

УДК 631.472.56: 504.53+504.7

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЛЕЕ- И ПОДЗОЛООБРАЗОВАНИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ ТАЙГИ

И.М. ЯШИН, А.А. ПЕТУХОВА, Д.А. ГРАЧЁВ

(Кафедра экологии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Рассматриваются экологические аспекты процессов глее- и подзолообразования в подзолах тайги и уровни их реализации. Почвы изучались, с одной стороны, как «самостоятельные природно-исторические тела» (по В.В. Докучаеву, 1892), а с другой — как незаменимые компоненты и продукты таёжных экосистем, что позволило вскрыть имеющиеся противоречия при оценке генезиса почв тайги, полнее обосновать их фа-циальные функции с экологических позиций. Показана роль процессов глее- и подзо-лообразования в трансформации и миграции веществ, формировании лимитирующих экологических факторов в почвах агроэкосистем.

Ключевые слова: процессы глее- и подзолообразования, кислотный гидролиз, лесси-важ, органоминеральные комплексы, миграция, биогенная кислотность, подзолы на двучле-нах, экосистемы тайги.

Технологии освоения и окультуривания лесных подзолистых почв, исполь-зование средств мелиорации и химизации опираются на информацию о функциях почв и процессах глее- и подзолообразования. Это же относится и к оценке стоимо-сти почв. Выращивание с.-х. культур в таёжных экосистемах происходит в условиях активных экологических рисков: при длительном переохлаждении и промывном во-дном режиме почв, выщелачивании мобильных элементов из почвы, ярко выражен-ном дефиците доступных форм азота, фосфора, кальция, а также микроэлементов, повышенной кислотности почв и низкой их биологической активности [1, 9, 10, 18]. К указанным почвенным и ландшафтным рискам уже давно добавились риски антропогенного характера, чуждые биосфере Земли и биогеохимическим кругово-ротам химических элементов [22]. Ключевым звеном при трансформации экотокси-кантов в ландшафтах являются почвы. В почвах тайги, в частности, происходит ра-дикальное изменение инертных форм мигрантов-экотоксикантов в мобильные, в т.ч. и органоминеральные соединения, включающиеся в потоки миграции [16, 19, 21]. В этой связи исследование процессов глее- и подзолообразования является одной из важных задач, связанных с оценкой качества и экологической безопасности жизни людей и биоты. При этом важно знать взаимосвязь данных процессов в нативных экосистемах и в почвах агроландшафтов.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований были таёжные экосистемы подзон южной и сред-ней тайги [7, 8, 18]. Ранее были изучены морфология, химические свойства и фракционно-групповой состав гумусовых соединений почв подзолистого типа

и проведено картирование почв стационарных площадок. Для выявления экологических функций компонентов ВОВ и фульвокислоты (ФК) в таёжных экосистемах нами была использована схема W. Forsyth с лизиметрическим дополнением [22]. Данная схема была нами унифицирована после проведения специальных лабораторных опытов по сорбции-десорбции компонентов ВОВ на целевых сорбентах. Из неё были исключены диализ ФК, обработка угля водными растворами щёлочи и минеральной кислоты, а высокозольный активированный уголь заменён на низкозольный — «карболен». Особое внимание было уделено химической очистке кварцевого песка и активированию угля для сорбционных лизиметров. Подобный методологический подход позволил выявить реальное соотношение в составе природных ВОВ групп ФК и низкомолекулярных органических кислот (НМОК). Для доказательства кислотной, комплексобразующей и миграционной функций ФК в модельных лабораторных опытах были также синтезированы гидрозоль $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Они затем очищались на смоле АН-2Ф в ОН" форме от анионов в динамике. В последующем были поставлены модельные эксперименты, в которых известная масса очищенного от анионов гидрозоля $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в статике взаимодействовала с водным раствором фульвокислот (ФК), выделенных препаративно из гор. A_0A_1 подзолистой почвы стационара «Белый Раст» в Подмосковье. Так, были получены нативные (а не искусственно насыщенные, как это часто бывает) Fe-органические комплексные соединения, исследован их молекулярно-массовый состав и содержание в этих комплексах разных ионов металлов, включающихся в биогенный круговорот и поступивших в почву с опадом [21].

Результаты и их обсуждение

Ещё недавно почвы таёжной зоны, как и процессы почвообразования, были ясными и понятными. Но уже при детальном картировании почвенного покрова нативных и аграрных фаций тайги в М 1: 500 были выявлены новые, ранее не известные факты, порой трудно объяснимые [6, 14]. Наряду с доминантами были диагностированы сопутствующие типы и подтипы почв, генезис и функции которых ещё требуют обоснования. Точная оценка результатов почвенного картирования осложнялась также неоднородным сложением почвенных профилей: в ландшафтах европейского Севера России очень широко распространены двучленные породы и подзолы на двучленах [рис. 1-6]. Эти генетические образования в пределах первого метра состоят из двух разнокачественных наносов — нижнего тяжелосуглинистого субстрата (водоупора, включающего камни, валунчики и хрящ) и верхнего песчано-супесчаного, мощность которого колеблется от 53 до 82 см. На подобных породах и сформировались своеобразные почвы с элювиально-иллювиальной дифференциацией илистых частиц, химических элементов и фульвокислот. Ряд авторов называет их глинисто-дифференцированными почвами (ГДП) [9, 15], но единства взглядов на генезис подобных почв пока не достигнуто. Известно, что Б.Б. Полюнов (цит. по [15]) разделял морфологические признаки на 3 группы: 1-я объединяет свойства каждого горизонта, 2-я охватывает весь профиль почвы и 3-я присуща какой-то части профиля. Было предложено расчленять профили почв на составляющие их субпрофили. В случае с подзолами на двучленных наносах выделяют элювиальную (песчано-супесчаную), текстурную (тяжелосуглинистую, глинистую) части профилей и переходные между ними генетические горизонты.

Уровни организации почв подзолистого типа южной тайги и подзолов на двучленах средней тайги были охарактеризованы в работах [12, 14 и др.]. Указанные авторы показали общность для почв тайги двух групп процессов, влияющих на дифференциацию в профиле тонкодисперсных частиц: 1-я — элюирование (обезыливание)



Рис. 1. Слева — профиль глееподзолистой почвы северной тайги; справа — установка сорбционных лизиметров в профиле подзола на двучленах в нижней 1/3 склона лесопарка Петрозаводска; гор. EL'g имеет голубой цвет за счёт аккумуляции *in situ* вивианита

кроющего наноса и формирование микропрофиля альфегумусового подзола, 2-я — иллювирующее (вымывание) частиц ила и пыли в водоупорный горизонт В₂g подстилающего наноса. Авторы обобщили накопленную информацию для объяснения механизмов, приводящих к дифференциации профиля двучленов. Здесь выделены четыре группы процессов: 1-я — кислотный гидролиз вторичных минералов и оглеение; показана их роль в трансформации мелкозёма и миграции веществ (биогенной и водной); 2-я — суспензионная миграция и иллювиальная аккумуляция частиц ила и пыли без их разрушения и под «защитой» ВОВ (процесс лессиважа, характерный для почв ландшафтов смешанных и широколиственных лесов); 3-я — дифференциация профиля по илу как результат первых двух процессов; 4-я — дифференциация профиля как следствие до почвенной литогенной двучленности породы (гипотеза распространяется на весь ареал двучленов европейского Севера). При этом не были охарактеризованы движущие силы, обуславливающие подзоло- и глееобразование в почвах, развитых на двучленах, а также механизмы водной миграции веществ. В работе [16] представлены важные сведения о путях миграции мобильных форм железа и фосфора в тяжело суглинистых подзолистых почвах. Установлено преобладание в лесных мореных ландшафтах Подмосквья биолатеральной миграции. Для суглинистых профилей в период таяния снега это вполне логично. В остальные сезоны «сброс» избытка влаги и водная миграция веществ в профилях почв протекает периодически и не фронтально, а по трещинам (см. рис. 4). Но такие пути миграции ещё нужно найти (они есть только в ненарушенных почвах), а затем и диагностировать в них мигранты. В этой связи напомним, что изыскания на стационарных площадках начинаются с детального картирования почв и диагностики состояния фации, парцелл. Ведётся поиск следующих типов профилей: примитивного, неполно развитого, слабо дифференцированного, мозаичного, антропогенно изменённого

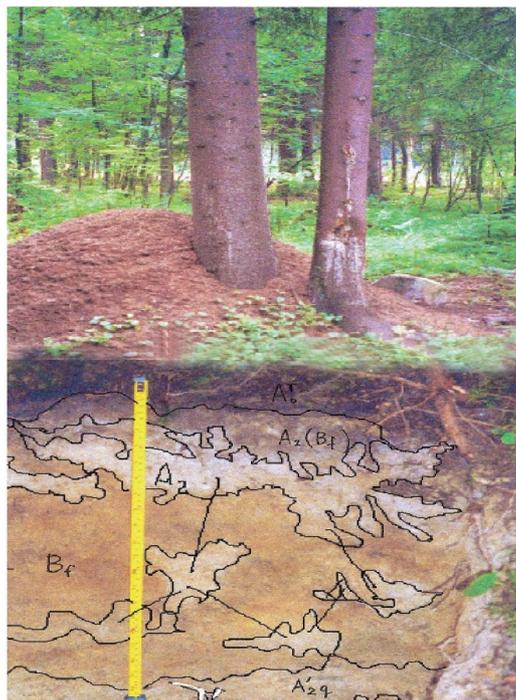


Рис. 2. Трансформация соединений Fe в профиле подзола под воздействием ВОВ в период вегетации

горизонт маскируется мигрируемыми из опада и лесной подстилки компонентами ВОВ и Fe — Mn-органическими соединениями в серый цвет (рис. 3, справа). Особенно активно сорбция данных мигрантов отмечена в горизонте B_f . Другой белёсый (элювиально-оглеенный) горизонт характерен для контактного слоя, где происходит сезонный застой внутрипочвенной влаги, и активно формируются коллоидные системы Fe, Mn, Si, Al (см. рис. 3, слева). Элювиальная часть профиля микроподзола отличается почти провальной фильтрацией влаги, обеднена илстыми частицами, а мелкозём имеет низкую ёмкость поглощения. Здесь наблюдается сегрегация железа и ВОВ в мелкие черно-бурые Fe, Mn конкреции [5, 9, 13]. Текстура часть профиля имеет бурый цвет с красноватым оттенком, тяжелосуглинистая, очень плотная и без корней растений. Её самая верхняя часть (горизонты EL/Bt — Bt/EL) отличается наиболее сложной структурной организацией и пронизана сетью вертикальных клиновидных трещин, которые заполнены продуктами почвообразования (белесовато-серыми пылевато-илстыми частицами). По трещинам происходит миграционное перераспределение илстых частиц, как правило, «под защитой» ВОВ, обладающих свойствами поверхностно-активных соединений. Визуально перемещение ила обнаруживается по порам, поверхности педов и внутри крупных трещин по тонким слоям кутан (см. рис. 3, справа). Специфика строения профилей ГДП свидетельствует о сложности и стадийности их элювиально-иллювиальной дифференциации. Рассчитанные нами коэффициенты дифференциации k_d илстых частиц (как соотношение их масс в горизонтах Bt/EL) варьируют, например, в лесопарковой катене

и нормального (полно развитого) и двучленного. Здесь следует учитывать роль ветровалов, вырубков и предшествующего освоения леса под пашню. Определяется также характер почвообразующих пород и их смена по рельефу в катенах. Обычно это делается при рекогносцировке участка.

Рассмотрим общие черты морфологии ГДП на примерах почв стационарных площадок в подзонах южной и средней тайги (см. рис. 3). Данную информацию мы представляем, с одной стороны, в связи с неоднозначной трактовкой имеющихся сведений по двучленам, а с другой — необходимостью объяснения движущих сил их развития и трансформации.

Элювиальная часть ГДП представлена в виде микропрофиля подзола. В почвах лесных ландшафтов сразу под лесной подстилкой залегает хорошо выраженный белёсый подзолистый горизонт E (чётко выраженный в сухое лето), глубже — иллювиально-железистый B_f , переходящий в элювиально-глееватый или контактно-осветлённый горизонт EL'g. Подчеркнём, в весенне-летний период песчано-супесчаный подзолистый



Рис. 3. Профили дерново-подзола на двухчленах: слева — в мае, справа — в августе. Плакор холма ЛОД РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева



Рис. 4. Профиль дерново-подзола на двухчленах ЛОД РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева (ранняя весна 2007 г.). Отчётливо видны миграционные «тяги», по которым отмечен «сброс» избытка влаги и мигрантов

Петрозаводска от 11 до 14 (см. рис. 2). Здесь отмечена трансформация иллювиально-железистого барьера миграции при сезонном поверхностном переувлажнении подзолов в микрозападинах [см. рис. 2]. Начальный этап вуализации (или эффект «гумусовой занавески» горизонтов E, V_f мигрантами отмечен ранней весной. Генезис двух

осветлённых горизонтов подзолов на двучленах (верхнего и нижнего) неоднозначен. В своей основе они неразрывно связаны не только с глее- и подзолообразованием (превращением и миграцией соединений железа, кислотным гидролизом вторичных минералов), но и с изменением водного режима на участках с ветровалами и вырубками. При лесных пожарах также образуются белёдые горизонты (но пирогенного генезиса), а мелкие частички угля выполняют роль микробарьера миграции. Формирование на месте вырубков массивов лугов, пашен, сенокосов также способствовали трансформации почв, изменению их режимов, физических и химических свойств. Это особенно характерно для участков Лесной опытной дачи. В этих условиях существенно изменяется биогеохимический круговорот веществ: из почти замкнутого в лесу он становится несбалансированным. Ежегодно из почв агроэкосистем отчуждаются большие массы химических элементов с урожаем, дополняемые эрозией и водной внутрпочвенной миграцией. Эколого-геохимический подход при оценке функционирования ландшафтов позволяет более полно познать лимитирующие экологические факторы, точнее выявить экологические функции почв (см. рис. 4).

Необходимо подчеркнуть ещё одну важную особенность становления почвоведения как фундаментальной дисциплины, освещающей эволюцию почв, оценку почвенным процессам и режимам. В опубликованной работе «Русский чернозём» В.В. Докучаев заложил основы научного почвоведения, весьма отличного от агрогеологии [4]. В .В. Докучаеву пришлось вести трудную и неравную, на первый взгляд, борьбу с корифеями отечественной и зарубежной агрономии, рассматривавшими почву только в качестве объекта сельскохозяйственного производства. Оппоненты не сразу поняли глубину докучаевских идей и рождение новой науки. К сожалению, и в современный период преобладает прикладной взгляд на почвы, уводящий специалистов от решения приоритетных задач, связанных с оценкой экологических функций почв и их роли в Биосфере Земли. Без решения данных задач нельзя обоснованно проводить экологические экспертизы и экологическое нормирование экотоксикантов в ландшафтах. Один из негативных примеров — это использование не подтверждённого экспериментально одного параметра ПДК для всех почв без указания их генезиса и ландшафтного положения. Некорректна также используемая методология изучения и нормирования экотоксикантов, которая направлена на обеспечение безопасности популяции людей и констатацию факта загрязнений, а не на оценку воздействия на биоту в трофических цепях и «пирамидах» биомасс экосистем с введением парадигмы «предупреждение» [18].

Чтобы уточнить взаимосвязи между компонентами ландшафтов проанализируем известную триаду И.П. Герасимова факторы — процессы — свойства почвы. Данная триада теоретически правильная, но на практике не всегда реализуемая. Во-первых, полного соответствия между почвенным процессом и свойством ожидать нельзя: большинство свойств почв управляется не одним, а несколькими процессами. Изучаемые в настоящее время почвы сформировались сотни и тысячи лет тому назад. Нужно уметь выделять и отличать современные и «старые» свойства почв. Во-вторых, факторы почвообразования тесно связаны с экосистемой (её функционированием) и экологическими функциями почв. В-третьих, реализация триады в ландшафтах протекает на разных уровнях структурной организации веществ (в почве и в экосистеме). При этом целесообразно изучать не только указанные уровни организации веществ, но и их приуроченность к инертным (реликтовым и иным веществам) и мобильным (современным) продуктам почвообразования и антропогенеза. Усреднённый отбор и анализ образцов почв (по традиционным методикам) оказывается мало информативным. Он не учитывает всего многообразия

морфонов в пределах генетических горизонтов почв и «смазывает» новые признаки и свойства в твёрдой фазе. В-четвёртых, процессы почвообразования влияют на состав поглощённых катионов. В антропогенно преобразованных почвах среди поглощённых катионов, наряду с типичными, могут уже быть и элементы с высокими кларками: Fe, Mn, Sr. Ионы тяжёлых металлов (ТМ) в настоящее время не влияют на состав поглощающего комплекса, но они активно мигрируют по трофическим цепям. Хотя вблизи промышленных объектов данное правило нарушается. В-пятых, современные почвенные процессы отражают особенности динамики и сукцессии растительных фаций, их возрастную структуру. В этой связи практически в каждой «точке» фации можно ожидать варьирования свойств почвы в зависимости от их почвообразующих пород, оглеения, наследования от прошлых экосистем, ветровалов и антропогенной нагрузки. В-шестых, взгляды специалистов на сущность почвенных процессов нередко противоречивы. Так, Ф.Р. Зайдельман [6] считает, что глееобразование — это общий процесс, включающий и подзолообразование. По мнению [2, 7, 8, 10-12], оглеение — элементарный процесс. На наш взгляд, выделение почвенных процессов и их оценка требуют разработки системы критериев. Пока их нет. Поэтому мы, учитывая мнение авторов работ [7, 11, 13, 17], при диагностике глее- и подзолообразования в таёжных экосистемах выделяем следующие процессы, участвующие в дифференциации профилей почв. Это подстилкообразование; мобилизация из растительного опада, смывов с вегетативных органов и корневых выделений групп ВОВ с кислотными свойствами; формирование ФК, а также группы гуминовых веществ в почвах с близким залеганием карбонатно-кальциевого геохимического барьера миграции; водная восходяще-нисходящая миграция веществ; элювиально-глеевый процесс; лессиваж; формирование иллювиально-гумусово-железистого барьера миграции в песчаных подзолах и ФК *in situ*; функционирование почвенной биоты — микроскопических плесневых грибов-кислотообразователей *Mucog*, *Penicillium*, *Aspergillus niger*; сезонная вуализация (маскирование) подзолистого горизонта ВОВ и органоминеральными соединениями (эффект гумусовой занавески).

Движущими силами трансформации веществ в таёжных фациях являются биогеохимический круговорот, кислотный гидролиз почвенных минералов и коллоидов с активным участием ВОВ и водная миграция [16, 19]. Кислотность таёжных экосистем обусловлена своеобразием биогенного кислотообразования, которое рассматривается нами как один из возможных механизмов адаптации биоты к суровым условиям тайги. Роль ионов алюминия и угольной кислоты в кислотообразовании вторична. К тому же методика определения обменной кислотности требует унификации, поскольку применение реагента KCL некорректно: мобилизация ионов Al^{3+} в почвенный раствор в подзолах тайги происходит под воздействием органических кислот и ФК. Традиционный подход определения обменного алюминия основывается на принципах химии и приемлем для почв агроландшафтов. Для нативных экосистем тайги он оказывается необоснованным. В усилении кислотности и миграции ионов металлов важную роль играет комплексообразование: участие в нём органических лигандов ВОВ с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами.

Процессы глее- и подзолообразования в подзолах, развитых на двучленах, хранят ещё много загадок. Некоторые из них мы дальше попытаемся охарактеризовать. Первая из них, как ранее отмечено, связана с периодической сезонной вуализацией (маскировкой) белёсого подзолистого горизонта в серый цвет водорастворимыми органоминеральными комплексными соединениями Fe и Mn, мигрирую-

щими из лесной подстилки [22]. Экологические аспекты этого механизма нам пока неясны. Вторая обусловлена современной трансформацией веществ иллювиально-железистого горизонта (коллоидов гидрогелей гидроксида Fe) под влиянием мигрантов — ВОВ с кислотными свойствами (см. рис. 2). Экологическая природа этого явления также пока неясна, но в полевых опытах выявлено, что она имеет сезонный характер: в засушливые летние месяцы идёт активная минерализация растительного опада, а нисходящий масштаб миграции ВОВ из лесной подстилки оказывается незначительный. В этом случае воздействие кислотных компонентов ВОВ на коллоиды гидрогелей гидроксида железа в горизонте V_f оказываются незначительными: ВОВ здесь аккумулируются. Наряду с этим в засушливый сезон в подзоле возможно восходящее подтягивание влаги вместе с гидрозолями $Fe(OH)_3$, которые, осажаясь на частицах песка горизонта E, маскируют его в бурый цвет. В дождливые летние периоды (они наиболее типичны для тайги, как и оглеение почв), а также осенью и весной резко увеличивается мобилизация ВОВ в раствор из лесной подстилки, а масштаб их водной миграции в почве достигает максимума. При избыточной сорбции компонентов ВОВ коллоидами $Fe(OH)_3$, гор. V_f наблюдается биогеохимическая мобилизация в почвенный раствор ионов железа, формирование устойчивых и мобильных Fe-фульватных комплексов и их миграционное перераспределение в профиле двучлена. В результате иллювиально-железистый горизонт V_f может полностью в профиле «исчезнуть», а под лесной подстилкой образуется очень мощный белёсый горизонт, нередко смыкающийся с контактно-осветлённым аналогом. В этом случае почву можно ошибочно диагностировать как сверхмощный подзол. На самом деле и в том, и в другом случае была одна и та же почва, в которой реализуется сезонная динамика различных форм соединений железа. Данный пример показывает влияние динамики почвенных процессов на таксономию почв. Третья загадка связана с уникальной ролью контактно-оглеенного горизонта, являющегося своеобразной «фабрикой» коллоидов Fe, Al, Mn, Si, которые участвуют в цементации песчаного мелкозёма профиля микроподзола в засушливые сезоны [8]. Коллоиды Fe, Al, Mn, Si играют важную роль как в восходяще-нисходящих миграционных процессах, сорбции мигрантов, так и в структурной матричной миграции мелкозёма подзолов. Эти явления пока обоснованы неполно. На склонах холмов и увалов тайги по контактно-осветлённому горизонту наблюдается активный латеральный перенос мигрантов к местным базисам эрозии, где наблюдается масштабная аккумуляция мигрируемых химических соединений. Образуются плитки, желваки и крупные Fe-, Mn-конкреции [5, 23, 25]. Коллоидные формы переходных металлов активно сорбируют ВОВ и ионы иных мигрантов. Диагностика горизонтов микроподзола затруднена, что видно на рисунке 1 (справа).

В экосистемах тайги экологические функции почв тесно связаны с водорастворимыми органическими веществами, содержащими в своём составе разнообразные органические кислоты и их соли — гетерополярные, комплексные и иные. В экосистемах тайги ВОВ выполняют следующие экологические функции: аллелопатическую, кислотную, миграционную, биохимическую, комплексообразующую, окислительно-восстановительную транслокационную и некоторые другие [8, 18]. С помощью ВОВ таёжная биота эффективно адаптируется к гумидным условиям существования, а биогенное кислотообразование и миграция веществ служат своеобразными индикаторами функционирования таёжных экосистем (таблица). Необходимо подчеркнуть, что биодegradация ВОВ в таёжной экосистеме характеризует взаимосвязь между таёжной древесно-кустарничковой растительностью, мхами и лишайниками, с одной стороны, и микроорганизмами — с другой (см. рис. 5). Начальный этап процесса

Экологическая оценка процессов глее- и подзолообразования и их взаимосвязь с фациальными функциями почв тайги Европейской России

Основные функции почв и процессы	Характеристика нативных процессов почвообразования	
	подзолообразование	глееобразование
1	2	3
Почвы лесных (таёжных) ландшафтов		
I. <i>Биогеохимические функции</i> , связанные с миграцией и трансформацией веществ в экосистемах тайги: а) биогенная миграция, б) абиогенная миграция.	а) Таежные экосистемы (высшие растения, мхи, лишайники, микрофлора — грибы (и их продукты). б) Вода как фактор перераспределения веществ в профиле почвы, ландшафте.	а) Анаэробные микроорганизмы (и продукты их жизнедеятельности). б) Вода как фактор гидролиза поливалентных металлов; вода + водорастворимые органические вещества (ВОВ) как фактор кислотного гидролиза коллоидов и минералов.
II. <i>Ландшафтно-геохимические условия</i> : а) тип элементарного геохимического ландшафта (ЭГА), б) характер миграции продуктов почвообразования, в) почвенно-геохимические барьеры, г) залегание почв по рельефу.	а) Автономный (элювиальный) и транзитно-элювиальный, б) Биогенный и абиогенный циклы миграции. в) Биогенный, карбонатный, окислительный, кислотный (гор. EL-накопление SiO ₂). г) Почвы плакоров, склонов моренных гряд, холмов и выположенных увалов, а также речных и озерных террас.	а) Супераквальный и субаквальный (и подводный). б) Диффузия и коллоидная миграция ионов Fe, Mn, Al и Si. в) Глеевый (без H ₂ S); сероводородный. г) Почвы низин, болот, зарастающих озер и депрессий в таёжных ландшафтах.
III. <i>Оценка биогеохимического круговорота (БИКа) (тайга)</i> .	Биомасса — 500-3000 (ц га ⁻¹), прирост — 40-80 (ц га ⁻¹).	Точная диагностика затруднена.
IV. <i>Почвенно-биогеохимическая обстановка таежной экосистемы</i> : а) окислительно-восстановительные условия, б) преобладающие катионы в почвенно-поглощающий комплекс (ППК), в) характер превращения наземного растительного опада, г) образование и превращение групп гуминовых соединений (ГС), д) реакции, типичные для превращения почвенных минералов, е) водный режим	а) Eh > 350 мВ. б) H ₃ O ⁺ и Al ³⁺ (дефицит Ca ²⁺). в) Биогенное кислотообразование в таёжной экосистеме, минерализация ВОВ, их миграция: формирование при этом в гор. А ₁ , EL и EL/V группы ФК. г) В кислом интервале pH биополимеры типа ГС не формируются. Доминируют ВОВ с низкими молекулярными массами (ММ < 10 000 дальтон). д) Доминирует биогеохимическое выветривание при активном участии растений и ВОВ. Гравитационные потоки влаги устраняют разобщенность зон мобилизации и взаимодействия ВОВ с минералами почвы. Сорбция ВОВ минералами, имеющими наибольшую сорбционную емкость. е) Промывной, КУ более 1.	а) Eh < 350 мВ (нередко < 0). б) H ₃ O ⁺ , Fe ²⁺ (м.б. Ca ²⁺ , Al ³⁺). в) Биогенное кислотообразование с участием микрофлоры (в горизонтах почвы) — накопление кислот в составе ВОВ. г) В зависимости от величины pH и наличия ионов Ca ²⁺ процесс образования ГС может быть как активным, так и заторможенным. д) Доминирует биохимическое выветривание при активном участии анаэробной микрофлоры и ВОВ (как энергетического фактора). Динамичны реакции трансформации веществ: гидратация минералов, гидролиз поливалентных металлов и кремния; образование коллоидных систем. Сорбция ВОВ коллоидами. Модификация и ВОВ, и самих коллоидов. Активный этап «быстро» затухает. е) Застойный (грунтовое оглеение)

1	2	3
<p>V. Особенности почвенно-геохимической миграции продуктов почвообразования:</p> <p>а) Разнообразие мигрантов и их формы.</p> <p>б) Уровень организации процессов и дальности миграции мигрантов.</p>	<p>а) Формы миграции веществ ионно-молекулярные, органоминеральные комплексные соединения; локальный перенос тонкодисперсных частиц при дефиците ВОВ и «под защитой» ВОВ; оглеение отдельных горизонтов подзолистых почв, например, развитых на двучленах.</p> <p>б) Почвы таёжных экосистем и сопряженных геохимических ландшафтов; характерна дальняя водная миграция комплексных соединений.</p>	<p>а) Формы миграции веществ — коллоидная, органоминеральные комплексы, диффузия ионов в оглеенных горизонтах.</p> <p>б) Глеевые горизонты полугидроморфных и гидроморфных почв тайги; частичный вынос веществ-мигрантов в депрессии и в местные базы эрозии (речные системы и озёра).</p>
<p>VI. Процессы почвообразования тесно связаны с функционированием таёжных экосистем.</p>	<p>Биогенное кислотообразование. Биогеохимическое выветривание. Биогеохимическая миграция. В песчаных подзолах активное образование и накопление в гор. В молекул фульвокислот. В суглинистых подзолистых почвах фульвокислоты в составе ВОВ участвуют в лессиваже. При поверхностном оглеении возможно совместное проявление элювиально-глеевого процесса.</p>	<p>Анаэробизис: подстилкообразование, накопление промежуточных (недоокисленных) органических соединений. Слабый кислотный гидролиз, формирование коллоидных систем и ассоциатов органических молекул. Кольматация, сегрегация Fe, Mn. Оглинение иллювиальных горизонтов. Лессиваж. Образование газов с восстановительными функциями. Активизация диффузии.</p>
<p>VII. Реализация почвенных процессов.</p> <p>Уровень организации веществ в агроландшафтах иной в сравнении с таёжными экосистемами. Почвенный покров часто не защищён растительностью, что способствует эрозии. В этих условиях двучленные профили «теряют» покровные слои, и в аграрную сферу вовлекаются плотные иллювиальные горизонты В, почв.</p> <p>Субстантивный подход в классификации должен учитывать положение почв в ландшафтах. Пахотные почвы нужно сравнивать с фоновыми — лесными аналогами.</p>	<p>Направленность процесса подзолообразования изменяется: биогеохимический вектор миграции, характерный для таёжной экосистемы, изменяется в основном на почвенный; устанавливается незамкнутый биогенный круговорот веществ. Подзолообразование становится сопутствующим оглеению процессом. Аграрные экосистемы функционируют 3-4 мес., при этом из таёжных почв с урожаем ежегодно отчуждаются значительные массы доступных форм $C_{орг}$, P, N, K, S, Ca и Mo, В Без удобрений, $CaCO_3$ и травосеяния невозможно интенсивное возделывание с.-х. культур и регулирование почвенного плодородия. Факторы почвообразования задают функции почв и направленность почвенных процессов, а последние определяют свойства почв.</p>	<p>Глееобразование становится ведущим почвенным процессом. В нижней части пахотных горизонтов дерново-подзолистых почв обычно формируется плотная «плужная подошва». Здесь усиливается оглеение и появляется тёмно-серая окраска этого слоя почвы (часто в намытых почвах). Его некорректно называют как «второй гумусовый горизонт». Продукты элювиально-глеевого процесса почвообразования при водной миграции проникают в нижние горизонты почвы. В зонах активных физико-химических взаимодействий образуются серовато-белёдые «затёки» из гидро- и оксидов Si; отмечено формирование гор. ELg даже в окультуренных дерново-подзолистых почвах. Уменьшение доз удобрений и извести приводит к возврату свойств почв, как и у лесных аналогов.</p>



Рис. 5. Справа — сорбционный лизиметр, извлечённый из дерново-подзола на двучленах. Бурные частички — гранулы катионита КУ-2 в H^+ форме, белесые — частицы кварцевого песка, которые плотно опутаны гифами плесневых грибов-кислотообразователей; слева — профиль дерново-подзола в мае. Отчётливо видна фронтально-линзовая водная миграция ВОВ в супесчаных слоях A_{11} , E и B_r ; ВОВ способствуют диффузионной сегрегации конкреций Fe , Mn (2008) ¹

гумификации растительного опада в новые органические вещества характеризуется формированием ионно-молекулярных форм ВОВ, экологически выгодных таёжной биоте. Процессы конденсации и полимеризации молекул ВОВ в сложные структуры сильно заторможены вследствие дефицита ионов Ca^{2+} , азота и избытка ионов водорода. Данные процессы завершаются стадией образования химически активных водорастворимых фульвокислот (ФК) с ярко выраженными кислотными, аллелопатическими и комплексообразующими свойствами. Молекулы ФК представляют собой устойчивые к биодegradации компоненты ВОВ [21, 22]. В их составе всегда идентифицируются комплексные Fe -органические соединения. ВОВ, таким образом, выступают важным связующим звеном между процессами фотосинтеза и гумусообразования в таёжной экосистеме. Становится более понятной картина начального этапа таёжного гумусообразования и формирование гумусового профиля подзолов: в составе компонентов ВОВ, выщелачиваемых атмосферными осадками из лесных подстилок, уже содержатся «готовые» молекулы фульвокислот¹ как образцы структур новых мобильных органических веществ (это важно для авто каталитических реакций). Функции высокомолекулярных ГВ в таёжных экосистемах выполняют биополимеры растительного опада и лесной подстилки — лигнин, клетчатка, гемицеллюлозы и др. В хорошо аэрируемых песчаных подзолах европейского Севера моле-

¹ В отличие от ВОВ молекулы фульвокислот (ФК) более устойчивы к биодegradации. Они накапливаются при хорошей аэрации, в частности в подзолах, на иллювиально-железистом барьере миграции. В горизонте B_r содержится 1,4-2,7% $C_{орг}ФК$, или 1,4-2,7 г/100 г почвы. На всю массу слоя гор. B^{\wedge} (360 кг/м²) мощностью 20 см масса ФК (в составе ВОВ) будет равна в среднем 7,56 кг/м². Это очень большая масса природных фульвосоединений, которые при их латеральной миграции в ландшафтах и обуславливают высокую цветность вод таёжных рек — Онеги, Сев. Двины, Мезени, Печоры, Кулоя.

кулярные структуры ФК при водной миграции закрепляются и накапливаются на частицах SiO_2 , покрытых плёнками гидрогелей гидроксида Fe иллювиального горизонта, в результате чего образуются подзолы иллювиально-гумусово-железистые на борových террасах рек европейского Севера. При этом не исключена сборка молекулярных структур ФК *in situ* в гор. В_г. Утверждение некоторых специалистов, что ФК — это артефакт аналитического способа их выделения из почв некорректно и противоречит генетическим свойствам подзолов тайги. В известной мере формирование молекул ФК отражает специфику самого подзолообразования в песчаных подзолах. Экологическая роль нативных ФК, несмотря на интересные работы [7, 10, 11, 23-27], пока необоснована. Индивидуальные органические вещества в составе ВОВ активно формируются при оглеении почв подзолистого типа и, по-видимому, являются «заготовками» для молекул ФК. Можно предположить, что с помощью ВОВ кодируется и передаётся по трофическим цепям генетическая информация. ВОВ участвуют в поддержании устойчивости и самоорганизации молекулярных структур гумуса почв. В этой связи фотосинтез и гумусообразование определяют динамическую устойчивость таёжных экосистем, их неравновесное состояние и развитие через флуктуации.

Заключение

Рассмотрены и проанализированы экологические аспекты, а также уровни реализации глее- и подзолообразования в экосистемах южной и средней тайги. Подзолообразование охватывает самый высокий экосистемный уровень: биогеохимический круговорот (биогенную и абиотическую миграцию), а оглеение — это горизонтный почвенный (биохимический) процесс, протекающий с участием анаэробных микроорганизмов. Он связан с трансформацией почвенных минералов, формированием коллоидов и органоминеральных соединений при обязательном присутствии компонентов ВОВ. Оглеение может выступать в качестве ускорителя подзолообразования, если в почвах таёжной экосистемы имеется временный (сезонный) избыток влаги и ВОВ. Глее- и подзолообразование являются самостоятельными почвенными процессами и характеризуются разными движущими силами и продуктами почвообразования. В определённых условиях возможно их совместное проявление на уровне почвенно-экологического процесса. В почвах агроландшафтов тайги ведущее место занимает глееобразование, а оподзоливание становится сопутствующим процессом. Большой фактический материал, накопленный отечественными и зарубежными специалистами, позволил сформулировать следующие гипотезы подзолообразования: коллоидно-химическую, физико-химическую, биохимическую, биогеохимическую. Каждая из них имеет свои сильные и слабые стороны. Концепции, основанные на лабораторном моделировании, излишне преувеличивали, например, роль угольной кислоты в разрушении почвенных минералов. Угольная кислота очень слабая и не может составить конкуренции ни органическим кислотам, ни тем более ФК. Указанные выше гипотезы дополняют другие, позволяя осмыслить этапы генезиса почв и процессы почвообразования. Так, несмотря на различия представлений о механизмах оподзоливания, установлено, что профиль ГДП формируется благодаря кислотному гидролизу почвенных минералов в элювиальном песчаном наносе и иллювированию (перераспределению) в подстилающий тяжелосуглинистый слой продуктов почвообразования. При этом существуют три точки зрения на механизмы перераспределения мигрантов. Первая — внутрипрофильная водная миграция веществ в растворах; вторая — биогенная миграция — вовлечение химических элементов в биомассу биоты и третья — биогеохимическая миграция, которая включает первые два механизма.

Взгляды российских специалистов на важную роль суспензионного переноса частиц пыли и ила в формировании суглинистых подзолистых почв вначале не находили поддержки у своих коллег. Но после работ европейских исследователей Duchaufour (1951), Dudal (1953), Kubiena (1951), Muckenhausen (1958) интерес к концепции перераспределения тонкодисперс-

ных частиц без их разрушения в профилях почв, развитых на двучленах, возник снова. Впоследствии была сформулирована и обоснована известная концепция лессиважа в суглинистых почвах подзолистого типа тайги. Дальнейшие работы позволили установить полигенетичный характер профилей ГДП, оценить экологическую роль глее- и подзолообразования в нативных и аграрных экосистемах тайги.

Библиографический список

1. Герасимов П.П. Глеевые псевдоподзолы Центральной Европы и образование двучленных покровных наносов // Известия АН СССР. Сер. геогр., 1959. № 3. С. 20-30.
2. Глазовская М.Л., Лебедев П.П., Геннадиев А.Н. Опыт анализа генетического профиля дерново-подзолистой почвы на покровных суглинках. В Сб. Геохимические и почвенные аспекты в изучении ландшафтов. М.: МГУ, 1975. С. 5-25.
3. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука. 1990.
4. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь. С.- Петербург: Типография Е. Евдокимова, 1892.
5. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука, 1974.
6. Карпачевский Л.О., Стrogанова МН. Общие закономерности почвообразования в лесной зоне: В Сб. Почвообразование в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1989. С. 5-12.
7. Кауричев П.С. Подзолообразование и поверхностное оглеение почв // Известия ТСХА. Вып" 2. С. 119-128.
8. Кауричев НС., Яшин НМ. Образование водорастворимых органических веществ в почвах как стадия превращения растительных остатков // Известия ТСХА, 1989. Вып. 1. С. 47-57.
9. Кашанский АД. Подзолистые почвы на двучленных наносах Европейского Севера России: В Сб. Современные почвенные процессы. М.: ТСХА, 1974. С. 45-61.
10. Пономарёва В.В. Теория подзолообразовательного процесса (биохимические аспекты). М.: Наука, 1964.
11. Роде АЛ. К вопросу о боподзоливании и лессиваже // Почвоведение, 1964. № 7. С. 9-22.
12. Соколов П.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 2004.
13. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. С. 218-221; 240-246.
14. Таргульян В.О., Соколова Т.А., Бирин А.Г. и др. Организация, состав и генезис дерново-подзолистой почвы на покровных суглинках. Аналитическое исследование. М.: Наука, 1974.
15. Тонконогов В.Д. Особенности наложенного альфегумусового подзолообразования в профиле глинисто-дифференцированных почв: В кн. Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России. М.: РАСХН, 1997. С. 120-127.
16. Шишов Л.Л., Кауричев П.С., Большаков В.А., Муромцев Н.А., Яшин П.М., Орлова Л.П. Лизиметры в почвенных исследованиях. М.: РАСХН, Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 1998.
17. Яркое С.П. Образование подзолистых почв. М: АН СССР, 1954.
18. Яшин П.М., Карпачевский Л.О. Экогеохимия ландшафтов. М.: Изд-во МСХА, 2010.
19. Яшин П.М., Кузнецов П.В., Буринова Б.В. Исследование барьеров миграции в почвах Лесной опытной дачи РГАУ - МСХА имени К. А. Тимирязева // Известия ТСХА, 2010. Вып. 3. С. 9-23.
20. Яшин П.М., Черников В.Л., Карпунин А.Н., Пельтцер А.С. Влияние железофульватных комплексов на поступление фосфора в проростки кукурузы // Известия ТСХА, 1990. Вып. 1. С. 57-68.

21. Яшин П.М., Карпунин А.И., Платонов П.Г., Черников В.А. Статика сорбции водных растворов фульвокислот доломитизированным известняком // Известия ТСХА, 1991. Вып. 4. С. 17-31.

22. Яшин П.М., Мухин Е.В., Карпунин А.И. Эколого-геохимическая характеристика почв лесных и лесопарковых ландшафтов низовья р. Сев. Двины // Известия ТСХА, 2004. Вып. 4. С. 19-37.

23. Bloomfield C. A study of podsolization. Part 1. // J. Soil Sci., 1953b. V. 4. P. 5-16.

24. Duda R. Etude morphologique et genetique // Agriculture, Louvain, 1953. Oct. P. 15-31.

25. Duchaufour Ph. Lessivage et podsolization // Rev. Forest. Franc., 1951. № 10. P. 31-43.

26. Kubiena W.L. Zur Micromorphologie, Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lossboden, Eiszeitalter und Gegenwart., 1956. Bd. 7. S. 27-29.

27. Muckenhausen E. Wasserhaushalt der Pseudogley und dessen Bedeutung fur die Pflanzen. Verhandl. II und IV Koiniss. Int. Bodenk. Ges, 1958. Bd. 2.

Рецензент — д. б. н. М.А. Мазиров

SUMMARY

Ecological aspects of both gley and podzol formation processes in boreal coniferous forest podzols and their realization levels are being considered in the article. On the one hand, soils are investigated by us as “independent historical bodies” (according to Dokutchaev, 1892), on the other hand - as irreplaceable components and products of taiga ecosystem. This dualism allows to reveal the following contradictions when assessing boreal coniferous forest soils genesis, more fully substantiate their facies functions in terms of ecological attitude. The role of both gley and podzol formation processes in transformation and migration of substances, formation of limiting ecological factors in agroecosystems soils has been proven in the article.

Key words: gley and podzol formation, acid hydrolysis, glazing, organic mineral complexes, migration, biogenic acidity, podzols on binomials, taiga ecosystem.

Яшин Иван Михайлович — д. б. н. Эл. почта: ivan.yasliin2012@gmail.com

Петухова Анастасия Александровна — аспирант каф. экологии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел. (499) 976-45-60.

Грачев Дмитрий Александрович — аспирант каф. экологии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел. (499) 976-45-60.