

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 574.2:631.484

А.В. Захарченко, Л.А. Изерская, Л.К. Цыцарева, В.Н. Тучак

Обособленное структурное подразделение «Научно-исследовательский институт биологии и биофизики Томского государственного университета» (г. Томск)

БИОГЕННОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ ПОД МИНЕРАЛЬНЫМИ КОЧКАМИ *EMPETRUM NIGRUM* В ПСЕВДОФИБРОВЫХ ПОДЗОЛАХ

*В супесчаных почвах Кольского Севера под минеральными кочками *Empetrum nigrum* обнаружены морфологические структуры, формирующие сложные внутрипочвенные конструкции. Под кочками растворяется псевдофибровый пэн. Из этого материала формируются стенки цилиндра, окружающие внутренние морфоструктуры минеральной кочки: грибовидное тело и бассейн. Структуры зрелой кочки обуславливают водоудерживающую и поглощательную способности, перехватывают и направляют поверхностный сток влаги.*

Ключевые слова: псевдофибра; подзол; Кольский Север; *Empetrum nigrum*.

Исходя из существующей в почвоведении профилно-генетической парадигмы, вертикально тело почвы разделяется на слои-горизонты, а горизонтально – на ареалы, различающиеся по свойствам диагностических горизонтов. Неоднородность почв внутри почвенного ареала отмечалась многими исследователями. В.М. Фридланд [1] рассматривал её как гетерогенные элементарные почвенные ареалы со спектрами почв. Объекты, отличающиеся от окружающих почв, чаще всего являются результатом специфичных процессов, имеющих не только вертикальную, но и горизонтальную составляющую потоков вещества, энергии, информации. Неоднородности в виде почвенных комбинаций могут образоваться как результат единого почвообразовательного процесса внутри ареала [2]. Они присутствуют как пространственно локализованные объекты, например пятна-медальоны в тундре, которые являются объектами самостоятельного почвообразования. Почвенные ареалы, имеющие такие объекты, были определены как гетероземы [3]. Термин «гетерозем» не является общепринятым, хотя основывается на традиционной профилно-генетической парадигме. Его можно рассматривать как попытку спрятать «неудобные» для почвоведения объекты под новым термином. А ведь их диагностика, присутствие внутри ареала специфических почвенных объектов являются дополнительными качествами, отличающими его от других ареалов, где таковые отсутствуют.

Известно, что растительность оказывает разнообразное воздействие на почвы [4–8]. Ранее нами показано, что рост корней деревьев механически

воздействует на почву, оставляя след дерева, наблюдаемый длительное время [9]. Почвы ветровального комплекса по своим морфологическим и химическим свойствам существенно отличаются от окружающих лесных почв [4, 5, 10]. Механические фитогенные педотурбации представляют собой наиболее простые явления, формирующие пятнистость почвенного покрова. Кроме того, можно легко представить достаточно большой круг явлений (процессов), вызывающих появление биогенных почвенных образований (БПО). БПО как система могут быть описаны набором специфичных почвенных морфологических структур (ПМС). Под ПМС будем понимать конструкционно-целостное трехмерное образование, сформированное живым организмом из материалов, произведенных процессами почвообразования, имеющих свои функции и повторяющиеся в общем виде на множестве объектов. БПО рассматриваются не как досадное недоразумение, нарушающее общую закономерность, а как источник информации о процессах биогенного почвообразования на фоне основного зонального почвообразования.

Идея исследования основана на том, что в приморских долинах на легких породах формируется железистый псевдофибровый пэн (PF-пэн) из перемежающихся слоев песка, сцементированного гидроокислами железа и железоорганическими соединениями, напоминающий слоеный пирог. Некоторые растения способны растворять его [11]. Предположено, что растения из этого материала могут образовывать специфичные морфологические структуры, способствующие выживанию вида в крайне олиготрофных местообитаниях. Если структуры ПМС функционально значимы для растений, то строение ПМС должно изменяться при изменении факторов почвообразования. Таким образом, целью работы является изучение морфологического строения БПО в различных экологических условиях постледникового ландшафта.

Описанные в работе почвенные структуры, сформированные растением из железоорганических соединений, могут быть примером закрепления песков в различных гидрогеологических условиях с использованием композиционных материалов.

Материалы и методы исследования

Площадки наблюдения расположены в долине с ярко выраженным ледниковым комплексом: конечные морены, озы, песчаные гривы и озера. В качестве объектов исследования БПО рассмотрены иллювиально-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые подзолы на делювии сиенитовых нефелинов Кольского полуострова. Морфологическое строение и физико-химические, химические свойства подзолов Кольского Севера подробно изучены [12].

Морфологическая изменчивость мощности деятельного слоя до первой псевдофибры (PF), положения границ горизонтов E, Bf, Bfh изучены на стенках 3 траншей, заложенных на разных элементах рельефа. Измерения проведены с помощью металлической линейки на двух стенках траншеи от поверхности почвы. Результаты наносились на планшеты с миллиметровой в масштабе 1:5.

На песчаных гривах и склонах вскрыты минеральные кочки водяники. Предварительно изучены разновозрастные морфоструктуры на вертикальных срезах. Просмотрено 12 кочек водяники разных стадий формирования ПМС. Проведено сравнительно-морфологическое изучение морфоструктур в почвах в различных экологических условиях, на разных элементах рельефа: выровненные участки, склоны под минеральными и органическими кочками *Empetrum nigrum*.

Исследование ПМС проводилось комбинацией вертикальных и горизонтальных срезов. Сложные по строению минеральные кочки водяники при морфологических исследованиях разрезаются вертикально через центральную часть купола. ПМС зарисовывается в масштабе 1:5. После чего они дополнительно подвергаются горизонтальным срезам.

Для изучения изменчивости морфоструктур минеральной кочки водяники по отношению к их положению в рельефе заложена траншея на склоне песчаной гривы, вскрывающая весь псевдофибровый каркас гривы. Для зарисовки видимых структур на вертикальных и горизонтальных срезах использован полевой пантограф.

Результаты исследования

Взаимоотношения в растительном сообществе

В условиях субарктики формируются простые крайне олиготрофные растительные сообщества на зандровых песчаных отложениях, состоящие из 3 основных компонентов: березы (*Betula pubescens*), водяники (*Empetrum nigrum*) и накипных лишайников (*Cladonia*). Основной ствол березы отмирает, активизируются почки, расположенные вокруг корневой шейки, дающие боковые побеги. В результате береза приобретает форму куста. Семенное размножение березы затруднено. Проростки обнаружены только на участках с нарушением сложения почв (например, вездеходные колеи). Древостой разрежен, и стволы расположены на удалении друг от друга от 5 до 15 м.

Вегетативно подвижная водяника всегда присутствует в приствольном участке березы, а также создает самостоятельные кочки. Растение использует три стратегии выживания в суровых условиях Кольского Севера: сплошной покров, органическая кочка, минеральная кочка. Первая реализуется на склонах гор, щебнистых моренах, озах, оставленных после последнего покровного оледенения. В этих местах формируются примитивно-щебнистые литосоли с отсутствием подзолистого горизонта. Водяника образует сплошной покров с мощным листовым опадом. В этих условиях кочки не образуются. Такой покров гомологичен дерновому горизонту. Здесь гомология понимается в широком эколого-морфологическом смысле. На переувлажненных участках вблизи озер водяника образует органические кочки из переплетенных между собой упругих стеблей, свободное пространство в которых заполнено опадом листьев и веточек. Эти образования гомологичны кочкам осоки и злаков, но, по сути, отличаются от таковых, т.к. их строительной основой является стебель, а не корневища и корни. Третья форма жизненной стратегии водяники –

это минеральная кочка. Они образуются на песчаных гривах, занятых иллювиально-железистыми и иллювиально-железисто-гумусовыми подзолами. В качестве гомолога можно представить скорее муравейник, потому что она имеет сложное трехмерное строение.

Формирование стратегий выживания водяники осуществляется в условиях жесткой конкуренции за факторы жизни – пространство, минеральное питание и солнечный свет. Особенно напряженные отношения возникают между водяникой и накипными лишайниками на легких породах. Стратегия водяники, направленная на захват пространства (минерального питания), на начальном этапе развития кочки выражается в создании веера побегов, которые сверху ложатся на олений мох, затеняя его. Под натиском веточек водяники лишайник расступается, междоузлия достигают поверхности и дают корешки, закрепляющие ветку на почве. На этой стадии водяника эффективно наступают на олений мох. По мере удаления от центра кочки плотность веток уменьшается из-за увеличения длины окружности. Накипной лишайник обрастает побеги водяники, лишая их света. Ветки, укоренившись, поднимаются вверх. Вокруг кочки на расстоянии 2–3 м образуется круг вертикально торчащих веточек. Отдельные побеги продолжают расти дальше. Вслед за первым водяника формирует следующий круг вертикальных веток,двигающийся в том же направлении.

Количество кругов указывает на стадию развития кочки. Ветки водяники могут удаляться на значительное расстояние от кочки. Так, например, одна из таких веток растет от кочки в центре поляны радиально и достигает длины 11 м. Затем она включается в общий встречный фронт веток водяники,двигающийся от ствола берёзы, и резко поворачивается на 90° от первоначального направления своего движения. Общая длина ветки достигает 12,5 м. Предварительные измерения расстояния между мутовками годового прироста водяники показывают, что среднегодовой прирост ветки составляет примерно 10 см. Исходя из этого значения ежегодного прироста, получается, что возраст кочки водяники составляет 110–130 лет. Использована временная шкала относительного возраста ПМС, основанная на длине стеблей: начальная стадия развития БПО водяники не превышает 0,5 м, молодая стадия – от 0,6 до 1,5 м, средневозрастная – от 1,5 до 5 м, а стадия зрелой кочки – более 5 м. Обнаружены необитаемые минеральные кочки водяники с характерными внутренними структурами.

Морфология почв и строение минеральной кочки

Морфологическое строение иллювиально-железистых подзолов на делювии сиенитовых нефелинов достаточно простое. Белый, белесый с розоватым оттенком (эвдиалит) горизонт Е с большим количеством нефелина формируется с поверхности мощностью 11–12 см. В нижней части горизонта Е материал имеет ржаво-охристую окраску и выделяется как иллювиально-железистый (Bf) мощностью 5–10 см. Под ним прочный сцементированный железо-окисными и железо-органическими соединениями слой толщиной 1–3 см, представляющий первый слой PF-пэна. PF-пэн – это перемежающиеся

слои рыхлого и цементированного оксидом железа песка. Общая мощность пэна 30–50 см, в некоторых случаях более 100 см. Толщина слоев приблизительно 1,5–2 см. Количество и толщина слоев пэна значительно варьируют от места к месту. В случае толстых псевдофибр формируются вертикальные стенки, образующие трехмерный каркас. В результате возникает структура, напоминающая кирпичики, твердые стенки которых состоят из оксидов Fe и Fe-органики, а внутренняя часть представлена рыхлым песком (супесью), покрытым тонкими железистыми пленками. Псевдофибры широко распространены в почвах легкого гранулометрического состава [12, 13].

Верхний слой от почвенной поверхности до PF-пэна (~16–23 см) является деятельной корнеобитаемой частью иллювиально-железистых подзолов. Прослеживаются резкие изменения глубины границ поверхностных слоев на отдельных участках, занятых березой и водяникой (рис. 1).

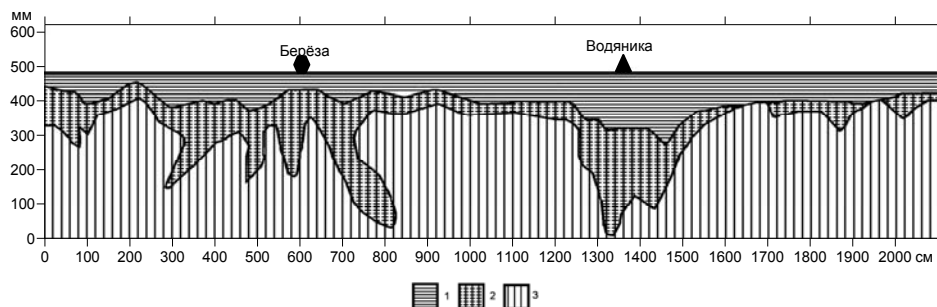


Рис. 1. Границы верхних горизонтов иллювиально-железистого подзола (E и Bf) на стенке траншеи 21 м: 1 – иллювиальный горизонт (E); 2 – иллювиально-железистый (Bf) и растворенная часть PF-пэна + (Bf) под березой и водяникой; 3 – PF-пэна; ▲ – положение центра купола кочки, ● – положение комля березы

Корни березы уходят от ствола горизонтально на десятки метров и выстилают верхний псевдофибровый слой. Непосредственно под стволом происходит разрушение PF-пэна, при этом каждый корень, растущий вниз, действует индивидуально, образуя свой «рукав». Береза способствует растворению верхних, наиболее твердых слоев PF-пэна. На рис. 1 под березой 4 корня образовали 4 «рукава». Корни водяники используют пространство, освобожденное берёзой от псевдофибры, поэтому водяника формирует с берёзой ассоциацию. Однако водяника самостоятельно способна растворять PF-пэн и выстраивать свои ПМС внутри минеральных кочек в виде тонких PF-структур, представляющих единую конструкцию (рис. 2).

На поверхности почвы формируется купол кочки в виде выпуклой возвышенности нанорельефа высотой 5–10 см. Диаметр кочек изменяется в интервале 20–60 см. Зрелая кочка водяники представляет достаточно сложное пространственное образование. Сверху ее покрывает небольшой мощности торфяной горизонт, сформированный из мхов и листьев, корней, стеблей водяники.

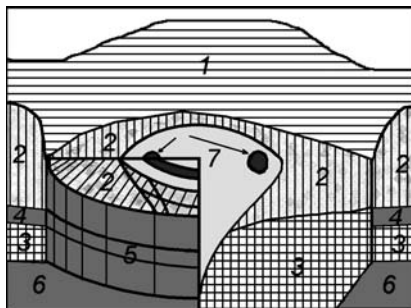


Рис. 2. Схема строения «зрелой» минеральной кочки водяники на псевдофибровых илювиально-железистых подзолах, развитых на отложениях сиенитовых нефелинов.

- Элементы строения: 1 – материал элювиального горизонта (E); 2 – вертикальный срез илювиально-железистого горизонта (Bf), также показан горизонтальный срез; 3 – отмытые от железистых пенек песок, внутри кочки – бассейн; 4 – PF; 5 – боковая вертикальная псевдофибровая стенка, окружающая бассейн; 6 – горизонтальная плоскость PF; 7 – материал, аналогичный илювиально-железисто-гумусовому горизонту (Bfh), напоминающие грибовидное тело (ГТ), стрелкой показана уплотненная корнями часть грибовидного тела темно-бурого или черного цвета на вертикальном и горизонтальном срезах

Под торфяным горизонтом или вместо него может образоваться тонкий (1–3 см) грубогумусовый A_1 . Он формируется в толще материала белесого подзолистого горизонта (E). Его мощность обычно больше на кочках, чем вне них. Снизу горизонт E имеет охристую, буровато-охристую окраску (Bf). По виду это материал горизонта E, покрытый охристыми и бурыми пленками. В его нижней части вырисовывается бурое или черно-бурое тело, по форме напоминающее гриб (Bfh). В грибовидном теле отмечается наибольшее количество корней водяники. Наиболее интенсивно прокрашена центральная часть грибовидного тела, которая на вертикальном срезе имеет вид бабочки. В ножке грибовидного тела иногда присутствуют остатки псевдофибры, примерно на тех глубинах, где она могла бы находиться при отсутствии водяники. Под грибовидным телом располагается «бассейн» из рыхлого отмытого песка. С боков «бассейн» оконтурен плотными бортами из железистого цемента, внутри которых заметны более темные дополнительно пропитанные остатки псевдофибр. Снизу «бассейн» подстилается PF-пэном, более влажным и пластичным по сравнению с верхней очень твердой частью PF-пэна. Иногда эти псевдофибры оглиненны.

Формирование морфоструктур минеральной кочки

Характерная морфологическая черта минеральной кочки – нанорельеф в виде купола. Предположительно, куполообразная форма кочки и увеличенная под ним мощность горизонта E обусловлена тем, что внутри кочки первич-

ные минералы подвержены глубокой переработке почвообразовательным процессом на большую мощность с образованием желтовато-сероватого минерала нефелина [14]. Причем под кочками водяники нефелина образуется несколько больше, чем вне их. В результате этого объем минерального материала кочки может увеличиться относительно окружающей почвы так, что минеральная масса выдавливается вверх в виде купола.

Примечательно, что на краю одной из песчаных грив обнаружена минеральная кочка с относительной высотой 60 см, что невозможно объяснить только выветриванием первичных минералов. На ней не было какой-либо растительности, хотя внутри остались структуры, образованные березово-шикшовой ассоциацией. Было предположено, что ведущую роль при формировании купола кочки играет плоскостная эрозия окружающей ее поверхности. Супеси на склонах гривы под ягельниками слабо закреплены, сопротивление потокам воды могут оказывать только слоевища лишайников. При разрастании накипных лишайников создается довольно плотный покров, который в некоторой степени противодействует поверхностной эрозии почвы. Влага стекает по краям слоевища лишайника, в результате чего образуются возвышения под центром слоевища и промоины по его краям. Возникает мелкобугристый нанорельеф с относительными превышениями не более 0,5 см. Такой рельеф является морфологическим признаком, указывающим на наличие плоскостного смыва материала элювиального слоя, поэтому слоевища ягеля не способны столь же эффективно противостоять эрозии, как корни водяники. В результате образуется специфическая форма купола.

На первой стадии образования кочки формируется тело округлой формы, имеющее яркую охристо-бурую окраску (Bfh) (рис. 3, I).

По мере развития кочки охристо-бурая окраска сменяется на бурую, растворяется верхний сцементированный слой (рис. 3, II). На третьей стадии развития закладываются боковые воронки, а в центральной части кочки под куполом – «бассейн», представляющий растворенную часть PF-пэна с остатками псевдофибр (рис. 3, III). В горизонтальном плане «воронка» – это желоб, окружающий кочку, заполненный материалом горизонта Vf. На четвертой стадии (рис. 3, IV) формируется боковая вертикальная псевдофибровая стенка, отделяющая тело кочки от окружения. Сверху над PF-стенкой образуется желоб вокруг кочки, который пересекает обычно три слоя псевдофибр и останавливается на четвертом. PF-стенка пересекает всю мощность PF-пэна и уходит иногда глубже. На вертикальном срезе (стенка траншеи) она выглядит тонкой темно-бурой чертой железно-гумусового цемента, оконтуривающей внутреннюю часть кочки. Вертикальная стенка плотная и твердая.

На последней стадии формируется наиболее интересная ПМС – грибовидное тело, расположенное в центральной части минеральной кочки. Интересно то, что здесь наблюдается максимальное количество корней водяники. В этой части кочки в начальной стадии формируется темно-бурое гумифицированное образование (Bfh). Оно является частью Vf, но существенно темнее по цвету. На второй стадии ГТ захватывает первую PF. Начинает образовываться два крыла ГТ. На вертикальном срезе в крыльях заметны два округлых

пятна почти черного цвета, наиболее контрастные на последней стадии формирования ПМС.

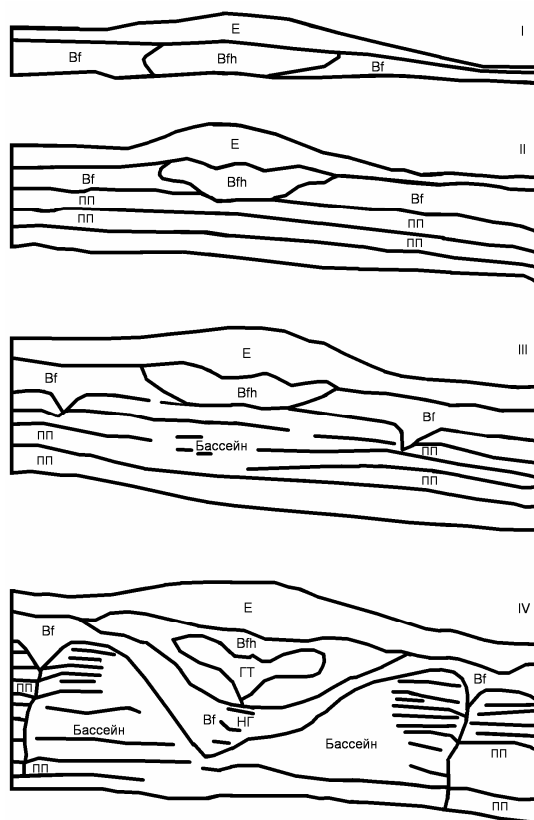


Рис. 3. Зарисовки ПМС кочек, отражающие стадии их формирования:
 I – молодая кочка, образование Bfh; II – растворение первой PF;
 III – образование боковых воронок и бассейна; IV – формирование вертикальных PF, грибовидного тела (ГТ) и ножки грибовидного тела (НГ).

Используемые обозначения: Е – подзолистый горизонт;

Bf – иллювиально-железистый горизонт; Bfh –

иллювиально-железисто-гумусовый горизонт;

ГТ – черно-бурая структура с высокой плотностью корней водяники;

НГ – вертикальная бурая структура с остатками PF; бассейн – отмытый от ила и частично от железистых пленок песок без следов разрушения

Зрелая кочка водяники (рис. 3, IV стадия) покрыта ягелем, среди которого вокруг минеральной кочки обнаруживаются редкие отдельные веточки водяники. Ветки водяники укореняются в междоузлиях, собирая химические элементы минерального питания с окружающей кочку территории и способствуют развитию корней внутри кочки. Часть корней гумусируется, формируя ГТ. Разрастаясь, корни дернины водяники вытесняют грунт, что вызывает вертикальный прирост купола кочки. Процесс формирования купола начинается проявляться уже со второй стадии развития минеральной кочки.

Рефлексия минеральных кочек на склоне

С целью выявления влияния рельефа на формирование минеральных кочек водяники была заложена траншея, вскрывающая почвы склона песчаной гривы и дна небольшой бессточной котловины. Котловина располагается между двух озер, что позволяет предположить наличие в этом месте потока грунтовых вод из одного озера в другое. По-видимому, образование котловины осуществлялось за счет суффозии. Западина имеет сухое, чашеобразной формы дно. Радиус его составляет 6 м. Относительная высота бортов западины ~ 5 м (рис. 4).

Траншея вскрыла, что все тело псевдофибрового пэна склона гривы разбито вертикальными трещинами на отдельные блоки в виде концентрических плоскостей, симметричных подошве склона. Трещина – это видимая тонкая линия буро-охристого цемента, уходящая вертикально вниз на глубину более 2 м. Из-за суффозии грунт вымывается из-под пэна, происходят просадка и его перелом, вдоль которого формируется тонкая вертикальная трещина, заполненная железистым цементом.

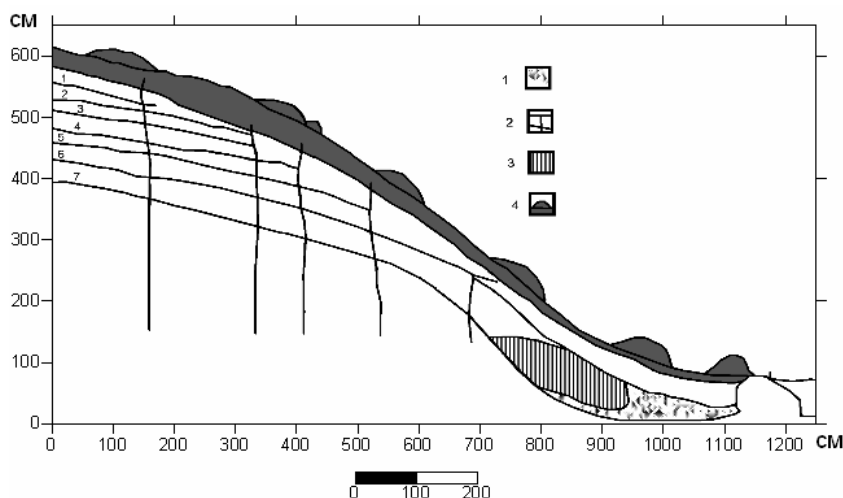


Рис. 4. Микросклон бессточной западины (псевдофибры пронумерованы сверху вниз):
1 – глеевый горизонт; 2 – вертикальные и горизонтальные PF; 3 – гидрогенная аккумуляция Fe; 4 – элювиально-иллювиальный слой с куполами кочек

На ровном месте возвышенной части гривы иллювиально-железистый подзол имеет PF-пэн, состоящий из семи PF. После каждой последующей трещины слома пэна угол наклона PF увеличивается в сторону западины, а количество псевдофибр убывает. По-видимому, верхняя часть почвы вместе с псевдофибрами срезана плоскостной эрозией, поэтому количество PF на склоне сокращается книзу. Из этого следует, что западина моложе псевдофибрового пэна по времени образования. На склоне формируются маломощные иллювиально-железистые подзолы. Мощность элювиального горизонта к

середине склона уменьшается и возрастает у подошвы. Вниз по склону нарастают гидроморфные условия, которые выражаются в том, что бурый железистый цемент теряет прочность, из бурой окраска превращается в охристую, бледнеют оксидные пленки, а темно-бурые тона грибовидного тела становятся еще более темными. В нижней части склона вскрыт участок гидrogenной аккумуляции железа. Признаки этого процесса достигают максимума на дне западины. В центре – хорошо отмытый белый песок.

На склоне внутреннее строение минеральной кочки становится асимметричным. Асимметрия выражается в изменении формы купола, который часто становится более обрывистым вниз по склону, и в смещении грибовидного тела относительно центра обычно вниз по склону. Внутри кочки сформированы «карманы», представляющие цементированный песок между РФ. Песчаные прослои между РФ, подходящие сверху по склону, выклиниваются в «бассейн» кочки. Ниже по склону в «бассейны» кочек входят более глубокие псевдофибры пэна. Борта минеральных кочек в направлении стока со склона цементируются более толстыми вертикальными РФ-структурами в виде кармана, задерживающего поток воды. На крутой части склона тело кочки растянуто, «бассейн» и грибовидное тело удлинены. В нижней части на перегибе склона грибовидное тело становится темно-бурым, а псевдофибры – мягкими. Снизу «бассейн» ограничен РФ. В самой западине внутри кочки грибовидное тело приобретает черный цвет и значительно увеличивается в размерах.

На дне западины необходимость формирования структур для перехвата влаги отпадает, но возникает потребность приподнять жизненно важные органы растения над поверхностью почвы, чтобы уберечь от избыточного увлажнения. Формируется органическая кочка, под которой наблюдается черная грубогумусовая окраска, и темная органика пропитывает песок. Центр западины (конец траншеи) отмыт от ила и железистых пленок и представляет собой с поверхности белый крупнозернистый песок.

Обсуждение результатов исследования

Специфические свойства псевдофибр

Воздействие деревьев на РФ-пэн наблюдается в почвах островов Атлантики. Пример – так называемые «корзиночные» подзолы, в которых РФ-пэн растворяется под действием корней сосны Каури в Новой Зеландии (*Agathis australis*) [11]. Аналогичные «корзины» наблюдаются под березой на Кольском Севере. Под минеральной кочкой водяники РФ-пэн не только растворяется, но из него формируются сложные функциональные конструкции.

Термин «псевдофибра» предложен Г.Н. Высоцким для обозначения цементированных бурых железогидроксильных жил, расположенных непосредственно под элювиальным почвенным горизонтом [13]. По нашему мнению, этот термин не очень удачен, т.к. эти образования выглядят как фибры только на вертикальном срезе. В трехмерном пространстве – это тонкие (0,5–2 см) плоские слои, развитые примерно параллельно поверхности почвы или горизонту почвенно-грунтовых вод. Псевдофибры имеют преимущественно гори-

зонтальное простираение, но образование их не связано с действием грунтовых вод. На равнинах из легких пород, подверженных воздействию приморского климата, наблюдаются PF-пэны от северных широт до тропиков [11, 15].

Псевдофибры обладают рядом специфических физических и физико-химических свойств, важных для экосистем, существующих на почвах легко-гранулометрического состава. Для выяснения особенностей свойств псевдофибр использованы данные Ф.Р. Зайдельмана и А.С. Никифоровой [13]. В этой работе приведены физико-химические и химические свойства псевдофибр песчаной светло-бурой оподзоленной почвы Рязанской Мещеры. Несмотря на географическую удаленность Рязанской Мещеры от Кольского полуострова, характер различий между физическими свойствами псевдофибр и вмещающих пород должен быть близким. Поскольку нас интересует только сравнительный аспект, верхняя часть профиля, отражающая генетические особенности почв, в данном случае не представляет интереса. Поэтому ограничим рассмотрение почвенного профиля только той частью, где присутствует PF (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Физические свойства вмещающих горизонтов и псевдофибр
на основе материалов Ф.Р. Зайдельмана и А.С. Никифоровой [13]**

Горизонт/ PF	Плотность сложения, г/см ³	Пористость, %	Гигроскопическая влага, %	Категории влаги			Коэффициент филь- трации, м/сут	Коэффициент водо- отдачи
				0,7 ППВ	ППВ	ПВ		
B2 _ф	1,5	42,8	0,1	3,4	6,7	42,8	5,0	0,4
PF1	1,9	25,0	1,2	–	–	25,0	–	–
B3 _ф	1,6	39,6	0,4	4,1	8,8	39,6	4,6	0,3
PF2	2,0	25,4	1,1	14,2	16,6	25,4	0,1	0,1
PF3	2,0	25,3	1,2	–	–	25,3	–	–
С	1,5	40,2	0,2	4,4	9,9	40,2	3,1	0,3

Примечание. ПВ – предельная влагоемкость, ППВ – предельная полевая влагоемкость.

Прежде всего, следует отметить, что PF обладает высокой плотностью – до 2,0 г/см³. Цемент закупоривает поры так, что пористость PF на 17,8–6,3% меньше, чем вмещающих пород. Содержание гигроскопической влаги в 3–6 раз выше в PF, из чего следует, что PF обладают повышенной абсорбцией. Интерес представляет и отношение их к влаге. Полная полевая влажность PF выше почти в 2 раза, чем во вмещающей породе. Считается, что оптимальное сочетание влаги и воздуха достигается при 0,7 ППВ. Значение этого показателя PF более чем в 3 раза выше по сравнению с вмещающей породой. Находясь на пути вертикального потока влаги, PF резко снижает коэффициент фильтрации: с 4,6 м/сут в горизонте B3_ф до 0,1 м/сут. В 3 раза снижается ко-

эффицент водоотдачи. По мнению авторов, РҒ свойственна повышенная водоудерживающая способность. Они считают, что почва может удерживать на 0,8 мм влаги больше при наличии РҒ. Следовательно, на склоне РҒ-пэн выполняет роль водовода. Тогда ПМС БПО кочки водяники эту влагу перехватывают и аккумулируют.

Псевдофибры являются естественным фильтром на пути миграции растворенного вещества. Для РҒ характерна более кислая реакция по сравнению с вмещающим горизонтом [13]. Например, гидролитическая кислотность верхней РҒ составляет 1,43 мг-экв./100 г почвы, а вмещающего горизонта – всего 0,39 мг-экв./100 г почвы. Относительно вмещающего горизонта отмечается повышенное содержание обменного алюминия в РҒ. В РҒ аккумулируются и соединения органического углерода до 0,67 при нулевом значении во вмещающем горизонте. РҒ значительно больше относительно вмещающих горизонтов содержит трехвалентного железа, алюминия, фосфора, кальция и магния.

Таким образом, РҒ, несмотря на небольшие размеры, позволяют оптимизировать водно-физические свойства почв для существования водяники. РҒ-пэны являются водупорами и могут длительно сохранять влагу в почве между слоями. Кроме того, относительное обогащение фосфатами, железом, кальцием, магнием в условиях бедных подзолов делает железистые псевдофибры барьером для миграции и аккумулятором минерального питания растений.

Морфофункциональные элементы системы «почва – растение»

И.А. Соколов [16] достаточно определенно утверждает, что все внешние факторы реализуются в системе «почва – растение». А.С. Керженцев [17] указывает на отсутствие соответствия на уровне биогеоценоза между типами растительности и почв. Он объясняет это сукцессионными процессами, которые в норме не вносят морфологических изменений в строение почвы при смене стадий развития. А т.к. растительность чаще всего находится в состоянии сукцессии, то она всегда опережает развитие тех признаков почвы, которые используются для оценки изменений. По его мнению, почва отражает суммарные изменения во всем ряду сукцессии. Как следствие, почва малочувствительна к изменениям растительности, и наоборот – растительность крайне чувствительна к изменению свойств почв. Соглашаясь с А.С. Керженцевым [17], следует отметить, что морфология и классификация почв разрабатывалась применительно к географии и картографии. Современная почвенная классификация различает высокорекфлекторные и низкорекфлекторные почвы [18]. На нижнем уровне таксономии (почвенные ряды) в качестве важнейшего фактора – распределителя почвенных разностей выступает рельеф, а не растительность.

Исходя из строения ПМС БПО, вытекает предположение о возможности растений формировать несколько вариантов морфоструктур в почвах в зависимости от экологических условий. После смерти растения – создателя морфоструктур, эти почвенные образования могут быть использованы другими растительными или животными организмами, так что истинного хозяина установить сложно. Следовательно, изучение взаимосвязи «растение – почва»

на уровне морфологии почв следует проводить в наиболее простых 2–3-компонентных сообществах, где создатель морфоструктуры очевиден. Таким образом, псевдофибровые подзолы на сиенитовых нефелинах с тремя элементами растительного сообщества являются идеальным местом для таких исследований.

Основываясь на работах С.В. Мейена [20], схожие идеи выдвигал Г.М. Миньковский [21] по отношению к почвенному ареалу. Рассматривая его как архетип, на основе различных способов (факторных, признаков, аналитических, функциональных), он выделяет мероны. По его мнению, почвенный покров есть совокупность независимо распределенных (в той или иной степени сопряженных) морфоэлементов, каждый из которых имеет свой индивидуальный ареал обитания в гиперпространстве факторов, лишь в некоторой степени сопряженный с ареалами других морфоэлементов. Тогда минеральную кочку водяники можно рассматривать как такой морфоэлемент. Из этого следует, что в экологии почв в качестве объектов исследования могут быть БПО со своими «экологическими нишами», специализациями и свойствами, а окружающая почва предстаёт как среда их обитания.

Минеральная кочка, входя в архетип почвенного покрова, является сложным природным образованием. Архетип минеральной кочки состоит из ПМС, выполненных в супесчаных и песчаных горизонтах из железооксидного, железоорганического цементов. Обнаружен характерный набор функционально обусловленных меронов: 1 – купол кочки, сформированный из материала зональных горизонтов АТ, Е, Вf, Вfh; 2 – краевой желоб, видимый в разрезе как воронка, или язык горизонта Е; 3 – цилиндрические вертикальные стенки из сцементированного песка и РF толщиной не более 1 см, которые оконтуривают тело кочки; 4 – грибовидное тело на вертикальном срезе в виде области развития корней и накопления гумифицированного материала Вfh; 5 – ножка грибовидного тела иногда с остатками нерастворенных псевдофибр Вfh+РF, уходящая в центральную часть бассейна; 6 – центральная область в виде бассейна, заполненного отмытым песком; 7 – подстилающая мягкая псевдофибра. В первом приближении вся конструкция напоминает цветочный горшок.

Можно заключить, что для создания своих ПМС водяника использует готовые структурные элементы, которые формируются не вопреки, а благодаря основным зональным процессам почвообразования. Если РF-пэн отсутствует, как в подзолах Западной Сибири, то под кочкой водяники отсутствуют и ПМС. Структурные элементы, из которых строятся ПМС, существуют вне кочек, но именно под минеральными кочками они становятся функционально обусловленными частями общей целостной конструкции. Следовательно, некоторое почвенное пространство вокруг растения функционально обустроено и физиологически им контролируется, что отражается в морфологическом строении БПО.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Водяника в условиях Кольского Севера выработала 3 стратегии выживания: на моренах и озах – сплошной покров, на песчаных гривах – минеральные кочки, на участках подтопления озер – органические кочки.

2. Растения формируют биогенные почвенные образования, используя набор структурных элементов, присутствующих в зональных почвах. Наиболее сложные внутрипочвенные конструкции обнаружены под минеральными кочками шикши на песчаных гнивах.

3. Конструктивным материалом для построения биогенных почвенных образований служат псевдофибры. Благодаря своим уникальным свойствам (повышать водоудерживающую способность, снижать фильтрацию влаги и миграцию элементов питания растений) псевдофибровый материал создает благоприятные условия для активного роста и размножения растений водяники.

4. Под конусом кочки шикши обнаружены вертикальные пропитки РФ цемента в виде цилиндра, окружающего кочку по контуру. Внутри кочки формируется грибовидное тело с темно-бурой и черной пропиткой органики, где отмечается повышенная плотность корней водяники. От грибовидного тела вниз спускается ножка, в которой могут быть остатки псевдофибрового пэна темного цвета. Ножка грибовидного тела опускается вниз конструкции. Её окружает обезыленный песок без оксидных пленок (бассейн).

5. На склонах кочки водяники формируются в местах выклинивания псевдофибр. Они обладают высокой чувствительностью к направленности стока поверхностных вод и формируют внутрипочвенные структуры так, чтобы максимально эффективно перехватывать воду.

6. Морфоструктуры, образованные БПО из сцементированного композитного материала псевдофибр, выполняют различные функции фильтра: служат для перехвата потоков, аккумуляции воды, химических элементов минерального питания растений, являются основой для закрепления песка и предотвращения водной и ветровой эрозии в пределах купола минеральной кочки.

7. Предполагается, что «неудобные» для почвоведения объекты являются самостоятельными целостными почвенными образованиями с присущим им уникальным строением, своеобразным функционированием (физиологией) и специфическим генезисом.

Литература

1. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 370 с.
2. Таргульян В.О., Соколова Т.А. и др. Организация, состав и генезис дерново-палеопodzольной почвы на покровных суглинках. Аналитическое исследование. М.: Изд-во МГУ, 1974. 110 с.
3. Толчельников Ю.С., Хохлак А.П. Генезис криогенно-луговых неоднородностей почв Приморья // Тезисы докладов конференции «Проблемы почвенного криогенеза». Сыктывкар, 1985. С. 24–25.
4. Скворцова Е.Б. Экологическая роль ветровалов. М.: Лесная промышленность, 1983. 186 с.
5. Васенёв И.И., Таргульян В.О. Ветровал и таежное почвообразование. Режимы, процессы, морфогенез почвенных сукцессий. М.: Наука, 1995. 247 с.
6. Чертов О.Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука, 1981. 192 с.
7. Phillips J.D., Marion D.A. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas // Geoderma. 2005. № 124. P. 73–89.

8. Phillips J.D., Marion D.A. Pedological memory in forest soil development // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 188, № 1–3. P. 363–380.
9. Захарченко А.В. Почвенная микротопография в лесных экосистемах // *Вестник Томского государственного университета*. 2007. № 300 (II). С. 139–145.
10. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
11. Боул С., Хоул Ф., Мак-Крекен Р. Генезис и классификация почв. М.: Прогресс, 1977. 415 с.
12. Белов Н.П., Барановская А.В. Почвы Мурманской области. Л.: Наука, 1969. 99 с.
13. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во МГУ, 2001. 216 с.
14. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. М.: Наука, 1978. 293 с.
15. *Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation*. Washington, DC: Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, 1960. 265 p.
16. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. 228 с.
17. Керженцев А.С. Функциональная экология / Отв. ред. Э.Г. Коломиец. М.: Наука, 2006. 259 с.
18. Шишов Л.Л., Лебедева И.И., Тонконогов В.Д. Классификация почв России и перспективы ее развития // *Почвоведение: история, социология, методология. Памяти основателя теоретического почвоведения В.В. Докучаева* / Отв. ред. В.Н. Кудяров, И.В. Иванов. М.: Наука, 2005. С. 272–279.
19. Розанов Б.Г. Морфология почв: Учебник для высшей школы. М.: МГУ, 1983. 320 с.
20. Мейен С.В. Основные аспекты типологии организмов // *Журнал общей биологии*. 1978. Т. 39, № 4. С. 495–508.
21. Миньковский Г.М. Структурный подход в почвоведении // *Почвоведение*. 1995. № 7. С. 9–18.

Поступила в редакцию 23.05.2010 г.

Alexandr V. Zakharchenko, Lubov A. Izerskay,
Ludmila K. Czyczareva, Vasily N. Tuchak

Research Institute of Biology and Biophysics of Tomsk State University, Tomsk, Russia

BIOGENIC FORMATION MORPHOLOGY STRUCTURE IN PSEUDOFIBRIC PODZOL (SPODOSOLS) UNDER *EMPETRUM NIGRUM* MINERAL HILLOCKS

This article is devoted to the study of biogenic soil constructions which build up their own soil-morphological structures. Intra-soil constructions under mineral hillocks of Empetrum nigrum were chosen as a study object. We use standard morphological methods of vertical and horizontal cuts, the method of trenches for researching morphological structures of crowberry mineral hillocks. The morpho-structure boundaries were drawn with a pantograph or measured from soil surface and drawn on squared paper. The main building material of the morpho-structures is ferruginous cement of pseudofibric pan. Pseudofibres and structures formed on their base have unique properties: heightened density, water-absorbing capacity, reduced coefficient of filtration.

Mature hummock has arched form. Formation of mineral hillock is explained by superficial water erosion. Erosion is much more intensive out of crowberry root system range. Intensive process weathering of nepheline syenite under hillocks was increased. The reason also is the growing of the roots of the plant.

Complex vertical structures from cement of pseudofibric form cylindrical walls round a mineral hillock. Inside the cylinder there is sand washed from membranes and silt. There is a leg of mushroom body in the cylinder central part. The body itself is sandy loam of gray colour. It is disposed under the hillock dome. It is characterized with heightened density of roots.

Biogenic soil constructions change their structures under influence of external conditions: on detritus there is continuous cover of plants, flood valleys of lake – organic hillocks, on sandy soil – mineral hillocks. Biogenic soil constructions are constantly reproduced by the system: soil-plant, so we can speak about their physiology.

Plants usually use for building their morpho-structures the existent elements which were formed due to zonal processes of soil formation. In soil ecology we can consider as research objects the biogenic soil constructions and their “ecological niches”, specializations and properties. Surrounding soil serves as their environment. Biogenic soil structures created by plants can essentially change the strategy of space settlement. This assist species in survival in dependence on edaphic conditions.

Key words: *pseudofibric; spodosols; Empetrum nigrum; soil genesis.*

Received May 23, 2010