

Министерство образования Российской Федерации
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова

Экологическое почвоведение

*Курс лекций
для студентов-экологов (бакалавров)*

Ярославль 2003

ББК П 03я73

В 67

УДК 631.4+579.64:631.46

И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова

Экологическое почвоведение: Курс лекций для студентов-экологов (бакалавров) / И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова; Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова. - Ярославль, 2003. - 67 с.

ISBN 5-8397-0316-8

В курсе лекций излагаются основы экологического почвоведения, цель которого - выявление особенностей почвы как среды обитания живых организмов, рассматриваются экологические функции почвы и изменчивость ее основных морфологических, физических и химических свойств под воздействием природных и антропогенных факторов.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование», а также для студентов специальностей «Экология», «Биология», аспирантов и научных работников, специализирующихся в области биологии почв, почвоведения, экологии.

Табл. 4. Библиогр.: 11 назв.

Рецензенты: кафедра физики Ярославского государственного технического университета; канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники Ярославского государственного педуниверситета им. К.Д. Ушинского Н.Л. Иванова.

ISBN 5-8397-0316-8

© Ярославский государственный
университет им П.Г. Демидова, 2003

© И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова, 2003

Введение

В настоящее время древо наук так сильно разветвлено, так многообразны «скелетные» ветви и многочисленны порядки ветвления, что возникла необходимость в классификации наук. По классификации И.Б. Иоганзена биологические науки делятся на: общие, частные и комплексные.

Общие биологические науки изучают весь органический мир в строго определенном направлении (одну сторону его жизненных явлений – «немногое обо всем»). Каждая из общих наук подразделяется на части (систематика животных, растений, грибов; морфология животных, растений и т.д.).

Частные науки всесторонне изучают конкретные объекты органического мира – «все об одном», это ботаника, зоология, микробиология и т.д.

В основе комплексных наук лежит изучение условий жизни организмов. Поэтому в них значительно глубже развиваются экологические идеи, доминирует экологический подход в изучении конкретных явлений.

Почвоведение относится именно к комплексным наукам: изучая строение почв, их физические и химические свойства мы фактически изучаем условия жизни обитателей почвы. И такое интегральное свойство почвы как плодородие является, по сути, ответом живых организмов (растений) на конкретные почвенные условия. Однако, так исторически сложилось в почвоведении, что сначала изучался сам объект – почва, ее морфологические, физические, химические свойства, особенности географического распределения почв по Земному шару; и только в настоящее время обратились к ее экологическим функциям.

Экологическое почвоведение – наука, изучающая условия жизни организмов в почве. Она базируется на фактах и закономерностях, установленных общим почвоведением, а также использует данные частных наук, таких как экология растений, почвенная зоология, почвенная микробиология, почвенная альгология. Цель настоящего курса – выявить особенности почвы как среды обитания различных живых организмов. Его задачами являются: 1) Ознакомление с историей развития почвенного покрова Земли и его экологическими функциями – глобальными и биогеоценотическими; 2) Изучение динамики

свойств и состояний трех фаз почвы – твердой, жидкой и газообразной; 3) Знакомство с основными факторами почвенной среды в их оптимальных и экстремальных значениях, определяющими жизнь важнейших групп почвенных организмов; 4) Выяснение роли антропогенного фактора в изменении почвенных свойств и его влияние на почвенную биоту и человека.

Предлагаемый материал является частью курса «Экологическое почвоведение» и, в основном, касается естественной динамики почвенных свойств, рассматривая антропогенное воздействие лишь частично. Более подробно вопросы техногенного влияния на почву предполагается рассмотреть во второй части курса.

Лекция 1

Развитие почвенного покрова Земли

Геологическая история Земли началась 4 млрд. лет назад, после образования литосферы. В древнейшие геологические зоны – гадейский, архейский и протерозойский - идет многократная перестройка суши, поверхностный слой литосферы подвергается интенсивному выветриванию и к концу протерозоя формируются обильные осадочные породы. Основные события этих древнейших эпох выглядят следующим образом.

Гадейский эон (4,6 - 3,9 млрд. лет назад) - образование системы Земля - Луна, образование океанов, осадочные породы отсутствуют, возможно, шло накопление органики – «первичного бульона», появление гиперциклов.

Архейский эон (3,9 - 2,6 млрд. лет назад) – образование древнейшего суперконтинента Пангея, атмосфера восстановительная, появляются древние осадочные породы (со строматолитами и микрофоссилиями – ископаемыми остатками живых организмов), появление предпочв и развитие их в протопочвы. Развиваются анаэробные сообщества археобактерий, прокариотических гетеротрофов и прокариот, способных к аноксигенному фотосинтезу.

Протерозойский эон (2,6 - 0,6 млрд. лет назад) - раскалывание Пангеи, образование рифтовых впадин, формирование обильных осадочных пород и появление на них примитивных почв. В начале протерозоя появляются оксифотобактерии, 2 млрд. лет назад атмосфера становится окислительной, аэробные сообщества господствуют (сна-

чала цианобактерии, затем альгобактерии; 1,8 млрд. лет назад – эукариоты одноклеточные; 0,9 - 0,7 млрд. лет назад – многоклеточные формы).

Фанерозойский эон (0,6 - 0 млрд. лет назад) – обильные ископаемые остатки всех групп живых организмов, выход растений на сушу (430 млн. лет назад), эволюция примитивных почв в связи с эволюцией наземных сообществ, формирование современных почв к кайнозойской эре.

К **фанерозою** относятся геологические периоды с явными признаками жизни. Считается, что живые организмы зародились в океане и около 1 млрд. лет развивались в нем, прежде чем вышли на сушу в девоне. В фанерозое появились первые зеленые растения суши (мхи и папоротникообразные), которые и должны были сформировать первые почвы.

Но теоретически можно предположить, что почвообразование началось гораздо раньше фанерозоя (Л.О. Карпачевский, 1993): уже в протерозое (около 2,6 млрд. лет назад) гидросфера, а потом и суша была заселена архебактериями и водорослями. Уже тогда суша была покрыта рыхлыми отложениями, и эти отложения послужили основой для формирования почв. Но, возможно, появление почвы непосредственно связано с появлением жизни на Земле и со становлением биосферы, т.е. около 4 млрд. лет назад. Независимо от того, где зародилась жизнь – на Земле или в Космосе (пангенез), большинство теорий связывают зарождение жизни с появлением на Земле *гиперциклов* – сложных органических молекул, способных воспроизводить себя. Значительна вероятность их возникновения и в вакууме космоса, и на Земле. Но только попав в определенные экологические условия, гиперциклы могут эволюционировать. Большее преимущество должны были иметь те гиперциклы, которые адсорбировались на минеральных коллоидах. Другие органические соединения проплывали мимо, и сорбированные гиперциклы могли их присоединять, при этом достраивая свое «тело» или воспроизводя аналогичную молекулу. Такие «оседлые» гиперциклы могли использовать минералы, на которых сорбировались в качестве катализаторов (в частности, марганец в составе пирролюзита, железо в составе оксидов и до сих пор работают как катализаторы у некоторых видов микроорганизмов) (по Л.О. Карпачевскому).

Итак, на первых стадиях криптозоя (древнейшие зоны без явных признаков жизни) некоторые участки суши представляли собой минеральный субстрат, поры которого были заполнены раствором, содержащим органические вещества; на поверхности коллоидов были сорбированы органические соединения, в том числе и гиперциклы. Минеральный субстрат с сорбированным на нем органическим веществом вполне можно назвать предпочвой.

Развитие гиперциклов превратило предпочву в протопочву и могло одновременно привести к возникновению жизни, а затем и биосферы. Первичное почвоподобное тело возникло раньше биосферы и послужило толчком к ее формированию. В дальнейшем, в течение длительного времени (в криптозое и начале фанерозоя) шло расселение возникших организмов и их эволюция; окислительная атмосфера Земли способствовала эволюционному процессу.

В начале фанерозоя протопочвы были заселены как автотрофами, так и гетеротрофами. В почве накапливались органические соединения, усиливались циклы биофильных элементов (S, N, C, Fe), возник биологический круговорот. По представлениям Л.О. Карпачевского, уже в начале палеозойской эры фанерозоя (кембрий, ордовик, силур) почвенный покров Земли был представлен маломощными среднегумусированными дерновыми, луговыми, иловато-болотными почвами, карликовыми подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами. Однако надежных следов этих почв не найдено (требуется очень тонкая подготовка образцов для анализа – по концентрации золота в древнем гумусовом горизонте).

Настоящие среднемощные почвы появились в девоне: перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые, луговые, засоленные (аналогичные современные почвы встречаются в поймах рек, ручьев). Характерной чертой этой стадии было малое участие мезофауны в разложении органического вещества, что способствовало консервации органики после отмирания растений, в том числе и стволов гигантских папоротников. Возможно, именно поэтому сформировались мощные угольные слои, в которых сохранились окаменевшие слои древовидных папоротников. В это же время появились растения с корнем, что способствовало большему охвату субстрата и формированию симбиотических связей с микробиотой.

В карбоне отмечен расцвет насекомых, усиливаются процессы разложения органических остатков, интенсифицируется гумифика-

ция. В целом сохраняются те почвы, которые сформировались в конце девона. Папоротникообразные образуют приморские и приозерные леса из древовидных (высотой до 30 м) плаунов, хвощей и лепидодендронов с торфяными, перегнойно-торфяными и иловато-торфяными почвами. В дренированных условиях формируются грубогумусные почвы. В конце карбона появляются саговники, кардоиты и хвойные.

В мезозое ведущая роль в формировании почв переходит к голосеменным. Они появляются уже в конце палеозоя (пермь – триас). Первый класс голосеменных – семенные папоротники – появился в девоне и вымер в раннем мелу. Под лесами из голосеменных формировались те же торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые почвы, но одновременно возникали и первичные дерновые и луговые почвы. Собственно дерновые почвы своим происхождением обязаны покрытосеменным травянистым растениям, следовательно, их появление датируется меловым периодом. Возможно, именно в этот период возникают и черноземы и серые лесные почвы, но как единичные и малораспространенные. Расцвет черноземов и серых лесных почв наступает в четвертичном периоде. В нижнем (или позднем) мелу сформировался современный почвенный покров Земли, и далее он трансформировался, в основном, наступлениями и отступлениями ледника.

Голоцен – послеледниковая эпоха. Этот интервал времени имеет следующую периодизацию.

Позднеледниковая эпоха (аллерод):

- 1) раннее субарктическое время (12 500 – 12 000 лет назад);
- 2) среднее субарктическое (12 000 – 11 000 лет назад);
- 3) позднее субарктическое (11 000 – 10 500 лет назад).

Послеледниковая эпоха:

- 1) предбореальное время (10 500 – 9 700 лет назад);
- 2) бореальное (раннее теплое) время (9 700 – 7 800 лет назад);
- 3) суббореальное (позднее теплое) время (5 000 – 2 500 лет назад);
- 4) субатлантическое время (2 500 лет назад – до наших дней).

В районах, где было оледенение, возраст почв следует отсчитывать лишь от времени таяния (отступления) ледника. В ландшафтах,

примыкавших к леднику, но не занятых им, возраст нижних горизонтов почв может быть намного старше самого ландшафта. Ландшафты, не затронутые ни ледником, ни серьезными климатическими флуктуациями, все равно разновозрастны, так как они подвержены эрозии, перемешиванию, наносам.

Оценивая возраст современных почв, следует различать:

1) возраст почвенного покрова (он отличается на разных континентах и, в зависимости от геологической истории континента, измеряется сотнями тысяч – тысячами лет);

2) возраст индивидуального почвенного профиля (он зависит от истории ландшафта и может насчитывать от тысяч до сотен лет);

3) возраст почвенного горизонта (зависит от истории конкретной территории и измеряется десятками лет и годами).

Исходя из истории Земли в протерозое (2,6 – 0,6 млрд. лет) и фанерозое (0,6 – 0), процессы почвообразования перемежались с процессами погребения почв и разрушения почвенного покрова; новая педосфера формировалась как на новых геологических отложениях, так и на остатках старых почв. Среди былых почв – слои каменного угля, глинистые сланцы, известняки, лессы, глинистые и песчаные отложения. Все эти породы, даже подвергнутые метаморфозу (переплавке в недрах Земли), хранят более высокие доли биогенных элементов (Mg, Ba, P, S, Cr, Mn, N, C) и указывают на то, что эти слои когда-то были почвой. Современный почвенный покров – динамичное природное тело, развивающееся в пределах биосферы суши, постоянно гибнущее и возникающее вновь.

Экологические функции почв

Лекция 2

Глобальные функции почв

Почва и литосфера

В первую очередь возникновение почвы изменило верхний слой литосферы (кору выветривания). Следует выделять несколько форм участия почв в эволюции поверхностных слоев Земли.

Биохимическое преобразование верхнего слоя литосферы

В этом преобразовании почва принимает как косвенное, так и непосредственное участие.

Косвенная роль почвы заключается в том, что она является основной средой обитания организмов суши. Без почвы живые организмы и их метаболиты не представляли бы серьезного фактора в преобразовании лика Земли.

Прямое участие почвы в биохимическом преобразовании литосферы многопланово. Во-первых, почва – поставщик органических кислот специфической (гумусовые кислоты) и неспецифической (простые органические кислоты) природы. Эти кислоты возникают в процессе гумусообразования. В целом (по В.В. Пономаревой) химическая сторона почвообразования представляется как процесс взаимодействия кислот органического происхождения с основаниями литосферы. Наибольшим растворяющим действием на минералы обладают фульвокислоты (ФК). Их растворяющее действие в 3 – 4 раза выше, чем соляной кислоты. Гуминовые кислоты (ГК) также обладают высокой растворяющей способностью. Однако способность осаждаться кальцием приводит к снижению их агрессивности по отношению к минералам. В целом гумусовые кислоты (ФК и ГК) оказались более агрессивными по отношению к минералам по сравнению с простыми органическими и неорганическими кислотами из-за длительности их воздействия.

Во-вторых, кроме кислот, при разложении органики образуется большое количество продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Особенно большую роль этот процесс играет на стадии первичного почвообразования, когда минеральных веществ еще слишком мало для питания растений. Механизм воздействия микроорганизмов на минералы может быть прямым и косвенным.

Прямой: а) с помощью ферментов - при этом из кристаллической решетки минералов извлекаются элементы с переменной валентностью: S, Fe, Mn; б) с помощью слизи – это воздействие имеет менее специфический характер.

Косвенный: воздействие сильных химических реагентов, образуемых микроорганизмами в процессе метаболизма. Это могут быть:

- органические и минеральные кислоты – лимонная, щавелевая, образуемые в результате жизнедеятельности грибов; муравьиная, ук-

сусная, масляная, молочная, винная, азотная, серная, образуемые бактериями;

- биогенные щелочи, образуемые при разложении азотсодержащих органических соединений аммонифицирующими бактериями, и, как следствие, образование карбонатов и бикарбонатов;

- хелатообразующие или комплексообразующие соединения, которые растворяют относительно нерастворимые неорганические вещества или удерживают различные компоненты в растворимой форме. В частности, таким путем растворяются и предохраняются от осаждения многие металлические ионы (Fe, Ca, Mn, Zn, Mg, Co, Cu и др.), что создает условия для их вертикальной и горизонтальной миграции;

- восстановители – H_2 , H_2S , CH_4 . При низком содержании кислорода и создании восстановительной обстановки складываются условия, благоприятные для биогенного образования минералов, в частности сульфидов, что связано с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий. Сульфатредуцирующие бактерии используют самые разнообразные сульфатные минералы, участвуя в их преобразовании, – гипс, целестин, барит, потребляют сульфат железа, цинка, меди (Römer, Schwartz, 1965). Так, при активном развитии сульфатвосстанавливающих бактерий экспериментально получены ковелин CuS , галенит PbS , гринокит CdS , халькопирит $CuFeS_2$ (Крамаренко, 1983). Розановой с соавт. (1969) описан процесс выпадения кальцита в нефтяном пласте в связи с биогенным восстановлением сульфатов. В анаэробных условиях под влиянием водородпродуцирующих бактерий с понижением pH среды может происходить разложение габбро-лабрадорита, при этом в раствор выносятся кремнезем и железо (Крамаренко, 1983).

Результаты воздействия почвенных агентов на поверхность литосферы

Перевод законсервированного в кристаллических решетках вещества в подвижное состояние (особенно высокой миграционной способностью обладают коллоидные и истинные растворы); образование фонда лабильных соединений и элементов, создающего основу для существования круговоротов.

Резкое возрастание удельной поверхности массивно-кристаллических пород, подвергнутых выветриванию (1 м^3 горной породы имеет поверхность 6 м^2 , а 1 м^3 суглинка - более 10 км^2). Благодаря дис-

пергации материала возникает новый фактор взаимодействия – поверхностная сила.

Синтез вторичных минералов в зоне гипергенеза; концентрация ряда соединений (новообразования кремнезема, гидроксидов железа, минералов фосфора, марганца, легкорастворимых углекислых, сернокислых, хлористых солей, органо-минеральных соединений, глинистых минералов).

Образование коры выветривания (связано с почвообразованием и является в значительной мере его следствием). Кора выветривания имеет мощность от 10 до 100 м в разных климатических зонах Земли, в ней приобретают подвижность и включаются в циклы миграции различные элементы, поэтому кора выветривания – источник минеральных элементов для биосферы.

Почва – источник вещества для образования пород и полезных ископаемых

В процессе выветривания горных пород формируются различные типы континентальных осадочных пород и морских отложений. В тесной связи с почвообразованием находится и формирование полезных ископаемых. В частности, такие органогенные руды, образуемые микроорганизмами, как болотная, озерная и дерновая, содержат железо, марганец и другие элементы. Масса этой органогенной породы может постепенно погружаться в более глубокие слои литосферы, где они превращаются в различные виды угля.

В коре выветривания представлены многие месторождения полезных ископаемых, образовавшихся различными путями:

- в результате высвобождения из горных пород (золото, платина, серебро, титанистый железняк, гранат, алмаз и др.);
- в результате накопления вторичных минералов (каолины, охра, бентониты);
- при выпадении осадка из насыщенных растворов (галит - каменная соль).

Передача аккумулированной солнечной энергии и вещества атмосферы в недра Земли

В.И. Вернадский высказал гипотезу о том, что гранитная оболочка Земли – это метаморфизированная и переплавленная бывшая биосфера суши. Подтверждением этому служат высокие запасы энергии

гранитных пород и минералов зоны гипергенеза по сравнению с базальтами. При опускании земной коры эта энергия расходуется на внутриземные процессы, а кристаллическая решетка теряет энергию и перестраивается в атомные структуры с меньшей энергией. Этот энергетический источник является важной составной частью в энергетике Земли наряду с другими видами энергии, например радиоактивным распадом элементов.

Почва также участвует в передаче вещества атмосферы в недра Земли: при почвообразовании происходит поглощение газов, а они в составе почвенных соединений попадают в осадочные породы. Так, с органическим веществом поступают дополнительные количества кислорода в составе оксидов железа, марганца, серы; в глубинах Земли они восстанавливаются, освобождая кислород. Те же механизмы транспортировки в недра Земли характерны и для азота.

Защитный барьер литосферы от чрезмерной эрозии

Практически во всех случаях, когда происходит нарушение почвенного покрова, наблюдается и усиление эрозионных процессов на поверхности литосферы. Особенно этому способствуют массовая вырубка лесов и распашка огромных площадей земли. По данным Л.Г. Бондарева (1974), общая глобальная денудация составляет 23 – 25 млрд. тонн в год, из них антропогенная – 10 млрд. тонн в год.

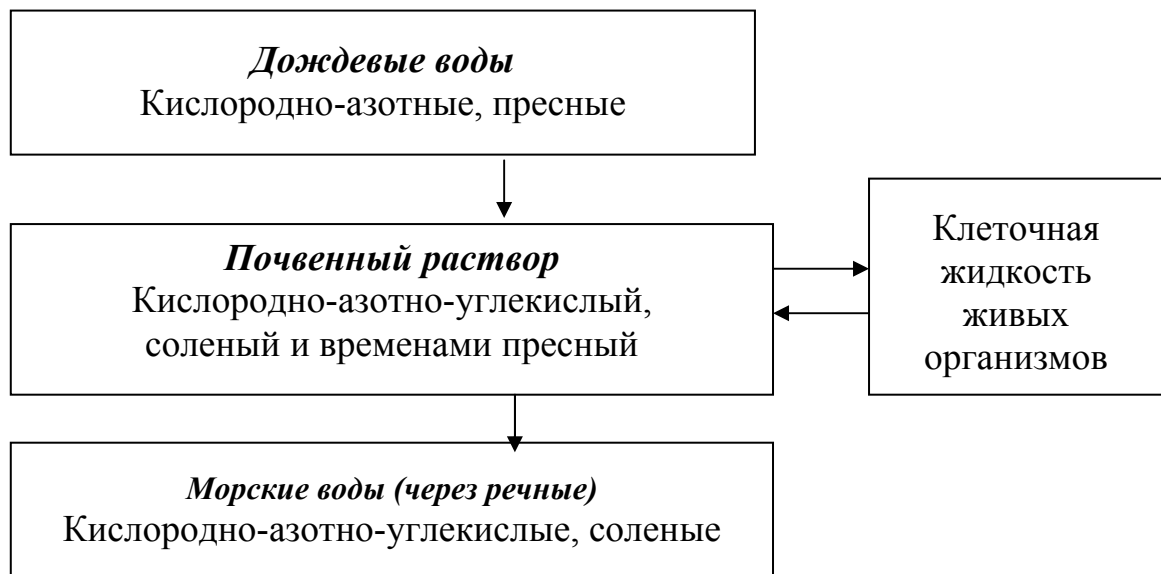
Для развития литосферы ускоренная эрозия ее поверхности имеет ряд отрицательных последствий: подавляется химическое выветривание, преобладающим становится механическое, из-за этого снижается синтез вторичных энергоемких минералов. В конечном итоге эти процессы могут привести к снижению энергообмена Земли и непредсказуемым последствиям.

Почва и гидросфера

Гидросфера Земли образована Мировым океаном и акваториями суши. На долю океана и морей приходится 96% водных запасов, другие ее виды занимают незначительную часть от общих запасов, но являются более подвижными и постоянно возобновляемыми. Особенно это относится к воде атмосферы и почв.

Почва является важным звеном в круговороте воды, которое длительное время недооценивалось. Почвенные растворы, по словам В.И. Вернадского, являются «основным субстратом жизни». Они свя-

зывают такие разные воды, как морскую, речную и дождевую. Эта связь отражается следующей схемой.



Сейчас считается, что почва является вторым по значению гидрологическим фактором после климата. Она играет роль посредника между климатом и речными и подземным стоками, ни одно явление водного баланса не минует почву.

Трансформация почвой атмосферных осадков в почвенные и грунтовые воды

Почвенные и грунтовые воды являются важной составной частью подземных вод. Наибольший интерес представляют грунтовые воды, расположенные ниже почвенной толщи. В формировании грунтовых вод принимают участие конденсационные воды и осадки, фильтрующиеся через почвенную толщу (инфильтрация). Инфильтрация осадков и конденсация паров в верхних почвенных слоях во многом зависит от конкретных свойств почвы. Поэтому можно утверждать, что почвой контролируются все основные составляющие механизма образования грунтовых вод.

Для большей части регионов земного шара характерен сложный механизм образования грунтовых вод, который зависит от:

- периодических колебаний климата;
- изменений химического состава атмосферных осадков при прохождении через почву;

- характера просачивания вод («провальное», медленное);
- газового состава почвы (в водах происходит снижение концентрации кислорода и возрастание содержания углекислого газа при инфильтрации);
- генетических свойств почв, унаследованных от материнской породы (силикаты и алюмосиликаты почти нерастворимы в воде, осадочные породы интенсивнее отдают различные ионы);
- значений рН почвы.

В настоящее время (по данным европейских исследователей) рН атмосферных осадков уменьшается от 5,5 до 3,0. При этом усиливается вымывание кальция, магния и калия, активизируются железо, алюминий и марганец, связывается фосфор. Это заметно снижает почвенное плодородие, заставляя вносить минеральные удобрения. Удобрения, в свою очередь, меняют состав грунтовых вод, и появляется проблема защиты подземных вод от сельскохозяйственного загрязнения.

Участие почвы в формировании речного стока и водного баланса

Почва определяет соотношение грунтового и поверхностного питания рек: от нее зависит, какая часть атмосферных осадков поступит с водоразделов в реки в виде поверхностных загрязненных стоков, а какая - в виде более чистых грунтовых. Это определяет равномерность питания рек и степень их загрязнения. Если почва обладает хорошей водопроницаемостью, а подстилающие породы - рыхлые и трещиноватые, легко аккумулирующие влагу, то создаются условия для равномерного питания рек. Если впитывающая способность почв слабая, то создается поверхностный сток, а это вызывает ряд отрицательных последствий: длительные паводки весной, пересыхание рек в засухи, активизация эрозии, низкий запас влаги в почве.

На структуру стока влияет характер растительности и такие почвенные свойства, как механический состав и режим промерзания. В лесу поверхностный сток мал и дождевые и снеговые воды хорошо впитываются почвой; в поле он сильно возрастает, особенно если земля не занята посевами. На суглинистых почвах поверхностный сток больше, чем на песчаных. Промерзание почв сильно снижает фильтрацию из-за закупорки почв льдом, поэтому в условиях вечной

мерзлоты так часто происходит формирование заболоченных участков и болотных почв.

Почва непосредственно участвует и в формировании водного баланса Земли. За длительный период общее количество осадков равно суммарному испарению. При этом именно почва в значительной мере определяет процессы испарения с поверхности суши.

От почвы зависит и баланс подземных вод: инфильтрационных, седиментационных, возрожденных и магматических.

Современные исследования показывают, что в водном балансе Земли наметилась тенденция к увеличению объема воды в океане и сокращению ее запасов на суше. Несколько смягчает эту диспропорцию создание водохранилищ.

Из сказанного можно сделать вывод о важности прогноза водного баланса. Сейчас его изменение в значительной степени связано с человеческой деятельностью: возрастает водопотребление (особенно на нужды сельского хозяйства), это приводит к увеличению испарения с поверхности суши. При этом почвенное звено оказывается одним из центральных в антропогенных системах водопотребления. Для оптимизации водного баланса выработаны ряд приемов: зяблевая вспашка (уменьшает поверхностный сток), создание лесополос, обваловка полей (снегозадержание), террасирование склонов.

Почва как фактор биопродуктивности водоемов

Большая часть веществ, растворенная в речных водах, проходит через биологический круговорот в системе «почва - растение». По подсчетам Б.Б. Плынова, до 95% кальция, 50% магния и 30% калия извлекаются из растворов живыми организмами при попадании в моря и океаны. Подводные осадки океанов включают значительную долю углекислого кальция, который входит в состав панцирей и раковин морских животных.

Почва – защитный барьер для акваторий

Почва благодаря своей огромной активной поверхности поглощает, во-первых, избыток биофильных элементов, предотвращая эвтрофикацию водоемов; во-вторых - токсические соединения, препятствуя их попаданию в водные экосистемы. Эта функция очень важна, так как радиоактивные изотопы и тяжелые металлы из водной среды поглощаются организмами активнее, чем из почвы. Коэффициенты

накопления радиоизотопов у пресноводных растений достигают десятков тысяч, а у наземных – единицы. Загрязняющие вещества сохраняются в почве длительное время (до сотен лет), особенно при непромывном водном режиме.

Но сорбционные способности почвы небеспрельдны, и при интенсивной антропогенной нагрузке почва часто не справляется с избытком биофильных элементов, что приводит к эвтрофикации внутренних водоемов.

Почва и атмосфера

Поглощение и отражение почвой солнечной радиации

Установлено, что почвы в разных климатических зонах и в разные сезоны обладают неодинаковой способностью поглощать лучистую энергию солнца (теплопоглощение). Теплопоглощительная способность характеризуется величиной Альбеде. *Альбеде* – это количество коротковолновой солнечной радиации, отраженной поверхностью Земли и выраженное в процентах от общей солнечной радиации, достигающей поверхности почвы. Чем меньше альбеде, тем больше солнечной радиации поглощает почва. Альбеде зависит от света, влажности, структуры, рельефа и растительности. Антропогенное вмешательство сильно изменяет все перечисленные параметры и становится основным фактором в изменении радиационного баланса земной поверхности. Особенно сильно меняет альбеде массовая распашка территорий, сведение лесов, эрозионные процессы, опустынивание.

Участие почвы в формировании и регулировании влагооборота атмосферы

Множественный влагооборот долгое время считался решающим фактором обеспечения суши влагой. Сейчас показано, что осадки за счет местного испарения составляют не более 12%, остальное формируется за счет испарения с поверхности океана. Однако местный влагоперенос сильно влияет на относительную влажность воздуха, а именно она определяет общее количество осадков. Так, при относительной влажности воздуха 40% осадки незначительны, при возрастании ее до 50% и более количество осадков быстро возрастает.

Роль почв в формировании влагооборота довольно существенна, так как она способствует увеличению количества водяного пара, выравнивая процесс влагообеспечения ландшафтов.

Нарушение экосистем суши привело к аридизации многих ее участков и учащению резких колебаний климата. В частности, участились экстремальные явления в воздушной оболочке: засухи, пыльные бури, низкие зимние температуры, ливни и наводнения.

Почва как источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу

Из почвы в атмосферу в результате развевания поступают: мелкозем, соли с поверхности солончаков и почвенные микроорганизмы. Воздушный перенос (ветровая эрозия) вовлекает огромное количество пылеватого материала, особенно во время пыльных бурь. При этом сильно снижается приток солнечной радиации к поверхности земли, ухудшается качество воздуха, увеличивается вероятность выпадения дождя.

Источником основной части микроорганизмов в атмосфере служит почва. Микроорганизмы поднимаются на значительную высоту, до 3 км, и переносятся на огромные расстояния, до нескольких тысяч километров. Из-за такого переноса фактор географической изоляции для микроорганизмов не имеет значения.

Почва – регулятор газового режима атмосферы

Прямое участие почвы в преобразовании состава атмосферы определяется деятельностью почвенных микроорганизмов. Особое значение имеет участие почвы в круговороте углекислого газа и кислорода. Колебания содержания этих газов в почвенном воздухе почти на 100% определяются микроорганизмами. Кроме того, в результате деятельности бактерий в атмосферу поступают метан, сероводород, закись азота.

Лекция 3

Биогеоценотические функции почв

В конце XIX века Э. Зюсс выдвинул тезис о существовании нескольких сфер в структуре нашей планеты: *бариосфера* (ядро планеты), *литосфера*, *гидросфера*, *биосфера*, *атмосфера*. В 20-х годах

С.А. Захаров добавил к ним педосферу (греч. *pedon* – почва) – почвенную оболочку.

Биосфера организована как совокупность экосистем различного масштаба, в то же время она сама является глобальной экосистемой. Экосистема – понятие, введенное А. Тенсли в 1935 году. В современном понимании – это система, включающая живые организмы и среду их обитания. В отечественной литературе вместо термина «экосистема» чаще употребляют «*биогеоценоз*», предложенный в 1940 году В.Н. Сукачевым. В зависимости от среды обитания организма экосистемы делят на:

- биогенные (среда обитания – живой организм);
- органогенные (среда обитания – мертвый органический субстрат);
- биокосные (среда обитания – абиотический субстрат).

Педосфера является компонентом биосферы и принадлежит к особому классу природных тел – биокосных. К биокосным телам, кроме почвы, относят отложения морского дна, часть гидросферы (моря, реки, пруды, озера) и нижнюю часть атмосферы. Впервые сформулировал весь перечень биогеоценологических функций почвы Г.В. Добровольский (Добровольский, Никитин, 1990).

Функции, обусловленные физическими свойствами почв

Жизненное пространство

В этом качестве почву использует огромное количество живых организмов. Большинство растений погружено в нее корнями (от 20 - 30 до 90% фитомассы) и получают из нее минеральное питание; в почве проходят ранние циклы развития растений.

Микроорганизмы (бактерии, в том числе актиномицеты, грибы, водоросли, простейшие) очень активно используют почву в качестве среды обитания. Их численность в почве огромна, порядка 10^6 кл/г почвы, хотя и сильно колеблется в зависимости от условий. Особенности микробных сообществ почв – их очаговость, или микрозональность.

Из 22-х существующих типов животных 10 имеют своих представителей в почве. Из беспозвоночных – это простейшие, плоские, круглые, кольчатые черви, немуртины, моллюски, тихоходки, первичнотрахейные, членистоногие. Позвоночные представлены амфибиями, рептилиями, млекопитающими. При этом наиболее мелкие

животные используют, главным образом, водную фазу почвы (коло-вратки, простейшие); для более крупных животных почва – это система ходов и полостей, для них имеет значение ее порозность, температура, влажность, количество органики.

Жилище и убежище

Почва предохраняет многие живые организмы от колебания температур, защищает от хищников, дает возможность пережить неблагоприятное время года. Особенно наглядно эта функция проявляется для грызунов (полевки, суслики, хомяки, бурундуки), при этом пространство, занимаемое их подземными сооружениями, может быть весьма значительным – до 1/3 площади леса). Используют почву в качестве жилища барсук, бобр, выдра, лиса, песец, змеи, некоторые птицы. Некоторые насекомые проходят в почве определенную фазу своего развития.

Опорная функция

В первую очередь, почва важна для растений – благодаря ей растения сохраняют свое вертикальное положение. Однако растения разного размера по-разному удерживаются в почве. Наиболее успешно закрепляются травы и кустарники, менее успешно – деревья, особенно крупные (при сильном ветре деревья с крупной и плотной кроной подвержены ветровалу).

Опорная функция важна и для ряда животных. Для многих мигрирующих животных важны «дорожные» свойства почвы, а для роющих – ее «строительные» качества (способность почвы сохранять целостность построек не осыпаясь).

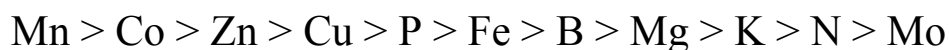
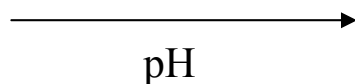
Хранилище семян и других зачатков

Семена хранятся в почве годы и десятки лет, не теряя всхожести. Очевидно, в почве содержатся ингибиторы, которые продуцируются основными растениями данного фитоценоза. В связи с этим становится ясным быстрое зарастание пожарищ: выгоревшие растения не продуцируют ингибиторов, и сохранившиеся семена прорастают. Длительно хранятся в почве и споры бактерий, папоротникообразных, цисты и яйца беспозвоночных. В целом почва является уникальным субстратом для хранения такого рода зачатков из-за ее микробиальности и высокой адгезионной способности.

Почва как источник и депо воды и питательных веществ

Организмы, обитающие в почве, различаются по пищевым потребностям. Одни получают питательные элементы в виде ионов из растворов или из обменного фонда почвенно-поглощающего комплекса (растения, грибы, микроорганизмы), другие могут извлекать ионы непосредственно из горной породы (микроорганизмы). Гетеротрофные организмы (бактерии, грибы, животные) используют также живую и мертвую органику почвы.

Запас питательных элементов зависит от состава первичных и вторичных минералов почвы, количества и качества гумуса, удельной поверхности почв и pH. Различия почв по запасу питательных элементов очень велики. Так, по данным Г.Я. Ринькиса, почвы бывшего СССР по валовому содержанию основных питательных элементов отличаются следующим образом: по азоту - в 12 раз, по калию - в 11 раз, по фосфору - в 176 раз, по кальцию - в 1 310 раз, по гумусу - в десятки раз. Очень важной характеристикой является доступность элементов минерального питания: наиболее доступны ионы растворов, при их адсорбции на поверхности доступность снижается. Значительно влияет на доступность и pH почвы. Существует определенная зависимость в поглощении элементов от значения pH:



Д.А. Сабининым отмечалось, что подкисление приводит к увеличению поглощения анионов, а подщелачивание - к поглощению катионов.

Запасы воды в почве обусловлены ее влагоемкостью (величиной удельной поверхности почв, способной сорбировать воду) и количеством пор, которые могут заполняться водой. Эти параметры связаны с гранулометрическим составом, структурой минеральных зерен и оструктуренностью самой почвы.

Функция стимулятора и ингибитора биохимических и других процессов

В почву поступают разнообразные продукты метаболизма живых организмов: аминокислоты, белки, витамины, спирты, полисахариды. Эти вещества могут как стимулировать, так и угнетать жизнедеятельность других организмов.

В настоящее время накоплен значительный материал по взаимному влиянию организмов друг на друга. Особенно подробно изучался вопрос о взаимовлияниях высших растений друг на друга и об их взаимосвязях с микроорганизмами почвы. В настоящее время активно изучаются взаимовлияния почвенных микроорганизмов (Бабьева, Зенова, 1986; Звягинцев, 1987; Добровольская, 2002).

Необходимо учитывать, что изучение конкретных проявлений этой функции вызывает ряд трудностей: существуют противоположно направленные влияния воздушных и почвенных выделений; отмечается зависимость действия веществ от их концентрации. Например, выделения дуба в малых концентрациях положительно действуют на сосну, а в больших - отрицательно.

Функции, определяемые физико-химическими параметрами почв

Сорбция тонкодисперсного вещества

Основной механизм сорбции – адсорбция веществ коллоидами почвы; кроме того, существует механическое задержание, химическое поглощение и биологическая сорбция (в телах живых организмов).

Адсорбция играет в почве наибольшее значение из-за ее огромной внутренней поверхности. Чем тяжелее механический состав почвы, тем больше ее внутренняя поверхность. Благодаря этой функции, почвой удерживаются ионы в обменном состоянии, т.е. в состоянии, доступном для растений и микроорганизмов. Из-за сорбционной способности почв возможна жизнь не только на богатых, но и на бедных песчаных почвах (формирование сосняков на кварцевых песках). Адсорбция веществ позволяет удерживать их в почве и противостоять выносу с атмосферными осадками.

Сорбция имеет и отрицательный эффект: часть ионов становится малодоступной для растений (из-за необменного поглощения); сходное явление отмечается и для воды – в защемленных порах формируется «мертвый» запас влаги. Кроме того, в почве сорбируются и

вредные для биоты элементы и соединения, которые изменяют свойства почвы и влияют на жизнедеятельность организмов.

Сорбция микроорганизмов на почвенном мелкоземе

Благодаря сорбции, микроорганизмы защищены от выноса потоками влаги за пределы почвенного профиля. Сорбция микроорганизмов зависит от их свойств, особенностей сорбента и кислотности среды. Отмечено, что сильнее удерживаются мелкие по размеру микробные клетки и виды микроорганизмов, способные к слизиобразованию. Монтмориллонитовая группа минералов удерживает микроорганизмы сильнее, чем другие; почвы тяжелого мехсостава сорбируют больше микроорганизмов. Установлено, что есть значения pH, при которых происходит максимальная адсорбция микроорганизмов, и это является видовой характеристикой. Отмечена также зависимость сорбции микроорганизмов от качественного и количественного состава катионов почвы.

Информационные функции

Передача сигнала о сезонных и других биологических процессах

Почва осуществляет эту функцию, благодаря изменению таких параметров, как тепловой, водный, пищевой и солевой режимы. Режимы, в свою очередь, зависят от основных свойств почвы: механического состава, гумусированности, почвообразующей породы и типа почвообразования.

Тепловой режим – начало или прекращение сезонных циклов жизнедеятельности биоты. Например, снижение температуры ведет к снижению интенсивности фотосинтеза, оттоку питательных веществ из листьев, листопаду.

Водный режим влияет на сезонное развитие чувствительных к влажности эфемеров; развитие яиц насекомых также происходит при определенной влажности, и т.д.

Пищевой режим сильно зависит от сезонности и прослеживается у всех организмов, обитающих в почве. Например, отмечают весенняя и осенняя вспышка численности микроорганизмов в связи с поступлением доступного органического вещества в эти сезоны. В целом эта функция почв является недостаточно изученной.

Регуляция численности, состава и структуры биоценоза

Почва влияет на формирование конкретной консортивной структуры биоценоза. Влияние это строится на следующих связях: главная роль в структуре биоценоза принадлежит высшим растениям (средообразователи), с корнями растений связаны грибы, бактерии, нематоды, насекомые. Все члены сообщества зависят от динамики, свойств почвы и ее режимов. Эти параметры определяют структуру, численность и состав биоценоза.

Почва – пусковой механизм некоторых сукцессий

Изменение почвенных свойств ведет к сукцессионным изменениям в биоценозе. Такими изменениями могут быть засоление, заболачивание, оглеение, заиливание. Например, заболачивание елового леса формирует следующий сукцессионный ряд: ельник-кисличник – ельник-черничник – ельник-долгомошник – ельник-долгомошник сфагновый – сосняк сфагновый – сфагновые болота с карликовой сосной. Подробные сукцессии можно проследить при любом типе почвенных изменений.

Почва – «память» биогеоценоза

Из всех компонентов ландшафта почва обладает наибольшей способностью к отражению факторов географической среды и хранит в своем профиле наибольшее количество информации. Сохранение информации происходит за счет наличия устойчивых свойств и признаков, возникающих в ходе истории развития почвы.

Целостные биогеоценотические функции почвы

Трансформация вещества и энергии

Почва осуществляет огромную геохимическую работу по трансформации материнских пород и органогенных остатков. В результате этой работы почва, во-первых, обогащается биогенами и, во-вторых, освобождается энергия в тепловой и химической форме, которая используется как внутрипочвенно, так и переходит в сопредельные среды.

Почва в целом является неравновесной, весьма динамичной системой, богатой свободной энергией.

Санитарная функция почв

Эта функция может быть рассмотрена в трех аспектах.

1. *Очищение поверхности почвы* от отмерших органических остатков (осуществляется разнообразными группами почвенной биоты). Предохраняет ландшафты от самозагрязнения.

2. *Антисептические свойства почвы* позволяют лимитировать развитие в ней патогенных микроорганизмов. Для большинства патогенов почва является неблагоприятной средой из-за низкого содержания питательных веществ. Кроме того, сложившиеся взаимоотношения между группами почвенного микробиоценоза, а также накопление в почве продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и растений, явления антагонизма и паразитизма приводят к относительной стабильности микробиоценозов почв и тенденции устранения чуждых форм. В этом заключается защитное действие микробного ценоза почв.

3. *Разрушение почвенными микроорганизмами токсичных продуктов обмена других организмов.*

Почва – защитный и буферный экран биогеоценоза

Зональные типы биогеоценозов отличаются значительной устойчивостью из-за наличия механизмов обратной связи. Почва является одним из компонентов, который обладает буферностью и способен поддерживать гомеостаз биогеоценоза. Эта роль почвы изучена еще недостаточно. Можно выделить некоторые формы проявления буферности:

- способность почвы нивелировать колебания входных потоков вещества и энергии (температура, влажность, кислотность, катионы и анионы и т.д.);
- защита от механического разрушения (способность противостоять водной и ветровой эрозии);
- восстановление нарушенных биоценозов за счет запаса семян и других зачатков жизни в почве.

Изменение почвенных свойств

Лекция 4

Изменения факторов почвообразования. Динамика морфологических свойств почвы

Рассмотрение почвы как среды обитания живых организмов предполагает изучение конкретных почвенных свойств, влияющих на биоту. Если бы почва не была открытой динамичной системой, эта задача была бы довольно простой. Однако это не так. Почва – результат воздействия пяти основных факторов почвообразования на горную породу и дневную поверхность Земли. Факторы уже сами по себе изменчивы, их динамика обусловлена астрономическими параметрами: вращением Земли вокруг своей оси, Земли вокруг Солнца, изменением орбиты Солнца в Галактике. Продолжительность этих астрономических явлений и их циклов определяет продолжительность соответствующих динамических изменений в почвах (суточные, сезонные, многолетние, столетние, тысячелетние, миллионнолетние). А это, в свою очередь, предполагает изменчивость формируемых этими факторами почвенных свойств. Поэтому, изучая свойства почв, невозможно обойти вопрос об их динамике. Важен и другой аспект данной проблемы. Рассматривая изменчивость почвенных свойств, следует выяснить вопрос, который стал особенно острым в связи с техногенезом: что для почвы является нормой, а что патологией (какой разброс внутри данного свойства или всей совокупности свойств лежит внутри нормального функционирования почвы, а что ведет к необратимым изменениям).

Традиционно почвенные свойства делят на внешние, или морфологические, и внутренние. К внешним почвенным свойствам относятся: строение почвенного профиля, цвет горизонтов, гранулометрический состав, агрегированность, порозность, наличие новообразований и включений. Внутренними почвенными свойствами являются ее физические, химические и физико-химические свойства. Все перечисленные свойства динамичны, при этом их изменчивость имеет разную направленность. Одни являются обратимыми в своих изменениях, их можно вернуть к исходному состоянию; другие цикличны; третьи кажутся циклическими, но при каждом цикле накапливаются

определенные отклонения от исходной величины (ложноциклические); четвертый вид процессов – необратимые, или трендовые.

Каждое почвенное свойство обладает собственными, только ему присущими особенностями (обратимость, цикличность или необратимость) и, кроме того, зависит от действия факторов почвообразования, тоже динамичных.

Начнем с рассмотрения влияния на почвенные свойства особенностей *почвообразующей породы*. В качестве примера возьмем первичное почвообразование на горной породе, при котором можно выделить как циклические, так и трендовые процессы. Плотная кристаллическая горная порода долго сопротивляется воздействию внешних факторов, и ее разрушение может длиться тысячелетиями. Но после того как целостность породы нарушается, процесс уже характеризуется обратной положительной связью – раздробленная порода все быстрее изменяется под воздействием внешних факторов и, чем больше изменяется, тем быстрее протекают последующие процессы. Изменения затрагивают минералогический и химический состав, формируется также гранулометрический состав. Часть минералов исчезает, часть трансформируется. Изменение породы представляет собой трендовое явление, оно необратимо.

Как только на породе образуется почва, наступает фаза «педолиза»: под действием почвы идет еще более быстрая трансформация вещественного состава породы. С появлением растительности ряд процессов приобретает циклический характер: воздействие продуктов метаболизма живых организмов на минералы зависит от времени года, суточных колебаний активности; образование гумуса также циклично.

В то же время образовавшаяся почва характеризуется обратной отрицательной связью по отношению к внешним факторам – она сопротивляется воздействию, сохраняя свои свойства и общий уровень плодородия. Эти буферные свойства почвы унаследованы ею от породы и определяются в значительной степени ее минералогическим составом. С этой точки зрения процесс трансформации минералов, входящих в почву, становится обратимым: разрушившиеся вторичные минералы могут заменяться теми же вторичными, возникшими при почвообразовании.

Основная трудность в оценке направления в изменениях почвообразующих пород связана со сложностью минералогического состава почв.

Влияние *климата* на почву еще более многозначно. Для климатических параметров свойственны суточные, годовые и вековые циклы. Каждый цикл приводит к изменениям почвенных свойств, но, в зависимости от характера этого свойства, изменение может быть циклическим или трендовым. Примерами циклических изменений могут быть суточные колебания температуры, влияющие на потребление воды растениями, скорость диффузии веществ в почве, биологическую активность почв. Сезонные изменения климата определяют развитие растений и влияют на водный, газовый, питательный режимы. Поступление и разложение опада прямо ведет к подкислению или подщелачиванию почв, так же сильно влияет и цикл иссушения – увлажнения.

Многолетние изменения климатических параметров отмечались многими исследователями. Начиная с А.Л. Чижевского, ряд авторов выделяют периодические колебания климата, связанные с одиннадцатилетними циклами активности Солнца. Для многих видов организмов установлены циклы изменения численности и биологической активности с той же периодичностью. Такие же закономерности позднее были установлены не только для отдельных видов, но для целых парцелл и биогеоценозов.

Вековые и многовековые изменения климата также отмечались неоднократно. Голоцен (12 - 14 тыс. лет) характеризуется многочисленными сменами климатических условий на больших территориях: после таяния ледника происходили колебания климата с периодичностью в 2,5 тыс. лет (в ближайшем прошлом это так называемый малый ледниковый период - с 1400 по 1700 год).

За последние 500 тыс. лет оледенения отмечались в среднем через 100 тыс. лет (440 – 340 – 270 – 150 - 30 тыс. лет назад). Полагают, что стотысячным циклом руководит «космический дирижер», определяющий ряд параметров орбиты Земли.

Биота, являясь компонентом биогеоценоза, тоже подвержена определенным изменениям, связанным как с климатическим фактором, так и со свойствами самих живых организмов. Ведущим биосферным процессом следует считать трендовый направленный процесс эволюции живых организмов, а вместе с ними и эволюция биогеоценозов (БГЦ). Влияние биоты существует не только в огромном временном интервале, оно важно и в короткие промежутки времени в данной локальной точке почвенного покрова. Примером этому служат локаль-

ные сукцессии, при которых возникают циклические изменения почвенных свойств с конечным возвращением к исходному состоянию. На почву влияет не только фитоценоз, но и отдельное растение, так как оно имеет свои особенности потребления воды и питательных веществ. Поэтому в каждой точке парцеллы под индивидуальным растением будут отмечаться свои вариации в динамике влажности, питательных веществ и pH. Таким образом, биота, и особенно растения, влияют как на вековую изменчивость почв, так и на динамику свойств в течение жизни растения. Это влияние можно объяснить влиянием фитогенного поля растения. Под фитогенным полем подразумевается сфера влияния данного растения на экосистему. Размер фитогенного поля зависит от размера растения. В связи с этим в лесу динамика свойств почвы более выражена, чем на лугу.

Рельеф как фактор почвообразования тоже обладает определенной динамичностью. Рельеф влияет на перераспределение влияния других факторов – почвообразующей породы, климата и биоты. Кроме того, рельеф сам развивается и изменяется. В отношении форм макро- и мезорельефа изучены циклы эрозии, которые приводят к нивелированию, сглаживанию рельефа. Этот процесс является необратимым, т.е. трендовым. Но в ходе эволюции земной коры есть и процессы, затрагивающие рельеф, которые усложняют его: это тектонические и карстовые процессы. Циклы этих процессов длительны, они измеряются тысячами и миллионами лет. Макрорельеф практически никогда не восстанавливается в исходном виде (только в аналогичном), и эти изменения не являются истинно циклическими (особенно это касается эрозионных циклов длительностью в миллионы лет).

Микро- и нанорельеф более динамичны, так как связаны с динамичностью биогеоценозов. Микрорельеф создается деятельностью норных животных, землероев, ветровальными процессами. Именно развитие микрорельефа по-настоящему циклично. Так, выброс крота превращается в почву через 20 лет, а вывалы деревьев сравниваются с почвой через 200 лет.

Изменение морфологических свойств почвы

Морфологические свойства почв – это ее внешний облик, обусловленный сменой горизонтов. Система морфологических показателей почв опирается на визуальный анализ почвенного профиля. Далее

приводим основные морфологические признаки, используемые при описании почвенного профиля.

Строение профиля - это его внешний облик, обусловленный сменой горизонтов. Ход генетических горизонтов соответствует типу почвообразования и может нарушаться по разным причинам.

Во-первых, такой причиной может быть перемешивание почвы при вывале деревьев, вынос материала из нижних горизонтов землероями, и т.п. Это перемешивание сопряжено с эволюцией профиля и формированием серии горизонтов. Эволюция вывалов требует разных сроков, зависящих от степени вмешательства в почвенный профиль.

Во-вторых, причиной изменения в строении почв может быть смена биогеоценоза. В этом случае меняются и другие морфологические признаки (цвет, структура, мощность горизонтов), такое изменение заставляет относить новые горизонты к другим типам. Так, при смене леса суходольным лугом проявляется горизонт А, уменьшается горизонт А₂, увеличивается А₂В. Для полного формирования нового почвенного профиля в условиях южной тайги в среднем требуется от 600 до 1 000 лет.

Мощность горизонтов – может меняться как в многолетнем, так и в годовом циклах. В первую очередь это относится к лесной подстилке (горизонт 0). Весной – в начале лета ее мощность значительно больше, чем в августе или начале сентября (до нового осеннего листопада). Разница обычно достигает 1 – 2 см, а по запасам она равна массе опада. Если отмечается постоянная убыль или прибывь в массе подстилки, то следует говорить о трендовом изменении этого органо-генного горизонта. Но у лесной подстилки есть также и многолетнее циклическое изменение, связанное с возрастом лесного БГЦ. Она достигает максимума в приспевающих древостоях, а в начальной и конечной стадии развития парцеллы она минимальна. Итак, подстилка – единственный морфологический горизонт, который может изменить свою мощность, вплоть до полного исчезновения в течение сезона.

Другие морфологические горизонты почв в течение года не меняют свою мощность, или изменяют ее очень незначительно, в связи с набуханием и усадкой почв в цикле увлажнения – иссушения. Последнее относится к тяжело суглинистым горизонтам в районах, контрастных по водному режиму.

Цвет - признак, который в сухом состоянии стабилен, а во влажном очень быстро меняется. Из-за связи цвета с увлажнением при его описании всегда учитывается влажность. Цвет, указывая на присутствие в горизонте тех или иных соединений, является важным диагностическим признаком. Так, при сильном увлажнении, когда часть профиля временно представляет собой застойный гидрологический горизонт, может измениться не только выраженность цвета, но и сам цвет и другие свойства почвы. В застойном горизонте через некоторое время могут появиться голубоватые, белесоватые, сизые тона, которые обычно считают признаком оглеения. В гумусовом темно-сером горизонте оглеение проявляется лишь сизоватым оттенком, что характерно для луговых и дерново-луговых почв. Сухой период может привести к полному исчезновению названных тонов.

Итак, цвет почвы - очень динамичный признак, он заметно меняется в течение сезона во многих почвах. Высушивание образца до воздушно-сухого состояния, даже при хранении в лаборатории, может существенно изменить цвет почвы. Стандартом при характеристике цвета следует считать индекс цвета по Манселлу для воздушно-сухой почвы, который следует давать при конечном описании почв.

Механический состав – это относительное содержание в почве частиц разной крупности. Поскольку механический состав, по сути являясь внутренним (физическим) свойством почвы, распознается и по внешним (морфологическим) признакам, и в значительной мере формирует другие внешние почвенные свойства – структуру и сложение, то все три признака одновременно рассматривают как среди морфологических, так и среди физических свойств почвы.

Особенности динамики механического состава почвы, так же как и двух других признаков – структуры и сложения, рассматриваются в лекции 6.

Структура – совокупность агрегатов или структурных отдельных частей разной величины, формы, пористости и прочности. Структура почвенных горизонтов может меняться в соответствии с изменением почвообразовательного процесса (например, смена БГЦ). Более подробно см. лекцию 6.

Сложение – внешнее выражение плотности и пористости почв. Динамика плотности обсуждается в лекции 6.

В целом, морфологические свойства почв достаточно динамичны (за исключением мехсостава), однако скорость формирования каждо-

го из них сильно разнится. Оценка скорости формирования некоторых морфологических почвенных свойств приведена в таблице 1.

Таблица 1

Оценка скорости формирования некоторых морфологических свойств почвы (по Л.О. Карпачевскому, 1997)

<i>Морфологическое свойство</i>	<i>Период заметного изменения</i>	<i>Период сохранения остаточных следов</i>	<i>Время возникновения</i>
влажность	минуты, часы	сутки	минуты
цвет	минуты, сезон	тысячелетия	минуты (насыщения), годы – тысячелетия
структура	сутки, сезон	столетия	годы - тысячелетия
мощность горизонта А1	сезон	десятилетия	сезон - годы
мощность других горизонтов	годы, десятилетия	столетия	годы, столетия
новообразования (ортштейны)	сезон	десятилетия	годы, столетия
распространение корней	сезон	десятилетия	сезон, годы
магистральные трещины	сутки	столетия, тысячелетия	сезон - столетия
рыхлость сложения	сезон	сезон	сутки

Итак, морфологические свойства почвы изменяются в течение жизни биогеоценов при их сукцессии, смене парцелл, а также при процессах перемешивания почвенной массы. Они отражают физические и химические особенности почв, поэтому следует ожидать существенной динамики этих свойств в пределах одной экосистемы, почвенного покрова ландшафта.

Лекция 5

Изменчивость водных свойств почвы, доступность почвенной влаги

Почвенная вода – основа жизни всей почвенной биоты, от ее количества и доступности зависит жизнедеятельность наземных биогеосистем. В наибольшем количестве расходуют воду растения – для создания 1 г сухого вещества ими потребляется от 200 до 1 000 г воды.

От содержания воды в почве зависят интенсивность биологических, химических и физико-химических процессов; передвижение веществ в почве; водно-воздушный и тепловой режимы и физико-механические свойства почв.

Вода в почве подвергается воздействию различных природных сил: сорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных. Воздействие этих сил на воду меняет ее свойства, а следовательно, ее подвижность и доступность для биоты.

Сорбционные и капиллярные силы возникают при взаимодействии твердой фазы почвы с ионами и молекулами воды, осмотические силы создаются при взаимодействии ионов растворенных веществ с молекулами растворенной воды. Гравитационные силы создаются силой тяжести и противостоят сорбционным и капиллярным силам. Под воздействием гравитационных сил идет продвижение воды вниз по профилю.

В зависимости от прочности связи молекул воды с твердой фазой и степени ее подвижности принято выделять несколько категорий почвенной влаги:

- прочносвязанная (гигроскопическая) - 2-3 слоя ориентированных молекул воды, очень прочно удерживаемых поверхностью твердой фазы;
- рыхлосвязанная (пленочная) – несколько десятков слабоориентированных диполей воды;
- свободная (капиллярная и гравитационная) – не связана силами притяжения с почвенными частицами.

Границы между названными формами весьма условны, переходы осуществляются плавно.

Выделяют следующие основные водные свойства почв.

Водоудерживающая способность почвы обусловлена сорбционными и капиллярными силами. Выражают водоудерживающую способность почвы такие характеристики:

- влагоемкость (в почвоведении – наибольшая влагоемкость - НВ) - наибольшее количество воды, которое способна удержать почва теми или иными силами;

- гигроскопичность (Г) – способность сорбировать парообразную воду, зависит от относительной влажности и свойств почвы;

- максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ) – наибольшее количество прочно связанной воды, удерживаемой сорбционными силами;

- максимальная гигроскопичность (МГ) – наибольшее количество воды, удерживаемое гигроскопическими силами; создается при влажности воздуха 90 – 96 %, величина более стабильная, чем гигроскопичность, дает информацию о дисперсности почвы, учитывается при расчете влажности завядания;

- влажность завядания (ВЗ) – влажность, при которой появляются устойчивые признаки завядания растений, зависит от свойств почвы и видовых особенностей растения;

- полная влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество воды, которое может вместить почва при максимальном заполнении всех пор водой;

- наименьшая влагоемкость или полная полевая влагоемкость (ПВ) – вода, остающаяся в почве после стекания гравитационной воды, вся система капиллярных пор заполнена водой;

- влажность разрыва капилляров (ВРК) – влажность, соответствующая разрыву сплошности капилляров, нижний предел оптимальной влажности.

Водопроницаемость – способность почвы впитывать и пропускать воду. Измеряется объемом воды, протекающим через единицу площади поверхности почвы в единицу времени, выражается в миллиметрах водного столба за единицу времени. Водопроницаемость зависит от общего объема пор, их размера, механического состава и структурированности почвы. Наилучшей по водопроницаемости считается почва, которая пропускает за час от 100 до 500 мм воды.

Водоподъемная способность – свойство почвы вызывать восходящий ток воды по капиллярам. Измеряется в линейных единицах (метр или сантиметр). Капиллярные силы начинают действовать в

порах с диаметром меньше 8 мм, особенно ярко выражены эти силы в порах диаметром 0,1 – 0,003 мм, поры меньшего диаметра заполнены связанной водой. У песков низкая водоподъемная способность (0,5 – 0,7 м); утяжеление механического состава ведет к ее увеличению: у суглинков она составляет 3 – 6 м, у глин возрастает до 9 м, но может быть и ниже из-за увеличения количества мелких пор. Благодаря водоподъемной способности почва поглощает влагу из грунтовых вод.

Все перечисленные характеристики дают представление о состоянии воды в почве. Теперь рассмотрим вопрос доступности влаги для различных почвенных организмов.

Доступность почвенной влаги для растений

Корни растений развивают сосущую силу, которая превышает водоудерживающую способность почвы, благодаря этому вода становится доступной растениям. Величина сосущей силы различна у разных видов растений; у основных сельскохозяйственных культур она лежит в пределах $1,5 \times 10^3$ кПа (15 атм). Та влага почвы, которая удерживается большими силами, чем сосущая сила растений, становится для них недоступна. Так, недоступной является гигроскопическая вода, удерживаемая силой 1×10^6 кПа, часть рыхлосвязанной пленочной воды (сила удержания $1 \times 10^4 - 1,5 \times 10^3$ кПа). Рыхлосвязанная в интервале от $1,5 \times 10^3$ до 1×10^2 кПа частично может использоваться растениями, но она малопродуктивна, вызывает замедление роста растений. Капиллярная вода легкодоступна, ее водоудерживающие силы невелики ($1 \times 10^2 - 1 \times 10^1$ кПа). Основная часть капиллярной воды потребляется в интервале между влажностью разрыва капилляров и наименьшей влагоемкостью. Гравитационная вода легкодоступна, но избыточна, ее пребывание в почве кратковременно, поэтому она непродуктивна. Гравитационная вода находится в интервале между наименьшей влагоемкостью и полной полевой влагоемкостью.

Следовательно, продуктивная влага в почве находится в интервале между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания, причем наиболее высокопродуктивная влага - между наименьшей влагоемкостью и влажностью разрыва капилляров. Нижний предел содержания продуктивной влаги - влажность завядания, ее можно определить экспериментально, в вегетационном опыте, или расчетным путем: $BЗ = МГ \times 1,5$. Влажность завядания зависит от вида рас-

тения и свойств почвы. Чем тяжелее механический состав, чем больше гумуса в почве, тем выше влажность завядания:

- в песках ВЗ около 1 – 3 % от НВ;
- в супесях 3 – 6 %;
- в суглинках 6 – 15 %;
- в торфяных почвах 50 – 60 %.

Кроме сил, удерживающих воду и противостоящих сосущей силе растений, существует еще одно условие, которое ограничивает поступление воды в растение. Это размер пор: вода, находящаяся в порах, диаметр которых меньше диаметра корневых волосков (100 мкм), для растений недоступна.

Доступность воды для микроорганизмов и водорослей

Микроскопические объекты - бактерии, грибы, одноклеточные и нитчатые водоросли, не обладая сосущей силой корней, выработали другие способы ее поглощения и ряд приспособлений к перенесению сухости.

Почва как среда обитания микрообъектов микрозональна, т.е. в каждом отдельном локусе почвы условия питания, рН, и в том числе увлажнение, могут довольно сильно отличаться. Это связано с наличием закрытых (защемленных пор), неравномерным поступлением опада на поверхность почвы, полидисперсностью частиц и многокомпонентным составом почвы. Поэтому такая характеристика почвы, как влажность (процент воды от сухого веса почвы), не дает представления об истинном содержании воды. Поэтому в почвенной микробиологии чаще используют такие характеристики, как активность воды и потенциал влаги.

Активность воды (a_w) характеризует степень связанности ее молекул и ее доступность для микробиоты. Активность свободной воды (капиллярной и гравитационной) равна 1. При взаимодействии воды с твердыми поверхностями, катионами, анионами, молекулами мономеров и полимеров, т.е. с любыми гидрофильными группировками, активность воды становится меньше 1.

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{ОВ}{100} = \frac{P_2}{P_1 - P_2}$$

где P – давление водяного пара в исследуемой системе;

P_0 – давление пара над чистой водой;
 $ОВ$ – относительная влажность воздуха в системе;
 Π_1 – число молей растворителя;
 Π_2 – число молей растворенного вещества.

Потенциал влаги (P) – это давление, которое нужно приложить, чтобы началось удаление молекул воды из системы. Выражается в атмосферах.

$$P = dA/dV$$

где A – работа; V – объем.

Потенциал чистой воды равен 0, а растворы имеют отрицательный потенциал.

Таблица 2

Взаимосвязь между различными характеристиками состояния воды

<i>Активность воды</i>	<i>Относительная влажность, %</i>	<i>Потенциал влаги, атм</i>
1,00	100	0
0,99	99	-13
0,98	98	-27
0,97	97	-41
0,96	96	-54

Для разных микроорганизмов существуют различные пределы активности воды, в которых они могут функционировать. Наиболее ксерофильными являются грибы ($a_w = 0,60$), способность грибов развиваться при столь низких значениях активности воды связана с их способностью запира́ть свободную воду в определенных участках клетки. Большинство бактерий является гигрофилами (0,94), некоторые кокки, а также галофилы развиваются при более низких значениях активности воды (0,85 – 0,75).

Для сопоставимости с доступностью влаги для растений рассмотрим категории почвенной влаги и ее доступность для микроорганизмов.

Гигроскопическая вода (существует в почве при относительной влажности ниже 94%) образует тонкий слой, покрывающий как поч-

венные частицы, так и гидрофильные участки клеток микроорганизмов. Многие микроорганизмы развиваются при содержании воды гораздо меньше, чем максимальная гигроскопичность. Такие микроорганизмы можно рассматривать как развивающиеся «на суше» – это ксерофилы. При резком дефиците влаги у микроорганизмов изменяется морфология и метаболические процессы. В таких условиях они могут использовать метаболическую воду, образующуюся при окислении органического вещества внутри клеток (на 1 кг сахаров образуется 600 г метаболической воды).

При влажности воздуха более 94% на поверхности почвенных частиц формируется пленочная вода. Толщина пленки может быть от долей микрона до десятков и сотен микрон. Условия развития микроорганизмов в пленках разной толщины различны, что обусловлено различной скоростью диффузии газов и других веществ к клеткам. Если две пленки соединяются вместе благодаря наличию двух близко расположенных поверхностей, образуется капиллярная влага. Развитие микроорганизмов в капиллярах специфично. Чем тоньше капилляр, тем медленнее идет размножение микроорганизмов. В тонких капиллярах клетки мельчают, иногда принимают форму капилляра, в котором развиваются. В мелких капиллярах часто наблюдается лизис клеток. Причина этого, вероятно, лежит в специфике диффузии веществ: приток и отток веществ нарушается, активность воды уменьшается. Грибы нуждаются для развития в более толстых капиллярах.

Гравитационная вода, свободно передвигающаяся под действием силы тяжести, по-видимому, стимулирует развитие микроорганизмов. В частности, отмечены бурные вспышки численности микроорганизмов после выпадения дождя, однако истинная причина этого явления не до конца понята, так как нельзя не учитывать влияние растворенного в этой воде органического вещества.

Если сравнивать состояние воды в различных типах почв, то из-за их микроразнообразности практически везде можно отметить периоды (хоть и кратковременные), отличающиеся от основного режима увлажнения на данной территории. Микробы даже в пустыне после дождя могут развиваться в условиях высокой активности воды; при этом все остальное время они находятся в состоянии анабиоза или замедленного метаболизма. К почвам с низкой активностью воды относятся солончаки: в солевых растворах активность воды резко падает, и микроорганизмы развиваются как бы в условиях засухи. В поч-

вах гумидной зоны периодически могут возникать условия, при которых активность воды становится низкой: летние засухи, зимние промерзания, высыхание верхнего почвенного слоя при распашке.

Водоросли, живущие в почве и на ее поверхности, имеют разнообразные морфологические и физиологические приспособления, обеспечивающие им существование при низкой влажности и сохранение жизнеспособности при высыхании.

Жизнь водорослей в почве, как и микроорганизмов, связана с водными пленками и капиллярами. По-видимому, потребность во влаге различна у почвенных и наземных водорослей. Некоторые виды способны переносить периоды сухости, но нуждаются в наличии капельно-жидкой воды. Другие могут поглощать влагу в парообразном состоянии из воздуха и даже страдают от постоянного пребывания в воде. Оптимальная влажность для большинства водорослей умеренного климата лежит в пределах 60 – 80% от полной влагоемкости. Однако такая влажность в почвенных горизонтах бывает нечасто, а на поверхности почвы наземные формы сталкиваются с еще более суровыми условиями. Поэтому обезвоживание до воздушно-сухого состояния для водорослей является не патологией, а нормой.

Существует ряд морфологических и физиологических особенностей почвенных водорослей, обеспечивающих поглощение и удержание воды и сохранение жизнеспособности при засухе:

- образование слизистых чехлов (зеленые, сине-зеленые водоросли), ослизнение клеточных оболочек;

- относительно мелкие размеры клеток по сравнению с теми же видами, обитающими в воде. При мелких размерах более благоприятное отношение общей поверхности к массе, так как легче идет адсорбция веществ, увеличивается устойчивость к засухе. Кроме того, мелкие клетки легче передвигаются в тонких пленках воды, возрастает их водоудерживающая способность;

- способность к быстрому образованию после обильного увлажнения гамет или спор, обладающих фототаксисом и быстро распространяющихся по поверхности почв;

- способность быстро переходить от стадии покоя к активной вегетации;

- особенности строения клетки (вязкий протопласт, вплоть до гелефикации, устойчивость против плазмолиза, высокое содержание связанной воды в клетке, отсутствие крупных вакуолей и большая со-

сущая сила, позволяющая использовать даже гигроскопическую влагу).

Наименее устойчивы к засухе диатомеи и желтозеленые водоросли, наиболее устойчивы – сине-зеленые и одноклеточные зеленые (хлорококковые).

Для простейших отмечены те же закономерности, что и для водорослей; рачки-коловратки развиваются в гравитационной воде, в засуху адгезируются, питаются микроорганизмами из водных пленок; более крупные зоологические объекты (клещи, ногохвостки, жуки, черви, многоножки) способны к активному движению вне водных пленок и поиску оптимальных по влагообеспеченности почвенных локусов и горизонтов.

Лекция 6

Динамика физических свойств почвы и ее связь с почвенной биотой

К физическим свойствам почв относят гранулометрический состав, агрегированность, плотность почвы и ее удельную поверхность.

Гранулометрический состав является радикальным физическим свойством почвы, которое определяет и многие другие физические и химические параметры почвы и сам процесс почвообразования.

Механический состав почв – это массовое соотношение в их составе твердых частиц разной крупности (механических элементов). Механический состав в значительной мере унаследован от соответствующих почвообразующих пород, именно порода определяет уровень содержания разных фракций.

Почвообразование на скальных породах приводит к их дроблению на механические элементы. Характер скальных пород следующим образом определяет преобладающий размер продуктов выветривания:

- кислые породы (граниты, гранодиориты - $\text{SiO}_2 > 65 \%$) - дают при выветривании много крупнодисперсного песчаного материала;
- основные (диориты, габбро - SiO_2 около 45 - 54%) - обогащают почву тонкодисперсными глинистыми минералами;
- суперосновные (известняки, мергели) – их продукты выветривания имеют глинистый механический состав.

Частицы разной крупности имеют различный минералогический и, следовательно, химический состав. Крупные частицы большей частью представлены кварцем, пылеватые – кварцем и полевыми шпатами, илистые и коллоидные – вторичными глинистыми минералами.

Механические элементы наследуются не только от материнской горной породы, но и формируются при почвообразовании; это в основном органические, органо-минеральные соединения и вторичные минералы, относящиеся к фракции илистых и коллоидных частиц. Главной причиной изменения механического состава почв считаются геологические процессы, изменения эти идут медленно. Это устоявшаяся точка зрения. В качестве гипотез обсуждаются еще три процесса, которые могут приводить к изменению механического состава почв:

- кислотное разрушение минералов (при оподзоливании);
- перенос ила из верхних горизонтов в нижние (лессиваж);
- внутрипочвенное оглинивание (сиаллитизация).

Известно, что многие растения предпочитают те или иные по гранулометрическому составу почвы: это связано как с особенностями их корневых систем, так и с потребностями в питательных элементах. Даже небольшие различия в механическом составе могут быть причиной формирования сильно отличающихся по составу друг от друга растительных сообществ. Так, сосна обыкновенная предпочитает легкие почвы и по песчаным и супесчаным почвам заходит далеко в степную зону (ленточные боры на Алтае), при этом она воспроизводится в этих условиях. Ель выбирает суглинистые и глинистые почвы, она может расти на таких почвах в условиях даже черноземной зоны, но воспроизведения в этих условиях не происходит. Предпочтение теми или иными видами растений определенного механического состава почв позволили выделить растения-индикаторы по этому параметру.

Индикаторы песчаных почв – сосна обыкновенная, овсяница красная, армерия морская, подмаренник настоящий, фиалка собачья, кошачья лапка.

Индикаторы глинистых почв – мать-и-мачеха обыкновенная, молния голубая, вейник разноцветный.

Микроорганизмы почвы, включая и почвенные водоросли, также очень сильно зависят от гранулометрического состава. Большая часть почвенной микрофлоры находится в адгезированном состоянии на

почвенных частицах. Адгезированность позволяет микроорганизмам сохранять свою эконишу: не вымываться почвенными потоками воды и одновременно получать питательные вещества из раствора и частиц, к которым прикреплены. Поэтому количество микроорганизмов в почве очень сильно связано с механическим составом - с утяжелением мехсостава увеличивается адгезия, а следовательно, и общее количество удерживаемых микроорганизмов. Однако прямой пропорциональной зависимости этих параметров не отмечено, так как на адгезию влияют и другие факторы, такие как количество гумуса, рН, характер поглощенных катионов. Эксперименты Н.С. Карпинской показали, что слабее всего микроорганизмы адгезируются на частицах размером от 50 до 100 мкм и сильно - на частицах от 2 до 50 мкм; не давали эффекта адгезии частицы мельче 1,5 мкм (т.е. сравнимые с размером бактериальной клетки). Частицы меньше бактериальных клеток могут сами адгезироваться на их поверхности, образуя чехлы из адсорбентов. Многие исследователи наблюдали отложения на поверхности клеток коллоидных гидроксидов марганца и железа (Аристовская, 1980). То же явление характерно для глинистых минералов, особенно из группы монтмориillonита, при этом образуются очень прочные агрегаты.

Гранулометрический состав почвы важен и для немикроскопических, хотя и мелких организмов: мелких клещей, ногохвосток, жуков и их личинок. Поскольку для них почва как среда обитания представлена сетью ходов и полостей, то важнейшим свойством является порозность, зависящая от размеров механических элементов и их адгезированности. Те же свойства почв важны и для более крупных животных — дождевых червей, личинок крупных жуков, многоножек. Более крупные животные, в целом, в большей степени зависят от всей совокупности свойств почвы, чем обитатели микроскопических почвенных резервуаров (простейшие, коловратки) или обитатели ходов и полостей (клещи, ногохвостки).

В целом, гранулометрический состав почв - достаточно консервативное, медленно меняющееся свойство. Быстрое изменение мехсостава связано только с геологическими процессами: эрозия, привнос материала, метасоматоз (замещение одной молекулы, атома или иона вещества на другие без изменения объема). Но, несмотря на свою консервативность, именно гранулометрический состав определяет общий уровень других почвенных свойств.

Другие физические свойства почвы отличаются большей динамичностью по сравнению с мехсоставом.

Агрегированность (структура) почвенных частиц напрямую связана с механическим составом почвы, но уже имеет сезонные колебания. Агрегированные почвы имеют высокую водопроницаемость, на них снижается поверхностный сток, они лучше противостоят эрозии. В агрегированных почвах создается запас влаги.

Почвенная структура имеет определенную приуроченность к почвенным типам и характеризует определенные процессы почвообразования. Так, плитчатая структура характерна для горизонта А2 подзолистых и дерново-подзолистых почв и солодей; столбчатая – для горизонта В1 солонцов; ореховатая – для горизонта В серых лесных почв; зернистая – для гумусо-аккумулятивных горизонтов черноземов.

Гранулометрический состав некоторых почв ставит определенные запреты на развитие тех или иных типов структуры:

- в супесях и песчаных почвах не формируются ореховатые, зернистые, столбчатые агрегаты;
- в тяжелосуглинистых и глинистых не встречаются клетчатые и чешуйчатые агрегаты.

В естественных ненарушенных почвах агрегатное состояние достаточно устойчиво, и распад агрегатов обычно наблюдается только при застойном увлажнении. В почвах с контрастным водным режимом и тяжелым гранулометрическим составом (так называемые слитоземы) весной почва представляет собой слитую неагрегированную массу. Летом почва растрескивается, образуя плотные блоки, осенью и зимой трещины снова заплывают.

В почвах агроценозов общее количество агрегатов колеблется в течение сезона, и их максимум приходится на июль - август. Эти изменения следует считать циклическими с незначительными изменениями в течение сезона и ощутимыми в многолетних циклах. Смена биогеоценоза, особенно катастрофическая, приводит к резкому изменению агрегатного состояния почвы, вплоть до полной дезагрегации.

Механический состав и структура почвы определяют ее *плотность*. Плотность почв определяет вертикальное движение воды по профилю. При наличии верхнего разрыхленного слоя с высокой порозностью происходит заметное снижение испарения воды. Тяжелые почвы могут обладать сравнительно низкой плотностью (при хоро-

шей агрегированности) или очень высокой (в слитых). Разница в плотности очень сильно сказывается на всех почвенных обитателях, и прежде всего на растениях: почва по-разному осваивается корнями, меняется ее водопроницаемость, водный режим и тепловые свойства. Почва с низкой плотностью (суглинок) для многих растений является оптимальным субстратом). Приведем некоторые значения плотности наиболее часто встречающихся групп почв по механическому составу:

- *пески* – 1,6 – 1,7 г/см³;
- *супеси* – 1,4 – 1,6;
- *суглинки*:
 - неоструктуренные – 1,2 – 1,5;
 - структуренные – 0,9;
- *глины* – 1,0 – 1,9.

Наблюдения за колебаниями плотности в естественных почвах показали, что эта величина колеблется, и ее колебания определяются растительным составом сообществ. Под разными видами растений плотность почвы имеет различное значение. Так, на дерново-подзолистой почве в сосняке лещиновом значения плотности выглядят следующим образом (по Л.О. Карпачевскому):

- под снытью 0,91 г/см³;
- кислицей 0,89;
- ландышем 0,68;
- осокой 0,98;
- костяникой 0,82.

Смена растений приводит к изменению плотности и порозности. Меняется плотность и во времени: под одним растением она меняется и в течение сезона и по годам, т.е. это свойство является циклическим. Эта цикличность может быть связана с влиянием корней, их выделений, а также животных и микроорганизмов, приуроченных к фитоценозу данного растения.

На плотность почв влияет также замерзание и оттаивание. Замерзшая вода частично расширяет поры, но эти поры заполнены льдом, и реальная порозность почв в этом состоянии уменьшается. С этим явлением связана очень низкая водопроницаемость мерзлых грунтов, фактически играющих роль водоупоров.

Физические свойства почв очень сильно изменяются под воздействием человека. Уже при простом рекреационном использовании

ландшафта возникает сеть тропинок, дорожек, вытоптанных площадок. Они сильно уплотняют почву, что ведет к гибели растений, в том числе древесных. По данным Л.А. Соколова, в лесных биогеоценозах, используемых в рекреационных целях, около деревьев образуются так называемые «вазоны» – объемы почвы, в меньшей степени уплотненные. Они окружены уплотненными почвенными стенками. Многолетняя рекреация создает постоянную сетчатую структуру почвенного покрова, характерную для парков, лесопарков и лесов с большой антропогенной нагрузкой. В вазонах устанавливается специфический режим влажности, тропы и дорожки на склонах часто способствуют усилению эрозии.

Под влиянием вспашки почвенные свойства и структура меняются еще более существенно. Основной причиной изменения свойств почвы является многоразовая вспашка, при которой теряется гумус, уплотняются под действием тяжелой техники верхние горизонты, усиливается эрозия. Необходимость распашки определяется свойствами почвы: хорошо агрегированные черноземы можно не пахать, дерново-ползolistые почвы дают урожай только при глубоком рыхлении. При распашке уменьшается плотность, увеличивается водопроницаемость, аэрированность, улучшается тепловой режим. Но при этом создаются два слоя, резко отличающиеся по порозности: верхний, вспаханный, – более рыхлый; нижний, подпахотный, – более плотный. Поступление капиллярной воды из подпахотного в пахотный несколько затруднено. В середине вегетации это благоприятно, но затрудняет подток воды к семенам в начале их развития, поэтому почву прикатывают.

Это многообразие условий, необходимых для роста растений в разные периоды их вегетации, и многообразие самих почв требуют индивидуального подхода и разных приемов обработки в зависимости от типа почвы. Благоприятные физические свойства почвы – одно из главных условий получения урожая. При этом гранулометрический состав, являясь консервативным свойством, практически не поддается регулированию со стороны человека, тогда как агрегированность и плотность можно оптимизировать.

Одно из важнейших физических свойств почвы – ее *удельная поверхность*. Под удельной поверхностью понимают площадь поверхности всех почвенных частиц в единице массы. В какой-то мере об удельной поверхности почвы можно судить по гранулометрическому

составу. Известно, что при измельчении любого тела площадь поверхности растет: куб объемом в $1\,000\text{ см}^3$ имеет поверхность 600 см^2 ; при дроблении его на кубики объемом в 1 см^3 площадь их поверхности становится $6\,000\text{ см}^2$. Поэтому соотношение в почве разных механических фракций косвенно характеризует поверхность почвы. Однако такая косвенная связь не всегда удобна из-за ряда практических трудностей:

- почвенные частицы имеют неправильную форму, поэтому площадь поверхности нельзя рассчитать по их диаметру;
- условность классификации частиц по размерам из-за условности определения размеров (по закону Стокса рассчитываются идеально круглые частицы);
- наличие пор в самих частицах;
- разные минералы обладают разной удельной поверхностью;
- величина удельной поверхности определяется главным образом содержанием илистой фракции, а измерение поверхности илистых частиц возможно только под электронным микроскопом, иные способы неточны.

Сейчас задачу вычисления удельной поверхности пытаются решать с помощью ЭВМ, но и в этом случае внутренняя поверхность исключается из подсчета.

Удельная поверхность, наряду с другими свойствами, определяет почвенное плодородие и направленность ряда процессов почвообразования. Поверхность почвы – место взаимодействия твердой фазы почвы с корнями растений и микроорганизмами. Именно на поверхности частиц возникает градиент потенциала и начинается процесс диффузии ионов. На поверхности частиц идут процессы сорбции, десорбции, обменного и необменного поглощения, диффузии различных веществ. Минералогический состав почвы очень сильно влияет на удельную поверхность, большую роль в создании поверхности играют гумусовые кислоты, сорбирующиеся на минералах. В целом, удельная поверхность – функция ряда других почвенных свойств: механического, минералогического состава и гумусированности. От удельной поверхности зависит поглотительная способность почв, а она, в свою очередь, определяет их химические свойства.

Лекция 7

Химические свойства почв, их естественная динамика

Химические свойства почв включают: химический состав почв (твердой фазы и почвенного раствора), кислотно-основные свойства, обменную способность и окислительно-восстановительные условия. Химический или валовый состав почв является достаточно стабильным свойством, три другие - более динамичны.

Химический состав почв

Почва состоит из минеральных, органических и органо-минеральных веществ. Источник минеральных веществ – литосфера, органические образуются в результате жизнедеятельности биоты, органо-минеральные синтезируются в ходе почвообразовательных процессов. Минеральная часть почвы составляет до 80 - 90 % от ее массы, и только в органогенных горизонтах она может составлять меньшую долю (до 10 % в торфяниках). Содержание основных элементов в литосфере и почве представлены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание некоторых элементов в литосфере и почве, %

<i>Элемент</i>	<i>Литосфера</i>	<i>Почва</i>
Кислород	47,2	49,0
Кремний	27,6	33,0
Алюминий	8,8	7,1
Железо	5,1	3,8
Кальций	3,6	1,4
Натрий	2,6	0,6
Магний	2,1	0,6
Калий	2,6	1,4
Углерод	0,1	2,0
Азот	0,01	0,1
Фосфор	0,08	0,98
Сера	0,09	0,085

В почве обнаружены почти все известные химические элементы, минеральный состав почв сходен с литосферным. Кислород, кремний, алюминий и железо в почвах присутствуют в той же последователь-

ности по процентному составу, что и в литосфере. Однако процессы почвообразования приводят к увеличению содержания кислорода и кремния, и кроме того в 20 раз по сравнению с литосферой возрастает содержание углерода и в 10 раз - содержание азота. В то же время следствием почвообразования является уменьшение в почве по сравнению с литосферой алюминия, железа, кальция, магния, натрия и калия. Почва наследует геохимические черты исходного материала почвообразующих пород: богатые кремнеземом породы формируют почвы с высоким его содержанием; карбонаты и другие соли из материнских пород переходят в почву. Но одновременно идет и изменение материнской породы в ходе почвообразования: минералы перераспределяются по профилю, меняется исходный минеральный состав, в верхних горизонтах аккумулируются биогены – С, S, P, N и другие. Основной причиной накопления углерода в почве являются живые организмы, в первую очередь растения. Первичный источник азота – азотфиксирующие микроорганизмы, дальнейшая трансформация соединений азота связана с деятельностью всей биоты. Фосфор и сера накапливаются в почве также благодаря концентрационной функции «живого вещества».

Основные закономерности, отмеченные при формировании химического состава почв, следующие:

- валовой состав – стабильное свойство, которое меняется трендово, необратимо в течение длительного времени. Основные изменения валового состава связаны с привносом и выносом материала (аллювий, вулканическая деятельность, эрозия);

- часть химического состава почв, зависящая от жизнедеятельности биоты, изменяется циклично (в соответствии с поступлением и разложением органического вещества).

Разберем основные формы соединений химических элементов в почвах и их доступность для биоты.

Кислород входит в первичные и вторичные минералы почвы, основной элемент органических веществ и воды; потребляется только из растворов или в газообразном состоянии. Необходим для жизнедеятельности всех видов живых организмов, за исключением анаэробов.

Кремний входит в состав кварца и силикатов. При их разрушении переходит в раствор в виде анионов орто- и метакремниевых кислот, силикатов натрия и калия. При кислой pH эти соединения осаждают-

ся в почве в виде геля. Кремний используется растениями для формирования защитных структур, водорослями – для построения панциря, и т.д.

Алюминий присутствует в почве в форме первичных и вторичных минералов, органо-минеральных комплексов, а также в поглощенном состоянии при кислых рН. В кислой среде его ионы подвижны, ионы $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ и $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ угнетают рост растений, микроорганизмов и водорослей.

Железо присутствует в почве в составе первичных и вторичных силикатов, в виде гидроксидов и оксидов, простых солей и в поглощенном состоянии. Его ионы подвижны только при $\text{pH} < 3$; в восстановительных условиях в растворе появляются ионы Fe^{2+} . В этой форме железо доступно растениям, но его высокие концентрации оказывают угнетающее действие. При нейтральной и щелочной рН подвижность железа низкая, и растения испытывают недостаток железа, приводящий к хлорозу.

Азот сосредоточен главным образом в гумусе (от 1/40 до 1/20 гумуса). Накапливается в почве благодаря биологической кумуляции. Доступен растениям в форме аммония, нитратов, в меньшей степени – в форме нитритов, все они образуются при разложении органических веществ. В почве в основном присутствуют аммонийный (NH_4^+) и нитратный азот (NO_3^-). Аммонийный азот находится в почве в необменном поглощенном состоянии, нитратный – в растворе. В силу активного поглощения биотой и вымывания почва постоянно нуждается в пополнении азота.

Фосфор содержится в органических и минеральных соединениях (апатит, фосфорит, вивианит) и в поглощенном состоянии. В кислых почвах фосфор содержится в виде фосфатов железа и алюминия и связан с полутораоксидами. В слабокислых, нейтральных и слабощелочных почвах – в форме фосфатов кальция. Фосфаты являются основным источником фосфора для растений; из органических соединений этот элемент потребляется только после их минерализации. Наиболее благоприятная среда для усвоения фосфора лежит в интервале рН 6,0 – 6,5. Применение фосфорных удобрений целесообразно на всех почвах.

Сера находится в почве в виде сульфатов, сульфидов и в составе органических молекул. Сульфаты калия, натрия и магния хорошо растворимы в воде и в условиях гумидного климата выносятся за

пределы почвенного профиля; в условиях аридного климата накапливаются, вызывая засоление. Потребность растений в сере небольшая, обычно удовлетворяется полностью.

Калий входит в кристаллическую решетку первичных и вторичных минералов в малодоступной форме. Слюды мусковит и биотит легко отдают калий и служат его источником в почве. Значительная часть калия может находиться в почве в поглощенном состоянии и служить резервом для питания растений. Калий нужен растениям в больших количествах, особенно в период вегетации. Более всего нуждаются в калии картофель, табак, корнеплоды, травы.

Кальций, магний присутствуют в составе кристаллических решеток минералов, в форме простых солей и в поглощенном состоянии. Среди поглощенных катионов занимают первое и второе места. Магний нужен растениям для построения хлорофилла, кальций – для создания благоприятных физических и физико-химических свойств почвы, а в клетке - для формирования структуры цитоплазмы. Недостаток кальция отмечается в кислых хорошо промываемых почвах легкого механического состава – песчаных и супесчаных, а также на солонцеватых почвах.

Помимо использования элементов для нужд метаболизма растения могут осуществлять их аккумуляцию. Существует эмпирический биогеохимический показатель, характеризующий интенсивность биологического поглощения элементов – *коэффициент биологического поглощения* (КБП). Его вычисляют по формуле А.И. Перельмана:

$$A_x = l_x/n_x,$$

где A_x – коэффициент биологического поглощения элемента X;

l_x – содержание элемента X в золе растения;

n_x – содержание элемента X в горной породе.

Если необходимо охарактеризовать особенности отдельного растения к накоплению химического элемента, следует использовать КБП, рассчитанный на кларк литосферы. Если требуется оценить влияние растений на состав почвы, то рассчитывают этот коэффициент относительно содержания элемента в горной породе и почве. КБП - не константная величина, она меняется в зависимости от времени, фазы вегетации, возраста растения, свойств почвы. Перельман выделил 5 групп элементов по значению КБП:

- энергично накапливаемые (В) – 10 - 100;

- сильно накапливаемые (K, S, Zn, P, Mn, Ag, St) – 1 - 10;
- слабого накопления и среднего захвата (Mo, Mg, Ni, Co, U, Fe) – 0,1 - 1,0;
- слабого захвата (Na, Cl, Li, Si, Ti, Al) – 0,01 - 0,1;
- очень слабого захвата – 0,001 - 0,01.

На поглощение элементов влияют видовые особенности растений и место накопления (орган). А.Л. Ковалевский разделил растения и их органы по типу поглощения металлов на безбарьерные и барьерные. Содержание элементов в золе безбарьерных растений увеличивается пропорционально их содержанию в почве; у барьерных имеется порог концентрации, выше которого растения прекращают поглощать элемент, несмотря на дальнейшее его увеличение в субстрате. Корни большинства видов растений – безбарьерные органы, а генеративные органы – барьерные.

Кислотно-основные свойства

Любое почвообразование связано с изменением pH породы. Это положение впервые выдвинуто в 1910 году В.В. Геммерлингом, который полагал, что преобразование породы в почву проходит сначала щелочную стадию, а затем уже почва подкисляется. Изменение pH почвы связывают с растворами, прошедшими сквозь полог растений и подстилку. Иногда дождевые воды, обмывающие растения (ель, березу), имеют pH 3, но в целом pH дождевых вод, прошедших сквозь кроны, колеблется в пределах 4,6 - 6,6 (если нет загрязнения).

Лесные подстилки также обладают относительно низкими значениями pH - от 4,0 до 5,0. Подкисление почв связано и с обменными реакциями между почвой и корнем. Корень, поглощая катионы K^+ и Ca^{2+} , выделяет H^+ , а поглощая анионы NO_3^- и PO_4^{3-} , выделяет HCO_3^- . В почве pH является одним из наиболее динамичных показателей, колебания pH связаны: с видом растения, через крону которого проходят осадки; с расстоянием от ствола дерева; с суточными, сезонными и многолетними циклами, а также с влажностью почвы.

Поглотительная способность почв

Поглотительная (обменная) способность почв обуславливает существование в почвах определенного фонда питательных веществ, за счет которых может существовать биогеоценоз и от которых зависит его продуктивность. Поглоотительная способность определяется минеральным составом почвы, количеством гумуса в ней, pH и Eh.

Потребление растениями веществ из почвы связано с подвижностью элементов в ней. Растворяясь в воде, они активным или пассивным транспортом поступают в корень, часть веществ попадает туда в результате обменных реакций.

Содержанием подвижных веществ в почве управляют следующие факторы:

- растворимость этих соединений в воде;
- влажность и температура почвы;
- фаза развития растений и их масса;
- поступление элементов с дождевыми и талыми водами, опадом;
- диффузия веществ из других горизонтов.

Для таких важнейших биогенов, как азот, фосфор и калий, отмечается летний минимум в их содержании, приходящийся на период наибольшего прироста биомассы. Резкое снижение потребности растений в питательных веществах осенью приводит к возрастанию количества биогенов в почве. В осенне-зимний период происходит восстановление исходного или близкого к нему количества питательных элементов. А это восстановление в первую очередь зависит от потенциального запаса веществ в почве, от возможности пополнения почвенного раствора и почвенно-поглощающего комплекса (ППК) подвижными, доступными веществами. Для пополнения запасов подвижных соединений должно существовать равновесие между твердой фазой, обменным комплексом и почвенным раствором. При сдвигании этого равновесия в какую-либо из сторон возникает дефицит питательных веществ, связанный либо с низкой растворимостью твердой фазы, либо со слишком интенсивным переходом веществ в раствор и их выносом (в гумидном климате) или выпадением в осадок (в аридном).

Очень тесно связано с питательным режимом почвы содержание гумуса. Гумус является как источником питательных веществ, образующихся при его минерализации, так и потенциальным их запасом.

Главным регулятором динамики питательных веществ в почве является фитоценоз. Потребление растениями питательных веществ определяет изменчивость их содержания в почве. Запасы питательных веществ в слое 0 - 20 см на 2 - 3 порядка превышают вынос их растениями и, теоретически, почвенных запасов должно было бы хватить на 100 - 500 лет без дополнительного поступления питательных веществ. Но на практике большая часть питательных элементов не-

доступна растениям, поэтому внесение удобрений во многих случаях продуктивно и приносит заметную прибавку к урожаю.

Расход питательных элементов из почвы определяется биологическими особенностями растений, их химическим составом. Поэтому динамика питательных веществ в первую очередь связана с типом биогеоценоза или агроценоза, в котором функционирует почва. Естественные биогеоценозы по своему круговороту почти сбалансированы, и поэтому существуют бесконечно долго (лишь сменяя друг друга) и не снижают своей общей продуктивности. Агроценозы из-за ежегодного выноса биомассы довольно быстро вступают в период дефицита питательных веществ и не могут существовать без их дополнительного внесения. Внесение удобрений существенно влияет на циклы элементов в экосистемах, оно ведет к интенсификации круговорота, а не только пополняет фонд подвижных питательных веществ. Для почв разных типов (на различных почвообразующих породах) существуют свои оптимальные значения содержания питательных веществ. Так, оптимальными показателями для агроценоза на дерново-подзолистой суглинистой почве будут следующие: гумус - 2,5 %; азот – 0,15 %; фосфаты – 20 мг/100 г почвы; обменный калий – 15 мг/100 г почвы.

У растений существуют фазы роста, в которых они потребляют наибольшее количество питательных веществ. Так, злаки имеют максимум потребления биогенов при выходе в трубку, при наливе зерна их потребление резко снижается.

Естественные ценозы отличаются от агроценозов смазанностью максимумов потребления питательных веществ. Это связано с тем, что в естественных ценозах растения имеют разную продолжительность жизни и несовпадающие сроки фаз развития. Обычно в них отмечается несколько максимумов и минимумов, связанных с интенсивностью потребления веществ разными растениями. Так, для дерново-подзолистых почв в лесных биогеоценозах отмечены следующие особенности поведения фосфора. Ранней весной при переходе температур воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ подвижность фосфора возрастает (весенний максимум). В начале активной вегетации растений (май – начало июня) содержание фосфора в почве падает, дальнейшая смена фаз развития растений обуславливает июльский максимум этого элемента в почве. Общее возрастание количества фосфора в почве отмечается в сентябре – октябре в связи с поступлением опада. К ян-

варю содержание фосфора снижается и выравнивается. Аналогичная динамика отмечена для калия.

Весеннее возрастание содержания большинства питательных элементов связано с повышением их химической подвижности при повышении температуры (увеличивается их растворимость, скорость диффузии, концентрация). Распускание листвы резко снижает содержание подвижных питательных веществ в почве, затем в потреблении наступает небольшой перерыв – с ним связан июльский максимум содержания питательных элементов в почве. Общее увеличение питательных веществ происходит в связи с поступлением опада осенью. При этом до 20 % зольных веществ вымывается в горизонт A1 в течение месяца. В аридных почвах подвижность веществ зависит от количества влаги, поэтому в зимние месяцы в них часто наблюдаются максимумы.

Таким образом, динамика питательных веществ в почве является цикличной и бывает суточной, многодневной, сезонной и многолетней. Цикличность обусловлена климатическим фактором, который в значительной мере формирует ход кривой потребления питательных веществ (максимумы, минимумы, зимняя пауза). Роль растений в питательном режиме всех экосистем также велика и четко прослеживается.

Окислительно-восстановительные условия

Важным фактором, влияющим на химизм почв, следует признать окислительно-восстановительные условия.

В почве присутствует большое количество веществ минеральной и органической природы, способных вступать в реакции окисления и восстановления. Эти реакции оказывают существенное влияние на ход почвообразования. В целом, почву можно рассматривать как сложную окислительно-восстановительную систему. К наиболее распространенным реакциям окисления относятся реакции, связанные с гумификацией растительных остатков; изменение степени окисления железа, марганца, серы, азота и других элементов – это реакции как окисления, так и восстановления. Часть протекающих в почве окислительно-восстановительных реакций имеет обратимый характер (для элементов с переменной валентностью), большинство же идет необратимо (окисление органических веществ).

Для количественной характеристики окислительно-восстановительных реакций, протекающих в почве, пользуются понятием окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). ОВП почвы называют разность потенциалов, возникающую между почвенным раствором и электродом из инертного металла (платины), помещенным в почву. ОВП выражается в мВ.

Напряженность окислительно-восстановительных процессов в почвах связана с условиями реакции среды (рН), реакция среды влияет на интенсивность и направленность микробиологических процессов, от нее зависит переход в раствор компонентов некоторых окислительно-восстановительных систем.

В почве сильными окислителями являются O_2 , Cl_2 , MnO_4^- (в кислой среде); сильными восстановителями - Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} .

По величине ОВП можно судить о том, какие окислители и восстановители имеются в почве и каково их примерное соотношение. В разных типах почв и пахотных горизонтах значения ОВП обычно находятся в пределах от 100 до 750 мВ, иногда опускается до отрицательных значений.

В плакорных (от греч. *plax* – ровная поверхность) степных почвах ОВП обычно держится на уровне 500 - 600 мВ.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются в летние месяцы ОВП 400 - 700 мВ, при летнем затоплении ОВП в горизонтах А1 и А2 падает до 300 мВ.

В сероземах ОВП колеблется в пределах 350 - 600 мВ, в болотных почвах ОВП снижается до - 200 мВ.

Снижение ОВП до 350 – 450 мВ служит показателем среды, в которой окислительные условия меняются на восстановительные. ОВП ниже 200 мВ свидетельствует о развитии интенсивных восстановительных процессов с глееобразованием.

Большая часть окислительно-восстановительных реакций имеет биохимическую природу и тесно связана с микробиологическими процессами. Каждый микроорганизм имеет свой оптимум ОВП. При высоких значениях ОВП (окислительные условия) в почве развиваются преимущественно аэробы, при низких (восстановительные условия) – анаэробы. Однако для почвы отмечена такая общая закономерность: с увеличением количества аэробов возрастает количество анаэробов. По-видимому, это связано с наличием между ними метаболических взаимоотношений, кроме того, аэробы, потребляя кисло-

род, создают условия для существования анаэробов. Такое сочетание разнонаправленных процессов становится возможным благодаря микрizonaльности почв.

Обычно в почвах даже нижние горизонты содержат достаточное количество кислорода и дополнительно аэрируются грунтовыми водами. Однако в отдельных локусах, не охватывающих всего горизонта в целом, довольно часто развиваются восстановительные процессы. Например, ризоплана растений содержит большое количество легкодоступного органического вещества, здесь интенсивно идут процессы азотфиксации, аммонификации и нитрификации. В связи с этими процессами в ризоплане создаются восстановительные условия и возникают анаэробные зоны. Микрзоны с разными окислительно-восстановительными условиями подвижны во времени, по мере истощения субстратов происходит довольно быстрая смена условий.

При преобладании низких окислительно-восстановительных условий в почвах отмечается консервация органического вещества (образование торфа), элементы с переменной валентностью переходят в состояние с низшей валентностью.

Лекция 8

Изменения почвенных свойств под влиянием хозяйственной деятельности человека

Практически все виды человеческой деятельности сопровождаются нарушением состояния окружающей среды, и в том числе почвы. Основные нарушения, касающиеся почвенного покрова, связаны с изменением таких физических свойств почвы, как агрегированность, плотность и порозность, и большинства химических свойств.

Физические нагрузки в случае необрабатываемых почв (природные экосистемы при рекреационной нагрузке) относительно невелики. В городских экосистемах и агроценозах антропогенная нагрузка может принимать более широкие масштабы. Это относится и к большей части почв, возникающих в процессе рекультивации бывших горных выработок.

Причинами физических нагрузок на почву являются:

- а) прямые механические воздействия:
 - повышенное давление на поверхность почвы (транспорт, вытаптывание);

- особые агротехнические мероприятия, проводимые в пахотном слое почвы или в подпочве;

б) процессы, связанные с перемещением почвы:

- водная эрозия;

- эоловые отложения (особенно вследствие промышленных выбросов).

Изменения почвенных параметров касаются, прежде всего, сложения, структуры и плотности и приводят к уменьшению вентиляции и дренажа.

На уровне фитоценозов это сказывается в затруднении прорастания семян и проникновения корней в почву с последующим замедлением роста корней и побегов. Следует различать воздействия, проявляющиеся первично только в почве, и те, что затрагивают одновременно и напочвенный ярус или связаны в основном с ним (нагрузка на растительность в результате вытаптывания).

В результате таких воздействий в собственно почвенных ценозах происходит снижение обилия организмов и их активности, особенно разлагающих органические вещества.

Наиболее серьезные последствия для почвенной биоты и человека связаны с изменением химических свойств почвы, поскольку эти изменения непосредственно влияют на метаболизм живых организмов.

Главными источниками химического загрязнения почв являются:

- атмосферные выпадения в радиусе действия промышленных предприятий и добычи полезных ископаемых;

- отходы сельскохозяйственного производства и переработки сельхозпродукции;

- минеральные удобрения и средства химизации сельского хозяйства (пестициды, ядохимикаты, стимуляторы роста, ретарданты);

- автотранспорт;

- тепловые и атомные электростанции.

Значительная часть источников загрязнения почв имеет локальное действие, но некоторые имеют значение на региональном уровне и в планетарном масштабе, особенно при загрязнении через атмосферу и при использовании на больших площадях (минеральные удобрения).

Основное внимание будет уделено изменению химических свойств почв в глобальном масштабе. Одним из таких глобальных

процессов является *подкисление почв* в связи с выпадением кислотных дождей.

Выщелачивание и подкисление особенно характерны для гумидных районов, в почвах которых преобладают низкоактивные глины и невелико содержание гумуса.

Основными кислотообразующими веществами, загрязняющими атмосферу, являются соединения серы (в основном в виде сернистого ангидрида – 95 % от всех сернистых загрязнений, или 100 млн. тонн ежегодно). Вторым по распространенности кислотообразующим веществом в атмосфере является азот в форме оксидов. Поступившие в атмосферу оксиды серы и азота и кислые продукты их превращения сохраняются в атмосфере в течение нескольких суток. За это время они могут быть перенесены воздушными потоками на сотни и тысячи километров от источника выброса, и проблема кислотного загрязнения приобретает глобальный характер.

Считается, что рН незагрязненных осадков составляет примерно 5,6; присутствие в атмосфере примесей терригенного происхождения (пыль) расширяет диапазон рН от 5 до 7. Наиболее низкие значения рН атмосферных осадков отмечаются вблизи крупных металлургических комбинатов. Если сернистый ангидрид не нейтрализуется, рН дождевых и снеговых вод может опускаться ниже 3. Самое низкое значение за всю историю исследования атмосферных осадков зафиксировано в США и составляет 1,9.

В настоящее время в мире существует два крупных региона с хронически кислыми атмосферными осадками: в промышленном регионе северо-востока США (рН атмосферных выпадений 4,1 - 4,2) и в Центральной и Северной Европе (рН 4,1 - 4,5). В нашей стране, помимо локальных выпадений кислотных дождей, существует проблема трансграничного переноса, имеющая региональный характер. Наиболее заметны проблемы трансграничного переноса в Прибалтике и на северо-западе Европейской части России. Здесь рН в среднем составляет 4,4 - 4,8, а минимальные значения снижаются до 3,7.

Однако кислотность и состав осадков не являются основными факторами, контролирующими протекание процессов в почве. Главными, более существенными, являются свойства самих почв, подвергающихся воздействию осадков. Кислотные дожди с одинаковыми значениями рН могут вызывать различные последствия на разных

почвах. В связи с этим делаются попытки создать классификацию почв по степени устойчивости к действию кислотных поллютантов.

Большинство исследователей предлагают использовать в качестве основных параметров устойчивости почв сумму обменных оснований, степень насыщенности ППК и емкость катионного обмена. Эти характеристики косвенно отражают содержание гумуса, карбонатов, минералогию и механический состав, т.е. свойства, определяющие буферность почв. Изменение одного или нескольких признаков из приведенного перечня меняет буферные свойства.

Так, наиболее чувствительны к действию кислотных выпадений почвы легкого механического состава, с высокой водопроницаемостью, с низким содержанием обменных оснований и гумуса, слабой сульфат-адсорбционной способностью, кислой рН и низкой степенью насыщенности ППК. Этой характеристике наиболее соответствуют песчаные подзолы. Слабочувствительными к кислотным выпадениям являются некарбонатные глинистые почвы с рН около 6; кислые - с рН меньше 5, умеренным содержанием гумуса и емкостью поглощения от 6,2 до 15,4 мг-экв/100 г почвы. Нечувствительными являются нейтральные почвы с рН больше 6 и сильнокислые с рН меньше 4 и емкостью катионного обмена больше 15,4 мг-экв/100 г почвы.

Влияние кислотных дождей на почвенные свойства

1. Снижение рН водной и солевой вытяжки почв. В высокобуферных почвах изменение рН происходит только при достаточно интенсивной кислотной нагрузке. Повышение потенциальной кислотности происходит за счет увеличения обменного алюминия. Под влиянием кислотных осадков участие ионов алюминия в формировании кислотности может возрастать до 50%. По мере усиления кислотной нагрузки возрастает количество подвижного железа в верхних горизонтах почв, а затем и в нижележащих; увеличивается опасность проявления его токсичных свойств.

2. Ускоренное выветривание минералов и переход необменных форм элементов в обменные. При кислотном воздействии в нейтральных, богатых гумусом почвах с высокой степенью насыщенности основаниями, преобладает протонно-кальциевый обмен; в кислых субарктических и подзолистых почвах интенсивно выносятся магний; в дерново-подзолистых — марганец и магний; в бурых лесных — кальций и магний.

3. *Изменение скорости разложения органического материала, особенно на стадии его минерализации.* Минерализация гумуса имеет особое значение для обеспечения плодородия, так как тормозится перевод фосфора и азота в доступные растениям формы.

4. *При подкислении меняется качественный состав гумуса:* происходит повышенное высвобождение в раствор простых органических кислот (ди- и трикарбоновых). Они обладают высокой хелатирующей способностью и мобилизуют в почвенный раствор больше железа, алюминия, микроэлементов. Кроме того, меняется подвижность гумусовых соединений в связи с их осаждением ионами алюминия и железа. Следствием этого процесса является снижение водорастворимых органических соединений в почве.

Влияние кислотных дождей на биоту

Изменения почвенных свойств, происходящие под действием кислотных осадков, отражаются, в первую очередь, на жизненном состоянии и структуре растительного компонента биогеоценоза, а также охватывают и других обитателей почв.

Так, изменение кислотно-основного равновесия в почве влияет на мембранный потенциал корней: подавляется диссоциация активных групп липидов, протеинов и других компонентов клеточной мембраны; понижается отрицательный заряд поверхности корней и, как следствие, затрудняется преимущественное поглощение катионов из раствора. Меняется доступность кальция, магния, калия из-за их выщелачивания из ризосферы в более глубокие почвенные горизонты. Особенно сильно меняется поглощение магния, а он является важнейшим элементом, выполняющим каталитические функции, поддерживает структуру мембран. Еще одно последствие кислотных дождей для растений – повышение подвижности ряда элементов, обладающих фитотоксичными свойствами.

Алюминий является прямым и косвенным фитотоксикантом, подавляет процессы клеточного деления в корне, уменьшает интенсивность дыхания, нарушает транспорт питательных веществ.

Марганец, цинк, кадмий, кобальт, никель являются антагонистами железа, и повышенное их поглощение ведет к хлорозу. Кроме того, марганец и цинк являются антагонистами меди.

Подобного рода изменения в питании и метаболизме растений вызывают снижение их устойчивости к воздействию насекомых, пато-

генных грибов, бактерий, вирусов, ослабляют морозо- и засухоустойчивость. Среди деревьев наиболее чувствительны к закислению хвойные, из низших растений – лишайники; высокой чувствительностью обладает подрост и растения с поверхностной корневой системой.

Если почва не обладает достаточной буферностью, то происходит попадание кислых почвенных растворов в почвенно-грунтовые и поверхностные воды. Пресноводные системы обладают меньшей буферностью, чем почвы, и рН озер может снижаться до 5,0 - 5,5. При этом нарушается ионное равновесие в жабрах рыб, наиболее чувствительными являются сиговые.

Особое значение в последнее время приобрело загрязнение группой поллютантов, получивших название *тяжелые металлы* (ТМ).

ТМ – группа химических элементов, имеющих плотность более 5 г/см^3 . Этот термин заимствован из технической литературы, где металлы делятся на «легкие» и «тяжелые». Для биологических объектов правильнее руководствоваться не плотностью, а атомной массой, т.е. относить к тяжелым все металлы с атомной массой более 40.

Представления об обязательной токсичности ТМ являются заблуждением, так как в эту группу входят и жизненно важные для организмов медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, железо. Группа ТМ по сути совпадает с понятием «*микроэлементы*» – обязательные для живых организмов химические элементы, содержание которых измеряется величинами порядка $n \times 10^{-2} - n \times 10^{-5} \%$. Также их называют: следовые, массовые, редкие, рассеянные.

Недостаточное или избыточное содержание этих элементов в почвах связано с двумя факторами:

- биогеохимическими особенностями экосистем;
- влиянием техногенных потоков вещества.

Районы, в которых концентрация химических соединений в силу природных причин оказывается выше или ниже оптимальной, называются *биогеохимическими провинциями*. Их появление связано с особенностями почвообразующих пород, почвообразовательного процесса, а также с присутствием рудных аномалий.

Антропогенное загрязнение биосферы химическими элементами привело к формированию техногенных аномалий, в которых содержание химических элементов в десятки и более раз превышает фоновое содержание их в ландшафтах. В результате могут формироваться глобальные аномалии, охватывающие весь земной шар; региональ-

ные, охватывающие части материка, страны и области; локальные, радиусом в несколько десятков километров. Для таких повышенных концентраций элементов термин «микроэлементы» уже непригоден, и следует использовать термин «тяжелые металлы».

«Металлический пресс» на биосферу, названный В.И. Вернадским «металлизацией», усиливается, и размеры его, по-видимому, будут продолжать расти. Задача науки состоит в изучении возникшей ситуации и выработки приемов противодействия процессу загрязнения среды ТМ. Для этого необходимо знать потенциальную опасность различных металлов и закономерности их поведения в системе «почва – живой организм», характер и интенсивность включения ТМ в пищевые цепи.

ТМ, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в ее толще, особенно в верхних гумусо-аккумулятивных горизонтах, и медленно удаляются. Для ТМ принято отмечать период полуудаления (по аналогии с радиоактивными элементами) – удаление половины от начальной концентрации. Для разных элементов период полуудаления сильно варьирует: для цинка – 70 - 510 лет, кадмия – 13 - 110 лет, меди – 310 – 1 500 лет, свинца – 740 - 5900 лет.

На характер распределения ТМ в почвах влияет весь комплекс почвенных условий.

Механический состав оказывает прямое влияние на закрепление ТМ и их подвижность. Почва тяжелого мехсостава характеризуется меньшей потенциальной опасностью поступления тяжелых металлов в растения. Песчаные почвы менее всего удерживают ТМ, и вероятность включения их в трофические цепи возрастает.

Содержание органики также в значительной мере меняет подвижность ТМ из-за образования сложных комплексов с гумусом. Поэтому почвы с высокой гумусированностью удерживают больше ТМ, и они становятся менее доступны для растений.

Значительное влияние на поведение металлов оказывает характер увлажнения почв. Избыток влаги в почве способствует появлению ТМ с низкой степенью окисления и в более растворимых формах. Анаэробные условия повышают доступность металлов для растений.

Однако решающим фактором в распределении ТМ в биосфере является тип почвенно-геохимического барьера. Типы барьеров и связанная с ними подвижность и характер накопления ТМ представлены в таблице 4.

ТМ влияют на всех членов биоценоза. Первыми «удар» ТМ принимают микроорганизмы, водоросли, грибы и растения. Для клеток ТМ являются протоплазматическими ядами, токсичность их возрастает по мере увеличения атомной массы. ТМ способны ингибировать активность ферментов, усиливать распад АТФ, изменять проницаемость мембран и конкурировать с другими металлами, входящими в состав жизненно важных молекул (ферменты, пигменты и др.).

ТМ изменяют протекание процессов и на популяционном уровне: подавляется азотфиксация, разложение органического вещества, прорастание спор грибов; нарушается дыхание и ферментативная активность почвы, проявляется микробостатический и генотоксический эффект. В целом, первичные сообщества почв сменяются вторичными, нетипичными, в которых мало разнообразие и преобладают один-два устойчивых вида. Установлено, что в почвах с высоким содержанием ТМ доминируют виды грибов, обладающих фитотоксическим действием на прорастающие семена, а некоторые из них становятся возбудителями заболеваний животных и человека.

Наибольшую опасность для высших организмов представляют последствия микробной трансформации неорганических соединений ТМ в органометаллические (ртуть – метилртуть). Образовавшиеся соединения могут поступать в биологические объекты и накапливаться в трофических цепях. Так, аккумуляция ТМ грибами привела к отравлениям и заболеваниям людей в ряде европейских стран в районах высокого уровня промышленного и транспортного загрязнения, причем наиболее высокое содержание ТМ отмечено в плодовых телах наилучших съедобных грибов pp. *Boletus* и *Agaricus* (ртуть – до 0,22 мг/кг, кадмий – до 19,0 мг/кг).

**Типы почвенных геохимических барьеров
(по М.А. Глазовской, 1988)**

Кислот- но- основные условия	Окисли- тельно- восста- нови- тельные условия	Тип барьера	Подвижность и накопление химических элементов					
			Слабо подвижные, активно накопи- ваются		Умеренно подвиж- ные, частично накапливаются		Легко подвижные, выносятся	
			Очень токсич- ные	Менее токсич- ные	Очень токсич- ные	Менее токсич- ные	Очень токсич- ные	Менее токсич- ные
Кислые	Окисли- тельные	Окисли- тельный кислый	—	Mn, Mo	Pb, As, Se	Ni, Cr, V	Cd, Hg	Cu, Zn
	Восста- нови- тельные	Восста- нови- тельный кислый	As, Se	Mo, V	Pb, Cd, Hg	Ni, Cr, Zn, Cu, Co	—	—
Ней- тральные и щелоч- ные	Окисли- тельные	Окисли- тельный ней- тральный и щелоч- ной	Pb	—	Hg, Cd	Zn, Mo, Cu, Co, Ni, Cr	As, Se	—
	Окисли- тельные с испари- тельной концен- трацией	Окисли- тельный испари- тельный	Pb	—	Hg, Cd	Zn, Mo, Cu, Co, Ni, Cr	As, Se*	—
	Восста- нови- тельные глеевые	Восста- нови- тельный ней- тральный и щелоч- ной	Pb, Cd	Cu, Zn, Co	As, Se	Mo, V, U, Ag	Hg	Ni
	Восста- нови- тельные серово- дород- ные	Восста- нови- тельный серово- дород- ный	Ps, Cd, Ag, Hg, Se	Cu, Zn, Co, Ni, Ga, Ag	—	V, U, Mo	—	—

* концентрируются на испарительном барьере.

Воздействие тяжелых металлов на растения разнообразно и неоднозначно. Фитотоксичность металлов и устойчивость к ним растений зависит от разных условий. Существенное значение имеет вид металла и количество, находящееся в почвенном растворе. Есть виды растений, способные концентрировать отдельные тяжелые металлы без видимых признаков угнетения. О механизмах устойчивости культур к разным видам ТМ известно еще мало. Устойчивость растения по отношению к одному металлу, как правило, не распространяется на другие. Есть предположения, что это свойство организмов находится под генетическим контролем и может быть использовано при выведении новых сортов растений, способных давать урожай незагрязненной продукции на загрязненной почве.

Анализ золы различных частей растений показывает, что тяжелых металлов больше содержится в корнях, затем идут стебли и листья и, наконец, семена, клубни. Это перераспределение ТМ по органам растения физиологи связывают с преобладающим типом транспорта ТМ. Главный путь транспорта ТМ в растения – апопластический (по ксилеме и клеточным оболочкам); поэтому тяжелыми металлами богаче те органы растения, которые получают растворы по апопласту – корни, стебли, листья, корнеплоды. Клубни, а также репродуктивные органы снабжаются веществами за счет симпластического транспорта. При этом типе транспорта вещества двигаются по плазмодесмам, этот транспорт включает мембранный перенос, а следовательно, избирательность. Главный концентратор ТМ в клубнях – их покровы, вступающие в контакт с почвой.

Основная литература

1. Бабьева И.П., Зенова Г.Н. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 333 с.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.
3. Гельцер Ю.Г. Биологическая диагностика почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 78 с.
4. Добровольская Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв. М.: ИКЦ (Академкнига), 2002. 282 с.
5. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 260 с.
6. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 236 с.
7. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1993. 184 с.
8. Карпачевский Л.О. Динамика свойств почвы. М.: ГЕОС, 1997. 170 с.
9. Мишустин Е.Н. и др. Санитарная микробиология почвы / Е.Н. Мишустин, М.И. Перцовская, В.А. Горбов. М.: Наука, 1979. 304 с.
10. Почвоведение: Учебник для ун-тов: В 2 ч. / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина, В.Д. Василевская, Л.А. Гришина и др. М.: Высш. школа, 1988. 400 с.
11. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: Учеб. пособие / Под ред. Д.С. Орлова, В.Д. Васильевской. М.: Изд-во МГУ, 1994. 272 с.

Содержание

Введение	3
<i>Лекция 1.</i> Развитие почвенного покрова Земли	4
Экологические функции почв	8
<i>Лекция 2.</i> Глобальные функции почв.....	8
<i>Лекция 3.</i> Биогеоценотические функции почв	17
Изменение почвенных свойств.....	25
<i>Лекция 4.</i> Изменения факторов почвообразования. Динамика морфологических свойств почвы.....	25
<i>Лекция 5.</i> Изменчивость водных свойств почвы, доступность почвенной влаги	32
<i>Лекция 6.</i> Динамика физических свойств почвы и ее связь с почвенной биотой.....	39
<i>Лекция 7.</i> Химические свойства почв, их естественная динамика	46
<i>Лекция 8.</i> Изменения почвенных свойств под влиянием хозяйственной деятельности человека	55
Основная литература	65

Волкова Ирина Николаевна
Кондакова Галина Вячеславовна

Экологическое почвоведение

Курс лекций
для студентов-экологов (бакалавров)

Редактор, корректор А.А. Антонова
Компьютерная верстка И.Н. Ивановой

Подписано в печать 07.07.2003. Формат 60×84/16.
Бумага тип. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,15.
Тираж 100 экз. Заказ .

Оригинал-макет подготовлен
редакционно-издательским отделом ЯрГУ.

Ярославский государственный университет.
150000 Ярославль, ул. Советская, 14.

Отпечатано
ООО «Ремдер» ЛР ИД № 06151 от 26.10.2001.
г. Ярославль, пр. Октября, 94, оф. 37.
тел. (0852) 73-35-03.