атмосфере азота и проявлению процесса денитрификации и увеличению содержания сероводорода. Это свидетельствует о затрудненности газообмена с прилегающими слоями тропосферы. Излишний полив приводит со временем к подъему уровня грунтовых вод, общему ухудшению физических свойств почвы и потере их плодородия.

Антропогенное ослабление и изменение атмосферных функций почвы происходит и при химизации сельскохозяйственных угодий. В результате активного применения азотных удобрений в почвах резко снижается естественная азотфиксация, почва недополучает миллионы тонн азота, усваиваемого почвенными микроорганизмами. Подавление почвенной биоты в результате применения ядохимикатов и обработка полей тяжелой техникой приводят к уменьшению как численности почвенных животных и микроорганизмов, так и биоразнообразия и, как следствие, к ослаблению газовых функций почв.

В результате антропогенного изменения почвенного покрова происходит также и трансформация некоторых газовых функций почвы. Наглядным примером служит потеря почвой накопленного в ней в ходе эволюции органического вещества. В результате распашки земель, недостаточного внесения органических удобрений, непродуманного осушения заболоченных почв происходит минерализация гумусовых запасов планеты, вследствие чего в атмосферу вновь поступает диоксид углерода, в свое время изъятый из нее для образования гумуса. Ускоренное окисление гумуса почв в результате их распашки и использования под пастбища привело к значительному пополнению углекислого газа в атмосфере. Очевидно, что на современном этапе измененный хозяйственной деятельностью че-

ловека почвенный покров не в состоянии эффективно выполнять функцию поглотителя и консерватора избытка углекислого газа в атмосфере.

Среди антропогенных изменений атмосферных функций почвы выделяется категория локальных усиления газовых функций отдельных сельскохозяйственных угодий в результате внесения навоза и других органических удобрений. Происходит также региональное и глобальное усиление почвенных функций как источника и приемника твердого вещества и микроорганизмов атмосферы. При возрастающем хозяйственном давлении на землю почвы оказались лишены защитного растительного покрова на пахотных угодьях и в районах добычи полезных ископаемых, вследствие этого усилились процессы эрозии.

Современное поступление в атмосферу почв частиц и адсорбирование ими микроорганизмов суммируется с попаданием в воздух с поверхности почв агрохимикатов, что ухудшает санитарное состояние атмосферы и приносит значительный урон здоровью людей и животных. Почва стала служить своеобразным противогазом (поглотителем твердых и газообразных загрязнений атмосферы). Даже в отдаленных районах Сибири, Арктики и Антарктики установлено значительное накопление почвами свинца, кадмия, фтора, цинка, ртути, селена и других фитотоксичных металлов.

Антропогенное воздействие приводит и к изменению климатообразующей функции почв. Масштабное осушение болот приводит к увеличению количества засушливых лет, орошение на больших территориях – к увеличению облачности и повышению влажности. Негативное воздействие на озоновый экран вызывают некоторые газы почвенного происхождения (закиси азота), при попадании в стратосферу они способствуют нарушению сложившегося равновесия.

Биосфера, созданная планетарным эволюционным процессом является эффективным механизмом обеспечения необходимых условий существования жизни на Земле в ее современных высокоорганизованных формах; ни сама биосфера, ни ее компоненты не могут быть заменены. Задача «исправления», усиления и тем более коренной переделки отдельных естественных составляющих биосферы или крупных ее блоков (в том числе и почвы) в настоящее время не решается сколько-нибудь корректно, поскольку последствия таких сложных операций не могут быть надежно предсказаны.

Для решения проблемы нормализации и оптимизации атмосферных функций почв особое значение имеют:

- блокировка дальнейшего загрязнения воздушной оболочки и окружающей среды в целом;
- экологизация сельского и лесного хозяйства;
- восстановление утраченных позиций почвенного покрова и биосферы;
- усиление и конкретизация научного обоснования систем и приемов рационального землепользования и природопользования, соз-

дание необходимых технических, экономических и правовых предпосылок реализации этих систем и приемов.

Почему почва защищает литосферу от чрезмерной эрозии?

Литосфера – сложное образование, где вещество представлено в твердом состоянии, достигает мощности 150-200 км и состоит из земной коры и верхней части внешней мантии. *Земная кора* – относительно тонкая 5-60 км оболочка, продукт взаимодействия мантийного слоя с гидросферой и атмосферой, которая постоянно испытывает на себе воздействие текучих вод и ветра. Почвенно-растительный покров является тем защитным чехлом, который располагается на стыке земной коры и атмосферы и защищает литосферу от чрезмерной эрозии.

Г.В.Добровольский и Е.Д.Никитин [10] считают, что экзогенез на Земле, тесно связанный с воздействием на литосферу биоты и почвообразовательного процесса, создает новые формы рельефа и способствует образованию новых классов соединений, минералов, пород и полезных ископаемых. Осадочные породы сплошь покрывают кристаллический фундамент земной коры, предохраняя его от разрушения.

Крупномасштабные антропогенные трансформации почвенного покрова далеко не безразличны для литосферы. Глобальное осушение болот и потери гумусового вещества пахотных почв приводят к деградации почвенного механизма связывания атмосферного диоксида углерода, что препятствует возвращению в недра выделенного ими газового материала и, следовательно, нарушает возможность повторного многократного выделения этого материала.

Для образования каких минералов, пород, ископаемых почва служит исходным материалом?

Развитый почвенный покров при наличии достаточного атмосферного увлажнения оказывается, по мнению Г.В. Добровольского и Е.Д. Никитина [10] мощной фабрикой по производству исходного материала для полезных ископаемых как органогенных, так и минеральных. При образовании торфов, угля и нефти ведущую роль играют процессы накопления органогенного материала на поверхности Земли с последующей его трансформацией в более глубоких слоях. Почвенный профиль непосредственно влияет на скорость роста и состав торфяных горизонтов:

- *скорость роста торфа* зависит от степени затрудненности вертикальной фильтрации влаги через иллювиальные горизонты почв;
- *состав торфа* во многом определяется богатством минеральных горизонтов почвы химическими элементами, идущими на построение биомассы растений – торфообразователей.

Прослеживается следующая стадийность превращения торфа в различные виды твердых горючих ископаемых: *торф* → *бурый уголь* → *каменный уголь* → *антрацит* → *шунгит* → *графит*. Органическое вещество

почвенного происхождения составляет заметную долю в рассеянном органическом веществе осадочных пород, послуживших источником нефти и природного газа.

Формирование минеральных полезных ископаемых также находится в тесной связи с выветриванием и почвообразованием. В.В. Полюнов еще в 50-х гг. прошлого века указывал, что к почвам, особенно гумидных районов, приурочены определенные виды рудных месторождений: руды, обогащенные железом, марганцем и другими элементами. В результате разрушения породы может происходить высвобождение самородных металлов и вторичных образований (каолины, бентониты, и др.).

Анализ вещественного состава образцов почв позволяет проводить эффективную разведку многих руд, особенно при поиске таких редких и рассеянных элементов как ванадий, молибден, ртуть, бериллий, висмут и др. Поэтому почвы могут служить индикаторами рудных месторождений, залежей нефти, природного газа.

Почему почва служит звеном в передаче аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы?

Образующиеся в процессе почвообразования различные газы сорбируются почвенным мелкоземом и поступают в осадочные породы. Особенно важное значение имеет связывание почвенно-растительным покровом диоксида углерода с последующим погребением его в осадочной оболочке, поскольку это способствует поддержанию геологической активности планеты путем стимуляции внутриземных эндогенных процессов за счет передачи в глубинные слои вещества, богатого энергией и различными минеральными элементами.

А.Б. Роновым [10] сформулирован геохимический принцип сохранения жизни, отражающий зависимость проявления живого от динамики литосферы и геологической активности планеты в целом. «Жизнь на Земле и других планетах, при прочих равных условиях, возможна лишь до тех пор, пока эти планеты активны, и происходит обмен энергией и веществом между их недрами и поверхностью. С энергетической смертью планет неизбежно должна прекратиться и жизнь».

Как почва участвует в формировании биогеохимического потока элементов?

Продукты выветривания и почвообразования, образующиеся на суше, редко остаются и сохраняются на месте возникновения. Происходит *общеземной биогеохимический перенос* – поток водных масс, обломочного материала, твердых, растворенных и газообразных продуктов выветривания и почвообразования движется от горных регионов и высоких плато к низменностям, морями и океану.

Примерно на 30% поверхности суши биогеохимический поток вещества и связанной с ним энергии направлен в бессточные материковые низменности и депрессии. Постоянными компонентами процессов биогеохи-

мической миграции и дифференциации вещества на суше являются продукты механического и химического разрушения почв и горных пород, суспензии, коллоидные, молекулярные и ионные растворы, аэрозоли, летучие соединения и газы минерального, биогенного и антропогенного происхождения. Чем выше дисперсность продуктов выветривания и почвообразования, тем дальше они могут быть перемещены водными и воздушными потоками.

Перенос обломочного материала идет в горизонтальном направлении по уклону местности. Перенос водорастворимых продуктов происходит в трех направлениях: горизонтальном (по уклону местности), нисходящем (вглубь породы в фильтрационной водой) и восходящем в виде капиллярно-пленочной влаги.

Что влияет на геохимическую подвижность элементов?

Растворимость в воде. Основной фактор, который зависит:

а) от условий реакции среды. В кислой среде возрастает миграционная способность большинства химических элементов. Соединения фульво- и оксикислот накапливаются в почвах низинных болот, пойм, дельт наряду с алюминием, железом, марганцем и фосфором. В кислой среде подвижны и микроэлементы: стронций, бериллий, медь, цинк, хром, марганец, кобальт. В щелочной среде подвижны соединения кремния, мышьяка, молибдена, ванадия;

б) от условий окислительно-восстановительной обстановки, влияющих на подвижность элементов с переменной валентностью: железа, марганца, серы, меди.

Живое вещество. Чем больше биогенное значение минеральных веществ, тем в большей степени они захватываются живыми организмами и тем лучше защищены от выноса грунтовыми и речными водами. Фосфор, кальций, калий, сера, углерод, азот – обладают суммарно меньшей миграционной способностью по сравнению с хлором, натрием, магнием.

Золотой перенос. Ему подвержены тонкодисперсные частицы и аэрозоли. Его роль особенно велика в степях и пустынях. Сплошная распашка степей без защитных полосных насаждений вызывает губительные пыльные бури, а вековой выпас скота приводит к уничтожению растительности и дернины, скрепляющих почвы. Развитой растительный покров и влажная поверхность почвы уменьшают воздействие золотого фактора.

Какие выделяются группы относительной подвижности элементов и соединений?

Группы относительной подвижности элементов и соединений при выветривании были выделены Б.Б. Польшовым [16].

- *Соединения очень высокой подвижности.* Нитраты, хлориды щелочей и щелочных земель, сульфаты натрия, калия, магния, цинка, урана, карбонаты калия и натрия. Индекс относительной геохимической подвижности – 100.

- *Соединения высокой подвижности.* Углекислые и двууглекислые соли магния, кальция, стронция, цинка, сернокислые кальций и стронций, фульваты большинства металлов. Индекс 50-10. Калий поглощается живыми организмами и входит в состав вторичных глинистых минералов. Магний необменно поглощается вторичными силикатами, кальций входит в состав многих биогенных образований и представлен в почвах малорастворимыми соединениями. Поэтому эти три элемента сильно отстают в миграции от натрия. Соединения первой и второй групп в виде разнообразных смесей солей разной растворимости и в разных концентрациях присутствуют в почвенных растворах, грунтовых и речных водах. В условиях аридного климата эти соли интенсивно накапливаются в почвах степей, саванн и пустынь, образуя засоленные почвы.
- *Соединения умеренной подвижности.* Ионные и коллоидные растворы кремнезема, бикарбонаты и фосфаты железа, марганца, кобальта, комплексные соединения алюминия, железа, марганца, никеля, меди с органическими кислотами. Индекс 0,5-1,0. Соединения фосфора и подвижного кремнезема активно захватываются живыми организмами и на длительное время задерживаются в биологическом круговороте. Высвобождающиеся соединения кремнезема, фосфора, железа, марганца ограничены в пространственной миграции и задерживаются частично в области элювии, либо выпадают в осадок в области делювия, пролювия и аллювия. Но значительные количества этих соединений уходят с водами поверхностного и грунтового стока в прибрежные зоны морей и океанов.
- *Соединения низкой подвижности.* Индекс 0,1-0,001. Соединения алюминия, титана, окислы железа и марганца, как правило, накапливаются в области элювия.
- *Соединения ничтожной подвижности.* Кремнезем кварца, циркон, глинные минералы, сульфиды металлов.

Приведенный обзор геохимической подвижности важнейших продуктов выветривания и почвообразования при всей своей относительности позволяет предвидеть и понимать поведение различных соединений в процессах формирования почв и почвенного покрова отдельных ландшафтов, континентов и их частей.

Как почва участвует в биогеохимическом преобразование верхних слоев литосферы?

Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин [9] считают, что в данном процессе почва принимает косвенное и непосредственное участие. *Косвенная роль* заключается в том, что без почвы, являющейся основной средой обитания организмов суши, активное биохимическое изменение литосферы было бы невозможно, живые организмы и их метаболиты без почвы не

представляли бы серьезного фактора глобального преобразования поверхности Земли.

Непосредственное участие почвы в процессе биогеохимического преобразования литосферы разнообразно.

1. Почва выступает как поставщик органических кислот специфической и неспецифической природы, возникающих в процессе гумусообразования. Химическая сторона почвообразования – это единый для всех условий земной поверхности процесс взаимодействия кислот органического происхождения с основаниями литосферы.

При сравнении вещественного состава литосферы и продуктов превращения органических остатков в почве обнаруживается их противоположный характер. Литосфера сложена преимущественно основаниями (не считая кремнекислоты). А в результате преобразования опада и гумусообразования образуются в основном кислоты – от простой угольной, до сложных гумусовых кислот. Состав и свойства кислот и их соединений с основаниями горных пород в различных природных условиях различны. Но полярность данных компонентов сохраняется в целом для всей поверхности Земли, затронутой почвообразованием. Это подтверждается повсеместностью процесса выветривания и агрессивным характером гумусовых кислот в почвах различных зон.

Почвенные кислоты активно изменяют горные породы, но растворение минералов носит сложный и неодинаковый характер. Железо интенсивно высвобождается при воздействии фульвокислоты из роговой обманки и слабо из биотита. Магний довольно слабо извлекается фульвокислотами из всех минералов, кроме монтмориллонита. Но каждой из кислот нельзя дать какую-то общую оценку агрессивности по отношению к силикатным минералам вообще, к разным минералам и элементам, входящим в их состав, а также различным срокам разложения.

2. Важными агентами разрушения и изменения минералов литосферы являются попадающие в почву продукты жизнедеятельности обитающих в ней микроорганизмов, способствующие мобилизации химических элементов, законсервированных в кристаллических решетках, которые идут на питание различных живых существ биосферы.

Процесс микробиологической деструкции материнских пород особенно наглядно проявляется на ранних стадиях почвообразования, когда в исходном субстрате еще не накопилось питательных веществ и минералы породы оказываются почти единственным источником питания живых организмов. Преобразование поверхностного слоя литосферы под воздействием микроорганизмов почвы включает два противоположных процесса: *разрушение минералов* породы и *новообразование минералов*.

Прямое воздействие микроорганизмов на кристаллические решетки минералов может происходить с помощью ферментов и микробных слизей на минералы, содержащие элементы с переменной валентностью (серу, железо, марганец). В результате эти элементы окисляются или вос-

становливаются, что и приводит к разрушению кристаллической решетки. Так разрушаются пирит, халькопирит и другие сульфидные минералы.

Косвенное воздействие микроорганизмов проявляется в разрушении породы с помощью сильных химических реагентов, продуцируемых почвенными микроорганизмами в процессе обмена веществ. Это разнообразные минеральные и органические кислоты, биогенные щелочи, и др. Среди кислотных продуктов микробного происхождения в процессах выветривания ведущую роль играют не минеральные, а органические кислоты. Микроскопические грибы характеризуются способностью к кислотообразованию щавелевой, лимонной и глюконовой кислот. Бактерии чаще продуцируют муравьиную, уксусную, масляную, молочную, щавелевую и др.

Среди продуцируемых микроорганизмами кислот многие обладают способностью к образованию комплексных и внутрикомплексных соединений (хеллатов), что повышает их агрессивность по отношению к минералам и делает взаимодействие с ними более разнообразным. Именно хеллатизация позволяет организмам существовать в среде, где элементы минерального питания законсервированы в кристаллических решетках.

3. Среди агентов преобразования минералов заметную роль могут играть биогенные щелочи, основным источником которых являются соли слабых органических кислот и сильных оснований, образующиеся при разложении растительных остатков. Щелочи образуются также при аммонификации белковых соединений, могут накапливаться в почве после внесения навоза, а также при разложении богатых основаниями пород.

В процессе выветривания в щелочных почвах большое значение имеет биогенная сода. Образование микроорганизмами карбонатов и бикарбонатов при минерализации богатого растительного опада приводит к быстрому повышению рН почвенных растворов, что вызывает разрушение алюмосиликатов.

4. К числу реагентов, образуемых с помощью микроорганизмов, относятся также сильные восстановители – водород, сероводород, метан и др., которые в определенных условиях также участвуют в процессе преобразования минерального субстрата.

Каковы результаты биохимического воздействия почвенных агентов выветривания на поверхность литосферы?

1. Перевод значительной части вещества в *коллоидные и истинные растворы*, обладающие высокой миграционной активностью и способные перемещаться с водными потоками через континентальное пространство до глубинных зон Мирового океана. Создание фонда лабильных соединений и элементов, которые создают необходимые предпосылки для различного типа миграции веществ и круговоротов.

2. Резкое *возрастание удельной поверхности* преобразованных почвообразованием исходных массивно-кристаллических пород. Благодаря сильной диспергации материала возникает новый фактор взаимодействия – поверхностные силы, которые обуславливают проявление целого ряда

природных процессов – поглощение газов, паров, жидкости, адсорбцию элементов и соединений из растворов и др. Если поверхность 1 м³ плотной горной породы, не затронутой выветриванием и почвообразованием, составляет около 6 м², то суммарная поверхность 1 м³ суглинка составляет более 10 км². То есть, в ходе превращения монолитной исходной породы в разнородный мелкозем происходит колоссальное увеличение активной поверхности субстрата. Особую роль при этом играют почвенные *биохимические* агенты выветривания, приводящие к образованию наиболее деятельной предколлоидной и коллоидной фаз, отличающихся наибольшей удельной поверхностью. Чисто *физическое* выветривание, связанное с измельчением породы в результате повторяющегося ее нагревания и охлаждения, может диспергировать субстрат только до пылеватой фракции.

3. Синтез в зоне гипергенеза различных минералов и соединений и концентрация ряда элементов. *Новообразованными* соединениями являются гели кремнезема, соединения железа, фосфора, марганца, легкорастворимые углекислые, сернокислые, хлористые соли и др. Особое место занимают сложные органоминеральные соединения и глинистые минералы, образующиеся в процессе выветривания исходных пород. Они отличаются большой активностью и играют важную роль в процессах, происходящих при выветривании. Кроме того, для многих продуктов, возникающих в зоне гипергенеза, характерна повышенная сложность и изменчивость их состава.

Что такое поглотительная способность почв?

Под *поглотительной способностью* понимают способность почвы задерживать соединения или части их, находящиеся в растворенном состоянии, а также коллоидальные распыленные частички минерального и органического вещества, живые микроорганизмы и грубые суспензии. Наиболее существенный вклад в учение о поглотительной способности почв внесли русские почвоведы К.К Гедройц и Н.И Горбунов [5].

Совокупность коллоидных частиц с почвенным раствором образуют дисперсную систему, которую называют *почвенным поглощающим комплексом (ППК)*. По словам К.К Гедройца, он представляет собой «наиболее ценную часть почвы, и по мере его разрушения почва все более и более переходит из совокупности очень сложных и сравнительно мало устойчивых соединений, обуславливающих ее жизнь..., в смесь простых и устойчивых соединений, т.е. в мертвое тело».

Выделяют 5 видов поглотительной способности:

Механическая поглотительная способность – это свойство почвы, как всякого пористого тела, задерживать в своей толще твердые частицы крупнее, чем система пор, не пропускать любые частицы, которые оказываются во взмученной фильтрующейся воде – мелкие твердые частицы глины, остатки органических веществ, водоросли. Это свойство почв и почвообразующих пород используется для очистки питьевых и сточных вод. Механическая поглотительная способность уменьшает масштабы ветрового переноса радионуклидов и их перемещение с твердым стоком. На

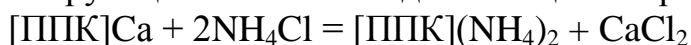
ней основано явление кальматажа (заиливания пор) – обмазывание стенок мелиоративных каналов глиной.

Физическая поглотительная способность основана на изменении концентрации молекул растворенного вещества на поверхности твердых частиц почвы. На границе соприкосновения коллоидов и раствора всегда есть свободная поверхностная энергия, величина которой зависит от сил поверхностного натяжения и суммы поверхности частиц. Вещества, способные понижать поверхностное натяжение, увеличивают свою концентрацию в растворе и закрепляются на поверхности коллоидов (положительная адсорбция), это – спирты, органические кислоты, и т.д.. Вещества, способные повышать поверхностное натяжение, уменьшают свою концентрацию, растворяются (отрицательная адсорбция), это – неорганические кислоты, простые соли, основания, сахара.

Химическая поглотительная способность – способность закреплять в почве в форме труднорастворимых соединений ионы, которые оказываются в растворе. Например, образование труднорастворимых фосфатов железа и алюминия, необменное поглощение ионов калия и магния при внедрении последних в кристаллическую решетку глинистых минералов.

Биологическая поглотительная способность – способность закреплять различные вещества в телах живых организмов. Биологическое поглощение носит избирательный характер. Химические элементы, активно поглощаемые организмами, вовлекаются в биогеохимический круговорот, что предохраняет их от вымывания и способствует относительному накоплению в почве. Это фосфор, сера, калий, кальций, магний и др. Поглощают различные элементы и микроорганизмы, населяющие почвы. Корни растений также обладают высокой поглотительной способностью. Одновременно на поверхности микроорганизмов и корней происходит обмен катионов и анионов. При биологическом поглощении скорость перехода радионуклидов в почву и их подвижность определяется химическими свойствами элементов.

Физико-химическая поглотительная способность – это адсорбция ионов в двойном электрическом слое коллоидов (обменная поглотительная способность). Это обратимая химическая реакция, причем обмен всегда идет в строго эквивалентных количествах между ионами, закрепленными в компенсирующем слое коллоидных мицелл и раствором.



В почвах физико-химическое поглощение идет при изменении влажности, внесении удобрений, подъеме и опускании грунтовых вод, орошении. Малейшее изменение в составе почвенного раствора вызывает и изменение в составе поглощенных катионов. Каждая разновидность почвы имеет в ППК определенный состав и количество катионов. Радионуклиды, сорбируемые почвой по обменному типу, являются наиболее доступными для растений.

Почему почва поглощает тонкодисперсные вещества? Что такое коллоидная мицелла?

Благодаря своей огромной активной поверхности почва поглощает (адсорбирует) своими мельчайшими частицами (коллоидами) различные газы, жидкости, молекулы и ионы веществ, которые поступают в почвы различными путями (из атмосферы, с боковым и грунтовым водным потоком и растительным опадом). Активная поверхность почвы варьирует от нескольких квадратных метров до многих десятков квадратных метров на 1 г мелкозема.

Адсорбцией называется поглощение газов, паров, растворенных веществ поверхностью твердого тела. Почва – сложная полидисперсная система, состоящая из частиц различной величины. *Коллоиды* – составная часть твердой фазы почвы. Почвенные коллоиды представлены частицами, диаметр которых лежит в пределах $10^{-5} - 10^{-7}$ см. Их количество в почве различно – от 1-2 до 30-40% к массе почвы. Одним из отличительных признаков коллоидов является их способность принимать участие в быстротекающих реакциях обмена, т.е. коллоиды являются основными носителями сорбционных свойств почвы.

Коллоидная частица вместе с находящимися на ее поверхности ионами называется *коллоидной мицеллой* (рис.2). В водной среде мицеллы отделены друг от друга раствором. Внутренняя часть мицеллы – ядро, сложное соединение разного состава. На поверхности ядра расположены 2 слоя, состоящие из двух противоположно заряженных ионов. Внутренние, находящиеся на ядре ионы называют *потенциалоопределяющими*, а внешние – *компенсирующими*. Потенциалоопределяющие ионы почвенных коллоидов обычно имеют отрицательные электрические заряды, а компенсирующие – положительные. Компенсирующие ионы в почвоведении называются обменными или поглощенными катионами почв. Значительная часть поглощенных катионов расположена рядом с потенциалоопределяющим слоем и образует неподвижный слой ионов. Небольшая часть поглощенных катионов, расположенных на некотором расстоянии от потенциалоопределяющих ионов образует диффузный слой. Ядро мицеллы вместе с потенциалоопределяющими ионами называется *гранулой*, гранула вместе с неподвижным слоем – *частицей*.

Ионы, составляющие внешний слой, способны обмениваться на ионы раствора, с которым соприкасается коллоидная частица, причем обмен этот происходит в эквивалентных соотношениях. Заряд гранулы компенсируется зарядом двойного электрического слоя, поэтому вся коллоидная частичка в целом нейтральна.

Диффузный слой ионов существует только во влажной почве, если почва высыхает, то ионы диффузного слоя переходят в неподвижный слой. Количество ионов в диффузном слое и толщина этого слоя зависят от реакции среды, химической природы молекул, находящихся на поверхности коллоидов, влажности почвы и концентрации почвенного раствора. Даже

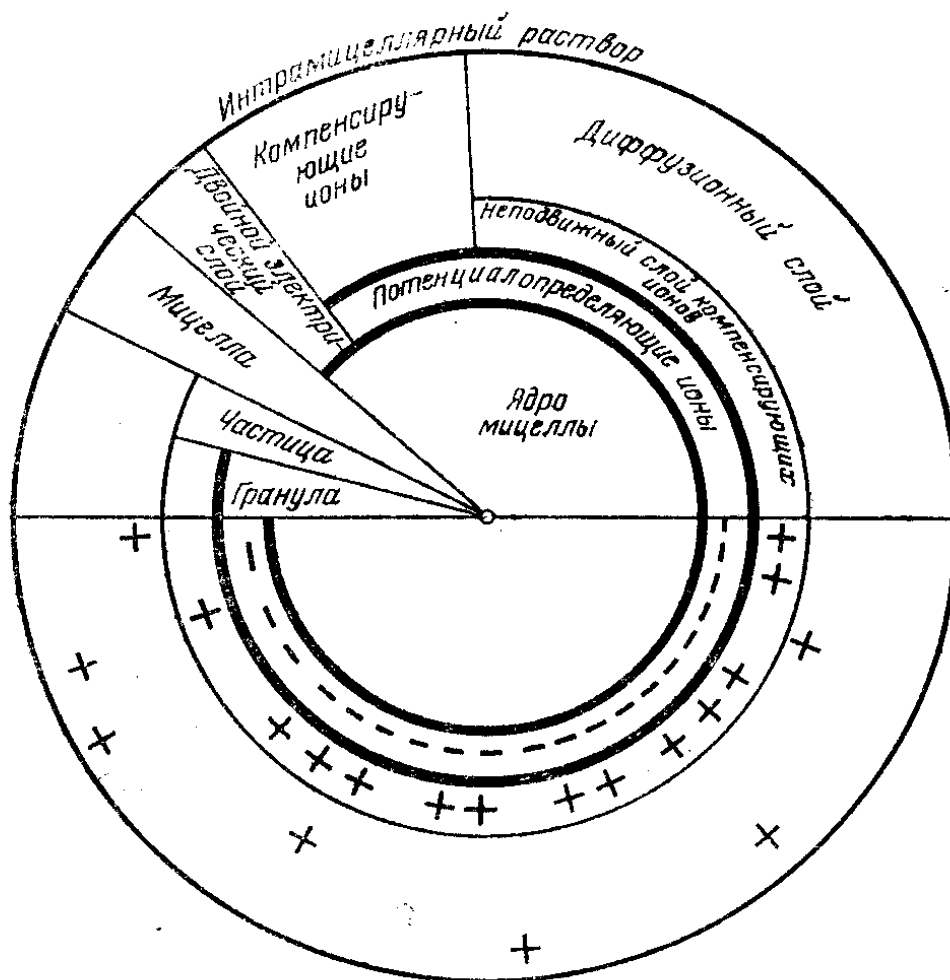


Рис. 2. Схема строения коллоидной мицеллы (по Н.И. Горбунову)

незначительное количество катионов в диффузном слое оказывает большое влияние на свойства почвы. Чем больше диффузный слой, тем выше заряд коллоидных частиц. Структурная почва имеет коллоидные частицы с небольшим зарядом, почва не заплывает, вода легко проникает по порам между структурными отдельностями. Если заряд высокий, то частицы отталкиваются друг от друга, такая почва в воде становится вязкой и липкой.

Коллоиды в почве представлены органо-минеральными, минеральными и органическими соединениями. Коллоиды, потенциалопределяющий слой которых несет отрицательный заряд, — *ацидоиды*, положительный — *базоиды*, переменного заряда — *амфолитоиды*.

У минеральных почвенных коллоидов ядро состоит из алюмомагниевого и других силикатов, кремнекислоты или полуторных окислов. Они довольно устойчивы и разрушаются лишь в течение длительного времени. Органические коллоиды состоят из гуминовых и фульвокислот, протеинов, клетчатки и других сложных веществ. Они менее устойчивы и могут разлагаться и снова создаваться из продуктов разложения растений и животных. Органо-минеральные коллоиды — это соединения гумусовых веществ с глинистыми минералами и осажденными формами полуторных окислов.

От чего зависит поглотительная способность почв?

На величину поглотительной способности почв в наибольшей степени влияют:

- *дисперсность мелкозема*, вследствие его громадной активной поверхности. Поглотительная способность возрастает при утяжелении гранулометрического состава, тщательное измельчение увеличивает емкость поглощения минералов: монтмориллонита – в 2 раза, мусковита – в 8, каолинита – в 9, биотита – в 16, ортоклаза – в 24 раза;
- *состав почвенных коллоидов*, соотношение их органических и минеральных компонентов. Органические коллоиды имеют емкость поглощения намного выше, чем минеральные (гуминовая кислота – 350 мг-экв/100 г почвы, монтмориллонит – 80-120 мг-экв). Но, поскольку количество органического вещества в большинстве почв не превышает 5%, то емкость поглощения почв обусловлена преимущественно минеральными коллоидами;
- *природа глинистых минералов*. Поглотительная способность каолинита – 3-15 мг-экв, иллита – 20-50 мг-экв, вермикулита – 100-150 мг-экв/100 г почвы.

Поглотительная способность почв имеет исключительно важное значение в жизни почв и биогеоценозов. Главным положительным эффектом поглотительной способности является удержание почвой в состоянии обменного поглощения элементов питания растений, которые поступают в нее в ходе выветривания минералов от быстрого вымывания. Благодаря сорбционной функции возможен почти круговой характер естественных биохимических циклов элементов в экосистемах Земли.

Но часто в почвах происходит связывание питательных элементов в малодоступные формы, что снижает эффективность удобрений. Почвы тяжелого гранулометрического состава могут также переводить значительную часть поступающей в них воды в труднодоступное состояние, создавая мертвый запас влаги.

Для большинства растений оптимальным является следующее соотношение поглощенных катионов: обменный кальций – 60-70% от емкости поглощения, магний – 10-15%, калий – 3-5%, немного обменного водорода. Наиболее плодородными являются черноземы, пойменные луговые, лугово-дерновые, лугово-бурые черноземовидные почвы. Наличие в ППК поглощенного натрия указывает на засоление почв.

Конкретными способами оптимизации почвенного поглощающего комплекса являются известкование кислых почв и обогащение их органическим веществом (навозом, зеленым удобрением, торфом и т.д.). В песчаных почвах с низкой поглотительной способностью рекомендуется внесение сапропелевого ила и введение в севооборот многолетних трав.

Проявление сорбционной функции может дать ряд нежелательных явлений в случае загрязнения ландшафтов промышленными отходами, использованием сточных вод для полива и ядохимикатов для борьбы с бо-

лезнями и вредителями сельскохозяйственных культур. Длительное время могут удерживаться почвой ртуть и другие тяжелые металлы, поэтому необходима разработка специальной технологии для обезвреживания городских отходов и сточных вод. Важным условием решения этой проблемы является установка предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных соединений и элементов в почвах и вносимых в нее удобрений.

В случае радиоактивных выпадений часть их задерживается непосредственно на растениях, а часть поступает в почву. Интенсивность поступления *радионуклидов* в растения из почвы значительно меньше, чем при загрязнении воздушным путем, что связано с их закреплением мелкоземом. Накопление растениями радионуклидов существенно зависит от содержания в почвенном растворе элементов – биофилов, с которыми радионуклиды находятся в конкурентных отношениях. Чем выше обеспеченность почв элементами питания, тем меньше поступает радионуклидов в растения. На скорость выноса радионуклидов из почвы влияют также ее гранулометрический состав и pH. В тяжелых кислых почвах радионуклиды удерживаются более длительное время.

Почему почва способна сорбировать микроорганизмы, обитающие в ней?

Микроорганизмы защищены от выноса за пределы почвенной толщи с нисходящим током влаги благодаря поглощательной способности почв. Сорбционные свойства почв обеспечивают также микроорганизмам возможность концентрироваться в огромных количествах в ограниченном объеме почв. Е.Н. Мишустин и В.Т. Емцев [17] утверждают, что наблюдается отчетливая зависимость процесса сорбции от свойств микроорганизмов и особенностей сорбента. Одни микроорганизмы поглощаются сильнее, другие – слабее, а третьи вообще не поглощаются определенным сорбентом. Поскольку почва по вещественному составу является весьма гетерогенной системой, то она представляет собой сложный сорбент с различными свойствами отдельных участков поверхности, поэтому в ней практически всегда может сорбироваться хотя бы небольшое количество любого микроорганизма.

Процесс сорбции микроорганизмов почвой способен изменять интенсивность и направленность физиолого-биохимических процессов, осуществляемых микроорганизмами и их ферментами. Меняются скорость размножения микроорганизмов, размеры и формы их клеток. Основной причиной этого явления является специфика условий на поверхности раздела твердой и жидкой фаз. Обычно в этой зоне наблюдается повышенная концентрация многих питательных веществ, катионов, биологически активных соединений. Эти компоненты оказываются более доступными для адсорбированных микроорганизмов и менее доступными для свободных. Конечный эффект действия адсорбентов определяется влиянием на микроорганизмы совокупности факторов, которые изменяются в почвенной

среде. Сорбционная способность почв по отношению к микроорганизмам определяется:

- 1) *гранулометрическим составом почв* – отмечается увеличение сорбции с утяжелением гранулометрического состава;
- 2) *размером почвенных частиц* – с уменьшением размерности увеличивается сорбция микроорганизмов вследствие увеличения удельной поверхности сорбента на единицу его веса, большей склонности мелких частиц образовывать агрегаты с клетками микроорганизмов, увеличения содержания вторичных минералов, полуторных окислов, органических коллоидов;
- 3) *минералогическим составом* – лучшими сорбционными свойствами обладают минералы группы монтмориллонита;
- 4) *генетическими особенностями почвы* – почвы с большей емкостью поглощения, большим содержанием органического вещества и более тяжелым гранулометрическим составом удерживают больше микроорганизмов (черноземы > дерново-подзолистые = серые лесные);
- 5) *степенью подвижности микроорганизмов* – подвижные сорбируются слабее, способность сорбироваться у микроорганизмов – это признак, выработавшийся в процессе эволюции;
- 6) *величиной pH* – существуют конкретные значения pH, при которых происходит максимальная сорбция определенных микроорганизмов, отклонения от них снижают поглотительную способность почв;
- 7) *составом катионов ППК* – чем выше валентность преобладающих в почве катионов, тем интенсивнее процесс поглощения. Азотобактер очень сильно сорбируется трехвалентными катионами и не сорбируется вообще одновалентными.

Для кого почва является жизненным пространством?

Распространение большей части видов живых организмов ограничивает отсутствие свободной и пригодной для расселения материальной среды, где они могли бы беспрепятственно размножаться и развиваться. В ходе эволюции живые организмы постепенно освоили почти всю поверхностную оболочку Земли, в ходе этого освоения возникла почвенная сфера Земли, где обитает огромное количество видов, представляющих различные систематические группы организмов. Исходя из размеров живых почвенных организмов, их делят на следующие группы:

- макробиота – корни растений, крупные насекомые и дождевые черви;
- мезобиота – нематоды, клещи, ногохвостки, мельчайшие личинки насекомых и некоторые другие организмы;
- микробиота – бактерии, грибы, водоросли, простейшие;

Почва служит жизненным пространством для многих животных. Из 22 типов животных, насчитываемых зоологами, 10 имеют своих предста-

вителей, обитающих в почве. Из беспозвоночных в почвах живут простейшие, плоские, круглые и кольчатые черви, моллюски, тихоходки, членистоногие и др. Позвоночные представлены амфибиями, рептилиями, млекопитающими. Наиболее многочисленными обитателями почвы являются простейшие, круглые и кольчатые черви, членистоногие [2].

В количественном отношении распространенные группы почвообитающих животных весьма изменчивы. Так, численность дождевых червей, клещей и других беспозвоночных в разных почвах может изменяться в сотни-тысячи раз, большим колебаниям подвержена также биомасса почвенных животных, например для дождевых червей она может колебаться в пределах 50-4000 кг/га. Между численностью и биомассой беспозвоночных животных почвы нередко наблюдаются обратно пропорциональные отношения. Число особей дождевых червей, дающих основной вклад в зоомассу почвы, значительно уступает более многочисленным мелким животным – клещам, ногохвосткам, нематодам и др. Наиболее обильны в почвах простейшие, до 200 млрд. особей на 1 м² (в слое 0-1 см), им свойственно и быстрое обновление 1-3 дня.

М.С.Гиляров и Д.А.Кривошук [4] указывают, что благодаря своему сложному строению почва выступает как *разного типа среда* для организмов различных размеров. Физиологически наиболее мелкие животные почвы, коловратки и др., остаются водными организмами. Для них наибольшее значение имеют динамика водного, теплового и солевого режима почв, и отчасти размеры полостей в различных горизонтах.

Для более крупных немикроскопических, но все еще мелких почвенных животных, почва, как среда представлена *совокупностью ходов и полостей*, передвижение по которым аналогично передвижению по поверхности субстрата. Это клещи, ногохвостки, мелкие насекомые, личинки. Для данной группы животных наибольшее значение имеют характер порозности, водные и температурный режимы, распределение остатков организмов и гумуса.

Для еще более крупных животных – дождевых червей, многоножек, личинок жуков средой обитания является вся почва в целом, выступающая как *рыхлый или плотный субстрат*. В случае плотной среды возникает необходимость в специальных морфологических приспособлениях для рытья и прокладывания ходов. Более крупные животные в целом в большей степени зависят от совокупности свойств почвы, чем более мелкие.

То, что для разных размерных групп животных почва выступает как разная среда обитания имеет важное значение для понимания специфики почвы, как особого природного образования. Данная *гетерогенность* почвы свидетельствует о том, что в ней в ограниченном объеме тесно соприкасаются практически все типы экологических ниш.

Чем обусловлена ярусность почвенных обитателей?

Разнообразие почвенной среды обитания – фактор, способствующий проявлению такой общей закономерности, как *смена ярусов*: многие по-

верхностно живущие животные переходят к жизни в почве при снижении увлажненности ландшафтов. Так в черноземах обитают личинки пыльцеедов и чернотелок, тогда как в лиственном лесу они развиваются в гнилой древесине. Муравьи, живущие в таежной зоне в более сухих местах обитания – на кочках, в степи строят глубокие подземные гнезда. Для многих почвообитающих животных характерна смена горизонтов их активности в течение года. В черноземах весной почвенное население деятельно у самой поверхности, где осуществляется вовлечение в почву растительного опада, с наступлением засушливого летнего периода беспозвоночные животные перемещаются в более глубокие горизонты. На фоне постепенного ухода вглубь отмечаются периодические возвраты к поверхности, обусловленные суточными колебаниями температуры и влажности воздуха, а также погодными условиями (подъемы животных после дождей).

Почему почва служит жилищем и убежищем для животных организмов?

Почва предохраняет многие животные организмы от переохлаждения и перегрева, защищает от хищников, обитающих на поверхности земли. Связано это с тем, что температура и влажность воздуха в почве подвержены значительно меньшим колебаниям, чем на поверхности земли. Особенно полезной эта особенность почвы оказывается в экстремальных условиях – в тундре, пустыне, а также в других ландшафтах в периоды резких изменений погоды.

Наиболее наглядно функция жилища и убежища проявляется по отношению к животным, использующим несколько сред, одна из которых – почва (обыкновенная полевка, желтый и малый суслик, хомяк, сурок, бурундук). Пищу эти животные добывают, как правило, на поверхности земли, в почве же они укрываются от хищников и непогоды, создают пищевые запасы впрок, выводят детенышей.

Подземные жилища грызунов могут иметь сложное строение. Так, в норе у бурундука имеются камера для гнезда, одна или две большие кладовые для запасов и несколько тупичков – уборные. Жилая комната выстилается листьями и сухой травой, в ней хозяева укрываются на ночь и впадают в зимнюю спячку, здесь же рождается и потомство. Размеры нор могут существенно отличаться. У желтого суслика основной ход норы достигает 9 метров, причем от нее отходят многочисленные ответвления. В лесах при высокой численности кротов площадь их ходов может достигать 1/3 всей площади леса, а объем – 15% десятисантиметрового слоя почвы.

Кроме широко распространенных грызунов подземные квартиры используют многие другие животные: бобры, барсуки, выдры, лисы, песцы и другие. Как жилище почву используют и многие беспозвоночные – дождевые черви, многие насекомые (осы, термиты). Довольно широко многие беспозвоночные используют в качестве жилища норы некоторых грызунов, так в норах сусликов, кроме хозяев, обитают пауки, мухи, мокрицы, жуки. В холодное время года здесь их зимнее убежище, в летнее время –

место спасения от зноя. В самостоятельно выкопанных норах гнездятся и некоторые представители птиц, например ласточки-береговушки, зимородки, многие сизоворонки, некоторые чистиковые.

Многие насекомые проводят в почве лишь определенную фазу развития. Так, цикады откладывают яйца под кору тонких веток или черешки листьев. Личинки же их после выхода из яиц падают на землю и зарываются в почву, нередко до глубины 1 м, где и идет их дальнейшее развитие. В почве развиваются и личинки майского жука.

Почвенное царство, по мнению Г.В. Добровольского и Е.Д. Никитина [10], может быть вполне сравнимо с густонаселенным подземным городом, где проживают и постоянные его обитатели, и те, кто трудится в загородной зоне (добывает пищу на поверхности земли), и те, кто находится в почве лишь ограниченный срок, являясь по существу, ее гостем.

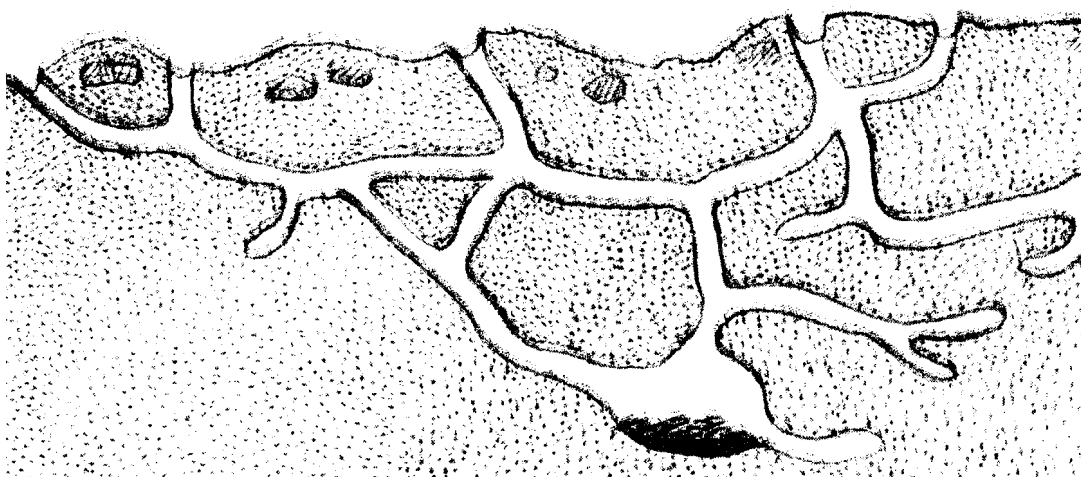


Рис.3. Схема постоянной норы байбака.

Почему знание экологии почв важно в борьбе с грызунами?

Используя почвы как жилище и убежище, многие животные предъявляют к ней и ландшафту в целом вполне определенные требования, знания которых могут составить правильное представление об *экологии многих вредителей*. Так, необходимыми предпосылками существования сусликов являются открытое пространство вблизи нор, невысокий травяной покров с повышенным содержанием поздно засыхающих растений, преимущественно плотная, но не сильно задернованная почва, обеспечивающая постройку нор.

Знания экологии важны не только для предотвращения вреда, который грызуны приносят сельскому хозяйству, но и потому, что некоторые обитатели почвы являются переносчиками возбудителей опасных инфекционных заболеваний. Например, малый суслик является носителем и распространителем такой страшной болезни, как чума. Многие грызуны заражают поверхностные воды возбудителями лептоспирных заболеваний, поэтому важно предвидеть, какое влияние на обитателей подземного царства

окажут крупные хозяйственные мероприятия, масштаб которых приобретает все более глобальный характер.

Почему почва выполняет опорную функцию?

Благодаря этой функции растения могут сохранять *вертикальное положение*, быть устойчивыми к ветровалам и противодействовать силе тяжести. Главный способ пространственной фиксации растений – закрепление их в почве с помощью корней, которые образуют в ней многочисленные разветвления. Глубина проникновения корней во многих сообществах, как правило, меньше высоты стебля. Боковые же корни часто длиннее боковых ветвей, а суммарная поверхность корневой системы обычно превышает общую поверхность стеблевых органов.

Изменения опорной функции почв могут вызвать определенные изменения в морфологии и вертикальной ориентации растений, а в ряде случаев влиять на структуру фитоценоза. Так, в районах распространения вечной мерзлоты на почвах, отличающихся слабой связностью, часто растет «пьяный лес», в котором многие деревья имеют наклонную ориентировку или повалены из-за текучести грунта. В таких условиях особенно неблагоприятными оказываются антропогенные воздействия на ландшафт, вызывающие существенные изменения многих параметров почв, в том числе и их механических свойств. Например, пожары в лиственничных редколесьях лесотундры часто губительны для дальнейшего произрастания лесов. Наибольшую опасность они представляют, когда возникают на участках, сложенных суглинками с большим количеством подземных жильных льдов. В этом случае после пожара происходит интенсивное таяние льдов, сопровождаемое оседанием и провалами поверхности. В результате экосистема разрушается.

Влияние опорной функции на рост и расселение растений особенно отчетливо сказывается в горных районах. Здесь развитие растительности часто лимитировано неблагоприятными механическими свойствами почв.

Почему почва служит хранилищем семян и других зачатков?

Почва оказывается благоприятным местом для длительного сохранения зачатков организмов в жизнеспособном состоянии. Это связано с особенностями ее как среды обитания, наиболее важными из которых являются значительная изолированность и защищенность ее от резких изменений воздушной среды и меньшее содержание в почвенном воздухе кислорода. Именно отсутствие предпосылок для окислительных процессов позволяет жизнеспособным структурам долгое время находиться в состоянии *анабиоза*, что приводит к их накоплению в ней. Поэтому почва начинает выполнять функцию хранилища.

На поверхности почвы и в свежем опаде сохраняются семена многих высших растений с тем, чтобы на будущий год дать новое потомство или пополнить почвенный семенной запас многолетнего хранения. В течение определенного времени в почве сохраняются цисты, споры многих орга-

низмов и яйца беспозвоночных. Семена высших растений могут сохраняться в почвенных условиях в течение ряда лет, а некоторых видов десятки лет. Микроорганизмы в состоянии анабиоза в условиях многолетнемерзлых почв сохраняются сотни и даже тысячи лет. Способность организмов и их зачатков состоять в недеятельном, но жизнеспособном состоянии в течение долгого времени – это *пассивная адаптация* к окружающей среде. Она обеспечивает уход организма от неблагоприятных условий внешней среды путем ослабления обычных связей с ней или разрыва этих связей в случае анабиоза.

Благодаря анабиозу значительно удлиняется *хронологический возраст организма*, который может оказаться значительно больше его *биологического возраста*. Так, жизненный цикл однолетних растений не превышает одного года, но в зародышевой стадии в виде семян они могут сохраняться в анабиозе десятки и сотни лет. Продолжительность цикла жизни микроорганизмов составляет у бактерий 12-348 мин, а их споры в вечномерзлых почвогрунтах способны находиться сотни и тысячи лет.

Почему почва является самым богатым субстратом для микробного генофонда?

В большинстве почв присутствует избыточный *пул (запас) микробов*, не обеспеченных органическим веществом и другими элементами питания, что делает их недеятельными. Микроорганизмы, образующие пул, хотя и не пребывают в состоянии активного функционирования, в большинстве своем в той или иной степени метаболизируют. Частичное сохранение физиологической активности позволяет микроорганизмам при наличии благоприятных условий, например при поступлении свежего органического вещества, быстро включаться в процессы жизнедеятельности. Это оказывается особенно важным, когда почвы формируются в суровых условиях. В таких случаях решающее значение имеют сезонные всплески активности микроорганизмов в непродолжительные периоды улучшения климатической обстановки (почвы тундры, пустынь, высокогорий).

Микробный пул отличается богатым видовым разнообразием, что важно для успешного функционирования почв и экосистем. По мнению профессора Д. Г. Звягинцева, «пул почвенных микроорганизмов отличается не только большой численностью, но и огромным разнообразием. По микробному генофонду почва, вероятно, самый богатый субстрат. Недаром при поисках микроорганизмов – продуцентов определенных ценных веществ (антибиотиков, витаминов, ферментов, аминокислот) в большинстве случаев обращаются к почве как наиболее надежному источнику разнообразных микробов» [12].

Что такое живое вещество и почему почва является средой обитания организмов суши?

Живое вещество – совокупность всех организмов биосферы в данный момент существования, численно выраженных в элементарном хими-

ческом составе, весе, энергии. По определению Вернадского, живое вещество тесно связано в своих проявлениях с земной корой.

По сравнению с составом земной коры *биомасса живого вещества* значительно богаче углеродом, азотом, кальцием, калием, кремнием, фосфором, серой, стронцием, бором, магнием, цинком, молибденом, медью, никелем. Именно эти элементы – главные в биогенном круговороте веществ. Всего в тканях живых организмов встречается 66-68 элементов, причем 47 их них – постоянно. Выделяют 3 группы элементов:

1. Постоянно содержащиеся в тканях и незаменимые в пище (О, С, Н, N, Ca, P, K, S, Cl, Na, Mg, Zn, Fe, Cu, I, Mn, V, Co, Se).

2. Постоянно встречающиеся в живом организме, но физиологическая роль их изучена плохо и неизвестно, оказывает ли отрицательное влияние их отсутствие (Sr, Cd, Br, F, B, Si, Cr, Be, Ni, Li, Cs, Sn, Al, Ba, Rb, Ag, Pb).

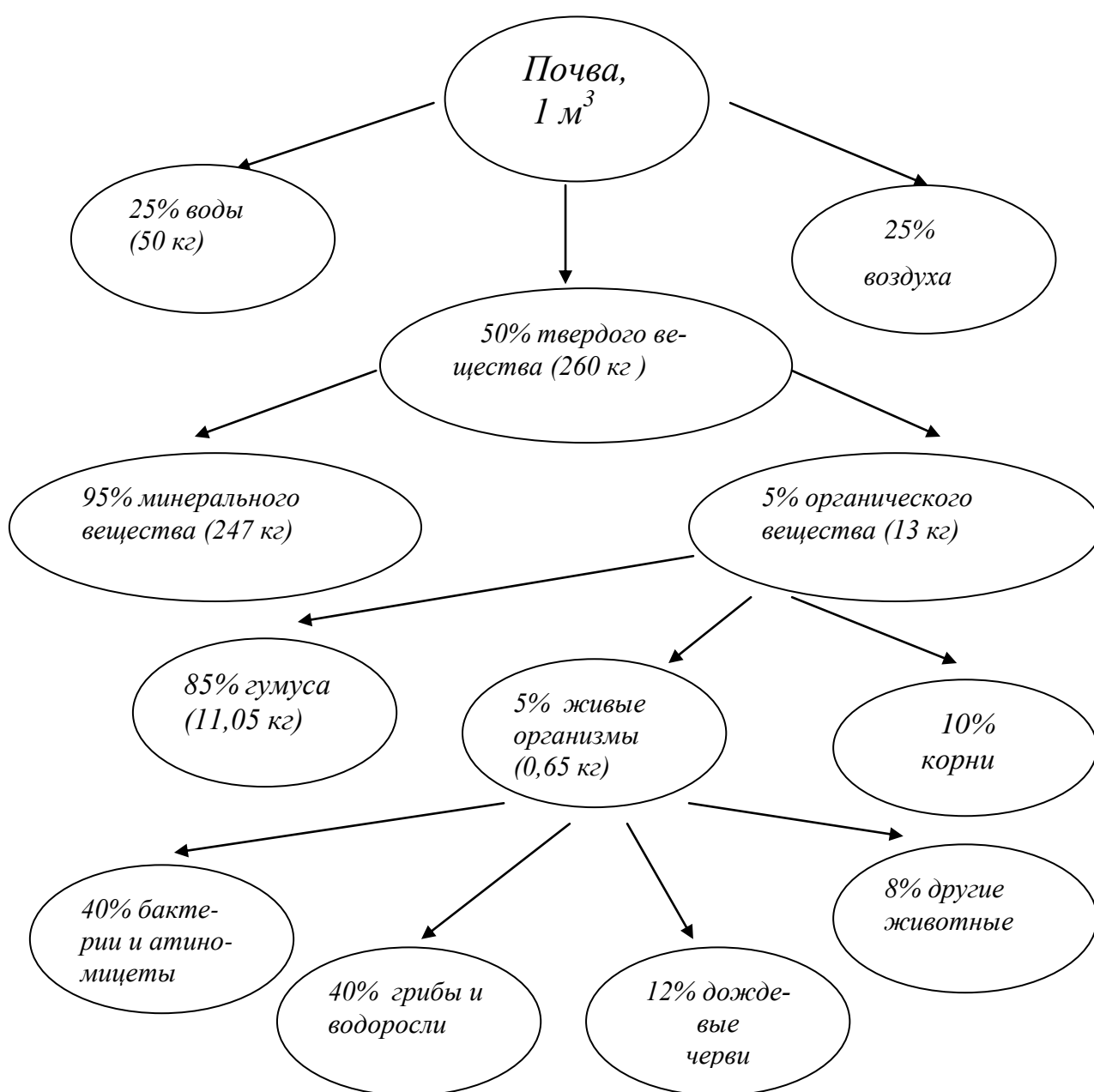


Рис.4. Состав 1 м³ почвы на глубине 20 см (по К. Хайнцу)

3. Иногда обнаруживаемые в тканях, но их количество и физиологическая роль не ясны (Nb, La, Au, ...).

Большая ее часть зоомассы суши приурочена к почвенному ярусу в связи с исключительной его насыщенностью жизнью. Особенностью живого вещества в почвенно-воздушной среде обитания является более высокая концентрация в пространстве и времени живого вещества суши по сравнению с океаном. Почва является *средой обитания* для большинства видов живых организмов, именно в ней происходит образование основной массы живого вещества. Так, несмотря на то, что пространство, пригодное для жизни на суше меньше в 2,4 раза по площади и в 11 раз по объему, чем в океане, общая биомасса суши составляет $2,42 \cdot 10^{12}$ т, из них $2,4 \cdot 10^{12}$ т приходится на растения – фотосинтетики, $0,02 \cdot 10^{12}$ т составляет вес животных суши и лишь $0,003 \cdot 10^{12}$ т приходится на водные организмы.

Пространство океана освоено живыми организмами довольно равномерно, а живое вещество суши сосредоточено преимущественно в очень узкой по вертикали (метры-десятки метров) зоне фотосинтеза. Эта пограничная область высшей концентрации жизни ограничена почвенным слоем и нижним слоем тропосферы, где обитают древесные растения. Концентрация живого вещества суши во времени выражается прежде всего в том, что обновление и накопление биомассы на континентах в течение года приурочены к вполне конкретным, часто ограниченным по протяженности периодам, вне которых наблюдается спад активности большинства организмов, вплоть до состояния полного покоя.

Каковы основные причины, определяющие высокую концентрацию живого вещества суши?

На Земле живое вещество распределено крайне неравномерно, наблюдается намного более высокая концентрация живого вещества на суше по сравнению с океаном. Причинами этой неравномерности Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин [9] считают:

1. Наличие богатого по запасам почвенно-грунтового *источника питания растений*, расположенного непосредственно в корневой зоне. Благодаря существованию на континентах развитого почвенного покрова растения при наличии благоприятных климатических условий получают возможность накопления огромных запасов биомассы, особенно в лесах, где сосредоточено более 80 % живого вещества. Наличие *мощного запаса элементов питания* в виде гумуса почвы позволило наземным автотрофам значительно плотнее заселять сушу. Это значительно повышает образование биомассы не только за счет аккумуляции элементов из почвы, но и за счет более полного фотосинтетического использования солнечной радиации на единицу занимаемой площади. Важная особенность почвенной среды обитания – способность почвы быть *аккумулятором и источником вещества и энергии* для организмов суши.

2. Большое видовое и структурно-функциональное *разнообразие живого вещества суши* и его более интенсивно преобразующее воздейст-

вие на среду обитания. Систематики насчитывают на Земле около 2 млн видов живых организмов, из них 1,5 млн видов животных и около 500 тыс. видов растительных организмов. При этом в океане обитает 160 тыс. видов животных и 10 тыс. видов растений. Следовательно, более 90% видов организмов, существующих в настоящее время на планете, приурочено к суше. Особенно велико преобладание наземных видов в мире растений. Лишь 1% из них обитатели океана, остальные – сухопутные организмы, теснейшим образом связанные с почвой. Среди животных обитатели океана составляют около 8% от общего числа видов. Более высокое *видовое разнообразие* наземного живого вещества свидетельствует о большей напряженности и результативности эволюционного процесса на суше, что во многом связано с большей контрастностью и более высокой дифференциацией природной среды континентов, особенно почвенной.

Большое *структурно-функционально разнообразие* живого вещества суши обусловлено значительно большим числом растительных зон со специфическими типами биологического круговорота. Высокая изменчивость почвенно-географических и климатических условий вызывает значительную региональную, ландшафтную, экосистемную неоднородность живого вещества суши. Это способствует формированию высокоструктурированных биогеоценозов суши с достаточно прочными внутрибиогеоценозическими связями. Роль почвы в экосистеме определяется многообразием требований и воздействия на почву со стороны живых организмов. В мире выявлены десятки тысяч почвенных форм, различающиеся структурной организацией и параметрами среды обитания (пищевые ресурсы, влагоемкость, порозность, кислотность и т. д.). Почва является основой *биоразнообразия* на планете.

Все это наряду с обилием видов наземных организмов приводит к высокой мозаичности биогеоценозов (БГЦ), их значительной автономности и большой пестроте биогеохимических процессов, протекающих на континентах, и позволяет говорить о более интенсивном преобразующем воздействии живого вещества суши на окружающую среду. Общий запас аккумулированной солнечной энергии в органическом веществе суши в несколько раз выше, чем в продукции океана. Без развитой почвенной оболочки данная работа не могла бы осуществляться успешно, поэтому реализация многочисленных функций живого вещества суши напрямую зависит от педосферы.

3. Пространственно-временная асимметрия структуры и функций вещества суши. Для наземного живого вещества характерно *преобладание фитомассы над зоомассой*, на долю которой приходится менее 1% общей биомассы суши, в океане соотношение противоположное. Причина этого кроется в существенном различии продукционного процесса на суше и в океане. В наземных условиях фитомасса формируется в основном многоклеточными растениями с развитой корневой системой и ярко выраженной способностью к образованию длительно сохраняющихся вегетативных ор-

ганов, среднее время обновления растительности на суше – 5 лет. Основная фитомасса океана (одноклеточные организмы) обновляется за 1 год.

Значительные различия общей структуры живого вещества суши и океана являются важной причиной *неодинакового вещественного состава* наземной и океанической масс. Живое вещество суши намного менее *зольно*. По сухому весу биомасса суши более чем в 2 раза превышает биомассу океана, по количеству органического вещества превышение более чем в 3 раза. Но если зольный остаток живого вещества океана составляет $3,8 \cdot 10^{11}$ т/год, то зольный остаток биомассы суши – $8,6 \cdot 10^9$ т/год. Различаются и элементарный состав живого вещества суши и океана. Живого вещества суши потребляет кальция 75%, калия 57%, фосфора 33%, азота 48% общего годовичного потребления его организмами Земли.

Почему почва играет решающую роль в создании биологической продукции?

В непосредственном создании биологической продукции решающую роль играет почва как *источник питательных элементов*, находящихся в ней в растворенном или обменном состоянии. Именно они поглощаются растениями, являющимися исходным звеном в трофических цепях. Из почвы, помимо воды, растения получают различные минеральные вещества: азот (аммонийный и нитратный ионы), фосфор (моно- и дифосфаты), калий, кальций, магний, серу, железо, марганец, медь, молибден, цинк и др.

Большинство растительных организмов предъявляют определенные требования к доступным пищевым ресурсам почвы. В результате в естественных экосистемах в ходе длительной эволюции произошла взаимная подгонка почв и поселяющихся на ней фитоценозов в целях оптимизации миграции вещества.

При выращивании большей части сельскохозяйственных культур наблюдается явное несоответствие между доступным фондом элементов питания почвы и теми их количествами, которые необходимы для полноценного развития. Поэтому возникает необходимость оптимизации пищевого, водного и теплового режимов питания практически всех почвенных разновидностей с учетом их конкретных особенностей.

Одна из первоочередных задач *оптимизации питания* культурных растений заключается в значительном увеличении содержания дефицитных элементов в почвах – прежде всего *азота, фосфора и калия*, в меньшей степени – кальция, магния, серы и микроэлементов, в то же время необходимо снижение содержания подвижных форм водорода, алюминия, хлора, натрия. Не менее важным оказывается создание благоприятных условий поступления необходимых элементов в организм растения.

Какие факторы определяют оптимальные условия питания растений?

Наиболее легкое и полное усвоение растениями элементов питания происходит тогда, когда их поглощение корнями идет непосредственно из

свободных водных растворов, где они находятся в подвижном состоянии. Но в естественных условиях основная часть элементов, попавших в почвенный раствор из удобрений, как правило, адсорбируется на поверхности частиц мелкозема и становится слабодоступной.

Осложняется и поступление в растения ряда элементов при значительных изменениях величины pH. Подкисление среды, окружающей корни, приводит к увеличению поглощения в основном катионов и снижению доступности анионов, а подщелачивание может стимулировать поступление анионов и ограничивать поток катионов.

Важным фактором оптимального питания растений оказывается и *благоприятное соотношение* доступных элементов в почвах. Взаимодействие элементов в процессе минерального питания может идти по типу антагонизма или синергизма. *Антагонизм* проявляется, когда увеличение концентрации одного элемента в почве тормозит поступление в растение другого. Если же увеличение концентрации одного элемента в почве способствует накоплению другого элемента в растении, то такое явление называется *синергизмом*. Так, при применении медных удобрений часто снижается поступление молибдена, а внесение кальция (известкование) снижает подвижность и доступность ионов калия.

Что такое резерв элементов питания?

Почва имеет резерв питательных веществ, который используется организмам, когда израсходованы наиболее легкодоступные запасы. *Почвенный резерв* образуют соединения, законсервированные в аморфных, кристаллических формах и скоагулированных гумусовых кислотах, подвижные соединения и влага, находящиеся в глубоких горизонтах, и т.д. Наличие резерва элементов питания обеспечивает существование организмов несмотря на периодически возникающие перерывы в поступлении в почву влаги, растительного опада и удобрений. Это залог устойчивости почвенного плодородия и поддержания необходимых условий существования живых организмов. Различия почв по запасам элементов питания очень велики, но почвенное плодородие тесно зависит от эффективности механизма перевода потенциально доступных элементов питания в легкоусвояемую форму. В случае, когда почвенный резерв невелик, в снабжении организмов часто наступают сильные перебои. На таких почвах могут существовать виды, приспособленные к резким колебаниям гидротермического и пищевого режимов. Например, таежные почвы на кварцевых песках, где произрастает сосна обыкновенная.

Но получение высоких урожаев только за счет почвенных пищевых ресурсов весьма ограничено, хотя если в почве нет достаточного пищевого запаса, то культуры полностью зависят от насыщенности почвенного поглощающего комплекса элементами питания, который для получения стабильных урожаев должен регулярно пополняться путем внесения удобрений (минеральных и органических), поскольку некоторые обменные ка-

тионы, например калий, могут быть полностью удалены с одним большим урожаем.

Почему почва является стимулятором и ингибитором биохимических и других процессов?

В почву поступают разнообразные продукты метаболизма растений, микробов, животных: аминокислоты, белки, витамины, спирты и др., которые могут стимулировать или угнетать жизнедеятельность живых организмов в зависимости от специфики и концентрации выделенного вещества. *Корневые выделения растений* могут служить дополнительным источником питания и играть роль активатора биохимических процессов в почве. Влияние метаболитов на пищевой режим почвы может способствовать усвоению растениями элементов питания из нерастворимых органических веществ под действием внеклеточных ферментов растений и микроорганизмов и изменению pH почвенных растворов. Косвенное влияние почвы на биохимическое взаимодействие организмов посредством метаболитов проявляется прежде всего в том, что эти метаболиты, поступив в почвенную среду, *адсорбируются* на почвенных коллоидах и подвергаются биотрансформации.

Активаторно-ингибиторная функция почв тесно зависит и от выделений микроорганизмов, которые оказывают большое влияние на питание растений. Существуют микробы-антагонисты, подавляющие рост чуждых им микроорганизмов, путем выделения веществ типа антибиотиков.

Что такое корневые выделения растений?

Корневые выделения растений – это органические и минеральные вещества, выделяемые корнями растений во внешнюю среду, имеющие, как правило, кислую природу. В составе корневых выделений растений обнаружены сахара, аминокислоты, органические кислоты, спирты, витамины, ферменты и т.д. Корневые выделения по своему составу специфичны и определяются видовыми особенностями растений, кроме того, им свойственна суточная периодичность, определенная ритмом фотосинтетической активности. Корневые выделения весьма значительны по своей массе, их общее количество по величине сравнимо с полезной частью урожая или даже превосходит ее.

За счет корневых выделений живут многочисленные грибы, водоросли, актиномицеты, бактерии, многие из которых образуют высокоактивные стимуляторы и ингибиторы. Положительное влияние корневых выделений на микрофлору называют «ризосферный эффект», отрицательное – «ризосферный антиэффект» (проявляется, когда корневые выделения угнетают некоторые почвенные микроорганизмы среды и формируют новый состав микрофлоры). При определенных почвенных условиях (анаэробнозис, затопление) корневые выделения превращаются в сильно восстановленные соединения, что приводит к отравлению растений. Как доноры физиологически активных веществ, растения создают вокруг себя

биохимическую среду, влияющую на другие виды, растущие по соседству. Так, выделения полыни угнетают рост проростков других трав.

Корневые выделения растений оказывают влияние на поступление веществ в соседние растения, так как повышают подвижность калия, кальция, фосфора и других питательных элементов. Но поступление различных веществ в разной степени зависит от корневых выделений, так, концентрации, токсичные для поступления нитратов и фосфора, являются стимулирующими для поступления сульфатов.

Большое значение имеет и влажность почвы. Уменьшение или увеличение влажности почвы по сравнению с оптимальными значениями вызывает резкое торможение поглотительной деятельности корневых систем и снижение обмена корневыми выделениями. Обмен продуктами жизнедеятельности происходит в ризосфере (зоне корней) растений и является одним из механизмов формирования «фитогенного поля».

Что такое фитогенное поле?

Фитогенное поле – влияние, оказываемое растениями на соседние растения, чаще всего в окружности небольшого радиуса через корневую систему путем накапливания в почве физиологически активных продуктов (*колинов*). Накопление корневых выделений до концентраций токсичных для растения вызывает подавление его роста. Наличие фитогенного поля приводит к отсутствию травяного покрова и резкому угнетению молодого подроста под сомкнутыми буковыми, еловыми, сосновыми насаждениями, под отдельно стоящими деревьями грецкого ореха, платана, эвкалипта и др. Хорошо выраженная зона угнетения наблюдается на расстоянии 5-10 м от лесополос из вязов, тополей, лоха. Клен такого действия не оказывает.

Вырубка деревьев и кустарников или их уничтожение пожаром приводят к прекращению поступления *колинов* в почву и к бурному развитию всходов деревьев, кустарников и травянистой растительности. Угнетение одного вида другим часто наблюдаются у лесных насаждений. Отмечены отрицательное биохимическое действие на дуб ясеня, вяза, осины, сосны. Явление *самоугнетения* отмечено у костра безостого и клевера из-за накопления в почве выделяемых ими фенольных кислот.

Некоторые культурные растения способны угнетать сорняки, их используют в качестве *сороочищающих*. Это рожь, ячмень, гречиха, конопля. Выделения определенных растений могут влиять на развитие других растений и положительно. Так влияют на дуб липа и клен. Отмечено положительное взаимовлияние сосны и лиственницы.

Каково практическое использование взаимовлияния растений?

Одним из практических следствий изучения изменчивости *активно-ингибиторной* почвенной функции является учет полученных данных для оптимизации структуры посевов. Перспективны специальные смешанные посадки и посевы с повышенным коэффициентом использования почвенного плодородия благодаря подбору культур, с положительным

взаимовлиянием и учетом изменчивости сезонных и суточных ритмов корневых выделений. В таких посевах вещества, выделяемые корнями одного вида, могут поглощаться корнями другого вида с противоположно направленным ритмом поглотительно-выделительной деятельности и тем самым препятствовать вымыванию из почвы соединений, поступающих из корневых систем. Так, люпин, поглощающий фосфаты из малодоступного злакам фосфорита, выделяет через корни достаточно фосфатов, чтобы заметно улучшить питание фосфором злаковых культур.

В чем суть явления почвоутомления?

Почвоутомление – это потеря или значительное снижение плодородия почвы при длительном бессменном выращивании некоторых сельскохозяйственных культур (льна, клевера, люцерны, гороха, сахарной свеклы и др.), либо при наличии «плохих предшественников» [7]. Причины почвоутомления различны:

- односторонний вынос и недостаток элементов питания (в том числе и микроэлементов), нарушение солевого баланса почвы;
- нарушение структуры и физико-химических свойств почв;
- развитие фитопатогенной микрофлоры при бессменной культуре;
- одностороннее развитие некоторых групп почвенных микроорганизмов в ущерб другим группам;
- усиленное размножение вредителей;
- чрезмерное размножение злостных сорняков;
- сдвиг pH;
- накопление фитотоксичных веществ в почве (аллелопатическое почвоутомление).

Аллелопатическое почвоутомление возникает в случае накопления в почве выделяемых растениями физиологически активных веществ до токсического уровня и происходящего при этом изменения микрофлоры в неблагоприятную сторону. При почвоутомлении почвы снижают свою производительную способность, несмотря на достаточное количество в них элементов питания и благоприятные климатические условия. Особенно заметно это явление при монокультуре. Так, монокультура пшеницы затрудняется из-за накопления подвижных фенольных соединений, люцерны – из-за сапонинов и т.д. Практически не утомляют почву кукуруза, рис, картофель, табак, виноград.

Микробные популяции при почвоутомлении сильно изменяются, резко снижается их видовой состав, погибают полезные виды микроорганизмов, в том числе азотобактер, целлюлозоразрушающие, клубеньковые и олигонитрофильные микроорганизмы. Нарушается микробный баланс, повышается численность бацилл, актиномицетов, грибов-токсинообразователей и антагонистов к полезным видам микрофлоры. Развивается патогенная микрофлора, подавляющая развитие сапрофитов.

Основными мерами борьбы с почвоутомлением являются:

- обязательный плодосменный севооборот;

- известкование кислых почв с обязательным внесением органических удобрений, которые оказывают положительное воздействие на стимулирование развития полезных и подавление патогенным микроорганизмов;
- выведение устойчивых сортов культурных растений.

Почему почва является защитным и буферным биогеоценотическим экраном?

Экосистемам суши свойственны резкие перепады увлажненности и обеспеченности теплом, в таких условиях особое значение приобретают буферные и регуляторные механизмы почвы. Буферные свойства почв обеспечивают отставание сезонных и суточных изменений гидротермических показаний почвы от аналогичных изменений атмосферы. Почва способна нивелировать резкие колебания входных потоков вещества и энергии, что очень важно, так как состав, структура и функционирование БГЦ сохраняются при условии, что варьирование этих потоков не выходит за определенные пределы. Примером может служить сглаживание почвой больших перепадов влажности и температуры в наземном ярусе БГЦ.

Большое значение также имеет защита почвой биогеоценозов от механического разрушения под действием различных факторов: воды, ветра, силы тяжести за счет способности почвы противостоять водной эрозии, удерживать растения в вертикальном положении, противодействовать распылению мелкозема. Данные свойства почв, хорошо выраженные в целинных разностях, часто ухудшаются в результате обработки земель.

Как почва сигнализирует о начале сезонных и других биологических процессов?

Для ряда *сезонных и других биологических процессов* периодически изменяющиеся параметры почвы (тепловой, водный, пищевой и солевой режимы) играют определяющее значение. Эффективность данной функции обусловлена эволюционно возникшими адаптациями наземных живых организмов к динамике почвенной среды и тесной зависимости развития наземного яруса биоценоза от почвенного яруса [9].

В условиях холодного и умеренного климата температура почв оказывается важнейшим фактором весеннего «включения» процессов сезонной активности и вегетации растений. Так, ведущим фактором пробуждения роста корней в ельнике северной тайги является температура почвы, на более холодных, затопляемых талыми водами почвах рост ели задерживается на 10-20 дней, несмотря на то, что температура воздуха благоприятствует вегетации. Температурный режим почвы определяется многими параметрами: теплоемкостью и теплопроводностью почв, запасами тепла, влажностью, температурой воздуха, потоком радиации и отражающей способностью почв, интенсивностью излучения в ночные часы. В зависимости от гранулометрического состава теплоемкость почв может различаться в 5 раз, а в зависимости от влажности – в 15 раз.

Температура почвы определяет также течение ряда физиологических процессов в живых организмах. При ее снижении происходит снижение интенсивности транспирации, а при повышении – ее усиление. Дневное прогревание корневой зоны повышает способность растений брать воду и минеральные вещества при низких температурах.

В районах недостаточного увлажнения смена фаз развития многих растений в годовом цикле определяется прежде всего динамикой водного режима почв. Это хорошо просматривается на примере эфемеров в засушливых ландшафтах. От влажности почвы зависит и развитие яиц насекомых в ней.

В чем заключается санитарная роль почвы?

Это способность перерабатывать ежегодно попадающие в почву и на ее поверхность отходы жизнедеятельности организмов, растительный опад, посмертные останки животных, патогенных микроорганизмов, а также антропогенные загрязнения. Способность почвы превращать органические вещества, опасные в эпидемиологическом отношении, в неорганические соединения называется *самоочищением*. Этот процесс начинается с адсорбции попавших в почву органических веществ вместе с содержащимися в них бактериями и яйцами геогельминтов. Под влиянием биохимических, микробных и других процессов нечистоты, проходя через почву, обесцвечиваются, теряют дурной запах, ядовитость и другие свойства, претерпевая радикальные изменения в химическом составе.

Почвенные микроорганизмы, подвергая разрушению и минерализации поступающие в почвы и на ее поверхность органические останки, не только переводят в доступную для усвоения форму содержащиеся в опаде вещества и энергию, но и предохраняют ландшафты от самозагрязнения, отравления и, в конечном счете, гибели. Важную роль в этом процессе играют и почвенные беспозвоночные животные, которые вовлекают органические остатки в саму почву, увеличивая возможность их активного разложения. За свою жизнь мелкие животные (дождевые черви, термиты, жуки-навозники) поедают количество пищи в десятки раз превышающие их вес, осуществляя очистку почвы. Антисептические свойства почв также ограничивают развитие в ней *патогенных микроорганизмов*.

Какие патогенные микроорганизмы обитают в почвах?

В почве постоянно или временно обитают патогенные микроорганизмы, возбудители инфекционных заболеваний. Некоторые из них (главным образом постоянные обитатели почвы) образуют споры — плотную оболочку, обеспечивающую им устойчивость к различным неблагоприятным воздействиям внешней среды: высокой температуре, высушиванию, давлению, отсутствию питательных веществ. По степени жизнедеятельности в почве патогенные микроорганизмы делятся на 2 группы:

1. Свободноживущие во внешней среде сапрофиты, естественные обитатели почвы. Это возбудители таких опасных инфекционных заболе-

ваний, как псевдотуберкулез, сибирская язва, газовая гангрена, столбняк, ботулизм. Споры столбняка чаще всего встречаются в садовой и огородной земле, удобренной навозом, а также в других местах, загрязненных экскрементами животных. Заражение человека через почву может наступить при самых различных обстоятельствах: непосредственно при обработке почвы, уборке урожая, строительных работах и т.п.

2. Микроорганизмы, для которых почва является одним из факторов передачи инфекции, но которые неспособны к длительной жизнедеятельности в почве. Это возбудители кишечных инфекций (брюшного тифа, паратифов, дизентерии, холеры), бруцеллеза, туляремии, чумы, коклюша. Они попадают в почву только при определенных условиях (с выделениями больных, с нечистотами и др.). Почва также является основной средой для развития и созревания яиц геогельминтов, которые могут сохраняться в земле длительное время. Они поступают в нее с испражнениями больных людей и развиваются здесь до стадии личинок. В организм человека яйца и личинки геогельминтов (аскариды, власоглав, острицы) попадают при употреблении немытых овощей и ягод и при еде руками, загрязненными инфицированной землей. Это особенно касается лиц, имеющих контакт с почвой по роду своей работы: землекопов, шахтеров, огородников, а также детей, которые, играя на земле и в песке, легко могут занести личинки геогельминтов в рот. Для профилактики гельминтозов необходимо не допускать загрязнения дворов фекалиями. Использовать последние для удобрения огородов и садов разрешается только после предварительного обезвреживания (компостирование и др.).

Какие факторы вызывают гибель патогенных микроорганизмов в почвах?

Существование болезнетворных микроорганизмов в почве находится в тесной связи с типом растительности, химическими, физическими и биологическими свойствами почв. Возбудитель ботулизма почти в 8 раз чаще встречается в карбонатных почвах, чем в аллювиальных, а в песчаной почве он встречается намного реже, чем в илистой. Наиболее благоприятные условия для сохранения возбудителей сибирской язвы создаются в почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией, хорошей аэрацией и высоким содержанием органического вещества. Тундровые и подзолистые почвы для них неблагоприятны из-за высокой кислотности, низких температур, наличия микробного антагонизма, а почвы пустынь – из-за малого количества перегноя и недостаточной увлажненности. Большей способностью к самоочищению от возбудителей кишечных инфекций обладают почвы с повышенным содержанием железа и алюминия и микробов-антагонистов (красноземные, желтоземные, подзолистые).

Почва в целом является неблагоприятной средой для обитания патогенных микроорганизмов. В их гибели большую роль наряду с недостатком питательных веществ, не всегда оптимальными влажностью и температурой почвы играет антагонизм между различного рода почвенными

микроорганизмами. Не находя подходящих условий, патогенные для человека и животных неспороносные бактерии погибают обычно относительно быстро. Однако некоторые из них, особенно в загрязненной почве, сохраняются продолжительное время: возбудители брюшного тифа, паратифов и холеры могут оставаться жизнеспособными до трех месяцев; бруцеллеза – до пяти месяцев, туляремии – до двух месяцев. Энтеровирусы (возбудители полиомиелита и некоторых кишечных заболеваний вирусного происхождения) сохраняются в почве до 170 дней. Актиномиценты, вызывающие поверхностные и глубокие микозы, а также микобактерии – возбудители туберкулеза, проказы и дифтерии – при попадании в почву также несут ощутимую угрозу: палочки туберкулеза остаются жизнеспособными до 15 месяцев, дифтерийные палочки – до двух-трех недель.

Большое влияние на освобождение почвы от патогенных микроорганизмов оказывают агротехнические и агрохимические мероприятия, способные интенсифицировать деятельность микрофлоры почвы, ускорить распад остатков, на которых живут фитопатогенные микроорганизмы, и усилить размножение микробов-антагонистов. Так, посевы люцерны способствуют очищению почвы от возбудителей сибирской язвы, а житняк способствует размножению их спор. Возможно и искусственное обогащение ризосферы культурных растений микробами-антагонистами фитопаразитов, на этом основана борьба с фузариозом сосны, пшеницы, льна, чайного куста. Но каждый микроб-антагонист имеет свой антимикробный спектр.

II. СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСТЕНИЯ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Почему для растений важна мощность почвенного профиля?

Для растений большое экологическое значение имеет мощность почвенного профиля (от поверхности до материнской горной породы). Вся его толща пронизана корнями растений, чем толще слой почвы и ее гумусовый горизонт, тем глубже укореняются в ней растения, поскольку такая почва удерживает больше влаги и питательных веществ. Корневые системы закрепляют растения в почве, выполняют функции поглощения, первичного усвоения, распределения и транспорта воды и минеральных веществ. Растения в процессе вегетации развивают мощную корневую систему с огромной поглощающей поверхностью, осваивают все новые участки почвы, и корни вступают в контакт с новыми количествами питательных веществ почвы.

Формирование надземной фитомассы существенным образом зависит от развития корневых систем, напрямую связанных с почвенными условиями. *Корень* — это вегетативный орган растения, находящийся в зачаточном состоянии в каждом семени. Из зародышевого корня при прорастании развивается главный корень, от него идут боковые, которые тоже способны ветвиться, в результате образуется корневая система. Из стебля и

листьев часто образуются придаточные корни, за счет которых корневая система намного увеличивается и улучшается питание растений. Придаточные корни в большом количестве отходят от корневищ, луковиц, черенков, отводков.

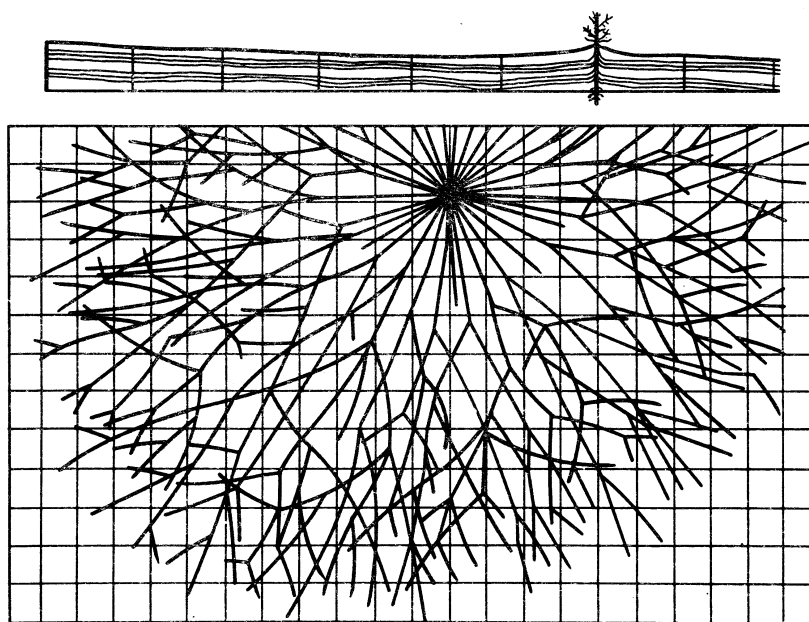
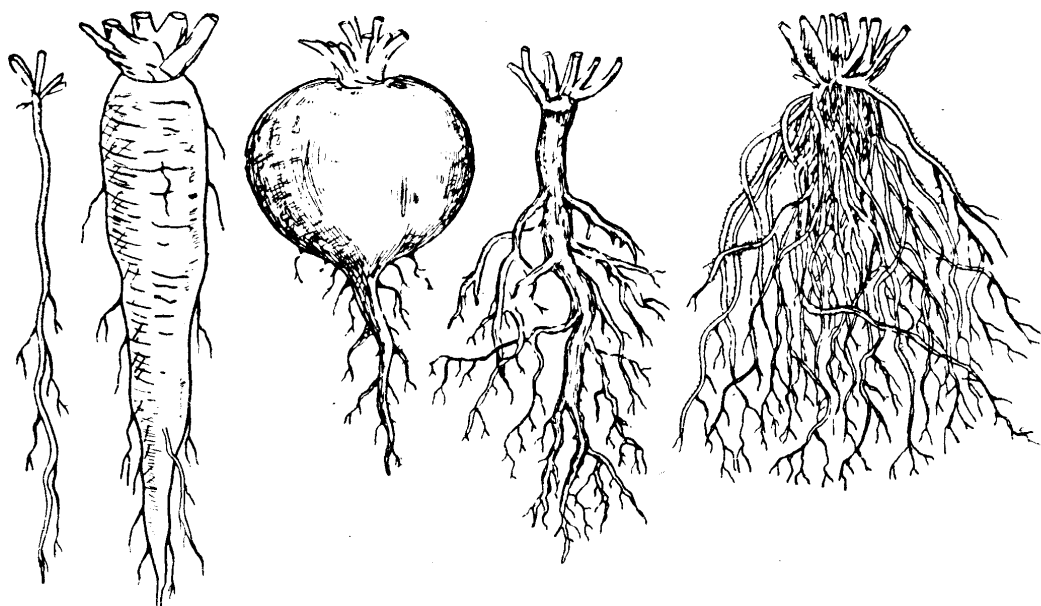


Рис.5. Корневая система селина Карелина (по М.П. Петрову). На верхней части рисунка ярусное расположение корней. Каждое деление равно 1 м, в нижней части каждый квадрат равен 1 м²

Корневая система может быть *стержневой*, если главный корень выделяется среди других корней своей величиной, и *мочковатой*, если главный корень развит слабо, обычно она образуется за счет придаточных корней. По форме стержневые корни бывают *конусовидные*, как у петрушки, *реповидные*, как у репы и свеклы, *нитевидные*, как у льна, *веретеновидные*, как у моркови.

На небольшом расстоянии от кончика корня находятся корневые волоски – одноклеточные образования. Зона их 1-2 см, и именно благодаря корневым волоскам происходит всасывание воды и минеральных веществ, а всасывающая поверхность корня увеличивается от 3 до 40 раз. Длина корней варьирует в значительных пределах, часто превышая надземную часть растения. У культурных злаков их основная масса развивается в пахотном слое, а у такого злостного сорняка, как бодяк может углубляться до 6 м. На рост и степень ветвления корней влияют мощность, влажность, плотность и аэрация почвы. Благодаря разнообразию корневых систем растения при совместном произрастании используют разные горизонты почв.

Корни любого растения выполняют множество функций: создают опору для всего растительного организма, закрепляя его в почве, поглощают воду и минеральные вещества, осуществляют выделительную функцию. В корнях происходит синтез многих органических соединений, через корни выделяются продукты обмена. Отмирающее органическое вещество корней пополняет запас почвенного перегноя.



Особен-

Рис.6. Различные формы корней (по Н.А. Блукет)

ности

развития и функционирования верхушки корня, тесно зависящие от влажности, температуры и плотности почвы, во многом определяют формирование всей корневой системы и надземных органов. Изменение температуры среды, где развиваются корни, может оказывать неожиданно сильное действие на развитие надземных органов. Темпы роста корня в период прорастания зерна определяют и дальнейшую общую продуктивность растений. Понижение температуры почвы для пшеницы и кукурузы существенно тормозит синтез белка не только в проростках, но и в листьях растений.

На голых камнях, углублениях и трещинах в горной породе, каменистых осыпях поселяются водоросли (хлорелла, носток) и накипные лишайники. Постепенно на камнях накапливается слой органического вещества, на котором поселяются мхи, активные почвообразователи, формирующие примитивную почву. Затем появляются камнеломки, можжевельник и сосна, скальные формы бука, дуб скальный. Эта группа растений обладает прочной и цепкой корневой системой, повышенной морозо- и засухоустойчивостью носит название — *литофиты*

Псаммофиты занимают территорию, покрытую эоловыми, ледниковыми, приморскими озерными и речными песками. Пески бывают неподвижные, заросшие растениями, и подвижные под действием ветра, что оказывает сильное влияние на характер растительных сообществ, поселяющихся на них. Многие растения этой группы обладают способностью образовывать дополнительные придаточные корни от стебля или ствола на любой высоте, кроме того, они обладают быстрорастущими надземными побегами (джезгун, чий). При отступлении песка придаточные корни, утолщаясь, могут, как подпорки, поддерживать некоторое время вертикальное положение растений. Эффективным приспособлением к возможному обнажению корней является формирование на них защитных футля-

ров из пробковой ткани, или из песчинок, сцементированных слизистыми корневыми выделениями (овсяница Беккера, тростник). Другие растения противостоят выдуванию или вымыванию путем формирования длинных регулярно разветвленных корней (вейник наземный, волоснец, ива-шелюга). Пустынные осоки, цмин песчаный способны сильно высыхать. А при повышении влажности продолжать существование.

Как влияют физические свойства почв на корневую систему растений?

С почвой тесно связана подавляющая часть растений. В ней проходит ранний цикл их развития, а во взрослом состоянии с почвой непосредственно взаимодействуют их подземные части. Органическое вещество корней составляет от 20-30 до 90% по отношению к общей фитомассе. Больше всего корневых систем находится в почва тундровой и степной зон, где на их долю приходится 70-90% фитомассы.

Наблюдаются *разная концентрация корней* по профилю почвы и изменение глубины проникновения корневых систем в направлении с севера на юг. В тундровых и подзолистых почвах основная масса корней сосредоточена в поверхностных горизонтах, а в засушливых южных районах корни отдельных растений могут проникать в поисках влаги до глубины более 10 м (люцерна, верблюжья колючка) [8].

Глубина проникновения корневых систем в почву в значительной степени зависит от плотности ее сложения. *Объемная масса почвы (плотность сложения)* – это масса единицы объема почвы, взятой без нарушения ее природного сложения и высушенной при 105°C. Она определяется минералогическим составом почвы, содержанием в ней органического вещества и упаковкой почвенных частиц. Последняя зависит от агрегатного состояния почвы и факторов, вызывающих разрыхление или уплотнение почвы (механической обработки, работы роющей фауны, динамики увлажнения и иссушения, промерзания и оттаивания).

Корни растений могут прорасти через жесткую структуру почвы, если поры в ней крупнее размеров корневых чехликов. Корешки не могут проникать без затрат энергии в жесткие поры размером менее 0,1- 0,2 мм, а корневые волоски в поры менее 0,01 мм. Проникающая способность корней снижается при увеличении плотности почв. В пластичной, рыхлой, пористой почве корни продвигаются за счет ее раздвигания. Одновременно они уплотняют прилегающие к ходу корней участки, создавая крупные биопоры, которые после отмирания корней способствуют увеличению влагозапасов и улучшению аэрации почвы. Корни не могут прорасти через чрезмерно уплотненные слои и вынуждены часто расти горизонтально вдоль них. Уплотненные слои в почве могут возникать из-за сплывания при увлажнении, вымывания тонкодисперсного материала сверху с закупоркой пор, через которые могли бы проникнуть корни. В случае же излишне рыхлой почвы поровое пространство столь развито, что корни растений не имеют хорошего контакта с поверхностью твердой фазы, где содержатся в

поглощенном состоянии многие элементы питания. Это приводит к снижению урожая. Низкая плотность почв способна также привести к усиленной *ветровальности* деревьев вследствие их слабого закрепления.

Существует определенная взаимосвязь и между плотностью почвы в слое 0-5 см и произрастанием на ней различных травянистых растений. Заселяя почву, растения способны изменять ее плотность и порозность, причем, для каждого вида характерна определенная специфичная плотность (у некоторых видов она может совпадать). Л.О. Карпачевский [15] выделяет три группы травянистых растений, которые влияют на распределение пор по размеру:

- хвои и папоротники (поры $<0,3$ мм составляют $>10\%$ от общего объема);
- сныть, кислица, копытень (поры $<0,3$ мм составляют 7-9%);
- живучка, осока (поры $<0,3$ мм составляют 7%).

Критическая объемная масса, при которой прекращается рост растений часто тесно зависит от содержания воды в почве. Сравнительно небольшая потеря воды может привести к сильному замедлению развития корней в уплотненном слое. Поэтому очень важно предупреждать образование уплотненных слоев с большой объемной массой в пахотных землях. Для этого необходимо запрещение езды по полю после сильных дождей, ежегодное изменение глубины обработки почвы, внесение органических удобрений, и т.д.

Такое физическое свойство как *плотность почвы* определяет продуктивность растений не сама по себе в виде плотности упаковки частиц и проницаемости для корней, а прежде всего тем, что формирует водный, воздушный и питательный режим растений.

Как водно-физические свойства почв влияют на растения?

Наземное растение может существовать только когда обеспечены его потребности в воде. В почве всегда содержится какое-то количество влаги, которое зависит от соотношения поступления воды в почву и расхода ее из почвы. *Почвенная влага* является практически единственным источником влагоснабжения наземных растений, поэтому влажность почвы определяет продуктивность культурных и природных фитоценозов. Почвенная влага оказывает огромное влияние на передвижение веществ в почве. С колебаниями влажности связаны процессы превращения веществ в почве, набухание и усадка почв.

Полная влагоемкость почв (ПВ) – это максимальное количество воды, которое может находиться в почве с естественным сложением при ее затоплении, когда вода заполняет все поры почв. В состоянии полной влагоемкости обычно находятся болотные почвы.

Водоудерживающая способность почв – это способность твердой фазы почвы удерживать содержащуюся в почве влагу от стекания под влиянием силы тяжести. Наименьшее количество подвешенной влаги, после свободного оттока избыточной влаги, которое способна удержать дан-

ная почва называется, *наименьшей влагоемкостью почв (НВ)*. В хорошо оструктуренных глинистых и суглинистых почвах НВ может достигать 35-40% от веса сухой почвы.

Подвешенная влага может испаряться, при этом часть ее подтягивается в жидком состоянии из глубины к поверхности. Но как только влажность в промоченном слое достигнет значения *влажности разрыва капилляров (ВРК)*, ее подвижность резко падает, подъем воды из глубоких слоев прекращается и начинается иссушение поверхностного слоя сверху. ВРК составляет 65-90% НВ в разных почвах.

Некоторая часть влаги для растений совершенно недоступна и составляет *мертвый запас влаги*. Она удерживается почвенными частицами с такой силой, что растения не могут отнять ее у почвенных частиц. Нижнюю границу продуктивной для растений влаги характеризует *влажность устойчивого завядания растений (ВЗ)*. Наступление ВЗ обнаруживается по появлению первых признаков увядания (потеря тургора) у растений с хорошо развитыми корневыми системами, причем эти признаки не исчезают и при длительном выдерживании растений в насыщенной водяным паром атмосфере. Иссушение почвы до ВЗ не приводит к гибели растений, но вызывает прекращение прироста и уменьшение сухой массы растений. ВЗ не является полностью недоступной, но оказывается непродуктивной (таб.1).

Таблица 1

Доступность различных форм почвенной влаги растениям

Интервал влажности	Степень доступности влаги
Ниже ВЗ	Практически недоступна
От ВЗ до ВРК	Труднодоступна, но с приближением ВРК доступность заметно увеличивается
От ВРК до НВ	Доступность средняя
От НВ до ПВ	Легкодоступна, но с приближением ПВ делается избыточной

Скорость поступления воды из почвы в растение зависит от скорости передвижения и общего содержания воды в почве: чем суше почва, тем медленнее передвигается в ней вода. *Почвенная засуха* наступает в результате сильного уменьшения доступной растению гравитационной воды, т.е. подвижной воды, заполняющей промежутки между частицами почвы и просачивающейся вниз под действием силы тяжести, и капиллярной воды, заполняющей тончайшие поры между частицами почвы и удерживающейся капиллярными силами сцепления. К недостатку почвенной влаги растения особенно чувствительны в критический период их роста и развития. В это время растение тратит очень много влаги для образования генеративных органов. Для пшеницы это примерно неделя до колошения.

На какие группы делятся растения по отношению к почвенной влаге?

Гигрофиты – это растения влажных местообитаний: болот, берегов рек и озер, сырых и влажных лугов и лесов. Не выносят водного дефицита и не приспособлены к ограничению расхода воды, обычно имеют крупные листья. Вследствие переувлажнения и недостатка кислорода корни гигрофитов расположены в поверхностных горизонтах почвы, слабо ветвятся и лишены корневых волосков. Это тонколистные папоротники, кислица, недотрога, вороний глаз, калужница, черемша, незабудка болотная, хвощ, белокрыльник, болотные осоки и др.

Ксерофиты – растения засушливых мест, способные выдерживать продолжительную атмосферную и почвенную засуху, оставаясь физиологически активными. По мере иссушения верхних горизонтов почвы корни ксерофитов проникают все глубже в почву и материнскую породу и к концу вегетационного периода пронизывают всю толщу почвы, увлажненную весной. В период недостаточного увлажнения мощные, сильно разветвленные корни ксерофитов, проникают на большую глубину, собирая воду со значительных площадей и глубин. М.С. Двораковский [8] пишет, что, по данным Г. Дитмера длина корней одного растения ржи может достигать 600 км, а среднесуточный прирост – 5 км. Если же прибавить к этому общую длину корневых волосков, то длина всей всасывающей системы составит 10 тыс. км. Корневая система черного саксаула может проникать до глубины 30-40 м. Некоторые ксерофиты имеют двухъярусную корневую систему. У фисташки настоящей верхние корни залегают на глубине до 80 см и обеспечивают ее влагой в весенне-летний период, нижние же корни достигают глубины 180 см и снабжают дерево водой во вторую половину вегетации. Типичными ксерофитами являются агава, алоэ, кактусы, очиток едкий, заячья капуста, молодило кровельное, полынь сизая, астра ромашковидная, ковыли, типчак и другие степные злаки, из древесных – фисташка, лавр благородный, лох узколистый.

В этой же группе выделяют *эфемеры и эфемероиды*, растения засушливых мест и пустынь, обладающие способностью как бы «уходить от засухи». Эфемеры – низкорослые однолетники со слаборазвитой корневой системой, способные за короткий срок (1,5-2 месяца) дать всходы, вырасти и обсемениться к началу засушливого периода. Это крупка, вероника весенняя, крестовник весенний, маки, гусиный лук.

Эфемероиды – многолетние ранневесенние или позднеосенние растения, имеющие луковицы, клубни, корневища. После созревания семян и плодов в почве остаются органы вегетативного размножения, содержащие достаточно воды для сохранения жизни в засушливый период. Это тюльпаны, луки, нарциссы, ветреницы.

В местах с холодным влажным климатом в северных широтах и высоко в горах встречаются растения, испытывающие недостаток влаги в результате *физиологической сухости*, вызванной низкими температурами и недоступностью для корней влаги холодных почв. Растения холодных

мест обитания, имеющие ксероморфные признаки – *психрофиты* (ель, пихта сибирская, кедровый стланник, можжевельник, багульник, черника, береза карликовая, ива карликовая, овсяница). Растения, приспособленные к холодным сухим местообитаниям в высокогорьях – *криофиты* (азорелла, терескен и др.).

Мезофиты – растения, произрастающие на среднеувлажненных почвах. Господствуют при средних условиях теплового режима и увлажнения на умеренно плодородных и хорошо аэрируемых почвах. Быстро растут и приносят большие урожаи, широко распространены по земной поверхности. К типичным мезофитам относятся многие культурные растения – зерновые, плодово-ягодные, овощные, лиственные деревья, луговые травы. Мезофиты, приспособленные к перенесению более или менее продолжительной засухи – *ксеромезофиты* – имеют глубокую корневую систему (дуб, люцерна, клевер, мятлик). Мезофиты более влажных мест – *гигромезофиты* – имеют поверхностную корневую систему (пырей, лисохвост, костер).

Как растительность влияет на водный режим почв?

Растительный покров, в свою очередь оказывает влияние на водный режим почв. На открытых, лишенных леса пространствах продолжительные морозящие дожди лучше увлажняют почву, чем кратковременные сильные ливни. При морозящем дожде почва способна впитать до 90% выпавшей влаги, а при ливне – 30-40%.

Чем гуще и многояруснее растительность, тем больше влаги задерживается ею и лесной подстилкой. Особенно много влаги задерживают леса, образованные вечнозелеными породами. Леса сосновые задерживают 13-16%, березовые – 8-10% осадков. Но если при слабом дожде ельники задерживают 70% влаги, то при ливне – всего 24%. Следовательно, почва открытых мест лучше увлажняется морозящими дождями, а лесная – ливнями. Лесные подстилки способны удерживать 500-700% влаги от своего веса, они предохраняют почвы от размывания и от заиливания пор. Относительная влажность почвы вследствие непрерывного процесса транспирации растений при наличии лесной подстилки обычно выше под пологом леса, чем на открытом пространстве. Под пологом леса ложится ровно и полностью сохраняется до весны и снежный покров. Лес способствует некоторому увеличению количества осадков на данной территории, вызывая охлаждение и конденсацию водяных паров.

Как тепловой режим почв влияет на растительность?

Поглощение воды и растворенных в ней питательных веществ корнями растений из почвы зависит от ее аэрации и температуры. Из теплых почв растения извлекают воду быстрее, чем из холодных, так как низкая температура замедляет рост корней и корневых волосков, всасывающих воду. Кроме того, при низких температурах уменьшается водопроницае-

мость цитоплазмы, вследствие чего замедляется передвижение воды вверх по растению.

На тепловой режим почв заметное влияние оказывает лес. В летние месяцы он задерживает часть солнечной радиации, понижая температуру почвы, а в зимние месяцы, уменьшая излучение, способствует повышению температуры. Это влияние оказывается сильнее под зимнеголыми лесами, чем под хвойными, так как под первыми мощность снегового покрова больше, чем под вторыми. В зимнее время в лесу почва промерзает на значительно меньшую глубину, чем на открытой местности. Особенно сильно влияние леса в летние месяцы. Так, в мае температура подстилки в буковых и дубовых лесах может достигать 33°C, что способствует быстрому зацветанию эфемероидов. Летом, чем жарче день, тем больше разница температур почвы под кронами деревьев и в открытом поле (до 3°C), особенно в ольховом лесу. Лесная подстилка, покрывая поверхность почвы, предохраняет ее от испарения и нагрева.

Как влияет на развитие растений гранулометрический состав почв?

На водный, тепловой и воздушный режимы почв исключительное влияние оказывает *гранулометрический состав почвы*, или относительное содержание в почве частиц разного размера (таб.2). Фракция размером >0,01мм называется *физический песок*, <0,01мм – *физическая глина*. *Физические свойства* песчаных и супесчаных почв более благоприятны для роста растений, чем глинистых. В засушливом климате песчаные и супесчаные почвы имеют больше пор и скважин, чем глинистые, поэтому они легко пропускают талую снеговую и дождевую воду и промачиваются на большую глубину. Летом после иссушения верхнего слоя вода слабо поднимается по порам и скважинам из более глубоких слоев к поверхности, поэтому в таких почвах под относительно небольшим сухим слоем залегает сравнительно влажный песок. Глинистые почвы в этих условиях иссушаются на большую глубину из-за наличия большого количества тонких капилляров, по которым вода их глубоких слоев поднимается к поверхности с большей скоростью. Поэтому в пустынных условиях древесная растительность приурочена к песчаным и супесчаным почвам. В более высоких широтах влажные глинистые почвы являются более холодными, так как тонкие поры плохо пропускают тепло. Поэтому более требовательные к теплу растения заселяют легкие, более аэрированные почвы.

Химические свойства глинистых и суглинистых почв более благоприятны, чем песчаных и супесчаных. В тяжелых почвах намного выше поглощательная способность почв. Раздробленность их частиц способствует увеличению их поверхности и емкости катионного обмена, что позволяет им длительное время удерживать на поверхности растворы минеральных солей, связывать их в менее растворимые соединения и замедлять их вымывание. Поэтому глинистые и суглинистые почвы при прочих равных условиях плодороднее песчаных и супесчаных.

Растения одного и того же вида, произрастая на почвах разного гранулометрического состава, могут давать разнообразные конфигурации корневой системы. Так на песчаных почвах корневая система саксаула направлена вертикально, прямо вглубь профиля и не мешает росту деревьев на близком расстоянии друг от друга. Их высота обычно составляет 1,5-2 м. На тяжелых почвах, где условия водообеспечение хуже, корни сильно разрастаются в сторону, охватывая большие площади в поисках воды. В этих условиях корневые системы растения препятствуют развитию друг друга, что ведет к изреживанию насаждений, по высоте растения варьируют от 0,35 до 0,5 м. Поэтому на песках саксаул выглядит пышным, густым и зеленым, а на глинах – низкорослым и угнетенным.

Таблица 2

Классификация почв по гранулометрическому составу,
разработанная Н.А. Качинским

Содержание физической глины (частиц <0,01 мм), %			Краткое название почвы по гранулометрическому составу
Почвы			
подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильно солонцеватые почвы	
0-5	0-5	0-5	песок рыхлый
5-10	5-10	5-10	песок связный
10-20	10-20	10-15	супесь
20-30	20-30	15-20	суглинок легкий
30-40	30-45	20-30	суглинок средний
40-50	45-60	30-40	суглинок тяжелый
50-65	60-75	40-50	глина легкая
65-80	75-85	50-65	глина средняя
>80	>85	>65	глина тяжелая

Почему для растений важна оструктуренность почвы?

Механические элементы почвы склеиваются различными выделениями микроорганизмов и высших растений, пронизываются и скрепляются гифами грибов и мелкими корешками высших растений, образуя *агрегаты или структурные отдельности*. Агрегаты различной величины, формы и прочности в совокупности создают характерную для той или иной почвы структуру.

Плодородие глинистых, тяжело- и среднесуглинистых почв во многом зависит от их структуры. Благоприятные условия для роста растений создаются на тяжелых по гранулометрическому составу почвах, в которых водопрочность агрегатов сочетается с их оптимальной пористостью. В таких случаях в порах и по периферии агрегатов интенсивно протекают микробиологические процессы, приводящие к обогащению почвы азотом, фосфором, калием и другими необходимыми для жизни растений элементами. Водопрочность агрегатов усиливается вследствие склеивания меха-

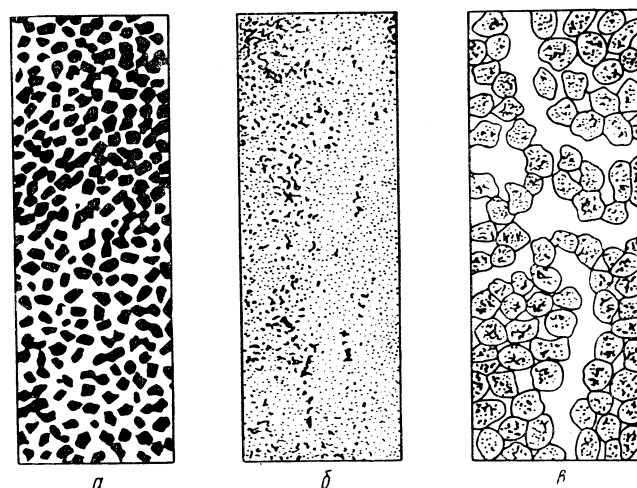


Рис.7. Пористость различных почв (по А.Стебуту): а – песчаная почва, все поры крупные; б – бесструктурная глина, все поры тонкокапиллярные; в – структурная глинистая почва, между комками поры крупные, в комках – тонкие, капиллярные

нических элементов гумусовыми кислотами, Особенно водопрочны агрегаты в том случае, если эти кислоты взаимодействуют с ионами кальция. Кроме того, мицелии грибов и нити водорослей влияют на прочность агрегатов, образуя переплетения внутри групп минеральных частиц и оплетая гранулы вокруг.

В сходных экологических условиях тяжелые структурные почвы более благоприятны для роста и развития растений, чем бесструктурные или слабоструктурные. Последние, обладая большой плотностью и тонкокапиллярностью, имеют плохую водопроницаемость и незначительную влагоемкость. После ливневых дождей бесструктурные почвы заплывают, на их поверхности образуется корка, не пропускающая воздух и способствующая еще большему иссушению почвы и отмиранию корней из-за недостатка кислорода.

В структурной почве, состоящей из комочков и зерен диаметром 1-10 мм, между агрегатами имеются промежутки, легко пропускающие воду и воздух, поэтому в ней преобладают аэробные процессы. По промежуткам между структурными отдельностями корни растений глубоко проникают в почву, что способствует постоянной и более быстрой подаче воды и растворенных в ней минеральных солей в надземные части растений.

Снижение *агрегатной порозности* – яркое свидетельство ухудшения физического состояния почв, снижения всех почвенных функций. Именно почвенные агрегаты в первую очередь обуславливают почвенное плодородие, так как в их поровом пространстве «хранятся» питательные вещества, влага, которые потребляют растения. Основная функция межагрегатного пространства – это проведение потоков веществ. Именно по поровому пространству происходит перенос воды и растворенных в ней веществ. Поэтому нередко указывают, что агрегатное пространство – это хранилище основных почвенных запасов, а межагрегатное пространство – это транспортные пути, пути миграции веществ.

Что представляет собой органическое вещество почв?

Органическое вещество почв представляет собой сложный комплекс разнообразных органических соединений, которые подразделяются на 2 группы:

1. *Негумифицированные органические вещества* растительного или животного происхождения;
2. *Органические вещества специфической природы* – гумусовые, или перегнойные.

Круговорот органического вещества в почвах играет ведущую роль в функционировании и свойствах почвы. В почвенной органике сосредоточен огромный запас элементов минерального питания, значительно превосходящий годовые потребности растений. В условиях естественных биогеоценозов в зрелых почвах этот фонд расходуется медленно и постоянно пополняется, что позволяет поддерживать относительную стабильность почвенного плодородия. Органическое вещество почв в значительной степени определяет сорбционные свойства почв.

Какова роль негумифицированных органических веществ?

В эту группу входят преимущественно отмершие, но еще не разложившиеся, или полуразложившиеся растительные остатки, а также останки животных, обитающих в почве (червей, насекомых и др.) и тел микроорганизмов. В культурные почвы ежегодно поступает на 1 га 5-8 т растительных остатков и 0,7-2,7 т отмерших бактерий.

В очень небольших количествах в почве находятся разнообразные химически индивидуальные органические соединения, являющиеся промежуточными продуктами разложения – углеводы, органические кислоты, белковые и др. азотсодержащие вещества, жиры, смолы, дубильные вещества и др. (10-15 % общего запаса органических веществ почвы). Они участвуют в разложении почвенных минералов, оказывают стимулирующее или угнетающее действие на рост и развитие растений (бензойная кислота, ванилин).

Негумифицированные органические вещества являются важным сбалансированным полноценным источником питания растений, поскольку содержат необходимые растениям элементы в доступных формах и сравнительно легко разлагаются в почве. 80-90% всех зольных элементов поступают в растения из наземного опада. Практически полный возврат элементов в почву в составе растительного опада обеспечивает сбалансированность биогеохимического круговорота и воспроизводство плодородия в естественных ценозах. Кроме того, растительные останки оказывают комплексное воздействие и на физические свойства почв.

Не вся масса органических соединений полностью минерализуется, часть их превращается в сложные органические соединения специфической природы и служит для образования гумуса.

Что такое почвенный гумус, какие выделяют типы гумуса?

Гумус – это аморфное органическое вещество, продукт гумификации и неполного разложения растительных остатков и трупов почвенных макро- и микроорганизмов в почвах, является основным продуктом почвообразования. Гумус составляет 80-90% находящегося в почве органического вещества. Содержание гумуса в гумусовых горизонтах: очень высокое >10%; высокое 6-10%; среднее 4-6%; низкое 2-4%; очень низкое <2.

На основании морфологических отличий, соотношения органической и минеральной части, биологии и активности участвующих в гумификации организмов выделяются несколько типов гумуса:

Мор – слабое смешение органической и минеральной массы, слабая трансформация опада, осуществляемая грибами и актиномицетами. Грубый волокнистый гумус. Характерен для кислых почв хвойных лесов.

Модер – неполное смешение органической и минеральной части, слабо разложившиеся остатки, отсутствует образование глинисто-гумусового комплекса, основу образуют органические микроагрегаты, прилипшие к минеральным частицам.

Мюль – полное включение органической части в минеральную с образованием глинисто-гумусового комплекса. Сильная биологическая трансформация под влиянием дождевых червей и бактериальной микрофлоры. Мягкий, сладкий гумус. Характерен для почв широколиственных лесов и степей с нейтральной или слабощелочной реакцией.

Из каких соединений состоит почвенный гумус?

Среди гумусовых веществ выделяются три главные группы соединений: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины.

Гуминовые кислоты – высокомолекулярные азотсодержащие органические вещества, окрашенные в черный или коричневый цвет. Это гетерогенные и полидисперсные соединения. Ядро гуминовых веществ состоит из ряда ароматических циклических колец. Молекула гуминовой кислоты имеет аморфное строение, благодаря чему она способна набухать и обладает адсорбцией. Емкость поглощения составляет 350-500 мг-экв/100 г. В состав молекулы входят углерод, водород, кислород и азот, но соотношение между ними меняется во времени (при старении) и пространстве (разные условия гумификации). В небольших количествах содержатся фосфор, сера, алюминий, железо, кремнезем. Гуминовые кислоты нерастворимы в воде и минеральных кислотах, осаждаются ими. Основная масса в почве находится в виде гелей. Хорошо растворяются в щелочах и образуют коллоидные растворы. Из растворов осаждаются двух- и трехвалентными катионами в виде гумата – аморфного студнеобразного осадка. На долю азота гуминовых кислот приходится 15-30% общего азота.

Фульвокислоты – представляют собой сильноокислые хорошо растворимые в воде гумусовые вещества, окраска которых варьирует от соломенно-желтой до оранжевой. С одно- и двухвалентными катионами образуют растворимые соли – фульваты. Молекулы фульвокислот очень

подвижны и способны проникать в глубокие горизонты. Емкость поглощения составляет 200-670 мг-экв/100 г. Азотистые соединения в их молекуле связаны менее прочно, чем в гуминовых кислотах, и легче подвергаются кислотному гидролизу. На долю азота фульвокислот приходится 20-40% общего азота.

Гумины – нерастворимые в щелочи гумусовые вещества, близки по природе к гуминовым кислотам, но более прочно связаны с минеральной частью почвы. На долю азота гуминов приходится 20-30% общего азота почвы, он более прочно связан и более устойчив к разложению микроорганизмами.

Какова роль гумуса в почве?

При разложении гумуса микроорганизмами образуются минеральные соли, растворяющиеся в почвенной воде и усваиваемые зелеными растениями. Выделяющийся при разложении гумуса CO_2 частично поступает в атмосферу, частично растворяется в почвенной воде, подкисляя ее и способствуя повышению растворимости минеральных веществ. Гумус является важнейшим постоянным источником пищи для растений. Темная окраска гумуса, характерная для верхнего слоя почвы, способствует быстрому и лучшему ее нагреванию, т.е. гумус улучшает тепловой режим почвы. Обладает буферным действием: способен закреплять микроэлементы, чем препятствует выносу их из почвы, а в случае химического загрязнения снимает их токсичность. Поглощая воду, а затем медленно отдавая ее, гумус стабилизирует водный режим почвы. Гумус оказывает большое положительное влияние на физические свойства почвы. Способствует созданию высокопрочных почвенных агрегатов, улучшению почвенной структуры. Хорошо гумусированные почвы более устойчивы к эрозионным процессам. В почве непрерывно идут как процессы новообразования гумуса за счет поступающих в нее растительных остатков, так и его разрушения и минерализации. В зависимости от того, какой из этих процессов преобладает, и будет уменьшаться или увеличиваться общее содержание гумуса в почве.

В различных сообществах гумус образуется за счет различных частей растений и накапливается в неодинаковых количествах. Под степными и луговыми сообществами гумуса образуется больше и он лучшего качества, чем под лесными. В травянистых сообществах гумус формируется за счет неполного разложения отмирающих корней и надземных частей растений, в то время как под пологом леса он образуется главным образом за счет опавших листьев, хвои и мелких веточек.

Почвенная кислотность, чем она определяется и как влияет на растения?

Кислотность – это способность почвы подкислять воду и растворы нейтральных солей. Кислотность почвы определяется соотношением свободных ионов H^+ и OH^- в почвенном растворе. Она обусловлена в основ-

ном водородными ионами угольной и органических кислот, находящимися в почвенном растворе в обменной форме и ионами алюминия и марганца. Концентрация свободных ионов H^+ выражается величиной рН, представляющей собой отрицательный логарифм концентрации ионов водорода.

По величине рН почвы делятся на : сильнокислые – рН 3-4, кислые – 4-5, слабокислые – 5-6, нейтральные – 6-7, щелочные – 7-8, сильнощелочные – 8-9.

Реакция почвенного раствора определяется климатом, растительностью, материнской породой, грунтовыми водами. В холодном климате высоких широт и влажном климате лесной зоны из-за недостатка тепла и избытка влаги в процессе минерализации органических остатков выделяется много кислот, немало выделяют их и сами растения (щавелевая, лимонная, уксусная и др. низкомолекулярные органические кислоты). Кислоты способствуют быстрому растворению и вымыванию из почвы извести, поэтому кислотность почвы – это прежде всего недостаток кальция в ней. Почвы тундр и лесов имеют, преимущественно, кислую реакцию (3-3,5), но в направлении с севера на юг постепенно увеличивается насыщенность почвы основаниями и снижается ее кислотность. В жарком и сухом климате степной зоны реакция почвенного раствора преимущественно нейтральная (черноземы 7,5), а пустынной – щелочная (сероземы, солонцы 8,5-9,0).

Существенное влияние на величину рН оказывают материнские горные породы и продукты их выветривания. Граниты увеличивают кислотность почв, а карбонаты – снижают, богатые известью грунтовые воды снижают, а бедные – повышают. В условиях влажного климата на равнинах и в понижениях при застое воды снижается аэрация почвы и увеличивается ее кислотность, внесение большинства видов азотных и фосфорных удобрений, кислотные дожди повышают кислотность почвы.

Избыточная кислотность почвы отрицательно влияет на обмен веществ, рост и развитие многих растений и на поглощение растениями анионов и катионов. В кислой среде уменьшается поступление в растения анионов, в щелочной – катионов. Избыточная кислотность уменьшает обмен углеводов в растении. Отрицательное действие кислотности почвы объясняется избыточным содержанием в кислом почвенном растворе ионов алюминия и марганца, которые подавляют развитие корней, отрицательно действуют на физико-химическое состояние плазмы клеток корня и на их проницаемость и снижают поглощение корнями элементов питания, особенно фосфора. Токсичность марганца – серьезная проблема в кислых почвах при выращивании культур закрытого грунта, поскольку при пропаривании почв резко возрастает концентрация растворимого и обменного марганца в результате его восстановления нагретым органическим веществом почв, кроме того, он, в отличие от алюминия, способен накапливаться в растениях. Известкование почвы увеличивает концентрацию кальция в растворе и нейтрализует вредное влияние кислотности, восстанавливая механизм поглощения ионов.

Растения наиболее чувствительны к кислотности почвы в начальный период роста, сразу же после прорастания. В более поздние сроки они сравнительно легко переносят кислую реакцию. *Реакция почвенного раствора* оказывает большое влияние на численность микрофлоры в почве и на их групповой и видовой состав, а через них на режим питания зеленых растений.

На какие группы делятся растения по отношению к реакции почвенного раствора?

Различные виды растений имеют неодинаковый интервал оптимальных значений pH. В зависимости от отношения к реакции почвенного раствора растения делят на следующие группы:

- *Ацидофильные* – индикаторы кислых почв. Это прежде всего растения верховых болот (сфагнум, багульник болотный, мирт болотный, клюква болотная, голубика), влажных и кислых лугов и хвойных лесов (луговик извилистый, белоус, вереск, брусника, черника, щавелек).
- *Индикаторы нейтральных* и близких к ним почв. Это наиболее ценные в кормовом отношении злаки и бобовые поемных лугов (овсяница луговая, овсяница красная, тимофеевка луговая, трясунка, клевер луговой, клевер горный, люцерна серповидная, борщевик сибирский, тмин, и др.).
- *Базифильные растения* – индикаторы щелочных почв (*кальцефилы*), это растения известняков и меловых обнажений, большинство растений сухих степей и пустынь. В лесостепи и южной части лесной зоны к ним относятся сон-трава, ветреница дубравная, мордовник и др.
- *Индифферентные растения* – ландыш майский.

Древесные растения, так же как и мхи, и травянистые растения, по-разному относятся к кислотности почв: дуб обыкновенный предпочитает нейтральные и щелочные почвы, а ель обыкновенная – умеренно кислые. Культурные растения тоже по-разному относятся к почвенной кислотности (табл.3).

Какова потребность растений в зольных элементах и азоте?

Растения в разной мере поглощают из почвенного раствора микро- и макроэлементы. Соли некоторых микроэлементов находятся в почвенном растворе в столь незначительных количествах, что их с трудом удастся обнаружить химическими анализами, но некоторые растения способны извлекать и накапливать их в своих органах. Так, лютиковые и сложноцветные содержат повышенные количества лития, астрагалы накапливают селен, хвоя ели и пихты – марганец, плауны – реакции почвенного раствора алюминий, свекла и картофель – калий, листовница – магний. У видов семейства капустных и зонтичных серы в 5-10 раз больше, чем у других семейств. Количество того или иного элемента в растении зависит от его

избирательной и поглотительной способности и от количества данного элемента в почве. Растения предъявляют разные требования к богатству почв питательными элементами и азотом. Древесные породы поглощают из почвы минеральных веществ в 10-15 раз меньше, чем травянистые.

Деревья поглощают очень мало фосфора и калия, поэтому леса могут расти на очень бедных почвах, на которых сельскохозяйственные культуры без дополнительного внесения удобрений произрастать не могут. Особенно малотребовательна к богатству почв сосна обыкновенная, она способна расти на самых бедных элементами питания песках и торфяниках верховых болот. Однако лесная растительность создает гораздо большее количество органического вещества, чем травянистые БГЦ.

Потребность растений в питательных элементах с возрастом изменяется. Древесные породы потребляют максимум зольных элементов и азота в молодом возрасте, когда идет их усиленный рост. Хлебные злаки – в период кущения, выхода в трубку и наливания зерна, кормовые травы – перед цветением и в период цветения.

Таблица 3

Группы сельскохозяйственных культур по отношению
к почвенной кислотности

Группа растений	Оптимальные значения pH	Представители	Отзывчивость на известкование
Наиболее чувствительны к кислотности	7,0-8,0	Хлопчатник, люцерна, свекла, конопля, капуста	Сильно отзывчивы на известкование даже на слабокислых почвах
Чувствительны к повышенной кислотности	6,0-7,0	Ячмень, яровая и озимая пшеница, кукуруза, соя, фасоль, горох, кормовые бобы, клевер, подсолнечник, огурцы, лук, салат	Хорошо отзываются на известкование не только сильнокислых, но и среднекислых почв. На известкованных почвах урожайность этих культур значительно повышается
Слабочувствительны к повышенной кислотности	5,5-6,0	Рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, томат, редис, морковь Лен и картофель	Положительно реагируют на известкование полными нормами сильно- и среднекислых почв. Нуждаются в известковании только на сильнокислых почвах
Нечувствительны к повышенной кислотности	4,5-5,0	Люпин синий и желтый, чайный куст	Отрицательно реагируют на повышенные нормы извести

На какие группы делятся растения по отношению к почвенному плодородию?

По отношению к богатству почв (плодородию) растения распределяются следующим образом:

1. *Эвтрофные* – растения, произрастающие на богатых почвах. Это растения черноземных степей, а из древесных – ясень обыкновенный, клен платановидный, клен равнинный, дуб обыкновенный. Почвы близ поселков, на замусоренных местах и пустырях, как правило, богаты органическим веществом и минеральными солями и являются местообитанием *рудеральных растений*, которым требуется высокое плодородие почв. Это многие виды маревых, лебеда, амарант, мать-и-мачеха, крапивы жгучая и двудомная, бузина черная, яснотка белая, паслен черный, полыни обыкновенная и черная, хрен обыкновенный.
2. *Олиготрофные* – растения, мало требовательные к богатству почв. Это вереск обыкновенный, осока верещатниковая, растения сфагновых болот, сосна обыкновенная.
3. *Мезотрофные* – растения, умеренно требовательные к богатству почв. Это большинство луговых и лесных растений.

Каково экологическое значение важнейших макроэлементов для растений?

Азот входит в состав всех белков и нуклеиновых кислот, в состав гормонов, стимулирующих рост и развитие растений и обмен веществ, является основной частью хлорофилла. Содержание азота в почве зависит в основном от богатства ее гумусом, постепенная минерализация которого способствует превращению органического азота в доступные для растений нитраты и соли аммония. Кроме того, азот связывают и переводят в доступные соединения азотфиксирующие микроорганизмы. Валовое содержание в почве 0,05-0,5%. Наиболее требовательны к азоту *растения-нитрофилы*, их хороший рост указывает на богатство почв нитратами. Это лучшие луговые кормовые злаки, табак, крапива двудомная, малина, хмель, иван-чай. К *нитрофобам* относятся все виды люпина, другие бобовые безразличны к нитратам.

Недостаток азота связан с подавлением деятельности почвенных микроорганизмов, из-за низких или слишком высоких температур высокой кислотности и плохой аэрации почвы, избыточного увлажнения. Признаки азотного голодания: тонкие стебли, листья мелкие, грубые, волокнистые, светлые в молодом возрасте, по мере старения приобретающие желтую, красную или пурпуровую окраску, рост и кущение растения слабые. На лугах при недостатке азота количество злаков в травостое уменьшается, а бобовых возрастает. При недостатке азота необходимо его внесение ранней весной, поскольку он стимулирует рост вегетативных органов. *Избыток азота* приводит к формированию у растений крупных тонкостенных сильно обводненных листьев, неустойчивых к заморозкам, которые легко повреждаются вредителями. У зерновых запаздывает период цветения и со-

зревания зерна, рост вегетативной массы идет за счет урожая зерна. У сахарной свеклы усиливается рост листьев, но снижается количество сахара в корнях.

Фосфор играет основную роль во многих ферментных реакциях, в процессе фотосинтеза и метаболизме растений, входит в состав нуклеиновых соединений и необходим для образования меристем. Важнейший аккумулятор энергии – АТФ (аденозинтрифосфат). В почвах содержится в виде органических фосфатов в составе гумуса, фосфатов кальция и полуторных окислов. Валовое содержание 0,1-0,2% (P_2O_5). Причиной недостатка доступного растениям фосфора в почве является его низкая растворимость. Содержание усвояемых фосфатов в почвах составляет около 5-10% от общего фосфора.

При недостатке фосфора у растений слабо развиты вегетативные органы: стебель, листья, корни. Стебли тонкие, тусклой серовато-зеленой окраски, листья имеют бронзовый или пурпурный оттенок. Снижается интенсивность кущения и число плодоносящих побегов. Многие признаки угнетения при недостатке азота и фосфора совпадают, но выявить недостаток фосфора труднее, часто бывает невозможным его устранить в текущем году, поскольку поздняя подкормка фосфором не эффективна. Фосфорные удобрения необходимо вносить ранней весной или осенью.

Калий играет большую роль в синтезе аминокислот и протеинов, важен в процессе фотосинтеза. Увеличивает количество сахара в корнеплодах сахарной свеклы и крахмала в клубнях картофеля. К содержанию калия требовательны плодово-ягодные культуры (яблоня, смородина, крыжовник), табак, гречиха, подсолнечник, виноград. *Недостаток калия* вызывает омертвление краевой части зеленых листьев, преждевременное отмирание нижних листьев. Снижается устойчивость растений к низким температурам и заболеваниям.

Валовое содержание калия в почвах около 2% (K_2O). Почвенный калий подразделяют на *необменный*, *обменный* (1-2% от валового) и *водорастворимый*, последние две формы доступны растениям. При использовании растениями обменного калия под влиянием корневых выделений незначительная часть необменного калия способна переходить в обменную форму. Больше всего калия находится в полевых шпатах, микроклине, ортоклазе, слюдах (биотит, мусковит) (фракции песка и пыли). Калий вносят в почву ранней весной, при высоких дозах азота и фосфора необходимы и повышенные дозы калия. Необходимо также учитывать, что ионы аммония и калия являются антагонистами, поэтому важно правильно выбрать формы и сроки внесения удобрений. Известкование также способствует снижению подвижности ионов калия в почвенном растворе, поэтому одновременно с ним желательно вносить дополнительные дозы калийных удобрений.

Кальций входит в состав клеточных стенок растений, регулирует кислотно-щелочное равновесие в растении и потребление им воды, переводит в безвредное состояние образующуюся в растениях щавелевую ки-

слоту. Способствует синтезу хлорофилла и белков, хорошему развитию корневой системы. Недостаток приводит к недоразвитости корней, задержке формирования листьев, их пожелтению и отмиранию, к нарушению обмена веществ. Избыток снижает поглощения растениями калия, магния, бора.

Магний – составная часть хлорофилла и компонент рибосом. Играет важную роль в перемещении фосфатов в растении, усиливает активность ферментов в растении и влияет на окислительно-восстановительные процессы. При недостатке на листьях появляются желто-белесые пятна, начинается отмирание нижних листьев. Недостаток часто выявляется на кислых почвах, при чрезмерном внесении калийных удобрений на плодовых плантациях, под картофелем и свеклой. В таких случаях необходимо вносить доломитовую муку.

Натрий. Избыток его вреден для большинства растений, но в засушливых районах он способствует накоплению и удержанию воды в клетках растений, увеличению их мясистости и засухоустойчивости.

Железо играет важную роль в процессе фиксации клубеньковыми бактериями азота. Биокатализатор, принимает участие в образовании хлорофилла. При его недостатке на плодовых деревьях, винограде, декоративных деревьях и кустарниках развивается характерное заболевание – *хлороз* (появляются листья с бледно-желтой или даже пурпуровой окраской). Чаще всего это связано с избытком извести, причем такой хлороз вызывает наиболее глубокие и трудноустраняемые нарушения обмена веществ в растениях. От недостатка железа страдают бобовые, злаки, хвойные и др. Щелочная реакция среды усиливает гидролиз и способствует осаждению из почвенного раствора железа, цинка, меди, кобальта, марганца и других элементов питания, снижая их доступность растениям. В таком случае в почву вносят навоз и различные компосты.

Каково экологическое значение важнейших микроэлементов для растений?

Марганец – необходим для фотосинтеза и дыхания растений. Принимает участие в синтезе аминокислот, протеинов, витаминов, регулирует окислительно-восстановительные процессы, влияет на азотный обмен растений. Недостаток вызывается чрезмерным известкованием. Особенно чувствительны плодовые деревья, овес, свекла. Излишек в кислых почвах отрицательно влияет на рост и развитие растений.

Бор способствует увеличению содержания хлорофилла, стимулирует фотосинтез, играет важную роль в нуклеиновом обмене, повышает активность многих ферментов. Недостаток вызывает различные анатомические и функциональные нарушения и гибель растения. Отмирают кончики корней, конусы нарастания побегов, не раскрываются бутоны. Борное голодание чаще всего наступает не потому, что бора нет в почве, а из-за его недоступности на сильноизвесткованных почвах при их иссушении. Вносят в виде буры или борного суперфосфата, борогипса.

Цинк стимулирует дыхание и входит в состав многих ферментов. Усиливает ферментативную деятельность семян, катализирует многие реакции. Наиболее чувствительны к недостатку цинка яблони, груши, цитрусовые, кукуруза, у них снижаются активность и скорость биосинтеза нуклеиновых кислот, при этом в тканях растений накапливается излишнее количество железа. В таких случаях необходимо вносить навоз. Многие сорняки способны накапливать в своих тканях повышенное содержание цинка, поэтому в США при подготовке почвы под кукурузу сначала допускают развитие сорняков, а затем запахивают их в качестве зеленого удобрения.

Медь входит в состав ряда окислительных ферментов, влияет на азотный и углеводный обмен растений, участвует в синтезе хлорофилла. Регулирует окислительно-восстановительные реакции растений, оказывает положительное влияние на засухоустойчивость и морозоустойчивость растений. От наличия меди зависит усвояемость растениями фосфора, кальция и железа. Недостаток вызывает побеление листьев, злаки при этом кустятся, но не образуют зерна. Внесение медных удобрений обязательно на осушенных торфяниках.

Кобальт усиливает устойчивость хлорофилла, способствует увеличению листовой поверхности растений, повышает активность некоторых ферментов, принимает участие в азотном и углеводном обмене, стимулирует синтез витамина В₁₂. Особенно необходим зерновым и бобовым культурам. Повышает урожай картофеля и содержание в нем крахмала. Излишек кобальта замедляет рост и развитие растений, вызывает хлороз листьев.

Молибден активизирует процессы фиксации молекулярного азота клубеньковыми бактериями бобовых, участвует в синтезе и передвижении углеводов, образовании хлорофилла. Является антагонистом алюминия на кислых почвах.

Какие растения называют индикаторами?

Поскольку растения находятся в прямой зависимости от условий среды обитания, то они могут быть использованы как надежные индикаторы различных ее параметров. Для специалистов лесного и сельского хозяйства *растения – индикаторы* имеют огромную ценность. С их помощью можно быстро сделать вывод о свойствах почвы: плодородии, засоленности, влажности и кислотности.

Так, для лесной зоны кислица указывает на условия увлажнения, близкие к оптимальным и значительное богатство почв питательными минеральными веществами; черника – на несколько избыточное увлажнение и некоторый дефицит элементов минерального питания; брусника – на дефицит увлажнения и почвенного плодородия; мхи (кукушкин лён и сфагнум) – на чрезмерно избыточное увлажнение, дефицит минеральных веществ, недостаток кислорода для дыхания корней и наличие процессов

торфообразования. Естественно, за таким грубым определением должно следовать более тщательное исследование почвы.

Для зоны полупустынь и пустынь наличие тростника указывает на то, что грунтовые воды залегают на глубине до 1,5 м, а если в составе растительности преобладает раскидистая полынь, то на глубине 3-5 м. Наличие пышно развитого донника свидетельствует о пресных грунтовых водах, а полыни белой, верблюжьей колючки и прутняка – о соленых.

Что такое геологическая фитоиндикация?

Геологическая фитоиндикация – это метод, позволяющий определять геохимические провинции и металлоносные участки по видам, приуроченным к породам и почвам специфической минерализации.

Растения, способные концентрировать в повышенном количестве определенные металлы, называют *металлофитами*. Например, степные злаки концентрируют никель, а полынь холодная – вольфрам, фиалка желтая и ярутка приальпийская – цинк, а астрагал – селен, некоторые виды мхов и минуарция весенняя – медь, а некоторые папоротники – магний, качим ползучий – бор, а седмичник – олово, наперстянка, чилим, зостера – марганец. Но растениями-индикаторами служат лишь те растения, которые способны концентрировать в своем теле определенные элементы только в пределах геохимического поля, либо нечувствительны к токсичности этого металла.

В золе большинства растений рудных месторождений обнаруживается повышенное содержание определенных металлов. Поэтому по содержанию золы можно очерчивать контуры если не самого месторождения, то ореола рассеяния продуктов выветривания минерализованной породы. В качестве материала для зольного анализа отбираются листья и молодые ветки деревьев, желательны с глубокой корневой системой.

Биогеохимический метод индикации рудных месторождений неоднократно применялся при поисках железа, никеля, кобальта, меди, цинка, и др. Пользуясь им, можно очерчивать контуры месторождений, находящихся неглубоко от дневной поверхности (20-30 м).

Избыток в почве определенных металлов вызывает значительные хорошо заметные изменения во внешнем виде и ритме развития растений, что тоже сможет служить признаками присутствия некоторых элементов. Меняется характерная окраска цветов и листьев. При повышенных концентрациях цинка окраска венчика цветов становится лимонно-желтой, марганца – розовой, меди – голубой. Возможно появление карликовых форм растительности. При избытке или недостатке в почве некоторых металлов часто развиваются специфические болезни.

Универсальными индикаторами называют растения, которые в своем распространении приурочены исключительно к горным породам и почвам с определенной минерализацией и не встречаются в иных условиях. Это наиболее четкие индикаторы, но их количество крайне ограничено. На-

пример, фиалка желтая и ярутка приальпийская указывают на цинк, астрагал на селен и т.д.

Локальными индикаторами называют обычные широко распространенные растения, которые в локальных условиях могут указывать на определенные свойства почв и пород. Например, широко распространенный в России седмичник в Богемии является показателем пород, содержащих олово. Недостатком этого метода является то, что закономерности, полученные для одного района нельзя автоматически переносить на другой.

Как засоленность почв влияет на экологические особенности растений?

Растения, приуроченные к засоленным почвам, называют *галофитами*. Они распространены не только в пустынях и полупустынях, но и довольно обычны по засоленным берегам морей, соленых озер и в других подобных местах. Засоленные почвы широко распространены на юго-востоке европейской части России и в южной Сибири. В сухом и жарком климате вследствие недостаточного количества осадков легкорастворимые соли слабо вымываются их почвы, а восходящие токи засоленных грунтовых вод увеличивают их концентрацию в почве.

Для *солончаков* характерно засоление с поверхности почвы, они имеют наибольшую концентрацию солей в почвенном растворе. Обычно встречаются по берегам морей и в полупустынях. Солончаковые почвы —

переходные от солонцов к незасоленным почвам, в период дождей легкорастворимые соли вымываются из них. У *солонцов* засоление начинается не с поверхности, а глубже, их иллювиальный горизонт насыщен легкорастворимыми солями. Солонцеватые почвы имеют незначительное засоление нижних горизонтов.

Основные признаки галофитов: способность к выделению излишних солей, солеемкость, мясистость. Эти растения накапливают в клеточном соке много легкорастворимых солей, за счет которых развивают высокое осмотическое давление и легко переносят засуху. Зольность их достигает 46-54%. Типичными являются мясистые солянки, солерос европейский, сарсазан, кохия, курай русский,

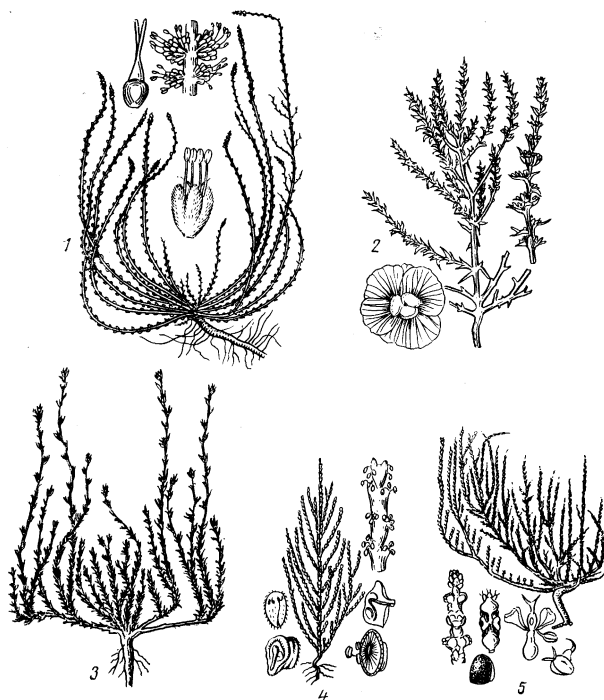


Рис.8. Солянки: 1 — камфора Лессинга; 2 — курай русский; 3 — кохия; 4 — солерос; 5 — сарсазан (по И.Ф. Голубеву)

камфора Лессинга, полынь солончаковая, кермек каспийский, пырей солончаковый.

Органы растений солонцов имеют ксероморфное строение: суховатые, жесткие с опушенными листьями, иногда серо- или бело-войлочные, у многих пластинки листьев рассечены на мелкие доли. В сухое и жаркое время они развивают высокое осмотическое давление. Содержат в своих органах 5-7% золы. Типичными галофитами являются лебеда бородавчатая, кермек опушенный, тамарикс, прибрежница морская. Из древесных – саксаул черный, лох узколистный, акация белая.

Как карбонатность почв влияет на экологические особенности растений?

Карбонатные почвы развиваются на продуктах выветривания известняков или на наносах, сильно обогащенных обломочным известковым материалом. Эти почвы обычно имеют нейтральную или слабощелочную среду, хорошо оструктурены и гумусированы, богаты зольными элементами. Карбонатами обогащены некоторые пойменные и серые лесные почвы, черноземы. Типичными растениями для этих почв являются *кальциефилы*: большинство степных растений, астра ромашковая, ветреница, василек русский, мордовник обыкновенный, норичник меловой, бедренец известколюбивый, тимьян меловой, полынь беловойлочная, левкой душистый, бук, лиственница сибирская, ясень обыкновенный.

Как заболачивание и оглеение почв влияют на экологические особенности растений?

Особенностью болотообразовательного процесса является накопление в почве органического вещества в форме торфа и оглеение минеральной части почвы, выше которой и нарастает торф. Схема процесса заболачивания сводится к следующему: застойная вода заполняет поры почвы и создает условия анаэробнозиса, при этом резко активизируют свою деятельность анаэробные микроорганизмы. Окисные соединения железа (Fe^{+3}) заменяются на закисные (Fe^{+2}), вся минеральная часть почвы приобретает сизую окраску с охристыми пятнами. В верхних слоях почвы накапливается органическое вещество и отлагается в виде торфа, в почве уменьшается запас зольных элементов. В зависимости от стадии развития болота в торфах содержится неодинаковое количество элементов питания, что вызывает изменения в составе растительности. Более требовательные к плодородию виды сменяются менее требовательными в такой последовательности: {мелкие осоки с ивой, ольхой, березой} → {средние и крупные осоки} → {сфагновые мхи с кустарниками и сосной} [5].

Корневая система растений верховых болот практически не соприкасается с минеральным грунтом, и растения получают большую часть питательных веществ в виде оседающей пыли. На болотах преобладают корневищные растения, корневища которых растут вертикально вверх или наклонно, чтобы верхушка была вынесена на поверхность сфагнового ковра.

Наиболее типичными представителями флоры болот являются болотные ивы, кедр сибирский, лиственница даурская, береза пушистая и кустарниковые формы: багульник болотный, подбел, белолистник, мирт болотный, голубика, клюква. Многие из них имеют придаточные корни, старые же корневища, погруженные в мох со временем отмирают. Деревья сфагновых болот – сосна, осина – хоть и неприхотливы и малотребовательны, имеют угнетенный вид, так как их глубоко погруженные корни, попадая в холодные и бедные кислородом слои торфа, плохо растут и быстро отмирают. Кроме того, сфагновые мхи сильно подкисляют субстрат.

подавляющее большинство растений болот – типичные *олиготрофы* (малотребовательны к питательным веществам) и *ацидофилы* (любители кислых почв). Все они приспособлены к жизни на болоте. Восковница обыкновенная вступает в симбиоз с бактериями, которые скапливаются на ее корнях, снабжая хозяйку дополнительным азотом. Пушица многоколосковая образует в корнях и основаниях листьев большие воздухоносные клетки. Все представители семейства вересковых (клюква, вереск, багульник, брусника, подбел, голубика и др.) имеют ксероморфные черты строения, позволяющие им существовать в условиях "физиологической сухости", и развитые корневища, с помощью которых они могут выносить свои живые части на поверхность сфагнового ковра. Недостаток элементов минерального питания обуславливает переход некоторых высших растений к *насекомоядности* (росянка, венерина мухоловка). Свои высокие потребности в азоте, фосфоре и калии они удовлетворяют за счет насекомых.

III. СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ РОЛЬ В ЖИЗНИ ЖИВОТНЫХ

На какие группы делят почвенных животных?

По тому, в каком качестве животные используют почву как среду обитания, их разделяют на 3 основные группы:

1. *Геобионты* – те, кто проводит в почве всю свою жизнь:

- *геогидробионты* – обитают в пленках воды, обволакивающих почвенные частицы (коловратки, тихоходки, круглые черви). Для них характерна уплощенная или удлинённая форма, мелкие размеры. Дышат растворённым в воде кислородом и при недостатке влаги образуют цисты с прочными защитными стенками;
- *геоатмобии* – дышат кислородом воздуха (насекомые, пауки, рептилии, ракообразные, многоножки, моллюски, амфибии, млекопитающие);

2. *Геофилы* – те, кто связан с почвой часть жизненного пути (личинки насекомых, и т.д.).

3. *Геоксены* – те, кто использует почву в качестве убежища (сурки, лисы, суслики, хомяки, байбаки, птицы-норники).

По характеру питания среди них различают: хищников, паразитов, некрофагов (питаются трупами животных), сапрофагов (питаются разла-

гающимися остатками растений), фитофагов (потребителей живых тканей растений).

Какую работу выполняют почвенные животные?

Обитатели почвы в результате своей жизнедеятельности производят огромную почвообразовательную работу:

- смешивают между собой ее различные слои;
- уносят на глубину органические вещества;
- Механически разрушают растительные ткани (особенно корни);
- разлагают и минерализуют лиственный опад и отмершие организмы;
- выделяют биологически активные вещества, стимулируя рост микроорганизмов и корней растений;
- прокладывая ходы, улучшают температурный, водный, газовый и солевой состав почвы;
- изменяют гранулометрический состав почв.

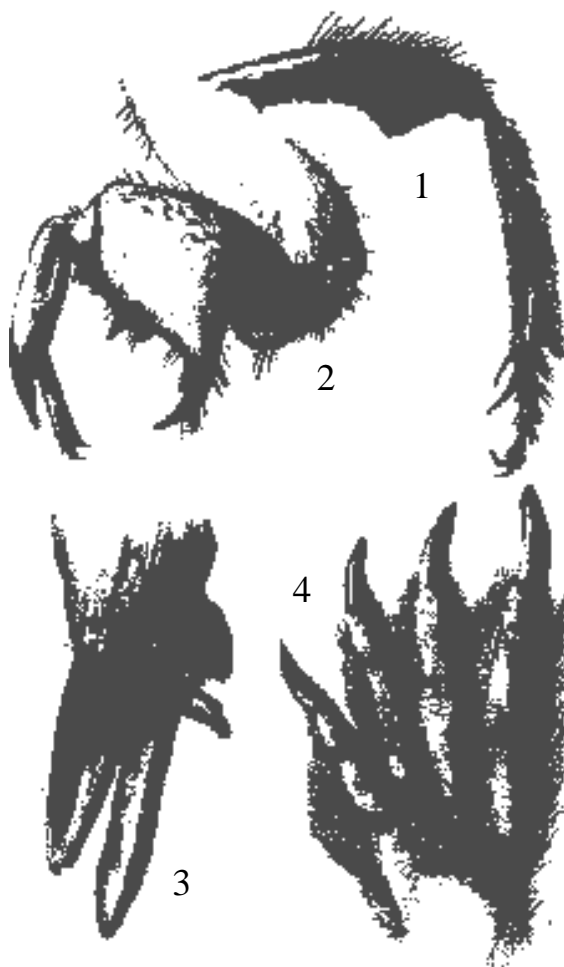


Рис. 9. Собственные «инструменты» почвенных животных: 1 – задняя нога скарабея служит скребком, 2 – передняя нога личинки певчей цикады, действует как кирка и ножницы, 3 – преобразованная в лопату передняя лапа трубкалза, 4 – передняя лапа златокрота с когтями для копания (по М.Фройде)

В чем смысл роющей деятельности животных?

Суть всей роющей деятельности животных сводится к перемещению материала из нижних горизонтов на поверхность, затаскиванию вглубь растительных остатков и гумусного поверхностного слоя, изменению химического состава и структуры почвенного покрова. В наиболее благоприятных условиях почвенные животные способны перерабатывать на 1 га до 225 т почвенной массы в год, полностью перемешивая поверхностный корнеобитаемый слой примерно за 20 лет.

Каким образом жизнь в почве влияет на физиологию и образ жизни животных?

Эволюция животных тесно связана с почвой и ее влажностью. У почвенных животных водные предки, и почва является промежуточной

средой, через которую животные заселяли сушу. В почве, как и в водоемах, возможно питание разлагающимися остатками организмов, но почва, как и атмосфера, позволяет дышать не растворенным, а газообразным кислородом без существенной потери влаги. По физиологическим особеннос-

Таблица 4

Способы передвижения почвенных животных

Передвижение почвенных животных			
пассивное	активное		
Характерно для геогидробионтов (коловраток, тихоходок, круглых червей - нематод) с уплощенной или удлиненой формой тела и очень мелкими размерами	Животные используют естественные скважины, ходы и полости	Животные сами прокладывают ходы	
	<i>Движение по естественным скважинам аналогично передвижению по поверхности субстрата.</i> Характерно для мелких членистоногих с размерами тела 0,1-1мм (черви и многоножки) и животных, длина тела которых намного больше ширины, способной изменяться (дл. 150мм, ш. 2 мм) (клещи, ногохвостки, мелкие насекомые, личинки). В плотных, слабо оструктуренных тяжелых почвах, численность мала	<i>Раздвигают почвенные частицы, как бы вклиниваясь в них.</i> Животное фиксирует задний конец тела в ходе, выносит передний конец тела вперед и как бы ввинчивает его в почву, затем закрепляет на новом рубеже передний конец тела и подтягивает вперед заднюю часть. Такое движение возможно только в рыхлой почве, причем позади остается ход, по которому животное могут настичь хищники. Этим способом передвигаются дождевые черви, личинки многих двукрылых, многоножки	<i>Измельчают почву, используя приспособления для рыхления и отгребания почвы и для закупоривания хода.</i> Личинки многих насекомых, мокрицы, щелкуны, жужелицы имеют зубцы или выросты на заднем конце тела, которыми личинка упирается в стенки хода. На заднем конце тела образуются особая площадка, «тачка», с помощью которой личинка затыкает ход измельченной землей. Подвижное сочленение сегментов позволяет изменять длину тела. Кроты работают передними лапами, слепушонки – задними, слепыши роют ход зубами. Могут продвигаться и по проложенным ранее чужим ходам

тям многие почвенные организмы занимают промежуточное положение между водными животными и обитателями открытой поверхности суши. Через покровы обитателей почвы могут проникать вода, газы и ионы (как у водных обитателей), но в то же время они способны к воздушному дыханию (как все сухопутные животные) [9].

Жизнь в плотном субстрате оказывает влияние и на способы передвижения животных в почве. Иногда животные, относящиеся к разным

типам, имеют похожие органы передвижения. Так передние роющие конечности медведки (насекомое) и крота (млекопитающее) имеют большое сходство.

Что такое зоологический метод диагностики почв?

Приспособленность многих почвообитающих животных к определенным почвам дает возможность судить о свойствах и особенностях среды обитания. В зоологическом методе диагностики почв особое место принадлежит крупным беспозвоночным, это особо точные и ценные индикаторы. Поскольку они малоподвижны, ареал их распространения ограничен и целиком зависит от окружающей их среды. Наличие тех или иных видов, их количество, плотность популяции – все это помогает определить свойства почвы, составить ее характеристику.

Зоологический метод диагностики почв основывается на положении, что каждый вид в пределах области своего распространения встречается только там, где природные условия отвечают его физиологическим требованиям. Его жизнедеятельность зависит от температуры, влажности, содержания солей, гранулометрического состава и структуры почвы, а сумма этих условий жизни составляет – *экологический стандарт вида*. Чем он уже, тем выше его ценность как индикатора. В большинстве случаев виды в центре той области, где они обитают, более многочисленны и обычно заселяют более разнообразные места, чем на периферии, а у границ ареала вид встречается редко – только там, где микроклимат близок к средним климатическим условиям области массового распространения вида. К таким условиям относится, в первую очередь, водный и тепловой режимы почвы, к которым почвенные беспозвоночные очень чувствительны. Почвенные животные на равнинах европейской части России в центре ареала умеренно влаголюбивы, у северных границ – сухолюбивы, а у южных – влаголюбивы. Так, личинка июньского хруща встречается в лесостепной зоне в различных почвах. На севере (в лесной зоне) она предпочитает южные склоны, где почвы песчаные или известняковые, а на юге (в сухой степи) – северные склоны, с тяжелыми почвами и берега рек.

Почвенно-экологический метод дает возможность заметить, в каком направлении идет почвообразование, еще на той стадии, когда с помощью инструментальных и химических методов сделать это еще невозможно.

Какие животные являются обитателями почвы?

Простейшие. В почвах встречаются 3 группы простейших – корнежки (амебы), жгутиконосцы, инфузории. Количество амеб и жгутиконосцев достигают 10^3 - 10^6 особей в 1 г влажной почвы, инфузорий 10^3 , раковинных амеб – 10^4 , но биомасса их может достигать 1-10 г на 1 м^2 (в слое 0,5 см). Популяция простейших обновляется в почве за 1-3 дня, а в год бывает 50-300 генераций. Основной пищей являются бактерии. В процессе жизнедеятельности выделяют биологически активные вещества, стимулируют рост микроорганизмов и корней растений, повышают всхо-

жесть семян, подавляют активность патогенных грибов, служат пищей для других организмов. При неблагоприятных условиях переходят в состояние покоя, образуя цисты, в форме которых разносятся ветром на огромные расстояния.

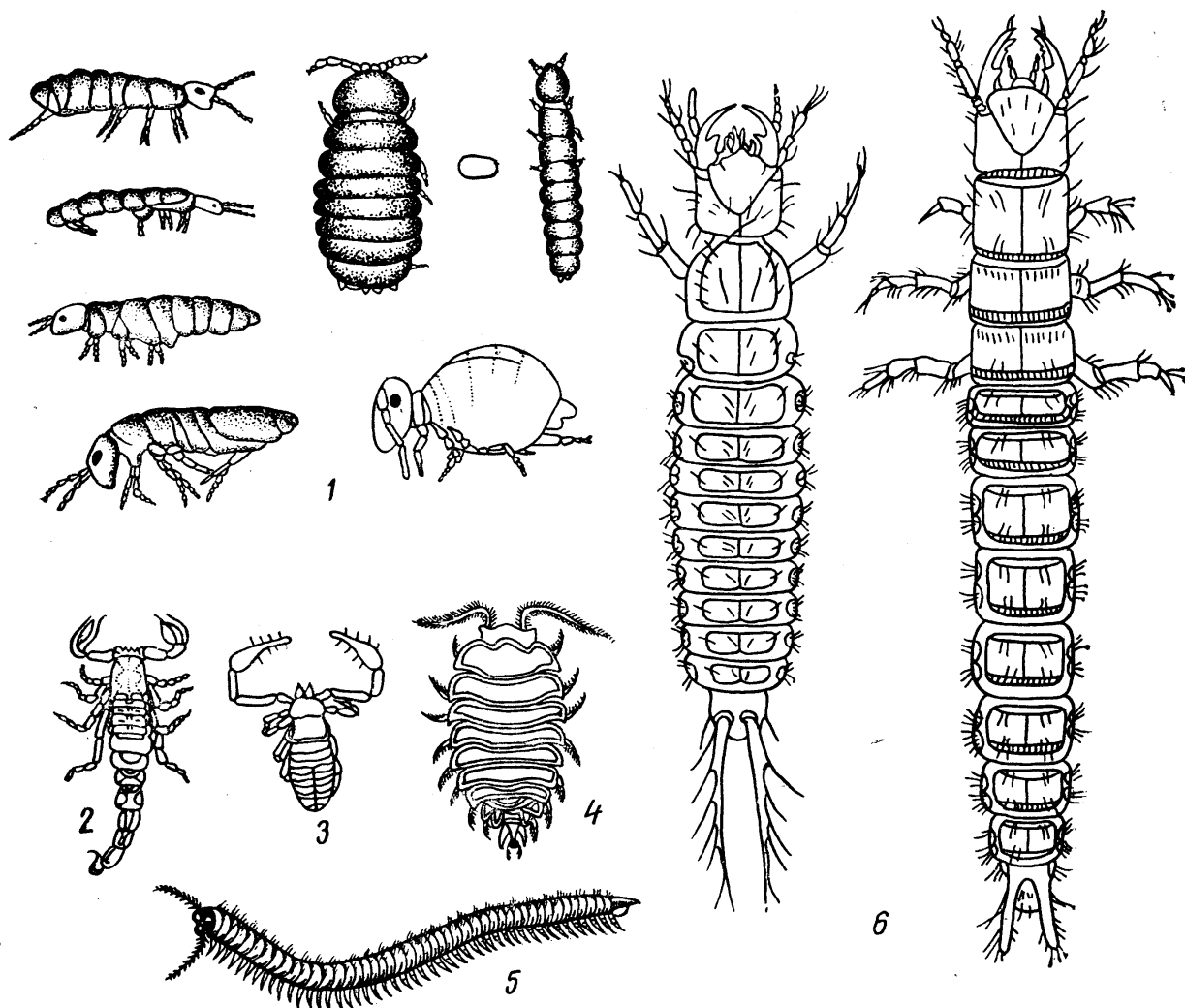


Рис.10. Мелкие беспозвоночные организмы, встречающиеся в лесной подстилке и почве (увеличено): 1 – ногохвостки, 2 – скорпион, 3 – ложный скорпион, 4 – мокрица, 5 – кивсяк, 6 – хищные личинки жуков-жужелиц (по И.Ф. Голубеву)

Нематоды. Тип круглых червей. Обитают в тонких пленках воды, на гниющем субстрате, паразитируют на растениях. Численность может достигать до 50 млн на 1 м². Длина не превышает 1 мм. Насчитывают около 2 тыс. видов почвенных нематод. Питаются гниющими останками животных, разлагающимися и живыми тканями растений, почвенной микрофлорой. Ежедневно могут поедать количество бактерий, превосходящее их собственную массу в 10 раз. Участвуют в процессе разложения органических остатков, регулируют микрофлору, механически разрушают растительные ткани (особенно корни). Многие являются вредителями культурных растений. Устойчивы к воздействию неблагоприятных физических и химических факторов.

Энхитреиды. Мелкие белые кольчатые черви длиной 5-30 мм, обитают в местах, богатых разлагающимся органическим веществом. Численность – 85-250 тыс. на 1 га с биомассой 0,3-30 г. Перерабатывают органическое вещество, способствуют накоплению гумуса, очищают сточные воды. Совершая миграции в почве, прокладывают ходы, улучшают водный и воздушный обмены почвы, способствуют перемешиванию поверхностных (до 20-30 см) слоев. Широко распространены в северных районах. Питаются экскрементами дождевых червей, которые, в свою очередь, едят экскременты энхитреид. Гермафродиты, скорость их развития зависит от температуры. Различают энхитреид подстилки, гумусового слоя и минеральной толщи [2].



Рис. 11. Земляная башенка из выбросов червей на полях Индии (по рисунку Ч.Дарвина)

Дождевые черви. В России выявлено 100 видов из 3 семейств. При благоприятных условиях численность может достигать 500-800 особей на 1 м³, а биомасса равна 290 г. Наименьшая численность отмечается в кислых почвах, отсутствуют лишь в сухих жарких районах. Устойчивы к изменению среды, являются хорошим биоиндикатором при исследовании радиоактивных загрязнений. Прокладывают в земле огромное количество ходов, затаскивают внутрь растительные остатки, выбрасывают на поверхность почву из глубоких слоев. В процессе пищеварения происходит разложение клетчатки, минерализация растительных тканей и интенсивное образование гумусовых веществ. Черви пропускают через кишечник все растительные остатки, превращая их в капролиты – черноземообразную массу, очень плодородную, практически без запаха, в которой содержится много гуминовых кислот. Стимулируют развитие ряда групп микроорга-

низмов, численность которых в экскрементах значительно выше, чем в почве. Поэтому почва насыщается ферментами, что активизирует ряд важных элементов питания и обогащает почвы витаминами группы В. Различают обитателей подстилки и обитателей глубоких слоев почвы. Являются пищей кротов, мышей, землероек, птиц, лягушек, хищных многоножек, насекомых.

Тихоходки. Обитатели влажных почв и мхов. Имеют 4 пары нечленистых ножек с коготками, короткое уплощенное тело 0,2-0,3 мм. Способны быстро впадать в анабиоз и в таком состоянии переносить сильные физические воздействия: в течение 20 месяцев выдерживают температуру -190°С, спокойно переносят облучение высокими дозами рентгеновских, гамма- и ультрафиолетовых лучей и высокие концентрации кислот. Питаются содержимым растительных клеток, мелкими животными. Выявлены в самых разных почвах планеты.

Клещи. Встречаются повсеместно, особенно многочисленны панцирные клещи (*орбатида*). Численность их в лесах с мощной подстилкой достигает 200-300 тыс. на м² при биомассе до 20 кг/га. Численность и биомасса клещей зависят от обилия растительных останков в почве, ее увлажнения, величины радиационного баланса. В тайге на единицу площади биомасса панцирных клещей превышает биомассу птиц и млекопитающих вместе взятых. Чистая биомасса их вдвое выше, чем у грызунов, в 6,5 раза выше, чем у птиц и в 3 раза выше, чем у муравьев. Многие – вредители, питаются соками и тканями культурных растений. Клещи являются первыми потребителями свежего растительного опада, вносят заметный вклад в интенсификацию круговорота веществ, распространяют споры грибов, простейших, что особенно важно для нижних горизонтов почв.

Пауки. Широко распространены по всем зонам, более многочисленны на пастбищах, чем на пашнях. В почвах строят различного типа убежища: от простых углублений до глубоких сложно устроенных нор. Хищники, многие ядовиты (пауки, сенокосцы, скорпионы).

Мокрицы – равноногие ракообразные широколиственных лесов и пустынных сероземов, являются активными преобразователями органического материала. Сапрофаги, потребляют листовую опад и древесину, концентрируются в гумусном слое. Очень нуждаются в кальции (для постройки панциря) и меди (входит в состав дыхательного пигмента).

Многоножки. Это 4 самостоятельных класса трахейнодышащих членистоногих животных. Мелкие имеют размеры до нескольких миллиметров, крупные (кивсяки) – до 10-17 см, имеют по две пары ног на всех члениках тела. Питаются мертвыми растительными остатками, вовлекают в почву листовую опад, способствуют его гумификации. Экскременты становятся мелкими зернистыми структурными элементами почвы. В твердых покровах накапливают много углекислого кальция, который укрепляет водопрочность почвенной структуры. Способны накапливать радиоактивные элементы (стронций и уран) и тяжелые металлы (свинец) в панцире. В 1 кг сухого вещества многоножек может содержаться до 250 мг марганца, 580 мг цинка, 27 мг меди. Своей роющей деятельностью в верхнем гумусовом горизонте способствуют лучшему оструктуриванию и аэрации почвы. Плохо переносят кислые почвы. Упоминание о их массовых миграциях встречаются со времен Древнего Рима. В настоящее время широко встречаются на Балканах, в Прибалтике, Европе, южной России, США. Защищаются от врагов едкими выделениями, поэтому ни одно животное не употребляет их в пищу. Хищные многоножки – костянки, сколопендры, геофиллиды. Поедают мелких дождевых червей, энхитреид, почвенных и напочвенных насекомых. В почве способны углубляться на глубину до 1 м.

Насекомые. Примерно 1-1,5 млн разных видов, у 95% жизненный цикл связан с почвой. Личинки двукрылых (мух и комаров), которые встречаются в подстилке, почве, гниющей древесине участвуют в разложении растительных остатков. Активно переваривая клетчатку, способствуют ее гумификации. Термиты – общественные животные, сооружают

обширные гнезда под землей и на ее поверхности в виде наземных холмиков. Прокладывая ходы, термиты выбрасывают землю на поверхность, улучшают температурный, водный, газовый и солевой состав почвы, а за таскивая глубоко в ходы растительные остатки, повышают содержание перегноя на 20-40%. Термитники состоят из почвенных частиц, скрепленных экскрементами насекомых и выделениями их слюнных желез. Термиты сами не переваривают клетчатку растений, это делают за них особые простейшие – симбиотические обитатели их кишечника. Деятельность термитов изменяет состав почвы: песчаные и глинистые почвы превращаются в суглинки. Средняя продолжительность жизни термитников 5-10 лет, после их разрушения материал равномерно распространяется по поверхности почвы. Термиты питаются на поверхности почвы живыми и отмершими остатками трав, сухой древесины и навозом. Могут наносить значительный ущерб постройкам и посевам. Муравьи в степных и лесостепных почвах, устраивая свои гнезда, способствуют перемешиванию почвы. Биомасса достигает 50 кг/га, регулируют численность других насекомых. Множество вредителей, например проволочник, медведки, гусеницы совок, корневые тли, личинки майского жука и рисового долгоносика.

Ногохвостки (коллемболы). Низшие бескрылые насекомые численностью до 10-50 млн. на м², при биомассе 0,2-6,4 г. Обитают в основном в подстилке и верхнем слое почвы и не совершают глубоких миграций, за исключением некоторых слепых обитателей нижних горизонтов. Питаются низшими споровыми растениями и пылью хвойных, кроме того, потребляют ткани сильно разложившегося листового опада, останки животных. Устойчивы к низким температурам, активны даже в мерзлой почве, развитие их яиц не прекращается до 2 - 3°C. Нередко живут в скоплениях экскрементов более крупных почвенных животных, например, дождевых червей, довершают механическое разрушение клеточной структуры.

Моллюски. В почвенной биоте представлены улитками и слизнями. Наиболее широко распространены в лесной зоне (для лесов Дальнего Востока характерны крупные улитки), зиму переносят в выкопанных в почве ямках, в почву откладывают и оплодотворенные яйца. Размельчают растительные остатки. Многие являются злостными вредителями зерновых и огородных культур.

Млекопитающие-землерои. В России это кроты, слепыши, цокоры и слепушонки. *Кроты* живут в лесах и на лугах, избегая только заболоченных мест и районов с высоким уровнем вечной мерзлоты. Питаются в основном почвенными беспозвоночными, особенно дождевыми червями, личинками насекомых. Роют запутанные подземные лабиринты, причем постоянные ходы располагаются на глубине 10-20 см, а кормовые – до 10 см. Кроты выбрасывают на поверхность почвы из глубин, поставляя в корнеобитаемый слой больше солей железа, алюминия и щелочноземельных металлов, чем дает их растительный опад. Ходы кротов широко используют беспозвоночные, землеройки, мышевидные грызуны. Крот роет ходы, разгребая впереди себя грунт мощными передними лапами с уплощенными

крепкими когтями, при этом немного поворачиваясь вдоль продольной оси тела. Земля порциями отбрасывается назад, а затем головой зверек выталкивает ее на поверхность. Резкое сокращение численности кротов наблюдается при уменьшении численности корма во время длительных засух или суровых малоснежных зим. Особенно губительны для крота сильные морозы после оттепели, когда вода замуровывает животных в ходах. *Слепыши, цокоры и слепушонки* обитают в лесостепях, степях и пустынях. Питаются сочными корнями растений, в том числе и сельскохозяйственных. Прокладывают глубокие ходы, иногда на глубине до 1 метра. Цокоры роют землю сильными короткими лапами с долотообразными когтями, обитают к востоку от Алтая и имеют промысловое значение. Слепыши и слепушонки разрыхляют землю выступающими вперед мощными зубами, позади которых губы срастаются и образуют клапан, который не дает земле попадать в рот. Длина слепышей достигает 35 см, слепушонок – 10-13 см, от них сильно страдают бахчи, огороды, лесопосадки.

Немалое воздействие на почву оказывают и норники – животные, живущие в норах (грызуны, лисы, волки, песцы). Многие почвенные животные – опаснейшие вредители сельскохозяйственных растений.

Какие микроорганизмы обитают в почвах?

Активно используют почву как среду обитания различные микроорганизмы: бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли и неклеточные формы (бактериофаги и вирусы). Именно они составляют подавляющую часть почвенной биоты (кроме корней) [17].

Большую часть ее составляют *бактерии*. В 1 грамме садовой почвы содержится около 1 000 000 000 бактерий. Большинство из них является одноклеточными существами с округлой, палочковидной или извилистой формой размерами 0,5-н мк. Часто образуют колонии. Многие имеют жгутики, при неблагоприятных условиях некоторые бактерии способны образовывать споры и цисты, которые хорошо переносят высушивание и высокие температуры. Наиболее типичными представителями являются бациллы и клостридиум.

В первичных примитивных почвах общая численность микроорганизмов невелика, от 10 до 100 тыс. на 1 г, в большинстве своем это микобактерии (неспорообразующие бактерии), развивающиеся на разлагающихся растительных остатках. Они способны одновременно с органическими веществами усваивать много углекислого газа и ассимилировать небольшое количество азота. При дальнейшем развитии почвообразования отмечается нарастание численности микобактерий, в гумусовом слое появляются бациллы. В хорошо сформировавшихся почвах микобактерии составляют: в подзолах и дерново-подзолистых почвах – 2-3%, в серых лесных – 10-15%, черноземах – 20-35%, каштановых и сероземах – 20-35% от общей численности микроорганизмов.

По мере продвижения к югу в микробном ценозе усиливается роль бацилл и актиномицетов, появляющихся на более поздних стадиях распада вещества, и уменьшается количество грибов. Группа бацилл, не усваи-

вающих минеральный азот и обладающих слабой ферментативной активностью, преобладает в почвах северной зоны, где нитрификационный процесс протекает очень слабо. Бациллы, способные ассимилировать минеральный азот и обладающие большой физиологической активностью, распространены в более южной зоне, где энергично протекают микробиологические процессы. В условиях теплого климата вся обстановка способствует в целом развитию более многочисленного бациллярного населения.

При обработке почвы, когда улучшается тепловой и водный режим, что усиливает мобилизационные процессы, поэтому численность микроорганизмов возрастает, увеличивается количество бацилл и актиномицетов, более энергичным становится процесс нитрификации.

Свободноживущие бактерии, фиксирующие молекулярный азот. Это анаэробные азотфиксаторы (*клубридий*) и аэробные (*азотобактер*). *Клубридий* в большой массе распространены в верхних горизонтах всех почв, более богатых органическим веществом. Они размножаются в микрозонах, лишенных доступа воздуха. Максимальная численность наблюдается весной и осенью, при поступлении свежей органики.

Азотобактер развивается лишь в достаточно увлажненных почвах, имеющих реакцию среды, близкую к нейтральной, хорошо обеспеченных элементами питания и микроэлементами. В целинных подзолах и дерново-подзолистых почвах практически отсутствует, но в хорошо окультуренных почвах северной зоны находится в значительных количествах. Чувствителен к повышению концентрации солей, поэтому может служить индикатором засоленности почв.

Актиномицеты, или лучистые грибы, родственны и бактериям, и грибам. Высшие образуют мицелий (стрептомицеты, проактиномицеты, микромоноспоров), низшие – не образуют (микобактерии, микокки). Обычно в клетках отсутствует дифференцированное ядро. Возбуждают процессы аммонификации и могут разлагать разнообразные углеродсодержащие соединения. Численность наиболее велика в южной зоне, вследствие развитого микробиологического процесса и нейтральной реакции среды, хорошо переносят дефицит увлажнения. Глубоко проникают в почву, часто в низко расположенных слоях их численность возрастает. Определенные их формы тяготеют к разным типам почв. В подзолистых почвах найдено 7 групп актиномицетов, в дерново-подзолистых – 7, в серой лесной – 10, в черноземной – 13, в каштановой – 13. Именно их присутствием определяется свежий земляной запах здоровой плодородной почвы.

Грибы, дрожжи и плесневые. Дрожжи – одноклеточные микроорганизмы, 5-5 мк. Плесени – образуют длинные разветвленные нити-гифы, 5-50 мк. Способны разлагать белковые соединения и углеродсодержащие вещества. Некоторые минерализуют циклические соединения и даже перегной. У различных видов неодинакова потребность к уровню азотного и углеродного питания. Так, *дрожжи* способны размножаться только на простых сахарах, а *плесени* (пеницилл и аспергилл) – на крахмале или клетчатке. Поэтому первые энергично размножаются только в почвах, бо-

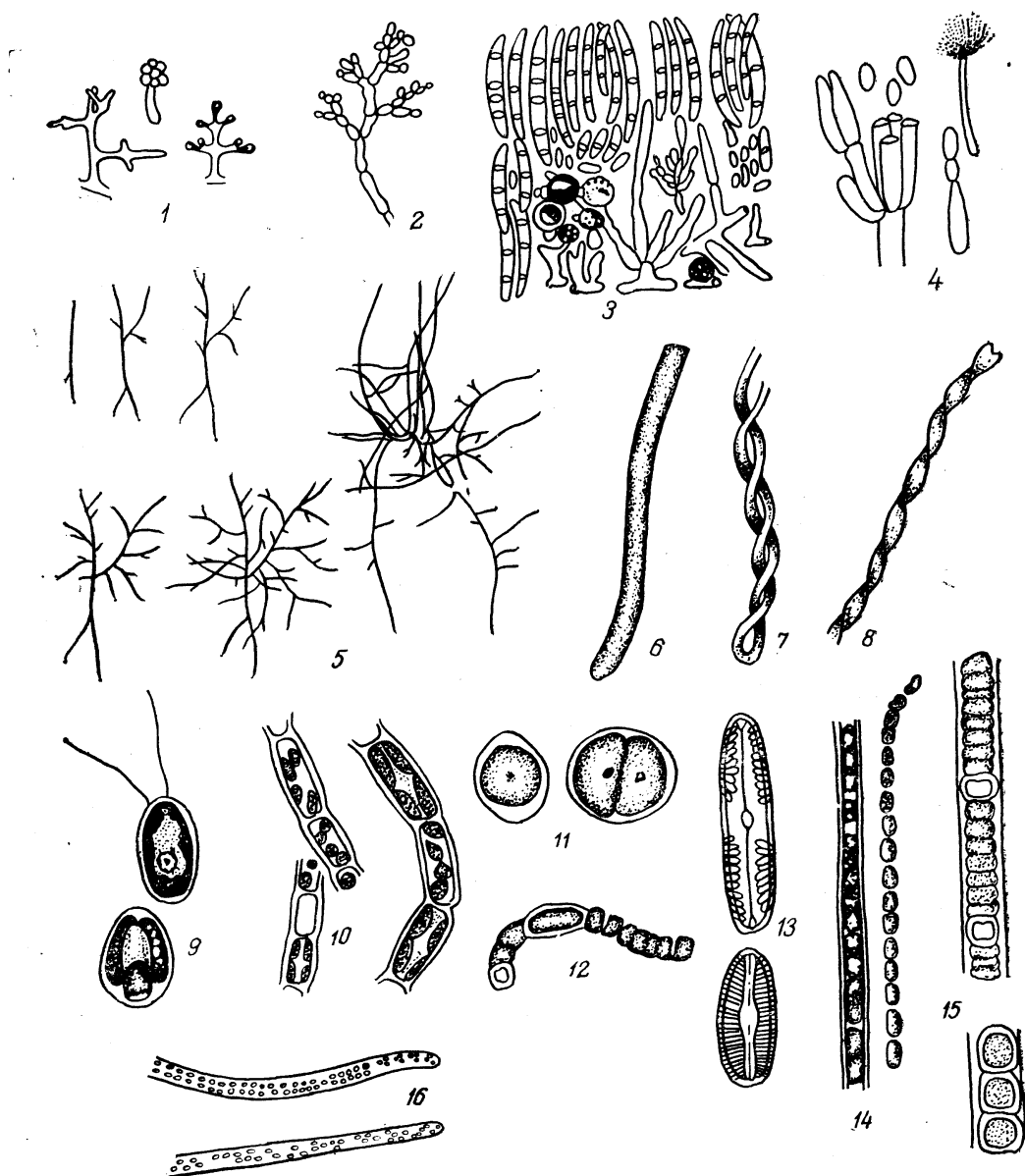


Рис. 12. Микроорганизмы почвы: 1-4 – грибы гифомицеты, 5 – актиномицеты, 6-8 – футляры железобактерий, 9-15 – водоросли, 16 – серобактерии (по А.П.Шенникову)

гатых слаборазложившейся органикой (тундровые и торфяники), а вторые широко распространены во всех почвах.

Хорошо развиваются в широком диапазоне рН 3,5-7,0, но большинство кислотоустойчивы. Аэробы, но потребность в кислороде у разных видов неодинакова, поэтому разные представители встречаются в разных по глубине слоях. При распаде органической массы одни грибные сообщества сменяют другие. Аспергиллом встречается преимущественно в южных почвах, а пенициллом в более северных. Со слаборазложившим органическим веществом связаны *муковые* грибы, которые свойственны хвойным лесам, к югу их количество снижается. Под травянистой растительностью в холодном и умеренном климате обильно размножаются *фузариумы*.

Грибы участвуют в разложении органических соединений. Кроме того, они выполняют важную функцию, поглощая и используя для синтеза

гумусовых соединений, аммиак и другие летучие вещества, образующиеся в результате жизнедеятельности бактерий. Таким образом, грибы предотвращают потерю почвой азота. Грибы участвуют также в разложении почвенных минералов, высвобождая из них элементы питания растений.

Корни растений живут в тесном содружестве (симбиозе) с почвенными грибами, которые образуют из своих тел своеобразную оболочку вокруг корней – *корневую микоризу*. Микориза питается корневыми выделениями. А для корней растений микориза полезна тем, что снабжает их растительными гормонами и доступными элементами минерального питания, высвобождающимися из минеральной части почвы в результате ее жизнедеятельности.

Водоросли. Одними из наиболее древних организмов являются водоросли, необходимыми условиями существования которых являются свет и влага. Они живут главным образом в верхних слоях почвы, куда проникает свет, и где они могут синтезировать, как и все растения, органические вещества из углекислого газа воздуха. Водоросли вносят довольно существенный вклад в обогащение почвы органическим веществом, их продукция за год может достигать до 1,5 т/га. В почве встречаются представители сине-зеленых и зеленых водорослей. *Сине-зеленые* активно участвуют в почвообразовательном процессе. Не имеют в клетке дифференцированного ядра. Могут использовать готовые органические вещества, некоторые способны усваивать атмосферный азот. *Глеокапсы* – шаровидные клетки с толстой оболочкой, *носток* – цепочки из шаровидных клеток, в почвах полупустынь, в болотистых почвах севера. *Зеленые водоросли.* Хлорококк, хлорелла. *Желто-зеленые* – ботридиум.

Каковы особенности распределения микроорганизмов в почвах?

Хотя микроорганизмы по сравнению с высшими растениями являются космополитами, все же отмечается отчетливая зависимость структуры микробиоценозов от почвенных и других условий. В различных почвенно-климатических условиях биологические и химические процессы проходят с различной скоростью и интенсивностью, что влияет на соотношение различных группировок почвенной микрофлоры и приводит к формированию специфических микробных ценозов.

Отдельные типы почв характеризуются весьма специфическими доминантными группами бактерий, микроскопических грибов, дрожжей и актиномицетов. *Каждому почвенному типу свойствен свой характерный микробный пейзаж.* Но в направлении с севера на юг не только возрастает количественная численность микробного населения, но и резко увеличивается содержание бацилл и актиномицетов. В том же направлении усиливается биохимическая активность одних и тех же микроорганизмов и интенсивнее протекают мобилизационные процессы.

Существенная особенность микробного населения почв – это их отчетливая внутрипрофильная дифференциация. Наибольшее количество микроорганизмов приурочено к верхним гумусированным и хорошо прогреваемым

мым горизонтам, причем эти горизонты оказываются также гетерогенными по микробиологическим показателям. Максимальная численность микроорганизмов сосредоточена в ризосфере растений и на поверхности отмерших растительных остатков. При благоприятных условиях увлажнения пахотный слой на глубине 0-5 см может содержать в 2 раза больше микроорганизмов, чем слой на глубине 20-30 см. Особенно резко изменяется с глубиной содержание водорослей, жизнедеятельность которых тесно зависит от освещенности.

Внутрипрофильная неоднородность в распределении почвенных микроорганизмов свидетельствует о том, что как среда обитания почва сильно дифференцирована по всем направлениям. Отражением этой дифференциации по вертикали является концепция о почвенных горизонтах как особых экологических нишах и возможности микробиологической и зоологической индикации различных генетических горизонтов.

Изучение микрофлоры дерново-подзолистых почв показало, что разные горизонты отличаются как по количеству, так и по соотношению основных групп микроорганизмов. Это позволило выявить группы микроорганизмов, которые могут рассматриваться как индикаторные по отношению к комплексу условий отдельных горизонтов изученных почв. К их числу относятся кокковые формы бактерий, преобладающие в нижних горизонтах; бактерии, образующие спирали из цепочек клеток в горизонте A2B; грибы, приуроченные к верхним горизонтам.

Как микрофлора почв зависит от динамики почвенно-климатических условий?

Существенной особенностью микрофлоры почв является ее сильная изменчивость не только в пространстве, но и во времени, что связано с отчетливой временной динамикой почвенно-климатических условий. Особенно велики сезонные колебания активности микроорганизмов. Сильная сезонная вариабельность почвенной микрофлоры свидетельствует о том, что как среда обитания почва отличается значительной изменчивостью и гетерогенностью во времени, вызывающей большие перепады в активности населяющих ее микроорганизмов. Например, в умеренном поясе наблюдаются метаморфозы от почти полного покоя многих микроорганизмов до бурной их жизнедеятельности в теплые весенние дни, когда верхний слой почвы уже хорошо прогрет солнечными лучами, но еще не утратил влаги, накопившейся за осень и зиму. В летнее время микроорганизмы функционируют не постоянно, в периоды иссушения их активность сильно понижена. Осенью, при обогащении свежим растительным опадом, обильном увлажнении и теплой погоде отмечается усиление активности. Но на тяжелых глинистых почвах переувлажнение может вызвать снижение численности микробиоты. Характерной чертой почвенной микрофлоры является также ее ускоренная обновляемость, за год бактерии могут дать 30-40 поколений и более.

Какие основные факторы среды определяют развитие микробного ценоза почвы?

1. Температура. Большинство почвенных микроорганизмов относятся к мезофилам, хорошо развивающимся при температуре 20-25° до 40-45°С с оптимумом 25-37°С. Оптимальные температуры развития бактерий лежат всегда выше фактической температуры почвы. Поэтому в южной зоне, где дефицит тепла меньше, микробиологические процессы протекают более интенсивно. Зимой при температуре около 0°С микроорганизмы почвы находятся в состоянии анабиоза. В культурных почвах температурный режим до некоторой степени поддается управлению, что достигается обработкой почвы, ее мульчированием и т.д.

2. Влажность. Клетки микроорганизмов для ассимиляции почвенного раствора, содержащего различные питательные вещества, имеют более высокое осмотическое давление, чем раствор. По отношению к влажности микроорганизмы подразделяются на две группы:

- Величина осмотического давления в клетке достигает 200-250 атмосфер. Это актиномицеты и часть микроскопических грибов. Способны развиваться при ничтожной влажности почвы, меньше «мертвого» запаса влаги.
- Величина осмотического давления достигает 30-50 атм. Это большинство микроскопических грибов и бактерий. Для жизнедеятельности необходим запас влаги примерно в 1,5 раза больше «мертвого» запаса.

Интенсивное развитие и размножение микроорганизмов происходит в достаточно увлажненной почве. Для отдельных групп почвенных микроорганизмов оптимальная влажность неодинакова. Мобилизационные процессы лучше всего протекают при влажности около 60 % ПВ. При таком увлажнении в почве достаточно воды и воздуха между почвенными агрегатами. При большом увлажнении воздух из почвы вытесняется, что подавляет аэробные микробиологические процессы.

В природной обстановке влажность почвы сильно колеблется, особенно резко эти колебания в почвах южной зоны. Здесь в периоды дефицита увлажнения нередко подавляется деятельность бактерий, но активизируются грибы и актиномицеты. В период сильного иссушения микробиологическая деятельность вообще прекращается. Поэтому в сухих степях более энергичные микробиологические процессы в почве протекают не летом, а весной и осенью, когда температура более низка, но влажность почвы оптимальна.

В почвенных процессах огромное значение имеет сочетание температурных условий и влажности. При оптимальной влажности, слой почвы глубиной 0-5 см содержит в 2 раза больше микроорганизмов, чем слой глубиной 20-30 см, в целинных почвах это различие сказывается наиболее резко. В агроэкосистемах наиболее благоприятный водный режим может быть создан обработкой почвы, ее поливом и мелиорацией.

3. *Воздух.* В почвенном воздухе значительно больше углекислого газа, который выделяется микроорганизмами и корнями растений. Содержание CO_2 подвержено сезонным и суточным колебаниям (0,1- 15%). Без систематического пополнения атмосферы углекислотой в результате деятельности микроорганизмов жизнь на Земле была бы невозможна. В почве имеются обычно более или менее аэробные условия, относительно анаэробная обстановка может наблюдаться лишь внутри отдельных агрегатов, так как микроорганизмы на поверхности агрегатов поглощают кислород и не пропускают его внутрь. К *аэробным микроорганизмам* относятся плесени, большинство актиномицетов и бактерий. Актиномицеты и бактерии могут существовать при относительно небольших запасах кислорода, поэтому способны размножаться в глубоких слоях почв, но отдельные группы микроорганизмов неодинаково относятся к обеднению воздуха кислородом, поэтому с глубиной наряду с уменьшением общей численности микроорганизмов существенно меняется и соотношение их видов и групп, возрастает содержание бацилл и актиномицетов. К строгим *анаэробам* принадлежат около 10 % бактерий. Больше всего их в верхней части профиля, поскольку здесь сосредоточено большее количество органических веществ, а анаэробные микрзоны имеются в каждом почвенном агрегате.

4. *Кислотность почв.* Значения pH одной и той же почвы на разных участках способны сильно варьировать, поэтому в отдельных почвенных микроразонах кислых почв способны обитать микроорганизмы, не переносящие низких значений pH. Кроме того, одна и та же величина pH может иметь неодинаковое значение в жизнедеятельности микроорганизмов в разных почвах. Подкисление подзолов вызывает более сильное подавление микробиологических процессов, чем равное подкисление черноземов. К алюминию особо чувствительны актиномицеты, азотобактер и многие водоросли, но повышенное его количество легко переносится грибами и многими бактериями. Микроорганизмы одной систематической группы также неодинаково относятся к кислотности почв, минимальные значения pH для грибов 1,5-3,0, но некоторые грибы не выносят подкисления. Основная масса бактерий предпочитает $\text{pH} > 5,0$, но некоторые выдерживают и 0-1,0 и 12,8 (бактерии шлаковых отвалов). Поэтому в любой почве могут быть найдены представители практически всех основных групп микроорганизмов. Но в кислых почвах относительно больше грибов, а в нейтральных и щелочных – бактерий и актиномицетов. Несмотря на это, все группы микроорганизмов наиболее активны в нейтральной среде, поэтому известкование кислых и гипсование щелочных почв приводит к активизации желательных для агрономической практики процессов.

5. *Гранулометрический состав почв.* Основная масса почвенных микроорганизмов связана с твердой фазой почвы, поскольку твердые частицы способны адсорбировать клетки микроорганизмов. Это зависит от влажности почвы, ее температуры, дисперсности и т.д. При летнем подсыхании микроорганизмы сорбируются энергичнее. Общая обсемененность микроорганизмами крупных агрегатов значительно выше, чем рас-

пыленных мелких фракций, поскольку в крупных агрегатах больше органического вещества, что способствует лучшему размножению организмов.

6. Органическое вещество. Количество микроорганизмов больше в более гумусированных горизонтах, но обычно, с глубиной содержание перегной в почве уменьшается более постепенно, чем падает численность микроорганизмов. Много их находится в слое почвы, прилегающем к корням растений (*ризосфере*), в сотни раз больше, чем в остальной массе почвы. В зоне молодого корня активно размножаются бактерии и грибы, нитрификаторы, дрожжи, водоросли. На более поздних стадиях развития корня, при начинающемся его отмирании в составе микрофлоры преобладают бациллы, актиномицеты и целлюлозоразлагающие микроорганизмы. Микроорганизмы ризосферы, вырабатывая ряд витаминов и ростовые вещества (гибберелин и гетероауксин), способствуют усилению роста растений. Микрофлора зоны корня способствует подавлению развития фитопатогенных микробов в почве. Много микроорганизмов скапливается на погибших почвенных животных.

На какие группы делятся микроорганизмы по способности вызывать определенные процессы в почвах?

1. *Зимогенная группировка*, разлагающая свежие растительные и животные остатки.
2. *Автохтонная группировка*, обладающая мощным ферментативным аппаратом, которая способна разлагать сложные перегнойные вещества.
3. *Олиготрофная группировка*, потребляющая очень низкие концентрации простых органических веществ, завершающая процесс минерализации органических веществ, не до конца проведенной зимогенными и автохтонными микроорганизмами. Если обычная микрофлора представлена в основном палочковидными формами, кокками и спиралями, то олиготрофные формы имеют вид стебельков, звездочек, листиков, обладают необычными выростами на поверхности.
4. *Автотрофная группировка*, трансформирующая минеральные соединения, представляя тем самым неперенное звено в круговороте элементов в почве. Источниками питания и энергии для почвенных автотрофов могут быть закись азота, водород, закись железа, сероводород, окись углерода, метан, этилен и другие соединения.

Каков цикл превращения азота в почве?

Цикл превращения азота в почве довольно сложен. Небольшая часть атмосферного азота превращается в органические соединения некоторыми микроорганизмами и делается доступным для растений. Азот содержится в белке растений и используется животными, в теле которых превращается в другие простые и сложные соединения. После отмирания растений и жи-

вотных их останки разлагаются микроорганизмами и органический азот из их тканей высвобождается в виде аммония. Аммоний в дальнейшем используется растениями или окисляется нитрифицирующими микроорганизмами в нитраты. Нитраты могут исчезать из почв при выщелачивании, служить источником питания растений или восстанавливаться денитрифицирующими организмами до аммония или газообразного азота, который попадает в атмосферу, и цикл на этом завершается. В противоположность мобилизационным процессам, ведущим к накоплению питательных азотсодержащих веществ, возможно превращение части этих соединений в недоступную форму вследствие использования их микроорганизмами, т.е. иммобилизации. Микробиологическая *иммобилизация* ведет к обеднению почвы азотными соединениями [17].

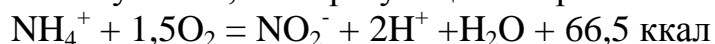
В чем суть процесса мобилизации азота?

Аммонификация органических азотсодержащих соединений – это процесс выделения аммиака из органических составляющих при разложении растительных и животных остатков под влиянием разнообразных гнилостных микроорганизмов как аэробных, так и анаэробных (бактерии, актиномицеты и грибы).

При аэробном распаде *белка*, который осуществляется псевдомонадами, бациллами, бактериями, основными конечными продуктами разложения является углекислый газ, аммиак, сульфаты и вода. В анаэробных условиях распад белка ведет кlostридиумы, при этом образуются аммиак, амины, углекислый газ, органические кислоты, сероводород. При разложении *нуклеиновых кислот* НК и ДНК) грибами, актиномицетами и бактериями образуются аммиак и органические кислоты. *Мочевина* разлагается до аммиака и углекислого газа.

Нитрификация – процесс окисления аммиака, образующегося в процессе разложения органических веществ до азотистой и азотной кислоты. Выделяют 2 группы нитрифицирующих бактерий, обе из которых хорошо развиваются в черноземах, навозе компостах:

- *нитрозные бактерии* получают энергию для клеточного синтеза окислением аммиака до NO_2^- , это клетки эллиптической формы с длинным жгутиком, не образующие спор.



- *нитробактер*, палочковидные бактерии, окисляют нитриты до NO_3^- .
 $\text{NO}_2^- + 1,5\text{O}_2 = \text{NO}_3^- + 17 \text{ ккал}.$

Превращение минеральных веществ, осуществляемое нитрифицирующими бактериями, сопровождается синтезом макроэргических связей, энергия которых может затем использоваться для реакций биосинтеза.

Поэтапное протекание процесса нитрификации является характерным примером *метабиоза*, т.е. таких взаимоотношений, когда один микроорганизм развивается после другого на отходах жизнедеятельности первого. Так, аммиак, продукт жизнедеятельности гнилостных бактерий, ис-

пользуется нитрозными микроорганизмами, а нитриты, образующиеся последними, служат источником жизни для нитратных бактерий.

Накопление нитратов идет с разной скоростью в различных почвах, но, чем богаче почва, тем большее количество азотной кислоты она может накапливать. Но нитраты способны быстро вымываться из почвы, в то время как ион аммония поглощается ей. Кроме того, в растительном организме нитраты при их использовании должны быть восстановлены, что требует затрат энергии, аммоний же используется непосредственно.

Что такое иммобилизация и денитрификация азота?

Иммобилизация азота представляет собой процесс, обратный минерализации, потребление минеральной формы азота микроорганизмами и перевод его в белок плазмы. Трансформация азотсодержащих соединений полностью зависит от соотношения азота и углерода в органическом веществе, вносимом в почву. Если субстрат имеет узкое соотношение C:N (20-25:1), то при его разложении накапливается аммиак (*мобилизация*). При внесении в почву массы, богатой углеводами и бедной азотом, происходит потребление минерального азота, его «биологическое закрепление» (*иммобилизация*), например при внесении соломы, где C:N = 100:1.

Биологически закрепленный азот не теряется из почвы. После отмирания микроорганизмов белковые вещества минерализуются и превращаются в аммиак. Иммобилизация азота имеет важное агрономическое значение. Полезность процесса иммобилизации определяет сезон года. Удобрение почвы весной солоmistыми удобрениями может вызвать ухудшение азотного питания растений, а внесение соломы осенью уменьшает потери аммиака от выщелачивания.

Денитрификация азота – образование молекулярного азота в результате различных почвенных процессов, в основном, микробиологических. Происходит при дефиците кислорода в результате жизнедеятельности различных бактерий (псевдомонады, микрококки), способных использовать кислород нитратов для окисления органических соединений. Восстановление нитратов представляет собой многоступенчатый процесс:



Активно протекает при избытке быстроокисляемых органических соединений, значительном количестве нитратов, плохом дренаже, низких значениях pH, повышенных температурах. Биологическое улетучивание азота наблюдается и в хорошо дренированных почвах с активной нитрификацией при частичном анаэробии в дождливый период. Растительный покров обеспечивает благоприятный дренаж почвы и использует подвижные соединения азота, способствуя минимальному его улетучиванию.

Как происходит биологическая фиксация молекулярного азота атмосферы?

Биологическая фиксация молекулярного азота атмосферы - это процесс биохимического превращения молекулярного азота атмосферы в

азотные соединения, доступные организмам. При помощи ферментов азотфиксирующих микроорганизмов газообразный азот атмосферы связывается с другими химическими элементами, и образуются органические азотсодержащие соединения. При распаде этих соединений азот освобождается в химически связанной форме и может усваиваться растениями либо непосредственно (в виде аммония), либо после соответствующего микробиологического превращения (нитраты). Биологическая фиксация азота осуществляется свободноживущими микроорганизмами (5-10 кг азота на 1 га за год) и симбиотической ассоциацией микроорганизмов – клубеньковых бактерий и бобовых культур (10-20 – 150-200 кг, в зависимости от конкретного вида растения).

К свободноживущим азотфиксаторам относятся бактерии клостридиум, азотобактер, некоторые сине-зеленые водоросли и др. Благоприятны для них большое количество органического вещества, рН среды не ниже 6, высокое содержание доступного фосфора.

Молекулярный азот в клетках микроорганизмов восстанавливается до аммиака:



Активирование молекулярного азота осуществляется ферментом нитрогеназой, активирование водорода – дегидрогеназами.

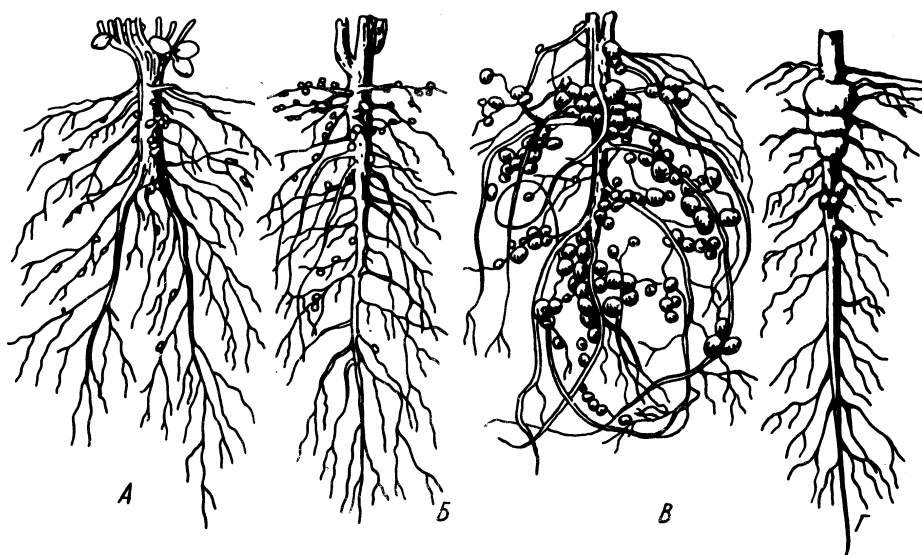


Рис. 13. Клубеньки на корнях бобовых растений: А – клевера красного, Б – фасоли, В – сои, Г – люпина (по А.П. Шенникову)

Симбиотическая фиксация азота. Симбиоз клубеньковых бактерий (ризобиум) и бобовых растений основан на том, что бактерии используют органические соединения, поступающие от растений, а растения получают от бактерий азот. Для этого необходимы оптимальное соотношение температуры и влажности, рН 6,5-7,5, хорошая аэрация, наличие доступных

форм фосфора, калия, железа и молибдена. Ни один вид клубеньковых бактерий не использует молекулярный азот самостоятельно, связывание его идет только в результате симбиоза.

Клубеньки на корнях бобовых растений образуются в результате *вирулентности*, заражения их клубеньковыми бактериями, которые внедряются в корни через корневые волоски. Количество клубеньков у бобовых растений разное, из них часть связанного азота поступает в надземные органы растения и часть выделяется корнями в почву. После разрушения клубеньков бактерии попадают в почву и существуют как сапрофиты. Способность к симбиозу с азотфиксаторами свойственна также бактериям, живущим в клубеньках на корнях лоха, облепихи, сосны лучистой. Фиксацию азота осуществляют также актиномицеты, живущие в клубеньках корней ольхи, и грибы, живущие в корнях райграса и некоторых вересковых растений.

Как происходит превращение микроорганизмами углеродсодержащих веществ растительного происхождения?

Таблица 5

Превращение микроорганизмами углеродсодержащих веществ растительного происхождения

Углеродсодержащие вещества растительного происхождения	Основные преобразователи	Продукты распада	
		аэробные условия	анаэробные условия
Целлюлоза - главная составная часть клеточных стенок растений	Аэробные и анаэробные мезофильные бактерии, термофильные бактерии, мицелиальные грибы, актиномицеты, простейшие	Углекислый газ, вода, органические кислоты	Углекислый газ, водород, уксусная, муравьиная, янтарная, масляная и молочная кислоты, этиловый спирт
Гемицеллюлоза - составная часть межклеточного вещества растений	Грибы, актиномицеты, аэробные и анаэробные бактерии	Сахара	
Лигнин - органическое полимерное соединение клеточных оболочек сосудистых растений; вызывает их одревеснение	Различные грибы, аэробные и анаэробные бактерии	Продукты для образования гумуса	

В чем суть микробиологических превращений соединений фосфора?

Биологический цикл фосфора:

- обратимый переход из нерастворимого состояния в растворимое. Образованные многими микроорганизмами кислоты способствуют переводу нерастворимых минеральных фосфатов в доступные для растений формы. Наибольшую эффективность фосфобактерии проявляют на хорошо удобренных, богатых органическим веществом почвах;
- переход из органических соединений в неорганические. Органические соединения фосфора разлагаются бактериями (псевдомонады и бациллы), грибами (пенициллом, аспергиллом), актиномицетами и дрожжами. При разложении органических соединений микроорганизмы фиксируют в своих клетках некоторое количество фосфора, поэтому при внесении в почву органики, бедной фосфором (соломы), может произойти биологическое закрепление фосфора и фосфорное голодание растений.

Как происходит микробиологическое превращения соединений серы?

Таблица 6

Микробиологические превращения серосодержащих веществ

Превращение серосодержащих веществ	Основные преобразователи	Продукты распада	
		аэробные условия	анаэробные условия
Минерализация органических соединений серы	Бактерии, грибы, некоторые актиномицеты.	Сульфаты	Сероводород и меркаптаны
Окисление восстановленных неорганических соединений серы	1. Автотрофные тионовые бактерии 2. Нитчатые бактерии тиотрикс, обитающие в затопленных почвах 3. Гетеротрофные бактерии, грибы и актиномицеты	Серная кислота	-
Восстановление сульфатов	Анаэробные бактерии	-	Сероводород

Каковы основные закономерности размещения типов почв на Земле?

Распределение различных типов почв на Земле подчиняется определенным закономерностям, впервые установленным В.В. Докучаевым. Это законы о горизонтальной и вертикальной зональности почв. Каждому широтному климатическому поясу соответствует определенный ряд типов почв, сходных по режиму увлажнения, термическим условиям и типам растительного покрова. Выделяются 5 почвенных зон – тундровая, лесная, степная, пустынная и экваториальная с характерными типами почв. В горных условиях по мере поднятия от уровня моря до вершины наблюда-

ется ряд вертикальных почвенных зон, последовательно сменяющих друг друга, как при движении от экватора к северу.

Но под влиянием местных сочетаний факторов-почвообразователей или преобладающего значения какого-либо одного из них над климатическим фактором почвы могут находиться в несвойственных им зонах в виде пятен на определенных участках территории. Зональные типы почв соответствуют распределению основных растительных сообществ на поверхности Земли, с которыми тесно связаны и животные обитатели почв, и микроорганизмы.

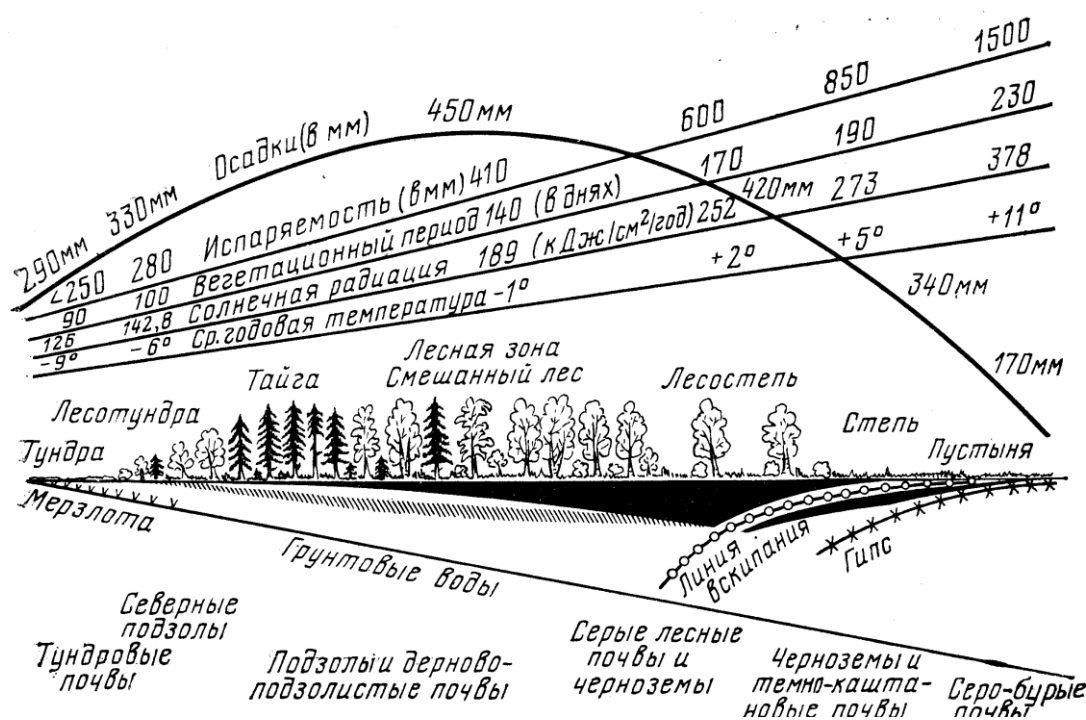


Рис. 14. Схематический профиль через растительный покров и почвы с севера на юг в европейской части СССР (по Г.Н.Высоцкому)

Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах тундровой зоны?

Зона расположена в северных пограничных районах России и представляет собой равнинное или холмистое пространство. Климат характеризуется небольшим количеством тепла, избыточной увлажненностью, длительной холодной зимой и коротким прохладным летом. Из-за вечной мерзлоты влага постоянно задерживается на поверхности, что приводит к заболачиванию местности. В короткое лето оттаивает только небольшой верхний слой мерзлой толщи (не более 2 м, часто 20-30 см).

Растительность. Характерными особенностями растений являются низкорослость, способность стлаться по земле, поверхностно расположенная корневая система или ее отсутствие, плохо выраженная ярусность, способность переносить суровую зиму в вегетативном состоянии и расти

под снегом, преобладание вегетативного размножения. Господствуют многолетники. Цветковые растения характеризуются яркостью окраски и крупными размерами венчика (маки, ромашки). Некоторые способны переносить морозы в состоянии цветения. Из-за холодного климата часто испытывают физиологическую сухость, приспособлены к сохранению влаги: имеют малую поверхность листьев, опушение, восковой налет. Характерны специфические формы растительности: 1. Растения-подушки (камнеломки, крупки); 2. Стланники (можжевельник низкий, стланниковый кедр); 3. Дерновники (злаки); 4. Шпалеры – стебли ползут по земле, прикрепляясь к ним придаточными корнями (ель обыкновенная и сибирская, лиственница сибирская)[8].

Среди кустарников и кустарничков выделяют различные ивы (серая, мохнатая, травянистая, полярная), березы (карликовая, тощая и Миддендорфа), ольха, ольховник, рябина. Брусника, клюква, черника, водяника. Из травянистых – хвощи (полевой, лесной, топяной), осоки (стоячая, редкоцветная, дернистая, блестящая), пушица, немного злаков (пырей, лишохвост, мятлики, вейники), бобовые (мышинный горошек, клевер люпиновидный), разнотравье (горец, щавель, калужница, манжетка, маки, ромашка, ирис). Много лишайников, грибов, мхов (рис.15).

Животные. Животный мир чрезвычайно беден из-за суровости климата. Мало дождевых червей и крупных беспозвоночных, как особей, так и видов, зато присутствует большое количество личинок мух, комаров-

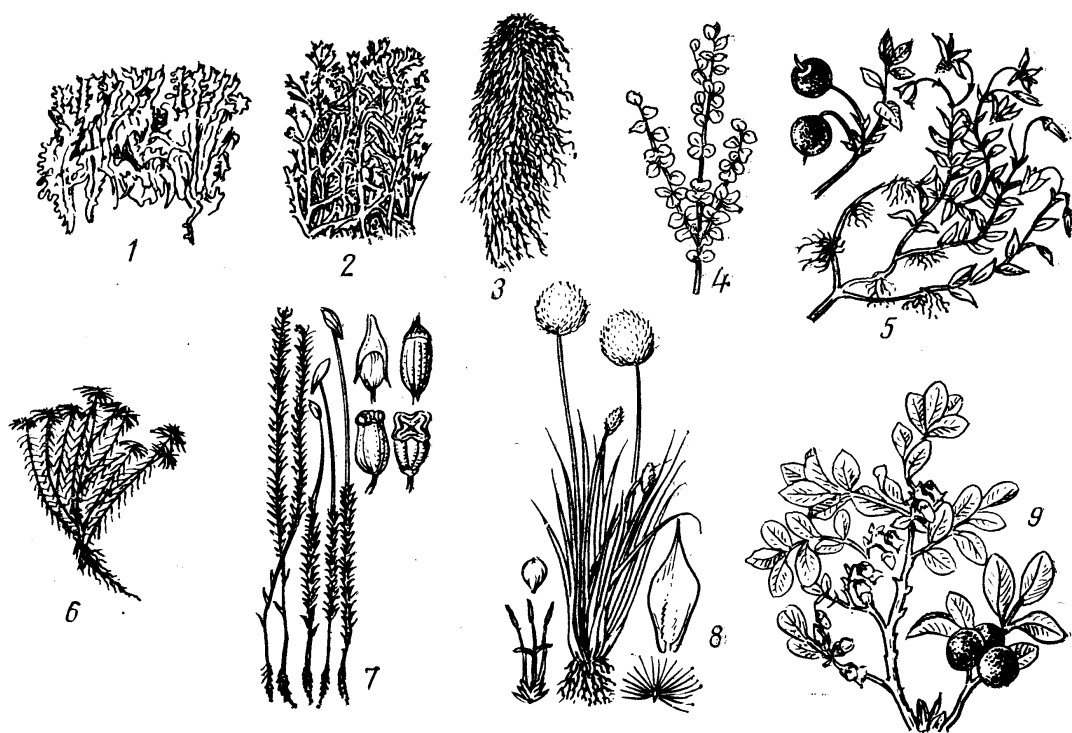


Рис.15. Характерные растения тундры и лесотундры: 1 – исландский мох; 2 – кладония оленья; 3 – вислянка длиннейшая; 4 – береза карликовая; 5 – клюква; 6 – сфагновый мох; 7 – гипновый мох; 8 – пушица; 9 – голубика (по И.Ф.Голубеву)

долгоножек, энхитреид, ногохвосток. Почвенные животные живут в мохово-лишайниковой дернине или на поверхности почвы, поэтому представляют собой удобный корм для многочисленных насекомоядных птиц.

Из млекопитающих заметное влияние на процессы почвообразования оказывают лемминги и полевки, прокладывающие ходы в моховой дернине и торфяном слое и выедающие иногда растительность на обширных участках. Песцы, делая глубокие норы со многими выходами, способствуют более быстрому и глубокому оттаиванию грунта, что сильно изменяет почву и растительность около нор.

Микрофауна достаточно богата, но преобладают различные бактерии. Из грибов лучше всего развиваются дрожжи. Микроорганизмы сосредоточены преимущественно в слое глубиной 10-20 см. Вследствие замедленной микробиологической деятельности биологический круговорот ослаблен. Отсутствие многих групп животных, перерабатывающих растительный опад, приводит к накоплению слоя мертвых растительных остатков и образованию мощной подстилки – «тундрового ковра» и торфа.

Лесотундра – самая южная часть тундры, где среди мохово-кустарничковой растительности разбросаны отдельные угнетенные чахлые деревья: береза извилистая, несколько видов ели и лиственницы, кедровый и ольховый стланники, в долинах рек встречаются низкорослые пойменные леса.

Почвы. В этой зоне широко распространены различные торфяные почвы. В *типичных тундровых глеевых* почвах верхний горизонт представлен моховым торфом разной мощности (5-30 см), под ним залегает вязкий глеевый горизонт сизоватой окраски с ржавыми пятнами. Профиль почв часто деформирован из-за *криогенных* процессов солифлюкции и выпучивания. *Солифлюкция* – медленное стекание сильно насыщенных водой оттаивающих почв по склону с образованием валиков. *Выпучивание* связано с расширением замерзающей воды в почвах, образование бугорковых форм микрорельефа. На повышенных элементах рельефа развиты дерново-глеевые, во впадинах – болотные почвы.

Тундровые почвы и ландшафты легко уязвимы к антропогенным воздействиям, нарушенные ландшафты восстанавливаются крайне медленно, так, колея от тяжелого гусеничного трактора может сохраняться в течение десятков лет, выгоревшие в результате пожара участки восстанавливаются 15-20 лет.

Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах таежно - лесной зоны?

Занимает большую часть бореального пояса нашей страны. Природные условия зоны в связи с громадной протяженностью ее с запада на восток и с севера на юг чрезвычайно разнообразны. Климат умеренный, со сравнительно теплым летом и суровыми зимами. В Восточной Сибири он резко континентальный, на Дальнем Востоке – муссонный. Это зона дос-

таточного и избыточного увлажнения. Максимум осадков выпадает в теплое время года, коэффициент увлажнения 1,10-1,33. Западная часть зоны имеет более теплый климат, чем восточная, поэтому в ней преобладают широколиственные леса, с примесью хвойных пород. В центре лесной зоны европейской части России леса смешанные, к востоку и в Сибири – хвойные, на юге Дальнего Востока – широколиственные со своеобразной растительностью.

Растительность. Главными хвойными породами являются лиственница, сосна, ель, пихта. Лиственничные леса находятся преимущественно в Сибири и занимают наибольшую площадь. Для западной части Сибири характерна лиственница сибирская, для восточной – лиственница даурская. В европейской части России распространены сосна и ель обыкновенные, в азиатской – сосна и кедр сибирские и ель сибирская. Часто встречаются в лесной зоне березы пушистая и повислая, различные осины. Эти породы первыми захватывают новые площади, но затем их вытесняют теневыносливые широколиственные виды или хвойные породы.

Ель – теневая порода, почву в еловом лесу обычно покрывают мхи: сфагнум, кукушкин лен и др. Часто встречаются рябина, можжевельник, черника, брусника, жимолость, крушина, кислица, майник. Практически отсутствуют эфемеры. Сосновые леса с подлеском из березы и осины занимают обычно крайне бедные (песчаные, щебнистые, сильно заболоченные) места обитания, где ель не может существовать вследствие более значительной требовательности к почвенному плодородию.

Дубравы с примесью ели, липы и других деревьев тянутся по южной границе лесной зоны. Дуб доходит до Уральских гор, а липа встречается и в Западной Сибири. Для таких лесов характерны весенние эфемеры и эфемероиды, которые цветут рано весной, пока не развернулись листья дуба (пролеска, анемоны, хохлатка, гусиный лук, медуница). На заболоченных участках лесной зоны развиваются клюква, багульник болотный, голубика, пушица, различные виды ивы.

Животные. Животный мир особенно многочислен. Среди микроорганизмов преобладают бактерии, количество актиномицетов уже превышает количество грибов (по сравнению с тундрой). В почвах широколиственных лесов с мягким гумусом мюлем и незначительной подстилкой обычны дождевые черви, энхитреиды, личинки насекомых, мокрицы, многоножки, кивсяки. Количество биомассы достигает 70-100 г м². В почвах хвойных лесов с мощной подстилкой и грубым гумусом мором многочисленны микроартоподы, энхитреиды, личинки насекомых. Количество биомассы составляет всего 10-30 г м², хотя численность микроорганизмов весьма значительна.

Благодаря большому количеству беспозвоночных лесная подстилка разлагается в 4-6 раз быстрее, чем при участии только микроорганизмов. Но вкусы животных избирательны: кивсяки и мокрицы предпочитают опад ясеня и ольхи, дождевые черви – бузины и лещины. Почти все виды мезофауны не едят опад хвойных пород, но его охотно потребляют многочис-

ленные панцирные клещи. Выедая хвоинки изнутри они увеличивают поверхность опада в 10 тыс. раз, делая его более доступным для разложения микроорганизмами.

В северной тайге животные встречаются только в самом верхнем слое почвы, практически не глубже 10 см. При продвижении к югу, с увеличением мощности гумусового слоя возрастает численность почвенных животных, их разнообразие и глубина проникновения в почву. В широколиственных лесах животные обитают на глубине до 1 м, а микроорганизмы – до 2 м.

Почвы. В лесной зоне образуются *подзолистые, дерново-подзолистые, бурые лесные, дерново-лесные, торфяники, перегнойно-глеевые почвы и др.*

Под пологом хвойных и хвойно-широколиственных лесов умеренного климата при преобладании нисходящего тока влаги на бескарбонатных суглинистых породах формируются *подзолистые почвы*. Грубый лесной опад, состоящий, в основном, из клетчатки, лигнина и дубильных веществ, находящийся практически всегда в увлажненном состоянии и защищенный от прямого воздействия солнечных лучей, медленно разлагается грибами и актиномицетами с выделением свободных растворимых органических и фульвокислот. Проникая в почвенную толщу, последние вызывают кислую реакцию, разрушают минералы и коллоидные частицы (происходит кислотный гидролиз первичных и вторичных минералов), которые с нисходящим током влаги выносятся в более глубокую часть профиля. В результате верхняя часть профиля теряет илстые частицы, формируется хорошо выраженный горизонт A2, белесый цвет которого обусловлен накоплением устойчивого к разрушению кварца. В средней части профиля образуется иллювиальный, обогащенный илом горизонт B, темной окраски.

При хорошо развитом травяном покрове, особенно на полянах и вырубках при меньшем увлажнении разложение опада ведут преимущественно аэробные бактерии, происходит накопление гуминовых кислот в верхней части профиля и формируются *дерново-подзолистые почвы* с хорошо развитым гумусово-аккумулятивным горизонтом Aдер.

На юге Дальнего Востока в умеренно теплых и влажных приокеанических областях суббореального пояса под широколиственными травянистыми лесами из дуба, липы, клена, ясеня с примесью пихты, кедра и ели аянской распространены *бурые лесные почвы* с обилием беспозвоночных (мокрицы, клещи, личинки насекомых, дождевые черви). Эти почвы развиваются при промывном режиме на пологих склонах сопек, что способствует быстрому оттоку влаги. Профиль почв слабо дифференцирован на горизонты. В лесном опаде широколиственных лесов сосредоточено большое количество зольных элементов, в том числе и кальция. Под влиянием микроорганизмов и продуктов интенсивного процесса разложения высших растений в средней части профиля идет активное формирование вторичных глинистых минералов (*оглинивание*), при этом накапливаются ил, же-

лезо, алюминий, марганец, фосфор, магний, кальций и другие элементы. Верхний горизонт хорошо гумусирован, гумус типа мюль практически весь образован копролитами дождевых червей.

Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах лесостепной зоны?

Эта зона представляет собой постепенный переход от лесной зоны к зоне степей.

Растительность. Типичны дубравы из летнего дуба, ясеня, липы, клена, вяза. Подлесок состоит из орешника, бересклета, рябины, хмеля. Встречаются дикие яблони, вишни, груши. Из трав широко распространены лабазник, шалфей, клевер, папоротники, купена, вороний глаз, недотрога, фиалки, сныть, пролеска. На открытых местах произрастают низкорослые ковыли, тимopheевка, корневищные злаки, бобовые, разнотравье (шалфей, тысячелистник, вероника, горицвет). Ежегодно с растительным опадом в почву поступает около 70 ц/га органических остатков.

Животные. Животные активны практически круглый год, многие дают за год не одну генерацию. Обильны дождевые черви и насекомые, способствующие перерабатыванию опада в гумус мюль. Мокрицы и кивсяки способны полностью переработать лесную подстилку за несколько месяцев. Среди микроорганизмов преобладают бактерии и актиномицеты.

Почвы. Встречаются в основном *серые лесные, луговые, дерновые и черноземные почвы*. Серые лесные почвы занимают переходное положение от дерново-подзолистых к черноземным. Большая масса опада, богатого азотом и кальцием, отсутствие или слабое проявление сезонного анаэробнозиса и лучший тепловой режим способствуют усилению разложения отмирающей растительности и образованию большого количества гумусовых кислот.

Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах степной зоны?

Основная часть зоны расположена в условиях равнинного рельефа, почвообразующими породами являются лессы и лессовидные породы. Климат зоны неодинаков, северная и западная ее части влажнее, чем южная и восточная, характерно жаркое сухое лето и холодная снежная зима.

Растительность. В настоящее время почти вся степная зона распашана, участки с естественной растительностью встречаются лишь в заповедниках и по балкам. В степи господствуют многолетники. Различают два типа степей: луговую и ковыльную.

Луговая степь отличается красочностью. Преобладают двудольные растения, корневищные и рыхлокустовые злаки. На 1 м² приходится 40-60 видов растений. Из двудольных характерны: шалфей луговой и поникающий, нивяник, лабазник, незабудка, ветреница, подмаренник, лапчатка, клевер, румянка. Из злаков – костер, овсец, полевица, ковыль, типчак. Отсутствуют эфемеры.

Ковыльная степь занимает более южное положение, для нее типичны злаки (90%) и различные ковыли – узколистый, украинский, красный. Растительность преимущественно с ксерофильными признаками, менее высокорослая. Здесь нет такого густого травостоя, встречаются и однолетники, и мхи, водоросли, лишайники (ранней весной, когда достаточно влаги). Среди разнотравья преобладают адонис, подмаренник, бедренец, шалфей, касатик, пеон, тюльпаны, часты перекасти-поле – синеголовник, кермек, курай.

Животные. По сравнению с лесом численность животных ниже, а биомасса меньше в 3 раза. Здесь меньше обитателей подстилки, и форм, питающихся гниющими растениями. Зато намного больше фитофагов – личинок хрущей, шелкоунов, чернотелок, а из позвоночных – корнеедов. В отдельные годы биомасса личинок хрущей может достигать 10 г на м². Общая биомасса почвенных животных – 20-30 г, из них 20-50% приходится на долю дождевых червей, 15-25% – на долю личинок хрущей. Много личинок многоножек, насекомых, кивсяков. Особенно заметна почвообразующая деятельность муравьев, которые активно перемешивают почвенную массу, роют свои ходы до уровня грунтовых вод. Вынося на поверхность материал из глубоких горизонтов, богатых кальцием, они обогащают им корнеобитаемый слой.

Очень активны животные - землерои. Холмики земли, выброшенные сурками, слепышами и слепушонками весьма характерны для степного ландшафта. В разложении подстилки в степи активно участвуют животные напочвенного яруса. Если в прошлом веке минерализации степного «войлока» способствовали дикие лошади, разбивая его копытами, то сейчас ту же роль выполняют грызуны и насекомые.

Почвы. Широко распространены *черноземы, лугово-черноземные и серые лесные почвы, солонцы, солончаки*. Зональным типом почв степной зоны являются *черноземы*, ведущим процессом образования которых является гумусово-аккумулятивный процесс с накоплением элементов питания растений и оструктуриванием профиля. Природная растительность степей характеризуется значительным ежегодным отчуждением в опад органической массы 100-200 ц/га, при этом 40-60% опада составляют корни. Зольность опада - 7-8%. Наиболее интенсивно процесс гумификации идет весной и ранним летом при благоприятной температуре и оптимальной влажности. В засушливых условиях лета происходит отмирание корней растений при снижении микробиологической активности в верхних горизонтах, в этот период усиливаются процессы усложнения и закрепления гумусовых веществ. Увеличение влажности осенью ненадолго активизирует микробиологические процессы, что способствует возникновению гуматов кальция. Кроме того, мочковатые корни злаков вместе со стержневыми корнями разнотравья создают хорошие условия для образования зернистой водопрочной структуры.

В Амурской области и в Приморском крае на террасах рек под лугово-степной злаково-бобово-разнотравной растительностью формируются

своеобразные *лугово-черноземовидные почвы*, наиболее плодородные почвы дальневосточного региона. Они находятся под воздействием верховодки практически в течение всего вегетационного периода, поэтому в нижних горизонтах выражен процесс оглеения.

Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах полупустынь и пустынь?

Занимают территорию Прикаспийской низменности и предгорий Кавказа. Климат резко континентальный с жарким летом и очень холодной зимой. Характерны ветры-суховеи, способствующие сильному иссушению почвы, они так увеличивают испарение воды, что корни растений не успевают возместить потери, и растения засыхают, несмотря на наличие в почве достаточного количества влаги.

Растительность. Характерная особенность полупустынь – несомкнутость растительного покрова и мозаичный его характер, участие в напочвенном покрове мхов и лишайников и сине-зеленых водорослей. Отдельные фитоценозы не занимают сплошных площадей, а развиваются небольшими участками. Много эфемеров и эфемероидов. Различают три типа растительности.

- *Типчаково-пиретровый* – развит на светло-каштановых почвах, включает некоторые многолетники, весенние и летние однолетники (типчак, пиретрум, полынь белая, кохия, тюльпаны, астра мохнатая).
- *Чернополынный* – преобладает на солонцах (полынь черная, кохия, однолетние весенние эфемеры, водоросли и мхи).
- *Травяная степь* формируется в западинах на темноцветных почвах, здесь развиты преимущественно дерновинные злаки (типчак, ковыли, подмаренник, кермек, полынь австрийская, лен многолетний, коровяк, шалфей).

В пустынях произрастают растения с ярко выраженными ксерофитными признаками. Несомкнутость растительного покрова еще больше, чем в полупустыне. На 100 м² приходится не более 10 видов растений, у которых выработались особые свойства. Так, деревья не дают тени, распространены безлистные кустарники, опушенные колючие полукустарники, эфемеры и эфемероиды, суккуленты с мясистыми листьями, галофиты. Особенностью многолетников пустынь является развитие очень большого количества корней и корневищ, превосходящих по массе наземные органы иногда в 10 раз. Так, корневище верблюжьей колючки на глубине 20 см имеет диаметр 5-8 см. У растений на барханах горизонтальные шнуровидные корни достигают 15-20 м и хорошо укрепляют поверхностный слой песка. У эфемеров, использующих только весеннюю влагу, корни проникают не глубже 40 см. Выделяют 4 вида пустынь.

- *Глинистые*, занимающие равнины и долины рек. Преобладают эфемеры (осока пустынная, мятлик живородящий, лютик, однолетние крестоцветные и маковые, гусиный лук и др.).

- *Гипсовые* (каменистые), расположены на выходах плотных пород. Характерны полыни белая и черноземельная, мясистые солянки, кермеки, мятлик луковичный, ячмень мышиный, осоки пустынная и вздутая, тамариск.
- *Песчаные*. В северной части преобладают полыни, кохия, пырей сибирский, осока уральская, саксаул белый, джезгун. В южной – эфемеры и эфемероиды, полыни, солянки, белый саксаул.
- *Солончаковые*, для них обычны сочные солянки, верблюдки, иногда эфемеры и крестоцветные, тамариск, сарсазан.

Животные. Крайне малочисленны. Совершенно отсутствуют дождевые черви, кивсяки. Часто встречаются скорпионы, пустынные мокрицы, термиты, слепозмейки, геофилиды, сколопендры. Беспозвоночные обитают исключительно в толще почвы, в глубоких горизонтах, где сохраняется высокая влажность воздуха и не так велики амплитуды колебания температуры. Большое влияние оказывает роющая деятельность пустынных мокриц, заселяющих только плотные сухие гипсированные почвы в больших количествах (120-150 особей на 1 м²), один из видов которых является сельскохозяйственным вредителем. На поливных землях важную роль играют дождевые черви и простейшие. Среди микроорганизмов главную роль играют актиномицеты и бактерии. Среди позвоночных много сусликов, ведущих активную роющую деятельность.

Почвы. Большинство почв этой зоны – *каштановые, пустынные сероземы, такыры*. Характерной особенностью пустынного процесса почвообразования является отсутствие условий для образования гумуса, накопление карбонатов кальция и магния при слабощелочной реакции раствора. Практически все почвы засолены.

IV. НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

Что такое сукцессия?

Процесс смены биогеоценоза (экосистемы) при поступательном развитии носит название *сукцессии*. Экосистемы могут сменять друг друга в определенной последовательности. Скалы, потоки вулканической лавы в первую очередь заселяются наиболее неприхотливыми растениями - лишайниками и мхами, при этом начинается более активное выветривание, постепенно происходит накопление органического вещества и формируются *примитивные почвы*. За этими первопроходцами следуют однолетние, затем и многолетние травы, образуется развитый почвенный профиль. Позднее появляются кустарники и деревья. Соответственно изменению растительности изменяется и видовой состав обитающих в экосистеме животных. Рано или поздно экосистема достигает определенного равновесия (*климакс*), и без вмешательства извне резких изменений в ней происходить не будет.

Если сукцессия происходит вследствие внутренних взаимодействий, то ее называют *эндодинамической*, если она является результатом внешнего воздействия – *экзодинамической*. *Эндодинамические сукцессии*, как правило, вызваны тем, что существующая экосистема создает неблагоприятные условия для наполняющих ее организмов (почвоутомление, неполный круговорот веществ, самоотравление продуктами выделения или разложения и т.п.). *Экзодинамические сукцессии* могут быть вызваны изменением каких-либо внешних факторов, например, климата в одном направлении (в сторону потепления или похолодания), иссушением почв в результате осушения или понижения уровней грунтовых вод по другим причинам. Такие смены могут длиться столетиями и тысячелетиями, и их называют *вековыми сукцессиями*.

Сукцессии, которые начинаются с исходно безжизненного субстрата, называют *первичными*. Кроме отвалов горных пород, такие сукцессии могут начинаться на песчаных обнажениях, продуктах извержения вулканов (застывшая лава, отложения пепла). *Вторичные сукцессии* начинаются обычно не с нулевых значений, а возникают на месте нарушенных или разрушенных экосистем. Например, после вырубок лесов, лесных пожаров, при зарастании площадей, находившихся под сельскохозяйственными угодьями. Основное отличие этих сукцессий заключается в том, что они протекают намного быстрее первичных, так как начинаются с промежуточной стадии (трав, кустарников или древесных растений-пионеров) на более богатых почвах.

Завершающей стабильной стадией развития экосистемы является *климаксное* сообщество. Экосистема или сообщество, находящиеся в состоянии климакса, поддерживают себя неопределенно долго, все внутренние компоненты уравновешены друг с другом и с окружающей средой. При этом, в одном и том же географическом районе может формироваться несколько завершающих (климаксных) экосистем. Например, в лесной зоне, наряду с еловыми и елово-лиственными лесами, в качестве климаксных рассматриваются также луговые экосистемы и сосновые леса.

Каковы общие закономерности сукцессионного процесса?

Для любой сукцессии, особенно первичной, характерны следующие общие закономерности протекания процесса.

1. На начальных стадиях видовое разнообразие незначительно, продуктивность и биомасса малы, но по мере развития сукцессии эти показатели возрастают.
2. С развитием сукцессионного ряда увеличиваются взаимосвязи между организмами, полнее осваивается среда обитания, усложняются трофические цепи питания.
3. Уменьшается количество свободных экологических ниш, и в климаксном сообществе они либо отсутствуют, либо находятся в минимуме, уменьшается вероятность вспышек численности отдельных видов.

4. Интенсифицируются процессы круговорота веществ, поток энергии и дыхание экосистем.
5. Скорость сукцессионного процесса в большей мере зависит от продолжительности жизни организмов, играющих основную роль в сложении и функционировании экосистем. Наиболее продолжительные сукцессии в лесных экосистемах, короче они в степных и луговых экосистемах, еще быстрее – в водных.
6. В зрелой стадии климаксного сообщества биомасса обычно достигает максимальных или близких к максимальным значений вследствие более полного освоения пространства.
7. Неизменяемость завершающих стадий сукцессий относительна. Динамические процессы при этом не приостанавливаются, а лишь замедляются.

Почему человек является одним из факторов динамики экосистем?

Наряду с природными факторами причинами динамики экосистем все чаще выступает человек. К настоящему времени им разрушено большинство коренных экосистем. Степи почти полностью распаханы (сохранились только на заповедных участках), преобладающие площади лесов представлены переходными экосистемами – вторичными лесами из лиственных древесных пород (береза, осина, реже ива, ольха и другие), которые являются промежуточными стадиями сукцессий. К сменам экосистем ведут как осушение болот, чрезмерные нагрузки на леса (в результате отдыха населения, химических загрязнений среды, усиленного выпаса скота, пожаров и т.д.).

Антропогенные воздействия часто ведут к упрощению экосистем (депрессиями). Различают пастбищные, рекреационные и другие депрессии. Смены такого типа обычно завершаются не климаксными экосистемами, для которых характерно усложнение структуры, а стадиями *катоценноза*, которые нередко заканчиваются полным распадом экосистем.

Климаксные экосистемы обычно чувствительны к различным вмешательствам в их жизнь. К подобным воздействиям, кроме хвойных лесов, чувствительны и другие коренные сообщества, например дубовые леса. Это одна из причин катастрофической гибели дубрав в современный период и замена их, как и хвойных лесов, менее ценными, но более устойчивыми временными экосистемами из березы, осины, кустарников или трав, что особенно типично при разрушении степных и лесостепных дубрав.

Как соотносятся понятия «саморазвития» и «эволюции почв»?

Почва – один из важнейших компонентов наземных экосистем. Существует две формы развития почв. Во-первых, развитие почв в условиях, когда факторы почвообразования, прежде всего климат и рельеф, остаются неизменными. Во-вторых, эволюция почв с изменением внешних условий,

т.е. почвообразующих факторов. Первую форму развития принято называть *саморазвитием почв*, а вторую – *эволюцией*.

Эволюция почв – это их изменение во времени в процессе взаимодействия факторов почвообразования, направленное на достижение равновесного состояния с существующей физико-географической обстановкой. В ходе эволюции формируется почва, которая находится в равновесии или квазиравновесном состоянии по отношению к климату и растительности, – так называемая, климаксная почва. *Климаксная почва* – это полностью сформированная почва, находящаяся в равновесии с климатом и растительностью при условии, что сама растительность является климаксной (коренной), т.е. соответствует существующим климатическим условиям и не изменена человеком.

Почему почву называют памятью ландшафта?

Почву часто называют *памятью или зеркалом ландшафта*, так как в своих свойствах она отражает особенности факторов почвообразования как в современном, так и в историческом аспектах. Интересна концепция В.О Таргульяна и И.А Соколова, согласно которой почвенное тело состоит из *почвы-памяти* – комплекса устойчивых свойств и признаков, возникающих в ходе всей истории ее развития, и *почвы-момента* – совокупности наиболее изменчивых процессов и свойств почвы в момент наблюдения. Из всех компонентов ландшафта почва обладает наиболее выраженной способностью к отражению факторов географической среды и хранит в генетическом профиле наибольшее количество информации. Особый аспект проявления функции почвы как «памяти» ландшафта связан с сохранением в древних почвах информации давней эволюции природной среды.

Влияет ли процесс саморазвития почв на динамику БГЦ?

Тесная зависимость функционирования и динамики наземных БГЦ от свойств почв приводит тому, что при поступательной трансформации этих свойств начинают испытывать направленные изменения и БГЦ. Наиболее наглядным примером могут служить изменения БГЦ в результате заболачивания.

В *подзолистых почвах*, часто встречающихся в таежно-лесной зоне, в пониженных замкнутых депрессиях водораздельной части территории в процессе почвообразования формируется уплотненный иллювиальный горизонт, плохо проницаемый для воды и воздуха. В большинстве случаев до заболачивания такая территория покрыта еловым лесом с большим количеством зеленых мхов и редких кустарничков черники и брусники. Заселение территории зелеными мхами усиливает процесс накопления влаги, дождевые капли свободно принимают через мох и поглощаются органическими веществами полуразложившейся подстилки и остатками мха. Нисходящие токи воды доходят до плотного иллювиального горизонта и создают столб практически неподвижной влаги, заполняющей все капилляры почвы. Вода, соприкасаясь с продуктами разложения лесной подстилки и

мхов, быстро обедняется кислородом, во всех слоях почвы усиливаются анаэробные процессы. Еловый лес начинает деградировать, к зеленым мхам добавляются сфагновые мхи, и ель постепенно исчезает. Болото становится переходным. Появляются кустарники – багульник, подбел, клюква, различные осоки. В этот период почва становится *торфяно-глеевой*. В дальнейшем торфяная масса будет нарастать, заболоченная часть территории расширится, занимая более высокие места, торфяной слой заполнит всю низину, почва станет *торфяно-болотной*. Болото станет типично верховым. Таким образом, в результате почвообразовательного процесса на водораздельном понижении лесное сообщество с господством ели переходит в стадию изреженного елового леса с напочвенным покровом из мхов по осветленным местам. В следующей стадии развития болота в сообществе господствуют сфагновые мхи, болотные кустарники и кустарнички [5].

Каким образом почва оказывает влияние на формирование состава и структуры наземных БГЦ?

Большинство почв оказывает активное влияние на формирование состава и структуры современных наземных биогеоценозов. В пределах любого типа БГЦ с корнями каждого вида растений связаны специфические комплексы почвообитающих животных: микроорганизмы, фитофаги и др. Эта приуроченность к корневым системам особенно ярко проявляется в аридных условиях, где корни локализуются на участках почвы с наибольшим содержанием влаги. Отмечается также связь расселения почвенных беспозвоночных с отдельными свойствами почвы. Так распределение пауков и дождевых червей зависит от массы подстилки, а проволочников и моллюсков – от pH почвы.

Важной формой проявления влияния почвы на состав биогеоценозов является воздействие на ее развитие попадающих в нее семян. Из массы семян прорастает лишь небольшая часть, что в значительной мере зависит от водно-воздушного, температурного и пищевого режимов почв, pH, содержания и соотношения в ней метаболитов.

Способность почвы оказывать регулирующее воздействие на состав и структуру биоценозов приобретает все большее значение при решении практических задач восстановления нарушенного растительного покрова уничтоженных биогеоценозов. На почвах, пострадавших в меньшей мере от антропогенных деграционных изменений, восстановление зональных БГЦ пойдет более успешно. Поэтому выявление и сохранение таких почв – одна из первостепенных задач природовосстановительных работ.

Почему неоднородность почвенного покрова является как результатом, так и как условием устойчивого функционирования биогеоценоза?

Неоднородность почв в устойчивом биогеоценозе находится в равновесии со сложившимися условиями. В климаксных и приближающихся к ним естественных биогеоценозах определенным характером неоднородно-

сти почв и почвенного покрова является, по мнению Е.Е Дмитриева, их неотъемлемой принадлежностью, отличающейся не меньшей устойчивостью, чем биотический компонент биогеоценоза. Неоднородность почв и почвенного покрова при этом не является чем-то застывшим после достижения квазиравновесия с прочими компонентами биогеоценоза. Устойчивость неоднородности в этих условиях проявляется в том, что определенный набор почв и общий характер их взаимного размещения в пространстве почвенного покрова могут сохраняться длительное время без существенного изменения. Зрелый биогеоценоз не просто поддерживает созданную им неоднородность, он воспроизводит ее. При этом почвенный покров, находящийся в устойчивом равновесии с другими компонентами биогеоценоза в каждой конкретной точке, всегда представлен почвой, в определенной степени неуравновешенный с внешними условиями и находящейся в состоянии направленного изменения. Неоднородность почв и почвенного покрова является не только результатом функционирования биогеоценоза, но и обязательным условием его нормальной жизнедеятельности и устойчивости. Именно неоднородность почвенного покрова определяет наличие разнообразных экологических ниш и многообразие населяющих биогеоценоз живых организмов.

В зрелых лесных биогеоценозах неоднородность почвенного покрова поддерживается *педотурбациями* (механическими нарушениями почвенного покрова, сопровождающимися уничтожением поверхностных горизонтов), которые возникают в процессе жизнедеятельности животных и при вывале деревьев. Вынесение на поверхность нижних слоев почв способствует привнесению в корнеобитаемый слой питательных элементов, удаленных из него в процессе почвообразования, причем их количество зачастую намного превышает их поступление с растительным опадом [15].

Педотурбации прямо (перемешивание и перемещение почвенной массы) и косвенно (создание микрорельефа, изменение освещенности) влияют на наличие разных почв и на поддержание в пределах педоценоза почв разной степени зрелости. В свою очередь такие локальные нарушения почвенного покрова обеспечивают возможность произрастания видов растений, в иных условиях не выдерживающих конкуренции, обитания некоторых видов животных и пр. Со временем старые вывалы выравниваются, на них формируются зрелые почвы, но в это время в других местах происходит «омоложение» почв в результате педотурбаций.

Таким образом, неоднородность почв и почвенного покрова естественных биогеоценозов, являясь в значительной мере следствием функционирования прошлых и современных биогеоценозов, играет положительную роль, обеспечивая многообразие биотического компонента и устойчивость его функционирования.

Что такое парцеллы и тессеры?

Парцеллы – структурные части горизонтального расчленения биогеоценоза, отличающиеся друг от друга составом, структурой и свойствами.

ми своих компонентов, спецификой их связи и материально-энергетического обмена. Это комплексное понятие, так как включает в себя как часть биогеоценоза растительность, животных, микроорганизмы, почву и атмосферу по всей толще биогеоценоза. Организатором (*эдификатором*) парцеллы может являться целое дерево, совокупность близко стоящих деревьев, которые обладают способностью формировать биогеоценотическое поле. Границы парцеллы очерчиваются преобладающими видами (доминантами) напочвенного покрова. Называют парцеллы, как правило, по названиям видов – эдификаторов.

Парцелла – открытая система, для которой характерны приток и отток вещества и энергии, и время существования которой ограничено. Степень разнокачественности почв под разными парцеллами определяется не только разнокачественностью характера биологического круговорота над ним, но и временем проявления этих разнокачественных процессов [15]. Почва обладает некоторой инертностью, и для проявления новых признаков и свойств, так же как и для исчезновения старых, необходим определенный промежуток времени.

Каждому биогеоценозу присущ свой определенный тип почв, но степень проявления почвообразовательных процессов в отдельных парцеллах разная, поэтому почвы различных парцелл несколько отличаются друг от друга. Парцеллы создают своеобразный рисунок почвенного покрова. Отличия в свойствах почв различных парцелл иногда настолько существенны, что они относят к разным подтипам.

Наибольшие различия в свойствах почв парцелл наблюдаются в приземном слое, с глубиной они сглаживаются. Анализ почв под дубово-снытево-осоковой и липово-снытево-осоковой парцеллами показал, что под последней больше мощность гумусового горизонта, выше содержание гумуса и питательных веществ, ниже кислотность. Поэтому смешанные дубово-липовые насаждения более продуктивны, чем дубовые. Примесь лиственных пород к хвойным оказывает благоприятное воздействие на свойства почв под хвойными лесами. Но и в пределах парцелл почва неоднородна, хотя эти различия менее заметны. Причинами этого могут быть колебания величины опада, запасов подстилки по мере удаления от дерева, различия в химизме осадков, стекающих по стволу и проходящих через крону, неравномерное развитие корневых систем и различия в составе корневых выделений и т.д.

Почвенный компонент однородного участка парцеллы, обладающий индивидуальной изменчивостью в горизонтальном направлении, называют *тессерой*. Иногда сходными между собой бывают тессеры из различных парцелл.

Что такое фактор гомогенизации почв?

На функционирование почв всегда откладывает отпечаток фактор *гомогенизации* – выравнивания почвенной массы по свойствам в процессе педотурбации, перемешивания почвы. При ветровалах и вывалах деревьев

происходит формирование микрорельфа, в почве при этом зачастую не просматривается разделение на отдельные горизонты, она становится практически однородной по вертикали. Гомогенизирующее воздействие растений, позвоночных и беспозвоночных животных проявляется в основном локально и заключается в вертикальном движении почвенной массы: выносе минеральных веществ из глубины на поверхность, перемешивании иллювиальных и элювиальных горизонтов.

Какие растения называют эдификаторами биогеоценозов?

Все климаксные сообщества объединяет сходство видов-эдификаторов. Эдификаторы – это виды растений с сильно выраженной средообразующей способностью, которые определяют строение и, в известной степени, видовой состав растительного сообщества. Оказывают сильное воздействие на среду и через неё на жизнь прочих растений сообщества.

К эдификаторам относится, например, ель в еловом лесу, которая, образуя густую крону, задерживает до 50% осадков и пропускает мало света. В связи с этим в густом еловом лесу царит полусумрак, что позволяет жить в нём только теневыносливым растениям. Кроме того, под пологом ели наблюдается повышенное содержание водяных паров и углекислоты, а также пониженная днём и повышенная ночью (по сравнению с соседними открытыми местами) температура, что отражается на средней годовой температуре внутри леса. Корневые выделения ели способствуют созданию кислой среды и процессу оподзоливания почв.



Рис.16. Характерные растения плотнокустовой стадии дернового процесса: 1 – белоу; 2 – сивец луговой; 3 – ожига обыкновенная; 4 – лапчатка лесная; 5 – полевица обыкновенная; 6 – манжетка; 7 – колокольчик; 8 – гребенник; 9 – трясунка средняя; 10 – клевер темноцветный; 11 – щучка дернистая; 12 – подорожник; 13 – осока заячья (по И.Ф.Голубеву)

Визуально степень благоприятности условий произрастания оценивается по растениям-индикаторам. Так, для лесной зоны кислица указывает на условия увлажнения, близкие к оптимальным, и значительное богатство почв питательными минеральными веществами; черника – на несколько избыточное увлажнение и некоторый дефицит элементов минерального питания; брусника – на дефицит увлажнения и почвенного плодородия; мхи (кукушкин лён и сфагнум) – на чрезмерно избыточное увлажнение, дефицит минеральных веществ, недостаток кислорода для дыхания корней и наличие процессов торфообразования. Наряду с индикаторами меняется состав и других видов, произрастающих под пологом эдификаторов.

По растениям-эдификаторам и растениям-индикаторам называют биоценозы. Лесоводы их определяют как типы леса (например, ельники-кисличники, ельники-черничники, ельничко-сфагновые и другие). По такому же принципу классифицируются и называются другие растительные сообщества. В этом случае они носят название ассоциаций растений, по которым называются экосистемы. Это элементарные единицы относительно однородного по видовому составу и другим признакам растительного покрова. Например, для степей выделяются типчаково-ковыльные, злакотравные и тому подобные экосистемы.

Почему неоднородность почв лесных биогеоценозов является результатом эндодинамической сукцессии?

В своем развитии лесные биогеоценозы могут претерпевать различные изменения, которые приводят и к изменению почв, развитых под пологом леса. И.Ф. Голубев [5] приводит следующую схему подобного изменения.

Лес имеет специфические особенности, под его пологом почва прогревается меньше, чем на открытом воздухе, движение воздуха в нем замедленно. Дождевая влага лишь частично задерживается кронами для деревьев и поглощается лесной подстилкой, большая ее часть всасывается почвой. Лес способствует некоторому увеличению осадков над данной территорией, вызывая охлаждение и конденсацию водяных паров. Лесная подстилка равномерно покрывает почву, предохраняя ее от испарения и нагрева. Корневая система деревьев проникает на глубину 4-5 м, т.е. в 3-5 раз глубже большинства травянистых растений, диаметр корней деревьев также намного больше, чем у трав. Под физиологически зрелым лесом по сравнению с лугом наблюдается дополнительное постоянное давление на почву, в результате слои почвы сильно уплотняются. Зимой в лесу снежный покров ложится ровно, почва промерзает на меньшую глубину, чем на открытых местах. Грубый лесной опад, состоящий главным образом из клетчатки, лигнина и дубильных веществ, защищен от воздействия прямых солнечных лучей и находится в условиях устойчивого увлажнения. Лесная подстилка разлагается преимущественно грибами, актиномицетами, и в меньшей степени бактериями с образованием преимущественно фульво-

кислот. Выделяемые бактериями энзимы вызывают разрушение полевых шпатов, каолина и других алюмосиликатов, с высвобождением кремнезема и образованием вторичных глинистых минералов и гидратов алюминия и железа. Продукты гидролиза переносятся нисходящим током воды в ниже лежащие горизонты. Образуются характерные для лесной зоны *подзолистые почвы*.

На осветленных, промываемых дождем местах (вырубках и полянах) под бурьянистой растительностью из иван-чая, крапивы, одуванчиков, вейников, ландыша, земляники подстилку разлагают уже не грибы, а преимущественно аэробные бактерии, что ведет к образованию нитратов и гуминовых кислот. Высвободившиеся в результате бактериального разложения лесной подстилки основания (кальций, магний, калий) соединяются с гуминовой кислотой и все продукты разложения приобретают реакцию, близкую к нейтральной. Когда большая часть лесной подстилки разложится, верхний слой почвы несколько уплотнится, появятся условия для замены бурьянистой растительности корневищными злаками и разнотравьем. Это различные мятлики, овсяницы, тимopheевка, бобовые, василек, колокольчик, образующие рыхлую дернину. Почва постепенно становится *дерново-под-золистой*.

С накоплением органического вещества в верхнем слое почвы увеличивается ее влагоемкость и уменьшается аэрация, начинают преобладать плотнокустовые злаки и разнотравье – щучка дернистая, белоус, овсяница, черноголовка, ястребинка, лютик. Создается плотная дернина, в глубоких слоях почвы складываются анаэробные условия, почвы превращаются в *дерново-глеевые*, начинается процесс заболачивания.

Как соотносятся понятия продуктивности фитоценозов и плодородия почв?

Продуктивность как фундаментальное свойство любого фитоценоза, это способность создавать, трансформировать и консервировать органическое вещество. Чистая продукция (учетная продукция) – та, которая остается за минусом расходов на дыхание, включая привнос органического вещества и учитывая вынос вещества, что особенно важно для смежных и сопряженных фитоценозов. Так, только на севере около 50% опада может быть вынесено из пределов фитоценоза из наземных экосистем в водные.

Важно изменение продуктивности по зонам. По мере увеличения радиационного баланса с севера на юг продуктивность фитоценозов увеличивается. В северных регионах продуктивность автоморфных и морфных ландшафтов довольно близка, южнее заметно расхождение этих величин. Это объясняется тем, что величина продукции является сложной величиной. В частности, в тундровых экосистемах продуктивность ченных фитоценозов даже при относительно неблагоприятном гидротермическом режиме сравнима с автоморфными фитоценозами. Продуктивность одних и тех же видов, например мхов, может быть одинакова и в тундрах, и в таежных системах.

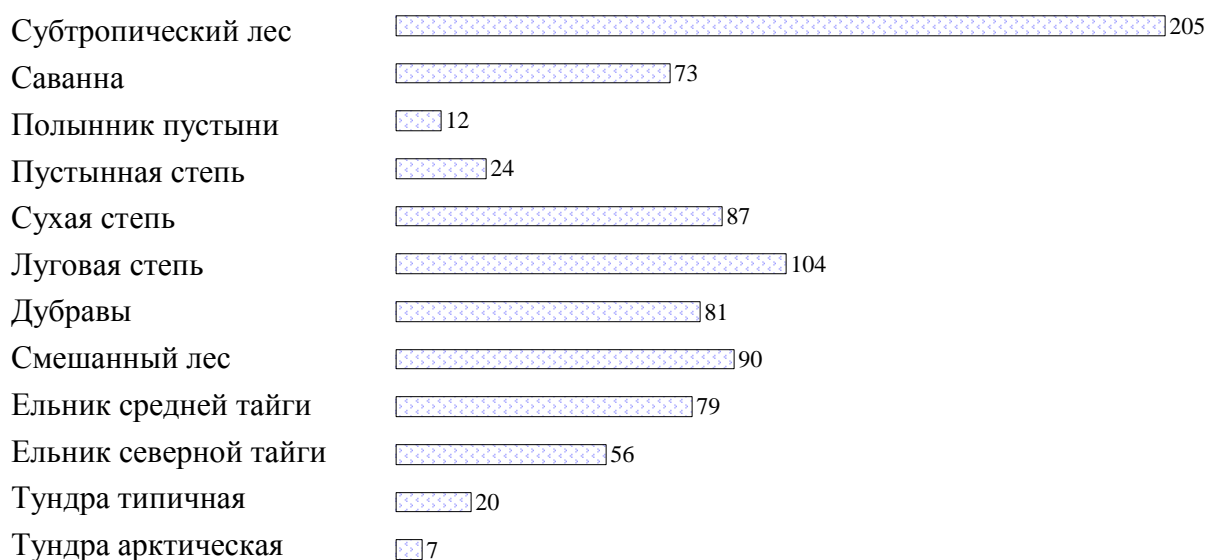


Рис. 17 Показатели продуктивности различных фитоценозов, ц/га (по Л.А. Гришиной)

Под *плодородием* понимают способность почвы обеспечивать все условия, необходимые для жизнедеятельности растений, с целью получения урожая в конкретных экологических условиях и при конкретных управляющих воздействиях. Плодородие почв тесно связано с их происхождением (разные типы почв характеризуются разным уровнем плодородия), а на пашне и с характером сельскохозяйственного использования почвы.

Естественное плодородие – способность почвы в многолетнем цикле обеспечивать растения одновременно всеми необходимыми условиями жизни за счёт состава, свойств и режимов почвы, формирующихся в процессе её развития и эволюции под влиянием природных факторов. К ним относят морфологические, физические и физико-химические свойства, минералогический, химический и гранулометрический состав, гумусированность, качественный состав микроорганизмов, водно-воздушный, питательный и токсикозный режимы. Их количественные и качественные характеристики определяют величину естественного плодородия. У подавляющего большинства природных почв оно невелико. Окультуривание уменьшает различия в уровне плодородия генетически различных почв.

Продуктивность фитоценозов напрямую зависит от климатических условий и плодородия почв, хотя видовой состав фитоценоза является фактором, влияющим на плодородие, в частности на количественный и качественный состав гумуса, кислотность, доступность элементов питания.

Согласно исследованиям Л.О. Карпачевского [15] практически для всех древесных пород наибольшее значение для продуктивности имеет содержание в почве органического вещества, степень насыщенности основаниями гумусового горизонта и содержание в нем физической глины. Но каждая древесная порода имеет свой определенный набор факторов, который играет ведущую роль в формировании продуктивности насаждений. Так, продуктивность сосны обыкновенной больше всего зависит от содержания подвижных форм калия, фосфора и обменных оснований, а сосны Муррея – от содержания физической глины и гумуса в горизонте A1, его

мощности и порозности. Продуктивность дуба тесно связана со степенью насыщенности верхнего горизонта основаниями, величиной рН и содержанием подвижного калия. Поэтому зависимость продуктивности фитоценозов от плодородия почв неоднозначна, и в каждом конкретном случае определяется разными параметрами. В системе «фитоценоз – почва» хорошо выражена обратная связь: лучшее развитие фитоценоза способствует улучшению почвы, что, в свою очередь улучшает состояние фитоценоза. В естественных фитоценозах увеличение продуктивности ограничивается предельностью развития почвенных свойств (содержанием гумуса, питательных веществ, воды и т.д.).

В сельском хозяйстве нередко уровень урожайности возделываемых культур принимается за уровень плодородия почв, но в природе эти взаимоотношения намного сложнее и не всегда выражаются прямолинейными корреляционными связями, поэтому утверждение, что повышение плодородия почв снимает зависимость от погодных условий, не соответствует действительности. Повышение плодородия усиливает лишь буферные свойства почв (до определенного предела) и несколько смягчает лимитирующее воздействие погоды.

V. ЧЕЛОВЕК И ПОЧВА

Каковы основные тенденции изменения почвенного покрова Земли под воздействием человека?

Обеспечение жизни на Земле характеризуется понятием «*плодородие*», это главное богатство любого государства, материальная основа существования человечества. Плодородие почвы обеспечивает жизнь человечества, поскольку дает ему почти всю массу продуктов питания и значительную часть органического сырья для многих отраслей промышленности. С падением плодородия земель государства попадают в экономическую зависимость от более развитых стран, снижается продовольственная безопасность, а некоторые страны в прошлом просто исчезали с карты мира. Как отметил американский эколог Небел: «...на истощенных землях живут нищие, или они совсем безлюдны».

Но активное вмешательство человека в природные процессы привело к появлению ряда проблем, основными из которых являются:

1. *Абсолютное уменьшение продуктивных земельных ресурсов планеты;*
2. *Физическая деградация почв;*
3. *Дегумификация почв;*
4. *Аридизация и антропогенное опустынивание;*
5. *Эрозия и дефляция почв;*
6. *Изменение почв на орошаемых землях, увеличение площади затопленных и подтопленных земель;*
7. *Радиоактивное загрязнение почв;*
8. *Химическое загрязнение почв;*

Почему происходит уменьшение продуктивных земельных ресурсов?

По усредненным оценкам площадь пахотно-пригодных угодий земель мира составляет 3 млрд га. В настоящее время распахана примерно половина всех этих земель. Полностью распаханы все лучшие высокопроизводительные земли, остались малопродуктивные, требующие больших капиталовложений. В расчете на душу населения за вторую половину XX века площадь земель под зерновыми культурами сократилась с 0,23 до 0,12 га (по прогнозу к 2050 г. – 0,07 га). Ежегодно из сельскохозяйственного производства выбывают 15 млн га плодородных земель.

Таблица 7

Потери продуктивных почв (по Г.В. Добровольскому и Е.Д. Никитину)

Показатель	За 10 тыс. лет	За последние 300 лет	За последние 50 лет
Площадь потерь, млн га	2000	700	300
Среднегодовой темп потерь, млн га	0,2	2,3	6

Основными причинами уменьшения площади сельскохозяйственных угодий являются проявления эрозии почв, недостаточно продуманный отвод земель для несельскохозяйственных нужд (дорог, промышленных предприятий, строительства), затопление, заболачивание, зарастание лесом и кустарниками.

Что такое физическая деградация почв?

Основной формой *физической деградации почв* является *переуплотнение* корнеобитаемого слоя на интенсивно используемых полях и пастбищах. Оптимальная плотность для пахотного горизонта составляет 1,0-1,3 г/см³. При переуплотнении продуктивного слоя почвы ходовыми системами сельскохозяйственных машин плотность возрастает до 1,5-1,8 г/см³, что снижает урожайность зерновых в среднем на 20%, уменьшает эффективность удобрений на 40%, повышает суммарный расход горючего на 18%. Усадка и уплотнение под воздействием тяжелой техники вызывают изменение физических свойств почв до глубины 70-80 см.

Уплотнение почвы ухудшает ее водно-воздушный режим, повышает сопротивление деформациям и последующим механическим обработкам, создает помехи для прорастания семян, роста корней, формирования клубней. Снижается скорость фильтрации воды через почву, уменьшается общая пористость, и в первую очередь пористость аэрации, происходит снижение агрономической ценности структуры, появляется крупная, тяжело устранимая глыбистость пашни. Ухудшается температурный режим, уплотненные почвы заметно холоднее, чем нормальные. Усиливается поверхностный сток воды и смыл мелкозема, снижается видовой и количественный составы почвенной фауны. Последствия переуплотнения могут сохраняться в почве в течение нескольких лет. В России 40% почв уплотнено в сильной степени и 50% – в средней.

Для улучшения водно-физических свойств почв необходимо строгое соблюдение севооборотов с многолетними травами, способствующими восстановлению структуры верхних горизонтов почв. Необходимо снизить количество проходов техники по полям, облегчить ее вес, вносить высокие дозы органических удобрений для саморазуплотнения почв.

Что такое дегумификация почв?

При уничтожении естественной растительности и распахивании земель происходит *дегумификация почвы* (потеря гумуса). Обычно в течение первых нескольких лет распашки запас гумуса в почве уменьшается на 25-50% от исходного на целине. Снижение гумусированности связано с невозможным выносом питательных веществ путем отчуждения с урожаем. Следствием этого является повышение концентрации CO_2 в атмосфере, сопровождаемой «парниковым эффектом», способствующим ускорению процесса дегумификации. Это не цикл, а расширяющаяся спираль, с непредсказуемыми экологическими последствиями. Ежегодные потери гумуса составляют в среднем 0,62 т/га.

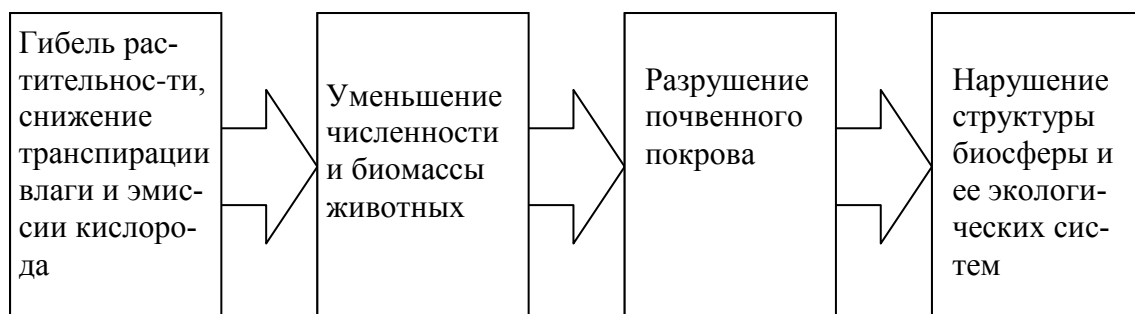
Таблица 8

Дегумификация почв (по Г.В. Добровольскому и Е.Д. Никитину)

Показатель	За 10 тыс. лет	За последние 300 лет	За последние 50 лет
Количество потерянного углерода, млрд т	313	90	38
Среднегодовая потеря углерода, млрд т	31,3	300	760

Как проявляются процессы аридизации и антропогенного опустынивания?

Аридизация и антропогенное опустынивание наступают при нерациональном использовании природных ресурсов аридных и семиаридных территорий (вырубка лесов, неразумное использование пастбищ, нарушение растительного покрова). *Аридизация почвы* – это сложный и разнообразный комплекс процессов снижения увлажненности обширных территорий, и вызванного этим сокращения биологической продуктивности экологических систем “почва – растения”.



При *антропогенном опустынивании* необратимо (в рамках человеческого масштаба времени) уменьшается способность геосистемы обеспечивать растительность и другие организмы продуктивным запасом воды.

Общий запас воды при этом может и не уменьшаться, возрастает лишь ее минерализация. Угодья, окаймлявшие пустыни, не выдерживают нагрузки и сами превращаются в пустыни, что приводит к ежегодной потере тысяч гектаров пригодных для сельского хозяйства земель. Процесс усугубляют и примитивное земледелие, нерациональное использование пастбищ и других угодий, хищническая эксплуатация огромных территорий, которые возделываются без всякого севооборота или ухода за почвой. В засушливых районах на юго-востоке европейской части России, где на месте некогда продуктивных пастбищ и земель теперь все большую площадь занимают барханные пески. В Калмыкии наблюдается 40-50 тыс. га ежегодного прироста опустыненных земель. В Африке Ливийская пустыня продвигается к Нилу со скоростью 13 км/год [18].

В чем суть процессов эрозии и дефляции почв?

Процесс разрушения почвы под влиянием воды и ветра называется *эрозией почв*. Это естественный геологический процесс, который усиливается недостаточно продуманной хозяйственной деятельностью человека. Почвы сельскохозяйственных угодий России ежегодно теряют около 1,5 млрд т плодородного слоя вследствие проявления эрозии. Годовой прирост площади эродированных почв составляет 0,4-1,5 млн га, оврагов — 80-100 тыс. га. Загрязнения водоемов продуктами водной эрозии по своим отрицательным последствиям не уступают воздействию сброса загрязненных промышленных стоков. Снижение урожая на эродированных почвах составляет 36—47%. В России эродировано или эрозионно опасно 68% пашни и более 54% сельскохозяйственных угодий. Урожайность на таких землях снижается в среднем на 30-40%, а в некоторых случаях и на 90%. *Дефляции* (ветровой эрозии) наиболее подвержены осушенные маломощные торфяники с органогенным слоем менее 1 м. Разрушительная сила ветра на таких угодьях настолько велика, что возделывание пропашных культур здесь полностью исключается.

Как изменяются почвы на орошаемых и подтопленных землях?

Процессы *прогрессирующего засоления* почв в результате повышения уровня сильно минерализованных грунтовых вод при орошении резко ограничивают продуктивность био- и агроценозов, снижают биоразнообразие видового состава организмов и экосистем, выступают мощным фактором опустынивания территорий. За счет забрасывания испорченных орошаемых земель растет солончаковая пустыня.

В связи со строительством водохранилищ на реках площадь затопленных земель в России превысила 30 млн га. Все больше становятся площади подтопленных земель. (в Ставропольском крае, например, за последние десять лет они увеличились с 0,3 до 1,2 млн га.) В результате подъема вод Каспийского моря затоплено и подтоплено 560 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Переувлажненные почвы выпадают из полеводства, поскольку их обработка крайне затруднена. Существующие в них анаэроб-

ные условия способствуют образованию сероводорода, метана и других токсинов, ухудшению биологических свойств почв, резкому снижению плодородия.

В чем причины радиоактивного загрязнения почв?

Естественные радиоактивные вещества широко распространены в природе. Их излучение создаёт естественный радиационный фон внешнего облучения. Естественная радиоактивность почв обусловлена в основном содержанием в них урана, радия, тория и изотопа калия-40. Обычно в почвах они находятся в сильно рассеянном состоянии и распределяются относительно равномерно. Радионуклиды находятся в почвах в ультрамикрoконцентрациях. Очень низкая массовая концентрация радионуклидов в почвах и почвенных растворах обуславливает существенную зависимость их поведения от концентрации и свойств стабильных изотопов данного химического элемента или химических элементов, сходных с ними по физико-химическим свойствам

Развитие жизни на Земле всегда происходило в присутствии естественного радиоактивного фона. Источниками его являются космическое излучение и естественные радионуклиды почвы. В результате деятельности человека в биосфере появились искусственные радионуклиды, увеличилось количество естественных радионуклидов, извлекаемых из недр Земли с нефтью, углем, газом, рудами.

Проблема глобального загрязнения природы радиоактивными изотопами некоторых элементов возникла с развитием атомной промышленности и испытаниями ядерного и термоядерного оружия. В настоящее время все экосистемы в той или иной степени загрязнены радиоактивными веществами от глобальных выпадений, вызванных ядерными взрывами на суше, в воде и атмосфере. В результате аварии на Чернобыльской АЭС 4232,9 тыс. га сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей загрязнены цезием-137, в том числе 3263,9 тыс. га пашни и 969 тыс. га сенокосов и пастбищ.

Какие радионуклиды обуславливают загрязнение почв?

Радиоактивное загрязнение почв ландшафтов и экосистем в настоящее время обуславливают в основном два радионуклида: цезий-137 и стронций-90. Включаясь в биологическую цепочку «почва – растение – животное – человек» они оказывают поражающее влияние на здоровье людей. В почвах длительных интенсивных агроэкосистем, кроме того, определяют валовое количество калия-40.

Цезий-137 является бета- и гамма-излучателем с периодом полураспада 30,17 года. Большая подвижность радиоцезия определяется тем, что это радиоизотоп щелочного элемента, химического аналога биогенно важного элемента К, который служит в природных системах химическим носителем Cs-137. Стронций-90 имеет период полураспада 28,1 года и является бета-излучателем. Его относят к числу самых биологически подвиж-

ных. Закрепление и распределение этого радионуклида в почве в основном определяются закономерностями поведения изотопного носителя – стабильного стронция, а также химического аналога – стабильного кальция. Калий-40 является бета-излучателем с периодом полураспада $1,28 \cdot 10^9$ лет. В процессе хозяйственной деятельности человека потоки этого радионуклида в компонентах биосферы возрастают – в естественный круговорот дополнительно вовлекается калий-40 минеральных калийных удобрений.

Первым фактором снижения уровня радиоактивного загрязнения природной среды является естественный распад радионуклидов, а вторым – их миграционные способности и перераспределение за счёт антропогенной деятельности. Почвы тяжелого гранулометрического состава хорошо сорбируют Cs-137, снижая его поступления в растения.

По мере удаления от момента аварии происходит улучшение радиоэкологического состояния почв. В условиях радиоактивного загрязнения территорий одним из факторов снижения дозы облучения является внедрение системы мероприятий, ограничивающих поступление радионуклидов из почвы в растения и организм животных и человека, для чего необходимо знать закономерности миграции радионуклидов.

Как ведут себя в почве основные радионуклиды?

В природных условиях миграция радионуклидов происходит:

- 1) в горизонтальном и вертикальном направлениях путем фильтрации атмосферных осадков вглубь почвы;
- 2) с капиллярным подтоком влаги к поверхности в результате испарения;
- 3) с термопереносом влаги под действием градиента температур;
- 4) при диффузии свободных и адсорбированных ионов;
- 5) в результате переноса по корневым системам растений;
- 6) в результате переноса мигрирующих коллоидных частиц;
- 7) при роющей деятельности почвенных животных;
- 8) при хозяйственной деятельности человека.

Интенсивность миграции определяется физическими и физико-химическими свойствами почвы и химической природой радионуклидов. Миграция вглубь почвы с течением времени снижает мощность внешнего облучения живых организмов, уменьшает интенсивность выдувания и вымывания радионуклидов поверхностными водами. Это влияет на размеры перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и дозу внутреннего облучения. Однако интенсивное передвижение радиоактивных веществ по почвенному профилю может создать угрозу загрязнения грунтовых вод.

Изучение особенностей распределения Cs-137 по профилю почв агроландшафтов показало, что независимо от группы ландшафтов основное количество радионуклида сосредоточено в верхнем генетическом горизонте, где он прочно связывается с органическим веществом и глинистыми минералами. В 0-30-сантиметровом слое почв сопряженных ландшафтов

происходит увеличение общего содержания цезия-137 вниз по рельефу вследствие его перемещения с потоками почвенной влаги.

Для большинства почв, грунтов и радионуклидов установлено, что чем выше степень сорбционного поглощения ионов радионуклидов из растворов, тем ниже десорбция другими ионами. При этом, чем выше рН жидкой фазы, тем выше сорбция и ниже десорбция. Энергия поглощения одного и того же иона, а также прочность удержания его в поглощенном состоянии различаются в зависимости от состава почвенного раствора и свойств почвы.

При взаимодействии ионов радионуклидов с почвами соблюдаются все основные закономерности обмена, а наблюдаемые различия носят количественный характер, но именно они играют решающую роль в поведении радионуклидов в почвах и включении их в биологические цепи в природных условиях. Стронций-90 практически полностью связывается в обменной форме, связь цезия-137 с почвой более прочна. С течением времени обменнопоглощенные радионуклиды могут превращаться в слаборастворимые соединения – фосфаты и карбонаты стронция и пр. Вследствие чего их миграционная способность может снизиться. Для самого верхнего горизонта лесной подстилки характерно увеличение содержания прочно-связанных соединений этих радиоизотопов, что обусловлено, вероятно, влиянием почвенных органических веществ.

Поведение и распределение искусственных радионуклидов в почвах различных ландшафтов связано с поведением и распределением типоморфных (содержащихся в заметных количествах) химических элементов, характеризующихся максимальной подвижностью в данных геохимических условиях и обладающих способностью накапливаться в подчиненных ландшафтах.

Каковы источники химического загрязнения почв?

Главными источниками химического загрязнения почв служат:

- отходы сельскохозяйственного производства;
- отходы переработки сельскохозяйственной продукции и животноводства;
- минеральные удобрения;
- химические вещества, используемые в сельском хозяйстве (пестициды, ядохимикаты, стимуляторы роста);
- нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия;
- атмосферные выпадения в радиусе действия промышленных предприятий (особенно химических и металлургических) и добычи полезных ископаемых;
- автотранспорт;
- тепловые и атомные электростанции;
- бытовые отходы.

Формирующиеся в результате этих воздействий *техногенные аномалии* подразделяются на 3 типа (по А.И.Перельману):

- 1) глобальные, охватывающие весь земной шар;
- 2) региональные, охватывающие часть материка, страны, области;
- 3) локальные, радиусом до нескольких десятков километров, связанные с определенным источником загрязнения.

Загрязнение происходит в форме атмосферных пылевых, твердых и жидких выпадений, газопоступления и в растворенной форме из ирригационных, поверхностных, стоковых, паводковых и грунтовых вод, а также путем непосредственного внесения химических веществ в сельском и лесном хозяйстве, за счет поступления веществ из свалок, мест складирования продукции и отходов, за счет разливов нефти.

Поскольку почва является более устойчивой системой, чем вода и воздух, она способна сопротивляться загрязнению. Но когда внешнее воздействие преодолевает это сопротивление, почва неизмеримо дольше, чем другие среды, остается в загрязненном состоянии и тем самым представляет собой источник отрицательного влияния на здоровье людей и биосферу в целом.

На какие классы опасности и по каким показателям делятся загрязняющие вещества?

Согласно действующей в России классификации выделены 3 класса загрязняющих веществ.

Таблица 9

Классы опасности загрязняющих веществ

№	Класс	Химическое вещество
I	Высоко опасные	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, фтор, бензопирен, бериллий, свинец, цинк
II	Умеренно опасные	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Мало опасные	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

Таблица 10

Показатели класса опасности химического вещества

Показатель	Номера классов опасности		
	I	II	III
Токсичность	<200	200-1000	>1000
Устойчивость в почве, (месяцы)	>12	6-12	<6
Устойчивость в растении, (месяцы)	>3	1-3	<1
ПДК в почве	<0,2	0,2-0,5	>0,5
Влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции	сильное	умеренное	нет
Миграции	мигрирует	умеренная	нет

На чем основывается оценка состояния в почве загрязняющих веществ?

Для оценки состояния в почве загрязняющих веществ (ЗВ) необходимо знать:

- 1) химические свойства ЗВ;
- 2) формы нахождения ЗВ в промышленных и коммунальных выбросах;
- 3) механизмы трансформации в почве поступивших извне ЗВ;
- 4) формы соединений ЗВ в почвах;
- 5) влияние химических свойств почв на состояние ЗВ в почве и влияние ЗВ на химические свойства почвы;
- 6) влияние физических свойств почв на состояние ЗВ в почве и влияние ЗВ на физические свойства почвы;
- 7) направление и темпы аккумуляции ЗВ в почве и ландшафте;
- 8) влияние климатических факторов на почвенно-химические процессы;
- 9) зависимость почвенно-химических процессов от конкретных геоморфологических условий [18].

Каковы географические закономерности распределения в почвах загрязняющих веществ?

Проявляются четкие географические закономерности распределения в почвах загрязняющих веществ. В северо-таежных условиях при избыточном увлажнении, кислой реакции и низких значениях окислительно-восстановительных потенциалов легкорастворимые соли выносятся за пределы ландшафта и поступают в гидросферу, тяжелые металлы перераспределяются в ландшафтах, частично закрепляясь на геохимических барьерах, в подчиненных ландшафтах.

В южно-таежной зоне период господства восстановительных условий менее продолжителен, реакция почв менее кислая, миграция металлов несколько снижается, она осуществляется преимущественно в форме органо-минеральных соединений и коллоидных растворов.

В степных условиях при недостатке влаги, окислительных условиях, нейтральной реакции, устойчивости гумуса подвижность металлов ограничена, они накапливаются в верхних горизонтах почв. В зонах карбонатной аккумуляции формируются осадки, содержащие стронций и барий. Подвижные соединения В, F, Mo, V, As, мигрируют в форме истинных растворов. Они перераспределяются по почвенному профилю и в пределах ландшафта.

В почвах пустынной и полупустынной зон миграция всех элементов низка. В засоленных почвах при испарении могут накапливаться Ag, Hg, В, Mo. В засоленных почвах при щелочной реакции, в отсутствии соды, повышенной подвижности гумуса возрастает подвижность Mn, Fe, Cu, V, миграция идет в форме комплексных соединений с органическими и минеральными комплексообразователями, в коллоидном состоянии и в форме

простых солей. Токсические вещества из загрязненных почв последних зон переходят в растительность (плоды, зерно, корма), мясо и молоко животных.

Что такое устойчивость и проточность почв?

Почва в биосфере действует как накопитель ЗВ, защищая от загрязнения гидросферу и атмосферу. В то же время почва является источником питания растений, и при увеличении в ней содержания ЗВ растет опасность токсического действия на все организмы. В связи с усилением антропогенного воздействия на почву перед человечеством встают задачи прогнозирования и оценки изменяющейся ситуации. Необходимо определение степени устойчивости почв к тем или иным формам вмешательства человека в почвообразование, поскольку способность почв к самоочищению и сохранению нормального функционирования небеспрдельна.

Под *устойчивостью почв* к техногенезу (воздействию промышленности на геохимию ландшафта) понимается их способность к самоочищению от продуктов техногенеза, которая зависит от скорости химических превращений и интенсивности выноса последних из почвы. Выделяются различные типы устойчивости:

- геохимическая устойчивость – способность к самоочищению от продуктов загрязнения;
- биологическая устойчивость – оценка восстановительных и защитных свойств растительности;
- физическая устойчивость литогенной основы (противоэрозионная устойчивость).

Проточность почв – это механизм выноса чужеродных веществ в ходе нормального функционирования. Проточностью обладают все почвы гумидных ландшафтов. Она снижается биологическим поглощением элементов в экосистеме, уменьшая ее устойчивость к загрязнению. При прогнозе способности почвы к самоочищению необходимо учитывать те процессы и свойства, которые увеличивают ее проточность, т.е. особенности водного и теплового режимов, сорбционные свойства, биохимическую активность гумусового горизонта.

Самоочищение почв следует понимать как исключение ЗВ из биологического круговорота. Снижение общего содержания ЗВ может происходить в почве при разложении их до нетоксических соединений и при переходе их из почвы в сопредельные среды в результате испарения, выноса с водными потоками, выноса растениями.

Почва может быть очищена от биологически разлагающихся пестицидов, избавиться ее от стойких пестицидов практически невозможно. Самоочищение почв от тяжелых металлов также практически невозможно.

Какие приемы используют для очищения почв?

Механические приемы: а) удаление верхнего, наиболее загрязненного слоя почвы и его захоронение, б) нанесение на загрязненную почву слоя

чистой плодородной земли мощностью до 10 см. Данные приемы эффективны в зоне промывного водного режима.

Химические способы инактивации почв основаны на переводе ЗВ в малоподвижные соединения и исключении их из биологического круговорота. Известкование почв ведет к ограничению подвижности и, следовательно, снижению токсичного действия избытка Cd, Ni, Cu, Mn, Co, Pb, Zn, As на растения. Внесение органического вещества снижает подвижность Cd, Ni, Co. Добавление серы связывает ртуть.

На всех загрязненных почвах полезно проведение агротехнических мероприятий. Внесение минеральных удобрений ведет к созданию оптимального состояния растений и снижению токсического действия на них ЗВ. Необходимо выбирать устойчивые к загрязнению металлами сельскохозяйственные культуры. На загрязненных почвах рекомендуется высевать культуры, у которых в пищу употребляются плоды, так как в репродуктивных органах растений концентрация ЗВ повышается позже, чем в вегетативных.

Почему происходит подкисления почв?

Особое внимание привлекает *проблема подкисления почв*, в частности в связи с выпадением «кислых» дождей. Выпадение дождей или других атмосферных осадков с высокой кислотностью – это обычный результат выброса в атмосферу продуктов сжигания топлива и выбросов металлургических и химических заводов. В составе таких выбросов много диоксида серы и/или оксидов азота, которые при взаимодействии с водяными парами атмосферы образуют серную и азотную кислоты. Особенно высокая кислотность вод возникает весной при таянии снега.

Действие кислых дождей на почвы неоднозначное. В северных, таежных зонах с почвами, содержащими низкоактивные глины и малое количество гумуса, они увеличивают вредную кислотность почв, способствуют повышению содержания в почвах растворимых соединений токсичных элементов – свинца, алюминия. При этом усиливается и разложение почвенных минералов. Реальный путь борьбы с подкислением таежных почв – установка на заводских трубах фильтров, перехватывающих оксиды серы и азота. Для борьбы с подкислением почв можно использовать также известкование.

Данные Британского института экологии земли свидетельствуют о 10% снижении урожайности ряда сельскохозяйственных культур из-за антропогенного закисления. В результате ущерб сельскохозяйственному производству в странах Центральной Европы оценивается в 500 млн долларов. В тропиках подкисление связано с уничтожением лесов и интенсивной полевой культурой, а повсеместно с внесением аммонийных удобрений (при нитрификации NH_4^+ переходит в NO_3^-).

Изменение кислотно-основного равновесия в почве влияет на мембранный потенциал корней и снижает поглощение катионов из раствора, кроме того, доступность важных биологических элементов – кальция, маг-

ния, калия – падает в результате их выщелачивания из ризосферы в более глубокие горизонты. Повышается подвижность алюминия, обладающего фитотоксичными свойствами, что ведет к снижению общей биомассы корней. Повышается мобильность марганца, цинка, кобальта, кадмия и др., что ведет к возникновению хлороза растений, обусловленного железистой недостаточностью. Происходит снижение устойчивости растений к вредителям и болезням, ослабляется морозо- и засухоустойчивость. Изменяется функционирование корневой системы деревьев, нарушаются симбиотические связи растений и микроорганизмов. Наиболее чувствительны к подкислению хвойные породы и лишайники, отмечаются массовые заболевания лесов (в Германии больны 62% лесов, в Швейцарии – 34%).

Подкисление нейтральных почв вызывает уменьшение общей численности бактерий и актиномицетов при одновременном увеличении доли споровых грибов, наиболее сильно угнетаются нитрофицирующие и аммонифицирующие формы. Снижается общая биологическая активность, и происходят изменения в биохимических процессах. Снижается скорость и уровень минерализации органического вещества. Попадая в грунтовые воды, кислые осадки и продукты их действия проникают затем в водоемы и водопроводную сеть, где способствуют высвобождению из труб алюминия и других вредных веществ, ухудшая качество питьевой воды.

Степень проявления негативных процессов определяется характером и емкостью систем буферности почвы к кислотным осадкам. *Буферность почв* – способность противостоять понижению значений pH при воздействии кислот, которая определяется гранулометрическим составом, остаточной карбонатностью почвообразующей породы, содержанием органического вещества и проявлением признаков гидроморфизма. *Устойчивость почв* – способность при повышении значений pH противостоять до определенных пределов разрушению почвенного поглощающего комплекса.

Кислые маломощные почвы с низкой буферностью не способны полностью нейтрализовать действие кислотных осадков и способствуют формированию кислого внутрипочвенного стока, обогащенного токсичными компонентами, что ведет к закислению рек и озер. Хорошо гумусированные тяжелые почвы, подстилаемые карбонатными породами, обеспечивают полную нейтрализацию кислотного стока.

Однако кислотные дожди в ряде случаев могут быть и полезны. В частности, они обогащают почвы азотом и серой, которых на очень больших территориях явно недостаточно для получения высоких урожаев. В районах распространения карбонатных, а тем более щелочных почв, то они снижают щелочность, увеличивая подвижность элементов питания, их доступность растениям. Поэтому полезность или вредность каких-либо выпадений нельзя оценивать по упрощенным однозначным критериям, а необходимо рассматривать конкретно по типам почв.

В том случае, когда подкисление вызывается нетоксичными компонентами, неблагоприятные процессы могут быть предотвращены или исправлены известкованием.

Что такое тяжелые металлы и как они попадают в почву?

Загрязнению почв тяжелыми металлами (ТМ) в последнее время уделяется много внимания в связи с образованием техногенных аномалий, в которых содержание химических элементов превышает во много раз так называемое *фоновое содержание* (или среднестатистическое содержание в незагрязненных ландшафтах). Под термином ТМ подразумевают такие металлы, которые имеют атомную массу более 50: свинец, цинк, кадмий, ртуть, молибден, марганец, никель, олово, кобальт, титан, медь, хром, висмут, ванадий. Селен и мышьяк по токсичности и ряду свойств стоят близко к перечисленной группе.

Источники поступления ТМ подразделяются на *природные* (выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы, вулканическая деятельность) и *техногенные*. Теоретически техногенные аномалии представляют собой систему концентрических окружностей, в которых концентрация поллютанта (загрязнителя) убывает от центра к периферии. В реальной природной обстановке форма и размеры зон загрязнения отличаются от теоретических под влиянием рельефа, преобладающих ветров и других факторов.

Вокруг крупных предприятий цветной металлургии характерно наличие зоны максимальных концентраций на расстоянии до 5 км от источника и зоны повышенного содержания на расстоянии до 20-50 км. Вокруг предприятий малой мощности зона максимального загрязнения простирается на расстоянии 1-2 км. Вокруг крупных тепловых электростанций диаметр зоны загрязнения равен 10-20 км, а полоса загрязнения вблизи автострад достигает 100 м и более. Значительным источником загрязнения являются любые городские территории.

Таблица 11

Уровни загрязнения почв химическими элементами (по А.М. Ивлеву, А.М. Дербенцевой)

Химические элементы	Уровни загрязнения в величинах ПДК (мг/кг)				
	допустимый	низкий	средний	высокий	очень высокий
Ванадий	150	<225	225-300	300-350	>350
Кадмий	0,05	<3	3-5	5-20	>20
Кобальт	5	<50	50-150	150-300	>300
Медь	3	<200	200-300	300-500	>50
Мышьяк	2	<20	20-30	30-50	>50
Никель	4	<150	150-300	300-500	>500
Ртуть	2.1	<3	3-5	5-10	>10
Свинец	30	<125	125-250	250-600	>600
Хром	0,6	<250	250-500	500-800	>800
Фтор	10	<15	15-25	25-50	>50
Цинк	23	<500	500-1500	1500-3000	>3000

От чего зависит характер перераспределения ТМ в почвах?

Характер профильного распределения ТМ в естественных и техногенных ландшафтах существенно различается. Для техногенных территорий, независимо от типа почвы, характерен *регрессивно-аккумулятивный тип распределения*, проявляющийся в сильном накоплении ТМ в гумусовом горизонте и резком понижении их содержания в нижележащих. Живые организмы являются своеобразными индикаторами геохимических особенностей среды обитания. В результате многократного повторения биогенных циклов накопления микроэлементов в верхних горизонтах почв может быть весьма существенным.

В целом на характер перераспределения ТМ в профиле почв оказывает влияние комплекс почвенных факторов:

- *гранулометрический состав* почв влияет на закрепление ТМ в почве и их высвобождение, поэтому легкие почвы характеризуются меньшей потенциальной опасностью поступления ТМ в растения;
- *реакция среды*: для минимального снижения доступности ТМ, необходимо поддерживать величину рН на уровне 6,5. В почвах со щелочной реакцией способны накапливаться селен, мышьяк, ванадий, ртуть;
- *содержание органического вещества*: ТМ способны образовывать сложные комплексные соединения с органическим веществом почв, поэтому в почвах с высоким содержанием гумуса они менее доступны для поглощения растениями;
- *катионообменная способность* обусловлена содержанием и минералогическим составом илистой фракции и содержанием органического вещества. Чем выше емкость катионного обмена, тем больше удерживающая способность почв по отношению к ТМ, что снижает доступность ТМ растениям и живым организмам. Присутствие в илистой фракции монтмориллонита усиливает сорбционные барьеры. Оксиды железа и марганца способны сорбировать медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, теллур; карбонаты осаждают еще и никель, стронций, уран: фосфаты – кадмий и фтор;
- *дренаж почвы*: избыток влаги в почвах способствует появлению тяжелых металлов в низкой степени окисления и в более растворимых формах. Анаэробные условия повышают доступность ТМ растениям поэтому хорошо дренированные почвы быстрее освобождаются от загрязнения ТМ;

Что такое геохимическая миграция? Какие существуют типы почвенно-геохимических барьеров?

Попадая на поверхность почв, химические элементы и их соединения претерпевают ряд превращений, рассеиваются или накапливаются, в зависимости от характера геохимических барьеров на данной территории.

Геохимическая миграция – это перемещение атомов химических элементов в земной коре, ведущее к их рассеянию или концентрации. Важной миграционной формой рассеянных ТМ являются металлы, содержащиеся в пленках гуминовых кислот на высокодисперсных частицах почвы.

В пределах профиля почвы техногенный поток встречает различные почвенно-геохимические барьеры. Перельман выделяет следующие типы геохимических барьеров [16]:

1. Биогеохимические барьеры – для всех элементов, которые перераспределяются и сортируются живыми организмами (О, С, Н, Са, К, N, Р, S, Si, Mg, ...);
2. Физико-химические барьеры:
 - окислительные – железомарганцевый (Fe, Mn), серный (S). Емкость обусловлена микробиологической активностью среды;
 - восстановительные – сульфидный (Fe, V, Zn, Ni, Cu, Co, Pb, U, As, Cd, Hg, Ag, Se), глеевый (V, Cu, U, Ag, Se). Емкость обусловлена микробиологической активностью среды;
 - сульфатный и карбонатный (Ba, Ca, Sr);
 - щелочной (Fe, Ca, Mg, Zn, Ni, Cu, Co, Pb, Cd). Емкость щелочного барьера определяется количеством карбонатов, способных нейтрализовать кислые потоки;
 - кислый (SiO_2);
 - испарительный (Na, Ca, Hg, F, S, Sr, Cl, Pl, Zn, Li, Ni, Mo, U);
 - адсорбционный (Ca, K, Mg, P, S, Pb, V, Cr, Zn, Ni, Cu, Co, Pb, U, As, Mo, Hg). Емкость адсорбционного барьера зависит от емкости поглощения почв;
 - термодинамический (Ca, S).
3. Механические барьеры (Fe, Ti, Cz, Ni, W, Hg, Pt);
4. Техногенные барьеры .

Геохимические барьеры существуют не изолированно, а в сочетании друг с другом, образуя сложные комплексы. Слишком мощные техногенные потоки способны разрушать геохимические барьеры и вызывать коренные изменения в структуре системы.

В зависимости от почвенно-геохимических условий часть потенциально-токсичных элементов переходит в труднорастворимые малодоступные растениям и живым организмам формы, которые не включаются в биологический круговорот. Другая же часть может образовывать легко-растворимые подвижные формы, вредно воздействующие на состояние почвенной биоты, способные в условиях промывного режима удаляться за пределы почвенного профиля. Степень опасности загрязнения подвижными формами ЗВ значительно возрастает в слабоводопроницаемых почвах.

Фазовый состав ТМ, загрязняющих почву, представлен преимущественно оксидами, количество сульфидов и водорастворимых фракций мало. В загрязненных почвах ТМ претерпевают трансформационные изменения в зависимости от особенностей самого металла; кадмий связывается преимущественно в обменной форме, свинец – в составе органического веще-

ства, цинк – оксидами и гидроксидами железа. Главными водорастворимыми формами ТМ являются их комплексные соединения с фульвокислотами. Различия в сорбирующей способности связаны с присутствием в почвах специфически адсорбирующих ТМ компонентов, а прочность связи с этими компонентами обусловлена величиной рН почвенного раствора.

Как загрязнение ТМ влияет на почвенные ценозы?

Загрязнение ТМ может выступать в роли экотоксикологического фактора, определяющего направление и характер развития почвенных ценозов. Наибольшую опасность для высших организмов представляют последствия микробной трансформации неорганических соединений ТМ в органо-металлические соединения. Некоторые грибы и бактерии способны преобразовывать попавшие в почву соединения ртути в более опасную *метилртуть*, которая может накапливаться в трофических цепях человека и животных. Аккумуляция ртути, свинца и кадмия в плодовых телах съедобных грибов приводит к тяжелым отравлениям. Изменение видового состава почвенных грибов при загрязнении ТМ оказывает влияние на развитие отдельных групп беспозвоночных, питающихся ими.

Низкие дозы ТМ часто активизируют жизнедеятельность почвенных организмов и интенсивность протекания микробиологических процессов, а высокие уровни загрязнения – подавляют. Ингибирующий эффект ТМ установлен для различных групп почвенных организмов и на различных уровнях – от отдельной особи до изменения сообщества организмов. Особенно это проявляется в малобуферных почвах. Доминирующие в загрязненных почвах виды грибов обладают резко выраженным фитотоксичным действием на прорастание семян и развитие ряда растений, многие являются возбудителями заболеваний человека и животных.

ТМ подавляют процессы азотфиксации и трансформации углеродсодержащих соединений. Микробиологические последствия загрязнения определяются возможностью трансформации ТМ почвенными микроорганизмами и воздействием ТМ на состав и функционирование почвенной биоты. В целом влияние ТМ на микробные сообщества и микробиологические процессы в почве определяется типом ТМ, его дозой, формой соединения, свойствами загрязняемых почв.

Вблизи предприятий естественные фитоценозы предприятий становятся более однообразными по видовому составу, так как многие виды не выдерживают повышения концентрации тяжелых металлов в почве. Количество видов может сокращаться до 2-3, а иногда до образования моноценозов. В лесных фитоценозах первыми реагируют на загрязнения лишайники и мхи. Наиболее устойчив древесный ярус. Однако длительное или высокоинтенсивное воздействие вызывает в нем сухостойные явления.

Как ведут себя в почве основные металлы-загрязнители?

Одним из наиболее токсичных элементов является *ртуть*, представляющая наибольшую опасность в форме *метилртути*. Она попадает

в атмосферу при сжигании каменного угля и при испарении вод из загрязненных водоемов. С воздушными массами она может переноситься и откладываться на почвах в отдельных районах. Ртуть хорошо сорбируется в верхних сантиметрах перегнойно-аккумулятивного горизонта разных типов почв суглинистого механического состава. Миграция ее по профилю и вымывание за пределы почвенного профиля в таких почвах незначительна. Однако в почвах легкого механического состава, кислых и обедненных гумусом процессы миграции ртути усиливаются. В таких почвах проявляется также процесс испарения органических соединений ртути, которые обладают свойствами летучести. При внесении ртути на песчаную, глинистую и торфяную почвы из расчета 200 и 100 кг/га урожай на песчаной почве полностью погибает независимо от уровня известкования. На торфяной почве урожай снижается, а на глинистой снижение урожая происходит только при низкой дозе извести [18].

Кадмий, подобно ванадию и цинку, аккумулируется в гумусовой толще почв. Однако кадмий закрепляется в почвенном профиле менее прочно, чем свинец. Максимальная адсорбция кадмия свойственна нейтральным и щелочным почвам с высоким содержанием гумуса и высокой емкостью поглощения. Содержание его в подзолистых почвах может составлять от сотых долей до 1 мг/кг, в черноземах – до 15-30, а в красноземах – до 60 мг/кг. Многие почвенные беспозвоночные концентрируют кадмий в своих организмах. Кадмий усваивается дождевыми червями, мокрицами и улитками в 10-15 раз активнее, чем свинец и цинк. Кадмий токсичен для сельскохозяйственных растений, и даже, если его высокие концентрации не оказывают заметного влияния на урожай сельскохозяйственных культур, токсичность его сказывается на изменении качества продукции, так как в растениях происходит повышения содержания кадмия.

Мышьяк попадает в почву с продуктами сгорания угля, с отходами металлургической промышленности, с предприятий по производству удобрений. Наиболее прочно мышьяк удерживается в почвах, содержащих активные формы железа, алюминия, кальция. Загрязнение почв мышьяком вызывает гибель дождевых червей и других обитателей почв. Фоновое содержание мышьяка в почвах составляет сотые доли миллиграмма на килограмм почвы.

Фтор и его соединения находят широкое применение в атомной, нефтяной, химической и других видах промышленности. Он попадает в почву с выбросами металлургических предприятий, в частности, алюминиевых заводов, а также как примесь при внесении суперфосфата и некоторых других инсектицидов. Загрязняя почву, фтор вызывает снижение урожая не только благодаря прямому токсическому действию, но и изменяя соотношение питательных веществ в почве. Наибольшая адсорбция фтора происходит в почвах с хорошо развитым почвенным поглощающим комплексом. Растворимые фтористые соединения перемещаются по почвенному профилю с нисходящим током почвенных растворов и могут по-

падать в грунтовые воды. Загрязнение почвы фтористыми соединениями разрушает почвенную структуру и снижает водопроницаемость почв.

Содержание в почве *свинца* обычно колеблется от 0,1 до 20 мг/кг. Свинец отрицательно влияет на биологическую деятельность в почве, ингибирует активность ферментов уменьшением интенсивности выделения двуокиси углерода и численности микроорганизмов. Свинец также обладает способностью передаваться по цепям питания, накапливаясь в тканях растений, животных и человека. Доза свинца, равная 100 мг/кг сухого веса корма, считается летальной для животных. Свинцовая пыль оседает на поверхности почв, адсорбируется органическими веществами, слабо передвигается по профилю с почвенными растворами и выносятся за пределы почвенного профиля в небольших количествах. Благодаря процессам миграции в условиях кислой среды образуются техногенные аномалии свинца в почвах протяженностью 100 м. Время биологического полураспада соединений свинца составляет несколько лет. В зерне пшеницы и ячменя количество его в 5-8 раз превышает фоновое содержание, в ботве, картофеле – более чем в 20 раз, в клубнях – более чем в 26 раз.

Содержание *цинка* в почве колеблется от 10 до 800 мг/кг, хотя чаще всего оно составляет 30-50 мг/кг. Накопление избыточного количества цинка отрицательно влияет на большинство почвенных процессов: вызывает изменение физических и физико-химических свойств почвы, снижает биологическую деятельность. Цинк подавляет жизнедеятельность микроорганизмов, вследствие чего нарушаются процессы образования органического вещества в почвах. Избыток цинка в почвенном покрове затрудняет ферментацию разложения целлюлозы, дыхания. Избыточное количество цинка и меди в отходах металлургической промышленности загрязняет почву и угнетающе действует на рост микроорганизмов, понижает ферментативную активность почв, снижает урожай растений.

При совместном воздействии ТМ на живые организмы в почве происходит усиление токсичности тяжелых металлов. Совместное воздействие цинка и кадмия оказывает в несколько раз более сильное ингибирующее действие на микроорганизмы, чем при такой же концентрации каждого элемента в отдельности. Поскольку тяжелые металлы и в продуктах сгорания топлива, и в выбросах металлургической промышленности встречаются обычно в различных сочетаниях, то действие их на природу, окружающую источники загрязнения, бывает более сильным, чем предполагаемое на основании концентрации отдельных элементов.

Чем опасно загрязнение почв ТМ для здоровья населения?

Тяжелые металлы, загрязняя почву, представляет реальную угрозу здоровью населения. Наиболее опасные ситуации сложились в городах с металлургическими производствами, где происходит поступление свинца, ртути и других тяжелых металлов в организм маленьких детей при их играх на загрязненных территориях. В таких городах поступление свинца в организм детей до 7 лет с частицами почв и домашней пыли достигает 3-

13% общего количества поступившего свинца. Тяжелые металлы вызывают у человека серьезные физиологические нарушения, токсикоз, аллергию, онкологические заболевания, отрицательно влияют на зародыш и генетическую наследственность. Последствия поступления в организм повышенных количеств *ртути* включают болезнь Минамата, гибель нервной системы, лейкоцитов, олигофрению новорожденных; *свинца* – поражение центральной нервной системы, половых органов, канцерогенное, тератогенное и мутагенное действие. *Молибден* – это подагра, нарушение центральной нервной системы. С *кадмием* связаны рак предстательной железы, почечные расстройства, протеинурия, болезнь итай-итай.

Почему происходит загрязнение почвы минеральными удобрениями?

Широкое использование в сельском хозяйстве минеральных удобрений позволяет в короткие сроки поднять урожайность, но в то же время способствует загрязнению биосферы из-за внесения сверхнормативных доз удобрений.

Таблица 12

Содержание тяжелых металлов в удобрениях

Удобрения	Содержание ТМ, мг/кг					
	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr
Азофоска	10, 5	31, 1	20, 0	1, 3	11, 0	3, 2
Аммиачная селитра	0, 25	0, 5	1, 0	0, 3	0, 9	0, 6
Зола печная	77, 0	342, 0	60, 0	16, 0	320, 0	31, 0
Зола ТЭЦ	0, 1	675, 0	862, 0	0	108, 0	80, 0
Мочевина	1, 3	6, 0	0, 8	0, 25	7, 5	-
Нитрофоска	5, 0	7, 6	10, 8	1, 0	4, 3	3, 2
Суперфосфат двойной	38, 0	14, 2	13, 0	3, 5	17, 0	41, 0
Суперфосфат простой	42, 5	19, 3	14, 3	3, 5	24, 8	10, 0
Хлористый калий	12, 5	12, 3	4, 5	4, 25	19, 3	0, 5

Минеральные удобрения содержат основные элементы питания (азот, фосфор, калий) и важные для жизнедеятельности микроэлементы (медь, бор, марганец и др.) и подразделяются на *простые* (одинарные, односторонние, однокомпонентные) и *комплексные*. *Простые* минеральные удобрения содержат только один из главных элементов питания. К ним относятся азотные, фосфорные, калийные удобрения и микроудобрения. *Комплексные* удобрения содержат не менее двух главных питательных элементов. В свою очередь, комплексные минеральные удобрения делят на сложные, сложно-смешанные и смешанные.

Многие удобрения содержат в своем составе различные примеси, и превышение доз минеральных удобрений может привести к загрязнению почвы ТМ (цинк, никель, хром, свинец, ванадий, кобальт, кадмий, селен, ртуть). Из всех видов удобрений наибольшее количество примесей ТМ по-

ступает с фосфорными удобрениями, наименьшее - с азотными, калийные и сложные удобрения занимают промежуточное положение. Применение физиологически кислых удобрений (KCl , K_2SO_4 , $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3) заметно подкисляет почвы за счет потребления растениями катионов, нитрификации аммония и образования свободных кислот. Особенно сильно подкисляет почвы сульфат аммония. Для предотвращения подкисляющего действия физиологически кислых удобрений рекомендуется одновременно с ними вносить известь.

Потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях неодинаковы и зависят от вида и сорта растения, уровня его продуктивности, экологических условий произрастания, содержания вносимого компонента в почву и способности почвы к его фиксации. При внесении удобрений требуются точные расчеты доз, строгое соблюдение технологии и последовательности их применения. Передозировка азотных удобрений может привести к накоплению нитратов в почве и растениях, и, в свою очередь, в организме животных и человека. Излишнее внесение фосфатов приводит к вымыванию их и эвтрофированию водоемов.

Что такое пестициды?

Пестициды (ядохимикаты) – химические препараты для уничтожения тех или иных видов вредных организмов. Это в основном органические соединения с малым молекулярным весом и различной растворимостью в воде. В зависимости от объекта воздействия подразделяются на:

- *гербициды* – для уничтожения сорной растительности;
- *инсектициды* – против вредных насекомых;
- *зооциды* – для борьбы с грызунами;
- *фунгициды* – для борьбы с грибковыми заболеваниями;
- *альгициды* – для уничтожения водорослей;
- *бактерициды* – для борьбы с бактериями и бактериальными болезнями.

К пестицидам относятся и химические средства стимулирования и торможения роста растений:

- *дефолианты* – для удаления листьев;
- *дефлоранты* – для удаления цветков.

Как влияет внесение пестицидов на экологические связи в биогеоценозах?

Пестициды могут оказывать губительное воздействие не только на те организмы, для которых они предназначены, но и на полезные организмы. «Средства уничтожения сорняков» не только уничтожают дикорастущие травы, но и поражают насекомых. Такое же воздействие проявляется в отношении почвенных организмов, которые могут быть полезными для роста и здоровья растений. Экспертный совет по вопросам экологии в 1987 г. высказался по этому поводу следующим образом: «Охрана почв и защита

Величины ПДК пестицидов (по А.М. Ивлеву, А.М. Дербенцевой)

Вещество	ПДК	Вещество	ПДК
Гексахлоран	0,1	Метарос	1,0
Гексахлорбутадиен	0,5	Семерон	0,6
Гектахлор	0,05	Солан	0,6
Карбофос	2,0	Трефлан	0,1
Хлорофос	0,5	Монурон	0,6
Формальдегид	7,0	Тиодан	0,1
Фозалон	0,5	Ялан	0,9

растений находятся в принципиальном противоречии друг с другом». Не все пестициды разлагаются на вещества, безвредные для природы и человека. Они могут превращаться или распадаться в химические соединения, в такой же степени или даже более ядовитые, чем исходные.

Пестициды могут дать результаты, противоположные целям их применения. Животные, растения и микроорганизмы могут развить *резистентность*, т.е. устойчивость к таким дозам яда, которые прежде были для них смертельными. В течение короткого времени повысить уровень устойчивости к ядохимикатам могут организмы, размножающиеся при быстрой смене поколений, например грибковые патогены и насекомые. Но сенсационными темпами повышается уровень резистентности у дикорастущих трав. В настоящее время в США установлены 54 устойчивых сорняка, а в 1980 г. их было всего лишь 12.

Выработка устойчивости к пестицидам наносит серьезный ущерб сельскому хозяйству и может привести к прекращению отдельных производств. В Северной Мексике пришлось почти полностью прекратить возделывание хлопчатника, так как все имеющиеся в распоряжении пестициды оказались бессильны против вредителей. В США интенсивное применение средств защиты растений при возделывании картофеля привело к появлению «неуязвимых» колорадских жуков.

Массовое использование пестицидов в сельском хозяйстве существенно нарушает экологические взаимосвязи в природной среде. Пестициды являются смертельными врагами полезных организмов (рыб, насекомых, бактерий и вирусов), живущих за счет вредных организмов.

Если пестициды вносятся в незащищенный грунт, то большая их часть испаряется и может переноситься воздушными массами на большие расстояния. Исследования государственной биологической службы ФРГ показали, что в течение 6 часов после внесения может улетучиться до 90% пестицидов, поэтому в тумане над сельскохозяйственными землями наблюдается высокая концентрация пестицидов (до 10 миллиграммов на литр) (органофосфатный паратион, хлорпирифос, симазин, атразин – вероятные возбудители рака). В то же время норма предельно допустимых концентраций вредных веществ в питьевой воде, вступивших в ФРГ с 1

октября 1989 г., не может превышать 0,1 миллиграмма на литр. Пестициды обнаруживаются в дождевой воде Европы, США и Японии.

Каково поведение пестицидов в почве?

На процессы адсорбции-десорбции почвенными коллоидами пестицидов оказывают влияние их химический состав, кислотность или щелочность, растворимость в воде, строение, величина и поляризация молекул пестицидов. Почва в основном выступает в качестве приемника пестицидов, где они разлагаются и откуда постоянно перемещаются в растения или окружающую среду, либо в качестве хранилища, где некоторые из них могут существовать много лет спустя после внесения.

Пестициды – тонкодисперсные вещества – в почве подвержены многочисленным воздействиям биотического и биотического характера, которые определяют их поведение, преобразование и, наконец, минерализацию. Тип и скорость преобразований зависит от химической структуры действующего вещества конкретного пестицида и его устойчивости, механического состава и строения почв, химических свойств почв, состава флоры и фауны почв, интенсивности влияния внешних воздействий и системы ведения сельского хозяйства.

Адсорбция пестицидов в почве – комплексный процесс, зависящий от многочисленных факторов. Она играет важную роль в перемещении пестицидов и служит для временного поддержания в парообразном или растворенном состоянии или в виде суспензии на поверхности почвенных частиц. Особо важное значение в адсорбции пестицидов принадлежит илистым и коллоидным частицам и органическому веществу почвы. Адсорбция играет первостепенную роль в накоплении пестицидов в почве, которые адсорбируются ионным обменом или в форме нейтральных молекул в зависимости от природы пестицидов.

Передвижение пестицидов в почве происходит с почвенным раствором или одновременно с перемещением коллоидных частиц, на которых они адсорбированы. При поверхностном стоке передвижение пестицидов зависит от рельефа местности, эродированности почв, интенсивности осадков, степени покрытия почв растительностью, периода времени, прошедшего с момента внесения пестицида. Количество пестицидов, передвигающихся с поверхностным стоком, составляет более 5% от внесенных в почву.

Вымывание пестицидов по профилю почв заключается в их передвижении вместе с циркулирующей в почве водой, что обусловлено в основном физико-химическими свойствами почв, направлением движения воды, и процессами адсорбции и десорбции пестицидов коллоидными частицами почвы. Так, в почве, в течение длительного времени обрабатываемой ДДТ в дозе 189 мг/га, через 20 лет обнаружено 80% этого пестицида, проникшего на глубину 76 см [1].

Что влияет на преобразование пестицидов в почве?

На пестициды, попавшие в почву, оказывают влияние различные небиотические и биотические факторы и процессы как в период их эффективного действия, так и в дальнейшем, когда препарат уже становится остаточным.

Физические и химические свойства почвы влияют на преобразования находящихся в ней пестицидов. Так глины, окислы, гидроокислы и ионы металлов, а также органическое вещество почвы выполняют роль катализаторов во многих реакциях разложения пестицидов. Гидролиз пестицидов идет при участии грунтовой воды. В результате реакции со свободными радикалами гумусовых веществ происходит изменение составных частиц почвы и молекулярного строения пестицидов.

Обычно разложение пестицидов происходит при участии микроорганизмов: бактерий, грибов и высших растений. Существует очень мало действующих веществ, не разлагающихся биологическим путем. Продолжительность разложения пестицидов микроорганизмами может колебаться от нескольких дней до нескольких месяцев, а иногда и десятков лет, в зависимости от специфики действующего вещества, видов микроорганизмов и свойств почв. Наибольшую опасность представляют собой стойкие пестициды, способные накапливаться и сохраняться в почве до нескольких десятков лет. При определенных условиях из метаболитов пестицидов образуются метаболиты второго порядка, значение и влияние которых на окружающую среду зачастую остаются неизвестными.

Как можно снизить дозу пестицидов без уменьшения эффективности воздействия?

Существует несколько способов, позволяющих уменьшить дозу пестицида без снижения эффективности их действия:

- применение пестицидов в сочетании с другими приемами;
- применение более эффективных в малых дозах пестицидов;
- сокращение авиационного и увеличение наземного способа внесения пестицидов;
- сокращение применения стойких к разложению пестицидов;
- чередование применения токсикантов с неодинаковым механизмом действия, что предотвращает накопление в почве стойких к разложению форм;
- правильная технология применения пестицидов.

Современные пестициды, за редким исключением, обладают низкой токсичностью, приближающейся к токсичности поваренной соли, и во много раз менее ядовиты, чем кофеин. Современные пестициды в течение одного вегетационного периода практически полностью разрушаются в окружающей среде.

Каковы требования к современным пестицидам?

Для уменьшения возможной опасности разработаны следующие требования к современным пестицидам:

- 1) низкая острая токсичность для человека, полезных животных и других объектов окружающей среды;
- 2) отсутствие отрицательных эффектов при длительном воздействии малых доз, в том числе мутагенного, канцерогенного и тератогенного действия (тератогенный – повреждающий зародыш);
- 3) низкая персистентность (низкая устойчивость в окружающей среде со временем разложения не более одного вегетационного периода).

Кроме того, рекомендуемые препараты должны обладать следующими свойствами:

- 1) высокой эффективностью в борьбе с вредными организмами;
- 2) экономической целесообразностью использования;
- 3) доступностью сырья и производства.

В чем состоит опасность загрязнения почв диоксинами?

Диоксины относятся к *суперэкоотоксикантам*, которые образуются в результате хозяйственной деятельности человека в промышленно развитых странах и имеют техногенное происхождение. Особенно они накапливаются в городах, где сосредоточено большинство населения. Эти соединения намного токсичнее, чем широко известный препарат ДДТ, ранее применяемый как высокоэффективное средство против насекомых и других вредителей сельского хозяйства. Некоторые из диоксинов близки к отравляющим веществам типа зарина, зомана, табуна. Попадая в организм человека и животных в основном через пищевые продукты, диоксины вызывают аномалии в работе генетического аппарата. Они вызывают массу различных эффектов, в том числе рак, врожденные дефекты, поражения печени и вилочковой железы, а также подавление иммунной системы. Эффективно накапливаясь в организме, диоксины могут вызывать отдаленные последствия хронического отравления малыми дозами. Причем диоксины весьма устойчивы по отношению к физическим и химическим воздействиям, выдерживают температуру в 800 гр. по Цельсию, а время их полураспада в организме человека составляет 5-6 лет, а в почвах - от 10 до 15 лет.

Примерная схема перемещения диоксинов в природе такова: источник → воздушная среда → почва → растения → молочный скот → молочные продукты → человек → грудное молоко кормящей матери → новорожденный ребенок. Дети оказываются основными «потребителями» этих супертоксикантов, поскольку на каждом этапе пищевой цепи происходит многократное нарастание концентрации токсикантов.

Ориентировочная доза допустимого поступления диоксинов в организм человека в нашей стране составляет ~ 10 нг/кг (~ 10⁻⁸ г/кг). В среднем житель ФРГ ежедневно поглощает ~ 79 пг диоксинов, США – ~ 119 пг, Канады – ~ 92 пг крупных городов России – ~ 100 пг (1 пикограмм равен 10⁻¹² г). Диоксины активно адсорбируются частицами почвы, золы, донными

отложениям, что способствует их накоплению и миграции в виде взвесей и комплексов с органическими веществами. При загрязнении почвы диоксидами подавляется биологическая активность некоторых ферментов почв, уменьшаются скорость распада клетчатки и интенсивность почвенного дыхания (показатели, по которым возможна индикация загрязнения на ранних стадиях). Под влиянием кислорода воздуха, солнечной радиации, воздействия воды постепенно диоксины разлагаются. Самоочищение почв происходит с различной скоростью в зависимости от дозы препарата, характера почвы и свойств самого диоксина. Например, для ДДТ этот срок составляет 4 года, для гексахлорциклогексана – 3 года, для дефолианта 2,4-Д – 1 месяц.

Источником диоксинов могут быть горящая свалка бытовых отходов, в которых присутствуют вышедшие из употребления изделия из полихлорвинила, лесные пожары (особенно после обработки лесных массивов хлорорганическими пестицидами) и даже костры на приусадебных участках, транспортные средства, прежде всего работающие на этилированном бензине, установки для переработки отслуживших свой срок автомобилей, предприятия по переработке отработанных масел. Значительное загрязнение почв диоксинами зафиксировано в ряде промышленных городов, где размещены предприятия хлорной химии – городах Уфа и Чапаевск.

Близкими по свойствам диоксинам являются соединения, которые при некоторых условиях могут превращаться в диоксины. Это – *хлорорганические пестициды*, в структуре молекул которых присутствуют ароматические ядра. Еще недавно они использовались в сельском хозяйстве весьма широко. Хлорорганические пестициды крайне медленно разлагаются под влиянием физических, химических и микробиологических факторов, способны накапливаться в почве, растениях и т. д., передаваться по пищевой цепи и концентрироваться в живых организмах. Например, период полураспада в почве большинства хлорорганических пестицидов превышает 1,5 года, а в случае дельдрин – 15-20 лет. Как и диоксины, этот тип токсикантов хорошо адсорбируется органическими компонентами почвы, донными отложениями и другими элементами водных экосистем и за счет этого способен перемещаться с поверхностными водами, распространяясь на большие расстояния и вызывая вторичные загрязнения.

В чем состоит опасность загрязнения почв полихлорированными бифенилами ?

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) принадлежат к группе наиболее распространенных и экологически значимых загрязнителей окружающей среды. В США они выпускались до 80-х гг., в СССР до 90 гг. прошлого века и использовались для производства пластмасс, красок, резины, воска и клея, в качестве изолирующего материала в электрических трансформаторах. ПХБ – это группа, состоящая из 209 различных веществ. Более половины этих веществ были идентифицированы в окружающей среде. ПХБ с наиболее высоким содержанием хлора являются наиболее стойкими

и вносят наибольший вклад в загрязнение окружающей среды. У человека вызывают заболевания печени, почек, половой системы, кожные болезни, рак желудка и печени. Полихлорированные бифенилы попадают в организм человека с пищей, через кожу, с вдыхаемым воздухом и накапливаются в жировой ткани. Они с большим трудом поддаются биологическому и химическому расщеплению и легко включаются в пищевую цепь. ПДК в почвах – 0,06 мг/кг

Из-за высокой термической, химической и биологической устойчивости ПХБ длительное время сохраняются в окружающей среде. По своим физико-химическим свойствам близки к диоксинам, слабо испаряются с поверхности почвы, до 90% общего запаса сосредоточено в слое 0-20 см. В районах локального загрязнения концентрация в слоях 0-5 и 0-10 см сильно варьирует, от следовых до тысяч мг/кг. В крупных городах с развитым промышленным производством прослеживается следующий ряд содержания ПХБ в почвах: дворы школ, детских садов – 0,13 мг/кг → парки, скверы – 0,38 → жилые кварталы – 0,75 → газоны придорожные 0,85 → территории промышленных предприятий – 0,97.

Поступление ПХБ в растения может происходить как из воздуха, так и через корневую систему. ПХБ хорошо адсорбируются почвенными частицами. Биологическое разложение микроорганизмами происходит очень медленно, период полувыведения для разных ПХБ колеблется от 2,5 до 45 лет. Универсальность почвенной экосистемы в превращении ЗВ различного класса состоит в наличии в ней огромного числа разнообразных микробных ценозов, осуществляющих частичное или полное разложение ПХБ. При низком уровне рН (<5,5) на ПХБ воздействует преимущественно грибная микрофлора, при нейтральной реакции – бактериальная. С понижением рН и повышением температуры почвы усиливаются химический гидролиз. В тяжелых почвах с высоким содержанием глинистых минералов из-за их высокой сорбционной способности разложение ПХБ замедляется, особенно в аэробных условиях при низкой влажности.

В чем состоит опасность загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами?

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это высокомолекулярные органические вещества, основным элементом структуры которых служит бензольное кольцо (3,4-бензпирен, фенантрен, антрацен, пирен, хризен, флуорантен, нафталин, 3,4-бенз-флуорантен и 2,3-о-фениленпирен и др.). Они обладают трансформирующей активностью и в зависимости от условий воздействия способствуют возникновению канцерогенных, мутагенных и других патологических изменений в организмах и поэтому относятся к особо опасным загрязнителям природной среды, в т.ч. и почвы.

ПАУ имеют очень низкие концентрации ПДК. Уровень загрязнения ПАУ принято оценивать по содержанию наиболее канцерогенного представителя ПАУ – 3,4-бензпирена. На основании исследований онкологов и гигиенистов в нашей стране установлены следующие гигиенические нор-

мативы для 3,4-бензпирена: ПДК воздуха рабочей зоны – 0,15 мкг/м³; ПДК атмосферного воздуха – 1,0 мкг/м³; ПДК воды водоемисточников 5 нг/л, ПДК почвы – 0,02 мг/кг.

Образуются ПАУ в основном в результате пиролиза, особенно неполного сгорания органических материалов, а также в природных процессах (карбонизация). Основными источниками загрязнения являются технологические процессы, связанные с производством энергии и технологические выбросы предприятий (производство кокса, использование угля для обогрева, автотранспорт, сжигание нефти и угля на ТЭС). Почва является местом значительного накопления стойких органических загрязнителей, причем максимальное количество ядохимикатов локализуется в верхних (0-20 см) и в лесных подстилках. Содержание в поверхностном слое почв обычно не превышает 5-8 нг/г сухой массы, что характерно для почв фоновых районов мира, находящихся вдали от индустриальных центров.

Почти все количество ПАУ адсорбировано поверхностью взвешенных частиц. Биодegradация ПАУ осуществляется хемотоксически активными микроорганизмами преимущественно в ризосфере растений. При этом микроорганизмы одновременно снижают токсическую нагрузку ПАУ на растения.

Как определяется степень загрязнения почв нефтепродуктами?

Добыча и транспортировка нефти зачастую сопровождается загрязнением почв. Нефть токсична для всего живого, оказывает отрицательное влияние на рост и развитие растений, прежде всего из-за нарушения воздушного режима почвы. Кроме чисто механического вытеснения нефтью воздуха происходит усиление деятельности анаэробных микроорганизмов и изменение водного баланса в системе почва-растение, отравление сульфидами и излишним марганцем, освобождающимся при разрушении некоторых углеводородов. Нефтяное загрязнение приводит не только к резкому сокращению численности, но и к значительному обеднению группового состава мезофауны за счет таких малоустойчивых элементов, как почвенные моллюски, гусеницы совков, червецы, личинки мягкотелок и долгоносиков. Период восстановления растительного покрова после загрязнения его нефтью составляет 15-20 лет.

Для определения степени загрязненности почв нефтепродуктами используется градация Ю. И. Пиковского [18]. Согласно данной шкале нормирования, концентрации от 100 до 500 мг/кг можно считать повышенным фоном. Нефтепродукты в таких количествах активно утилизируются микроорганизмами или вымываются дождями. Загрязненными можно считать почвы, содержащие более 500 мг/кг нефтепродуктов. При этом содержания от 500 до 1000 мг/кг относятся к умеренному загрязнению, от 1000 до 2000 – к умеренно опасному загрязнению, от 2000 до 5000 мг/кг – к сильному, опасному загрязнению и свыше 5000 мг/кг – к очень сильному загрязнению, подлежащему санации.

Как изменяются основные свойства почв при нефтяном загрязнении?

Воздействие нефти и химических веществ, сопутствующих процессу ее добычи, на почвы приводит к их геохимической трансформации. Происходят глубокие изменения морфологических, агрохимических и водно-физических свойств почв. Почвы, насыщенные нефтепродуктами, теряют способность впитывать и удерживать влагу, для них характерны пониженные значения водопроницаемости и влагоемкости. Изменяется реакция среды, резко увеличивается количество общего азота, обменного калия, железа, марганца, усиливаются восстановительные процессы, отмечается хлоридно-натриевое засоление почв, снижается емкость поглощения, уменьшается доступность для растений фосфора, нитратного азота и обменного кальция. Все это приводит к снижению плодородия почв и ухудшению их санитарно-гигиенического состояния. При этом происходит резкое нарушение естественного почвообразовательного процесса, в конечном итоге возникают техногенные почвы.

Но загрязнение нефтью не приводит к длительному бесплодию почвы, ее плодородие может восстанавливаться естественным путем. Продолжительность разложения нефтепродуктов в почве зависит от степени загрязнения, аэрации, наличия достаточного количества элементов питания для микроорганизмов и высших растений. Скорость самоочищения почв от нефти зависит от физико-географических и ландшафтно-геохимических условий территории, влияющих на интенсивность биохимических процессов в почвенных биоценозах.

Как происходит самоочищение почвы от нефтяного загрязнения?

Деградация нефтяных парафиновых и ароматических углеводородов в почвах идет в три этапа:

1 этап длится 1-1,5 года. Включает процессы выветривания, вымывания и ультрафиолетового облучения. Данным процессам подвержены парафиновые углеводороды с длинной цепью. В первый период после загрязнения численность почвенной биоты сильно подавлена. Это период, необходимый почвенному биоценозу для адаптации к изменившимся физико-химическим условиям среды. Затем численность определенных групп микроорганизмов повышается. Наиболее четко на нефтяное загрязнение реагируют углеводородоокисляющие микроорганизмы, появляющиеся уже через несколько дней после нефтяного загрязнения. Нефтеоокисляющие бактерии – один из наиболее ярких представителей микрофлоры первого этапа деградации нефтепродуктов. Почвенные беспозвоночные в этот период практически все погибают.

2 этап длится около 4 лет. Характеризуется микробиологической трансформацией оставшихся углеводородов. На этом этапе в почве присутствует небольшое количество грибов, споровых бактерий, гетеротрофов. Происходит разложение нафтно-ароматических соединений, яв-

ляющихся источником питания гетеротрофов. Деятельность большей части грибов, споровых бактерий и актиномицетов подавлена.

3 этап – деградация ПАУ (полициклических углеводородов), часть которых обладает канцерогенным действием. Замедленная трансформация ПАУ объясняется стойкостью их к микробиологическому расщеплению, особенно в условиях средней и южной тайги.

Сроки естественного восстановления нефтезагрязненных почв удлиняются при сжигании нефти. На сожженных участках наблюдается образование канцерогенных веществ.

Что включают в себя различные этапы рекультивации земель?

Основной целью *подготовительного этапа* рекультивации является расчистка участка от усыхающего и мертвого древостоя, завалов из срубленной ранее и сваленной в кучи древесины, строительного и бытового мусора и обваловка со стороны возможного повторного загрязнения нефтью и минерализованными водами, при условии, если она не была сделана в ходе ликвидации аварии. Не допускается выжигание и засыпание нефтяных пятен песком, позднее на месте аварии проводится экологическая оценка по «*Методике оценки фитопригодности нефтезагрязненных земель*».

Основная цель *агротехнического этапа* – создать слой почвы со свойствами, благоприятными для биологической рекультивации. Работы включают в себя:

- 1) рыхление почвенного горизонта для ускорения физико-химических и биохимических процессов деградации нефти с использованием мульчирующих грунтов (на сильнозагрязненных лесных почвах);
- 2) создание искусственного микрорельефа из чередующихся продольных микроповышений (бугров) и микропонижений (канавок) на болотных почвах с избыточным увлажнением.

Стимуляция почвенной микрофлоры должна начинаться только при снижении концентрации общего количества нефтепродуктов до 23-25% в органогенных или 15-18% минеральных почвенных горизонтах в среднем по участку. Это же условие касается и использования бактериальных препаратов.

При снижении концентрации остаточных нефтепродуктов в рекультивационном слое в среднем по всему участку до значений безопасных для фитомелиорантов (15% в органогенных и 8% в минеральных и смешанных грунтах) приступают к биологическому этапу рекультивации.

Биологический этап включает в себя комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, проводимых с целью восстановления плодородия нарушенных земель:

– фитомелиорационное и агротехническое стимулирование почвенной углеводородокисляющей микрофлоры;

– формирование устойчивых травостоев или всходов (подроста) древесных пород. Наиболее перспективными травами являются овсяница овечья, полевица белая, овсяница красная, мятлик луговой, мятлик узколистный, волоснец сибирский, овсяница скальная, овсяница разнолистная, ежа сборная совместно с кострцом безостный, из древесных пород – сосна, тополь, ива.

Рекультивацию можно считать завершенной после создания густого и устойчивого травостоя, при этом концентрация остаточных нефтепродуктов со значениями коэффициента окисления нефти более 90% не должна превышать в среднем по участку 8,0% в органогенных и 1,5% в минеральных и смешанных грунтах.

На чем основана и как происходит биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель?

Биологическая рекультивация земель базируется на использовании преобразовательных функций живых организмов. Из микроорганизмов используются углеводородоокисляющие бактерии, реже грибы и дрожжи. Нефтеокисляющие бактерии рассматриваются как индикаторы нефтяного загрязнения. Углеводородоокисляющие микроорганизмы широко распространены во всех почвах, что указывает на потенциальную способность почвы к самоочищению. При высоких концентрациях (>10%) нефть токсична для ряда групп микроорганизмов и детоксикация за счет самоочищения не происходит.

Внесение накопительной культуры нефтеокисляющих микроорганизмов совместно с азотными и фосфорными удобрениями, способствует повышению биогенности загрязненной почвы, значительно ускоряет биоразложение нефти. Первым визуальным признаком микробиологического разложения нефти является изменение ее цвета, из черного она превращается в бурый. Изменяется и консистенция нефтепродукта, она становится рыхлой, хлопьевидной. Для более эффективной биodeградации нефтепродуктов в почве необходимо применять активную культуру нефтеокисляющих бактерий, ПАВ, минеральные удобрения, проводить рыхление почвы. Нефтяные поверхностные пленки совместно с ПАВ концентрируют ионы тяжелых металлов и образуют с ними комплексные соединения.

При сильном загрязнении рекомендуется срезка загрязненного слоя и замена его привезенным с посадкой растений, способных развиваться на почвах с высоким содержанием углеводов и тяжелых металлов, устойчивых к недостатку азота – бобовые, сосна, тополь, ива.

Почему возникла проблема охраны почв? Какие существуют уровни и виды охраны почв?

Постоянно возрастающее антропогенное воздействие на биосферу Земли, вызывающее деградацию природы, поставило человечество перед необходимостью поиска путей сохранения биоразнообразия на нашей планете, одним из неперенных условий которого является сбережение поч-

венного покрова. Почва является центральным звеном экологических связей, объединяющим в единое целое гидросферу, атмосферу, живой мир и литосферу Земли и естественной средой обитания человечества. Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин [11] подчеркивают, что почва – это главная экологическая ниша организмов суши, с которой связана жизнедеятельность подавляющего большинства организмов, населяющих планету, и попытки сохранить отдельные организмы без сохранения их среды обитания обречены на провал. Они предлагают следующую систему *природоохран-ных мероприятий*.

1. Защита почв от прямого уничтожения и полной гибели:
 - ограничение отведения новых земель под строительство различных объектов;
 - ограничение и запрещение открытых разработок полезных ископаемых;
 - максимальное использование для промышленности и других объектов ранее выведенных из биосферы территорий и их участков установление объективных цен на земли, отводимые под строения, водохранилища, свалки;
 - своевременное проведение рекультиваций в полном объеме и правовая ответственность за их невыполнение.
2. Защита освоенных почв от качественных деградация:
 - защита почв от водной эрозии;
 - защита почв от дефляции;
 - предотвращение деградации почв из-за нерационального проведения водных мелиораций;
 - предотвращение химического и радиоактивного загрязнения почв;
 - защита почв от биологического загрязнения.
3. Предотвращение негативных структурно-функциональных изменений освоенных почв:
 - регулирование пищевого режима почв;
 - регулирование водного и теплового режима почв;
 - регулирование газового состава почв;
 - поддержание биохимической активности и сохранение полной ценной биоты почв;
 - регулирование физического состояния почв и предотвращение их обесструктурирования и уплотнения.
4. Восстановление деградированных освоенных почв:
 - диагностирование патологии почв;
 - снятие дальнейшего действия факторов, вызывающих деградацию почв;
 - временное исключение деградированных земель из активного сельскохозяйственного использования;
 - очищение загрязненных почв;

- биологизация почв и восстановление устойчивости их плодородия: внесение органических удобрений, травосеяние и др.
5. Сохранение и восстановление естественных почв:
- резервирование целинных почв с целью ограничения и исключения их из хозяйственного использования;
 - полное соблюдение требований охраны почв особо охраняемых территорий;
 - исключение части освоенных редких и эталонных почв из хозяйственного использования и восстановление их естественного состояния;
 - соблюдение особого режима использования и охраны высокобо-
нитетных и «опытных» почв;
 - организация новых комплексных и почвенных заказников, запо-
ведников, памятников природы и др.

Предметный указатель

- Агрегатный состав, 5, 57
Азотфиксация, 13, 16, 90
Актиномицеты, 47, 80, 82, 85, 88, 91, 98, 101
Аридизация, 113, 115
Атмосфера, 11, 41
Бактерии, 23, 80, 92
Биота, 16, 34
Биогеохимический поток элементов, 20
Биогеоценоз, 12, 28, 38, 44, 59, 101, 105, 106, 107, 108, 109
Биомасса, 31, 36, 39, 75, 77, 99, 102, 103
Буферность почв, 124
Ветровальность, 51
Влажность почв, 5, 32, 42, 49, 52, 53, 55, 85, 101
Водный режим почв, 4, 31, 55, 75, 81
Водоросли, 25, 31, 42, 50, 80, 81, 83, 86, 87, 90, 99, 100
Возраст почв, 5
Галофиты, 70
Гигрофиты, 53
Гидросфера, 6
Горные породы, 3, 4, 24
Гранулометрический состав, 30, 56, 73, 87, 112, 125
Грибы, 23, 31, 42, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 105, 110, 128, 141
Грунтовые воды, 7, 62, 69, 124, 129
Группы относительной подвижности элементов, 21
Гумус, 59, 61
Деградация почв, 10, 113, 114, 143
Дегумификация, 114, 115
Дефляции, 15, 113, 115, 143
Диоксины, 136
Дисперсность, 20, 28
Живое вещество, 20, 36, 39
Животные почвенные, 11, 15, 16, 17, 28, 31, 32, 36, 38, 41, 45, 46, 47, 59, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 87, 88, 94, 96, 97, 99, 102, 105, 106, 107, 108, 118, 121, 128, 130, 132, 135, 136
Заболачивание, 71, 114
Загрязнение, 10, 113, 117, 127, 130, 131, 136, 137, 139, 140
Засоленность, 70
Зональность почв, 92
Известкование, 29, 40, 44, 64, 87, 123
Ингибиторы, 41
Кальциефилы, 63, 71
Карбонатность, 71
Кислотность, 61, 86
Климаксная почва, 104
Климат, 3, 4, 93, 95, 98, 100
Корневые выделения растений, 41, 42
Криофиты, 54
Ксерофиты, 53
Литосфера, 18, 22
Литофиты, 50
Макроэлементы, 10, 65
Мезофиты, 54
Металлофиты, 69
Микроорганизмы, 15, 23, 25, 29, 30, 35, 42, 44, 46, 48, 65, 71, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 93, 97, 105, 107, 130, 133, 138, 140, 142,
Микроэлементы, 10, 40, 43, 63, 67, 125
Минеральные удобрения, 131
Нефтепродукты, 138, 139
Объемная масса, 51
Оглеение, 71
Опустынивание, 113, 115
Органическое вещество, 5, 17, 45, 50, 58, 59, 71, 87, 111, 134,
Парцелла, 107
Патогенные микроорганизмы, 45, 46, 47
Педотурбация, 106
Переуплотнение, 113
Пестициды, 132, 133, 134
Плодородие, 3, 57, 111, 113
Плотность почв, 10, 49, 51, 52, 75, 114
Поглотительная способность почв, 24, 28, 57
Полихлорированные бифенилы, 137
Полициклические ароматические углеводороды, 138
Почвенный воздух, 13, 86
Почвенные коллоиды, 26, 28
Почвенный поглощающий комплекс, 24, 129
Почвоотомление, 43
Продуктивность, 110, 112
Псаммофиты, 50
Психрофиты, 54
Радионуклиды, 29, 117, 118, 119
Растения-индикаторы, 63, 68, 69, 108, 109, 141
Растения-эдикаторы, 107, 108
Растительность, 4, 93, 96, 98, 99, 100
Рекультивации, 140
Рельеф, 3, 4
Речной сток, 8
Самоочищение почв, 45, 122, 136
Саморазвитие почв, 104
Самоугнетения, 43
Стимуляторы, 41, 120
Сукцессия, 101, 102
Тепловой режим почв, 31, 55, 61, 75, 81, 98
Тессера, 108
Техногенные аномалии, 120, 125, 130
Тяжелые металлы, 29, 78, 121, 124, 130
Устойчивость почв, 121, 124
Факторы почвообразования, 4
Физические свойства почв, 8, 50, 52, 56, 59, 134
Фитогенное поле, 42
Фитоиндикация, 69
Эволюция почв, 104
Эвтрофирования водоемов, 11
Экологический стандарт вида, 75
Элементы питания, 28, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 62, 67, 71, 77, 99, 112, 124, 131, 140
Эрозия, 113, 115
Эфемероиды, 54
Эфемеры, 54, 96, 99, 100, 101
Ярусность, 32, 93

Библиографический список

1. Агрохимикаты в окружающей среде / Э. Хайниш, Ч. Паукке, Г.-Д. Навель, Д. Хансен – М.: Колос, 1974. – 357 с.
2. Бабьева, И.П., Зенова, Г.М. Биология почв. – М.: МГУ, 1989. – 336 с.
3. Блукет, Н.А., Емцев, В.Т. Ботаника с основами микробиологии. – М.: Колос, 1974, – 560 с.
4. Гиляров, М.С., Криволуцкий, Д.А. Жизнь в почве. – М.: Мол. гвардия, 1985. – 191 с.
5. Голубев, И.Ф. Почвоведение с основами геоботаники. – М.: Колос, 1982. – 360 с.
6. Гришина, Л.А. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. – М.: МГУ, 1974. – 130 с.
7. Гродзинский, А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. – Киев: Наук. думка, 1991. – 432 с.
8. Двораковский, М.С. Экология растений. – М.: Высш. шк., 1983. – 190 с.
9. Добровольский, Г.В., Никитин, Е.Д. Экологические функции почвы. – М.: МГУ, 1986. – 137 с.
10. Добровольский, Г.В., Никитин, Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
11. Добровольский, Г.В., Никитин, Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. – М.: Наука; МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. – 185 с.
12. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.
13. Ивлев А.М., Дербенцева А.М. Основы учения о биосфере. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2002. 112 с.
14. Ивлев, А.М., Дербенцева, А.М. Деградация почв и их рекультивация. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2003. – 88 с.
15. Карпачевский, Л.О. Лес и лесные почвы. – М.: Лесн. пром., 1981. – 264 с.
16. Мишустин, Е.Н., Емцев, В.Т. Микробиология почв. – М.: Колос, 1970. – 320 с.
17. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. – М.: МГУ, 1994. – 272 с.
18. Фокин, А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле. – М.: Наука, 1986. – 176 с.
19. Химическое загрязнение почв и их охрана / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, Л.К. Садовникова и др. – М.: Агропромиздат, 1991, – 303 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Что такое почва?	4
Какие факторы играют ведущую роль в почвообразовании?	5
Что изучает экология почв?	6
I. Экологические функции почв	7
Какие гидросферные функции присущи почве?	7
Что происходит с атмосферными осадками при трансформации их в грунтовые воды?	8
Как почвы участвуют в формировании речного стока?	9
Как привносимые почвенные соединения влияют на биопродуктивность водоемов?	10
Почему почва служит сорбционным барьером, защищающим акватории от загрязнения?	11
Какие атмосферные функции присущи почве?	12
Как почва регулирует газовый режим атмосферы?	13
Каков состав почвенного воздуха?	13
В чем сущность газопоглотительной функции почв?	14
Как почва регулирует влагооборот атмосферы?	15
Какое воздействие на атмосферу оказывают попавшие в нее частицы почвы?	15
В чем состоит функция поглощения и отражения солнечной радиации?	16
Как человек влияет на изменение атмосферных функций почв?	17
Почему почва защищает литосферу от чрезмерной эрозии?	19
Для образования каких минералов, пород, ископаемых почва служит исходным материалом?	19
Почему почва служит звеном в передаче аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы?	20
Как почва участвует в формировании биогеохимического потока элементов?	20
Что влияет на геохимическую подвижность элементов?	21
Какие выделяются группы относительной подвижности элементов и соединений?	22
Как почва участвует в биогеохимическом преобразовании верхних слоев литосферы?	22
Каковы результаты биохимического воздействия почвенных агентов выветривания на поверхность литосферы?	24
Что такое поглотительная способность почв?	25
Почему почва поглощает тонкодисперсные вещества? Что такое коллоидная мицелла?	27
От чего зависит поглотительная способность почв?	29
Почему почва способна сорбировать микроорганизмы, обитающие в ней?	30
Для кого почва является жизненным пространством?	31
Чем обусловлена ярусность почвенных обитателей?	32
Почему почва служит жилищем и убежищем для животных организмов?	33
Почему знание экологии почв важно в борьбе с грызунами?	34
Почему почва выполняет опорную функцию?	35
Почему почва служит хранилищем семян и других зачатков?	35
Почему почва является самым богатым субстратом для микробного генофона?	36
Что такое живое вещество, почему почва является средой обитания организмов суши?	36
Каковы основные причины, определяющие высокую концентрацию живого вещества суши?	38
Почему почва играет решающую роль в создании биологической продукции?	40
Какие факторы определяют оптимальные условия питания растений?	40

Что такое резерв элементов питания ?.....	41
Почему почва является стимулятором и ингибитором биохимических и других процессов?.....	42
Что такое корневые выделения растений?.....	42
Что такое фитогенное поле?.....	43
Каково практическое использование взаимовлияния растений?	43
В чем суть явления почвоутомления?.....	44
Почему почва является защитным и буферным биогеоценотическим экраном?.....	45
Как почва сигнализирует о начале сезонных и других биологических процессов?.....	45
В чем заключается санитарная роль почвы?.....	46
Какие патогенные микроорганизмы обитают в почвах?.....	46
Какие факторы вызывают гибель патогенных микроорганизмов в почвах?.....	47
II. Свойства почвы и их влияние на растения и растительность.	48
Почему для растений важна мощность почвенного профиля?	48
Как влияют физические свойства почв на корневую систему растений?.....	51
Как водно-физические свойства почв влияют на растения?.....	52
На какие группы делятся растения по отношению к почвенной влаге?.....	54
Как растительность влияет на водный режим почв?.....	55
Как тепловой режим почв влияет на растительность?.....	55
Как влияет на развитие растений гранулометрический состав почв?.....	56
Почему для растений важна оструктуренность (агрегатный состав) почвы?.....	57
Что представляет собой органическое вещество почв?.....	59
Какова роль негумифицированных органических веществ?.....	59
Что такое почвенный гумус, какие выделяются типы гумуса?.....	60
Из каких соединений состоит почвенный гумус?.....	60
Какова роль гумуса в почве?.....	61
Почвенная кислотность, чем она определяется и как влияет на растения?.....	61
На какие группы делятся растения по отношению к реакции почвенного раствора ?....	63
Какова потребность растений в зольных элементах и азоте?.....	63
На какие группы делятся растения по отношению к почвенному плодородию?.....	65
Каково экологическое значение важнейших макроэлементов для растений?.....	66
Каково экологическое значение важнейших микроэлементов для растений?.....	67
Какие растения называют индикаторами?	68
Что такое геологическая фитоиндикация?	69
Как засоленность почв влияет на экологические особенности растений?.....	70
Как карбонатность почв влияет на экологические особенности растений?.....	71
Как заболачивание и оглеение почв влияют на экологические особенности растений?.....	71
III. Свойства почв и их роль в жизни животных.	72
На какие группы делят почвенных животных?.....	72
Какую работу выполняют почвенные животные?.....	73
В чем смысл роющей деятельности животных?.....	73
Каким образом жизнь в почве влияет на физиологию и образ жизни животных?.....	73
Что такое зоологический метод диагностики почв?.....	75
Какие животные являются обитателями почвы?.....	75
Какие микроорганизмы обитают в почвах?	80
Каковы особенности распределения микроорганизмов в почвах?.....	83
Как микрофлора почв зависит от динамики почвенно-климатических условий?.....	84
Какие основные факторы среды определяют развитие микробного ценоза почвы?.....	85
На какие группы делятся микроорганизмы по способности вызывать определенные процессы в почвах?	87
Каков цикл превращения азота в почве?.....	87
В чем суть процесса мобилизации азота?.....	88
Что такое иммобилизация и денитрификация азота?.....	89

Как происходит биологическая фиксация молекулярного азота атмосферы?.....	89
Как происходит превращение микроорганизмами углеродсодержащих веществ растительного происхождения?.....	91
В чем суть микробиологических превращений соединений фосфора?.....	91
Как происходит микробиологическое превращения соединений серы?.....	92
Каковы основные закономерности размещения типов почв на Земле?.....	92
Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах тундровой зоны?.....	93
Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах таежно - лесной зоны?.....	95
Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах лесостепной зоны?.....	98
Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах степной зоны?.....	98
Каковы закономерности распространения различных групп организмов в почвах полупустынь и пустынь?.....	100
IV. Неоднородность почв и почвенного покрова и биологическое разнообразие ...	101
Что такое сукцессия?.....	101
Каковы общие закономерности сукцессионного процесса?.....	102
Почему человек является одним из факторов динамики экосистем?.....	103
Как соотносятся понятия саморазвития и эволюции почв?.....	103
Почему почву называют памятью ландшафта?.....	104
Влияет ли процесс саморазвития почв на динамику БГЦ?.....	104
Каким образом почва оказывает влияние на формирование состава и структуры наземных БГЦ?.....	105
Почему неоднородность почвенного покрова является как результатом, так и как условием устойчивого функционирования биогеоценоза?.....	105
Что такое парцеллы и тессеры?.....	106
Что такое фактор гомогенизации?.....	107
Какие растения называют эдификаторами биогеоценозов?.....	109
Почему неоднородность почв лесных биогеоценозов является результатом эндодинамической сукцессии?.....	109
Как соотносятся понятия продуктивности фитоценозов и плодородия почв?.....	110
V. Человек и почва	112
Каковы основные тенденции изменения почвенного покрова Земли под воздействием человека?.....	112
Почему происходит уменьшение продуктивных земельных ресурсов ?.....	113
Что такое физическая деградация почв?.....	113
Что такое дегумификация почв?	114
Как проявляются процессы аридизации и антропогенного опустынивания?	114
В чем суть процессов эрозии и дефляции почв?.....	115
Как изменяются почвы на орошаемых и подтопленных землях?.....	115
В чем причины радиоактивного загрязнения почв?	116
Какие радионуклиды обуславливают загрязнение почв?.....	116
Как ведут себя в почве основные радионуклиды?.....	117
Каковы источники химического загрязнения почв?	118
На какие классы опасности и по каким показателям делятся загрязняющие вещества?.....	119
На чем основывается оценка состояния в почве загрязняющих веществ?.....	120
Каковы географические закономерности распределения в почвах загрязняющих веществ?.....	121
Что такое устойчивость и проточность почв?.....	122
Какие приемы используют для очищения почв?	123

Почему происходит подкисления почв?.....	124
Что такое тяжелые металлы и как они попадают в почву?.....	125
От чего зависит характер перераспределения ТМ в почвах?.....	126
Что такое геохимическая миграция? Какие существуют типы почвенно-геохимических барьеров?	127
Как загрязнение ТМ влияет на почвенные ценозы?.....	128
Как ведут себя в почве основные металлы-загрязнители?.....	130
Чем опасно загрязнение почв ТМ для здоровья населения?.....	131
Почему происходит загрязнение почвы минеральными удобрениями?	132
Что такое пестициды?.....	132
Как влияет внесение пестицидов на экологические связи в биогеоценозах?.....	133
Каково поведение пестицидов в почве?.....	134
Что влияет на преобразование пестицидов в почве?.....	135
Как можно снизить дозу пестицидов без уменьшения эффективности воздействия?.....	135
Каковы требования к современным пестицидам?.....	136
В чем состоит опасность загрязнения почв диоксинами?.....	137
В чем состоит опасность загрязнения почв полихлорированными бифенилами?.....	138
В чем состоит опасность загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами почв ?	138
Как определяется степень загрязнения почв нефтепродуктами?	139
Как изменяются основные свойства почв при нефтяном загрязнении?.....	139
Как происходит самоочищение почвы от нефтяного загрязнения?.....	140
Что включают в себя различные этапы рекультивации земель?.....	141
На чем основана и как происходит биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель?.....	142
Почему возникла проблема охраны почв? Какие существуют уровни и виды охраны почв?.....	144
Предметный указатель.....	145
Библиографический список.....	

Жарикова Елена Анатольевна

Экология почв
в вопросах и ответах

Редактор В.В. Сизова
Технический редактор Н.М. Белохонова

Подписано в печать 14.04.05. Формат 60х84/16.
Усл. печ. л. 8,84. Уч.-изд. л. 9,1.
Тираж 100 экз. Заказ 119

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10