

МИНЕРАЛОГИЯ
И МИКРОМОРФОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО
ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ БЛОКА “ПЕДОТРОН”
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ “ЭКОТРОН 97”*

© 2005 г. Т. В. Алексеева¹, А. С. Керженцев²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,

²Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290, Пушкино Московской области, ул. Институтская, 2

Поступила в редакцию 19.05.2003 г.

В ходе эксперимента “Экотрон 97” имитировался процесс функционирования экосистемы в контролируемых и регулируемых условиях внешней среды. Микроморфологическое исследование модельной толщи блока “Педотрон” показало, что за один год произошли существенные изменения в его морфологическом строении. В гор. А отмечены начальные признаки формирования гумуса типа модер. Насыпной покровный суглинок с однородным микростроением и свойствами дифференцировался на три подгоризонта, отличающиеся по окраске, плотности сложения, новообразованиям карбонатов и оксидов железа. Карбонаты сложены кальцитом. Изотопный анализ показал, что углекислота новообразованных карбонатов является продуктом минерализации органического вещества опада.

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА,
ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОВ

В ходе эксперимента “Экотрон 97” имитировался процесс функционирования экосистемы в контролируемых и регулируемых условиях внешней среды. Экспериментальная установка состояла из двух основных блоков – “Фитотрон” и “Педотрон”, соединенных герметично общим газообменом. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1. Подробная схема установки с описанием функционирования ее блоков, результаты годового эксперимента, в том числе морфологическое описание, физико-химические и минералогические свойства твердой фазы блока “Педотрон” опубликованы ранее [2, 10].

В данной статье приводятся результаты микроморфологического исследования твердой фазы блока “Педотрон” – искусственной насыпной колонки, которая по истечении одного года приобрела некоторые признаки почвы, о которых говорится ниже.

“Педотрон” представляет собой стеклянный сосуд высотой 50 см и диаметром 25 см, заполненный послойно суглинистым материалом, смесью суглинка с опадом лугового разнотравья и опадом лугового разнотравья. Покровный суглинок, отобранный из стенки оврага на глубине 2.5–3.0 м от поверхности (Серпуховский р-н Московской обл.), был предварительно высушен, измельчен и

просеян через сито 1 мм, что обеспечило однородность химических свойств и микростроения исходного материала почвенной модели.

Насыпная колонка мощностью 30 см состояла из трех слоев, имитирующих почвенные горизон-

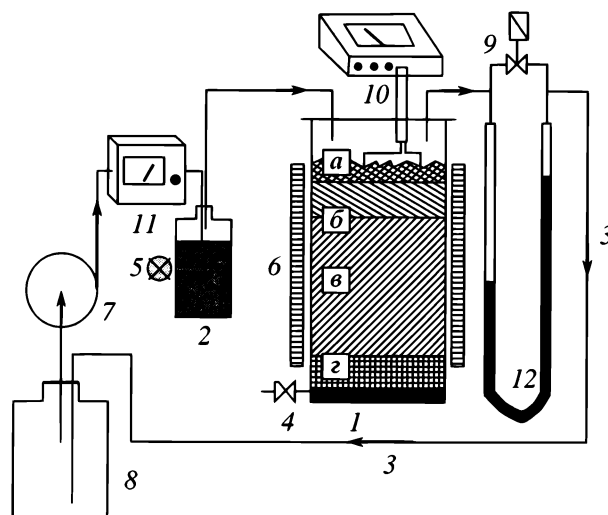


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки “Экотрон”: 1 – Педотрон, а – опад, б – смесь опада с суглинком, в – суглинок, г – кварцевый песок; 2 – Фитотрон; 3 – направление воздушного потока; 4 – штуцер отбора лизиметрических вод; 5 – осветитель; 6 – терморегулирующий контур; 7 – воздушный компрессор; 8 – буферная емкость; 9 – электромагнитный клапан; 10 – рН-метр; 11 – инфракрасный анализатор CO₂; 12 – манометр.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 96-05-65658, 01-04-48131).

Таблица 1. Основные свойства покровного суглинка (с. Жерновка, Серпуховский р-н)

рН		С орг,	СО ₂ карб.,	SO ₄ гипса,	Подвижные формы по Тамму, %		Обменные основания, мг-экв/100 г почвы				Содержание фракций, %	
водный	солевой				%		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ²⁺	K ⁺
7.8	6.95	0.10	0.90	0.10	0.43	0.56	37.5	2.3	0.36	0.18	57.9	42.1

ты: опад лугового разнотравья мощностью 10 см (гор. АО); смесь опада с суглинком в соотношении 1 : 1 по объему, мощностью 5 см (гор. А); суглинок мощностью 15 см (гор. С). Она подстилалась слоем чистого кварцевого песка (2.5 см) для обеспечения лучших условий дренажа (рис. 1). В течение года периодически, по мере проседания массы опада, добавляли новую его порцию до исходной отметки. Для активизации процессов разложения опада была внесена микрофлора серой лесной почвы (методом “болтушки”) и 20 дождевых червей. Регулирование интенсивности разложения опада осуществляли путем изменения гидротермических условий. Температура в блоке менялась в следующем порядке: 15, 25, 35, 25, 15°C (гидротермический цикл) с выдержкой на каждой ступени в течение 10 дней. Влажность блока в течение цикла (50 дней) менялась от ПВ до 0.5 НВ. Реализованный нами режим функционирования блока примерно соответствовал условиям влажного субтропического климата.

Блок “Фитотрон” представляет собой сосуд объемом 20 л с культурой хлореллы. Которая полностью поглощала СО₂, выделенный почвой, и производила адекватное количество О₂, необходимого для функционирования почвенной биоты. Регулирование соотношения О₂–СО₂ в атмосфере “Экотрона” осуществлялось изменением количества сосудов с хлореллой, интенсивностью и длительностью их освещения.

По окончании эксперимента (7 циклов) блок “Педотрон” был вскрыт и разрезан на 4 вертикальные колонки. В одной колонке через каждые 3 см были отобраны образцы для комплексного изучения. Основные почвенные свойства (рН, гранулометрический состав, содержание С орг, карбонатов) были изучены общепринятыми в почвоведении методами. Минералогический состав образцов и их фракций (илистой фракции и фракции > 2 мкм) был изучен методом рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3, Si_{Kα}). Состояние соединений железа – методом Мессбауэровской спектроскопии и магнитными методами. Карбонатные новообразования – методами рентгеновской дифрактометрии и масс-спектрометрии. Полученные экспериментальные данные в основном опубликованы в статьях Керженцева с соавт. [2, 10].

Вторая колонка была использована для изготовления шлифов для микроморфологического

описания. Шлифы были сделаны в Институте “Альтера” (Вагенинген, Нидерланды) по методике Йонгериуса с соавт. [8]. Блок ненарушенного строения размером 20 × 7.5 см был высушен в вакууме и пропитан бесцветной полиэфирной смолой в смеси с ацетоном с последующим ее отверждением под воздействием гамма-излучения. Из подготовленного таким образом монолита были изготовлены 4 шлифа размером 5 × 7.5 см и толщиной 25 мкм, что позволило описать колонку шириной 7.5 см на всю глубину “Педотрона”.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные свойства исходного суглинка, использованного в качестве “почвообразующей породы” в блоке “Педотрон”, даны в табл. 1. Суглинок содержит незначительное количество карбонатов и гипса, источником которых могут быть доломитизированные, местами загипсованные известняки, на которых залегают суглинок [3]. Микроморфологическое исследование суглинка показало, что карбонаты представлены рассеянными кристаллами микрита и зон аккумуляции не образуют.

Илистая фракция суглинка обогащена смектитовой фазой (50%), представленной смесью высокозарядного бейделлита и низкозарядного монтмориллонита с преобладанием последнего. В состав ила входят также диоктаэдрическая слюда (30%), каолинит (20%) и хлорит (следы). Помимо слоистых силикатов илистая фракция содержит кварц и 2 вида полевых шпатов – анортит и микроклин. Крупная фракция (> 2 мкм) обогащена кварцем, содержит анортит и микроклин (рис. 2). Ни валовой образец исходного суглинка, ни обе изученные фракции не содержали карбонатов.

Морфологическое описание модельной толщины по окончании эксперимента выявило наличие признаков ее профилной дифференциации. На базе однородной толщи суглинка, перекрытой слоями опада и смеси опада с суглинком в течение одного года сформировался профиль с темно-окрашенным верхним органо-минеральным горизонтом и тремя минеральными подгоризонтами. Материал опада приобрел черно-бурую окраску и уменьшился по объему вдвое. Первый маломощный минеральный подгор. В1 (3 см) заметно уплотнился и отличается от нижележащего подгоризонта В2 по цвету, структуре и отсутствию

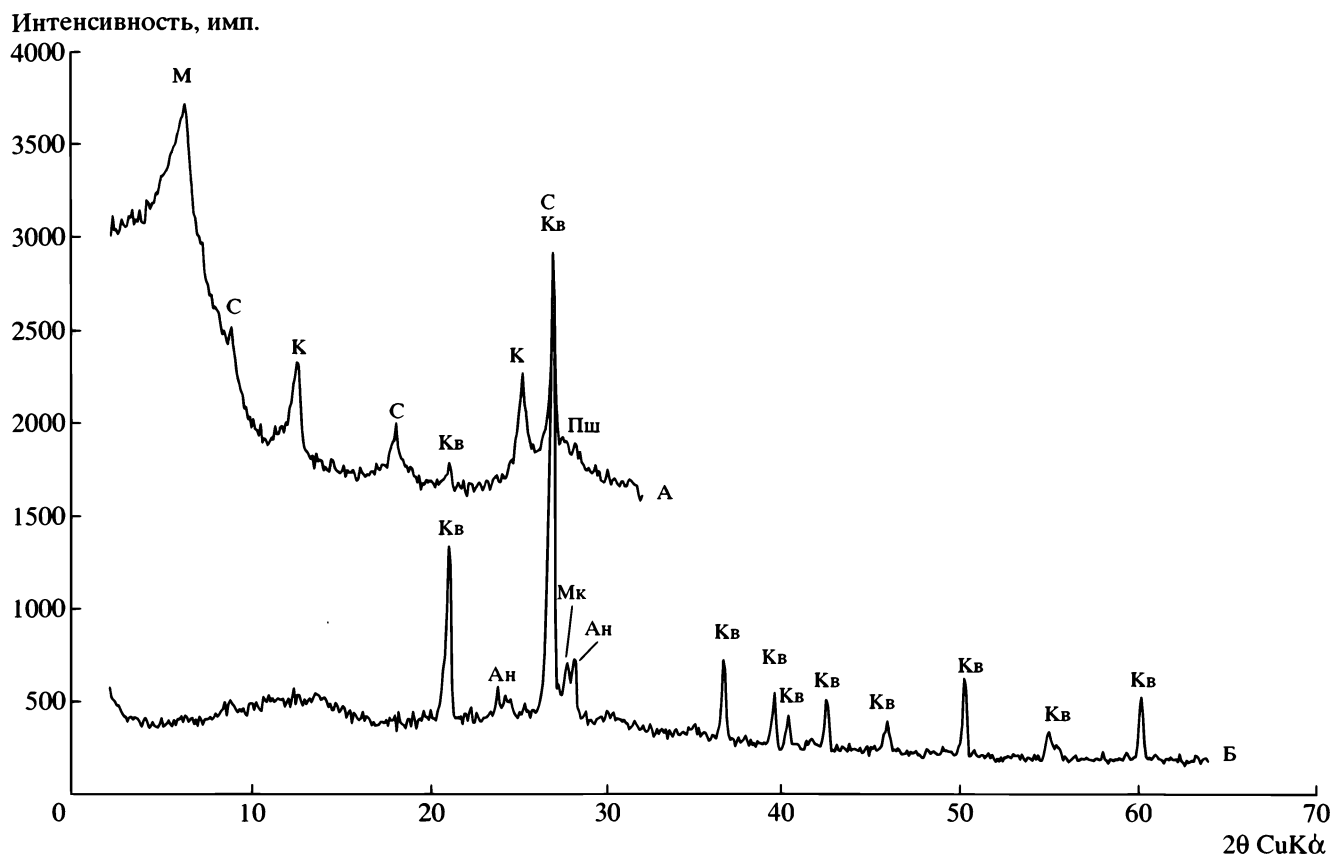


Рис. 2. Рентгендифрактограммы покровного суглинка: А – фракция <2 мкм: М – монтмориллонит, С – слюда, К – каолинит, Кв – кварц, Пш – полевые шпаты; Б – валовой образец: Кв – кварц, Ан – анортит, Мк – микроклин.

карбонатных новообразований. Его границы как с верхним гор. А, так и с нижележащим В2 почти ровные. Подгор. В2 мощностью 10–11 см отличается неоднородностью. В его толще выделяются зоны с различной структурой и окраской: от зеленоватой до охристой. Для него характерно обилие карбонатных новообразований (стяжений) размером 0.5–1.5 мм. В третьем минеральном подгор. ВС, в его нижней части, сформировалась зона аккумуляции железа в виде сплошного ортзандового слоя, затрагивающего также слой песка, подстилающего профиль.

Рентгендифрактометрический анализ карбонатных стяжений, выделенных из горизонта с их максимальной аккумуляцией – гор. В2, показал, что они сложены кальцитом, кварцем и анортитом. Содержание кальцита составляет около 30% (рис. 3).

Изотопный состав углерода карбонатных новообразований ($\delta^{13}\text{C}$) составил 14.1‰ в органоминеральном гор. А и 9.9–10.4‰ в минеральных подгоризонтах. Изотопный состав углерода исходного опада лугового разнотравья составил 28.9‰; опада после завершения годового эксперимента – 30.5‰ и гумифицированного опада из гор. А – 26.8‰. Эти данные свидетельствуют, что

углекислота новообразованных карбонатов является продуктом разложения опада и что новообразования, таким образом, имеют почвенное, а не геологическое происхождение.

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Горизонт А0, 2–0 см. Опад лугового разнотравья в течение эксперимента претерпел заметные морфологические изменения. На микроморфологическом уровне он диагностируется как грубый гумус. Трансформацией затронуты места только внутренние поверхности растительных тканей. При этом накапливается изотропная темно-окрашенная, почти черная плазма внутри растительных фрагментов. Следы активности почвенной микрофауны не отмечаются. По терминологии Баля [6], такое преобразование растительных тканей частично связано с формированием меланина и носит название “меланозис”.

Горизонт А, 0–4 см. Материал, слагающий горизонт, включает фрагменты опада и суглинок. Присутствуют органические остатки разной степени гумифицированности: от слабо-гумифицированного материала, который сохраняет форму

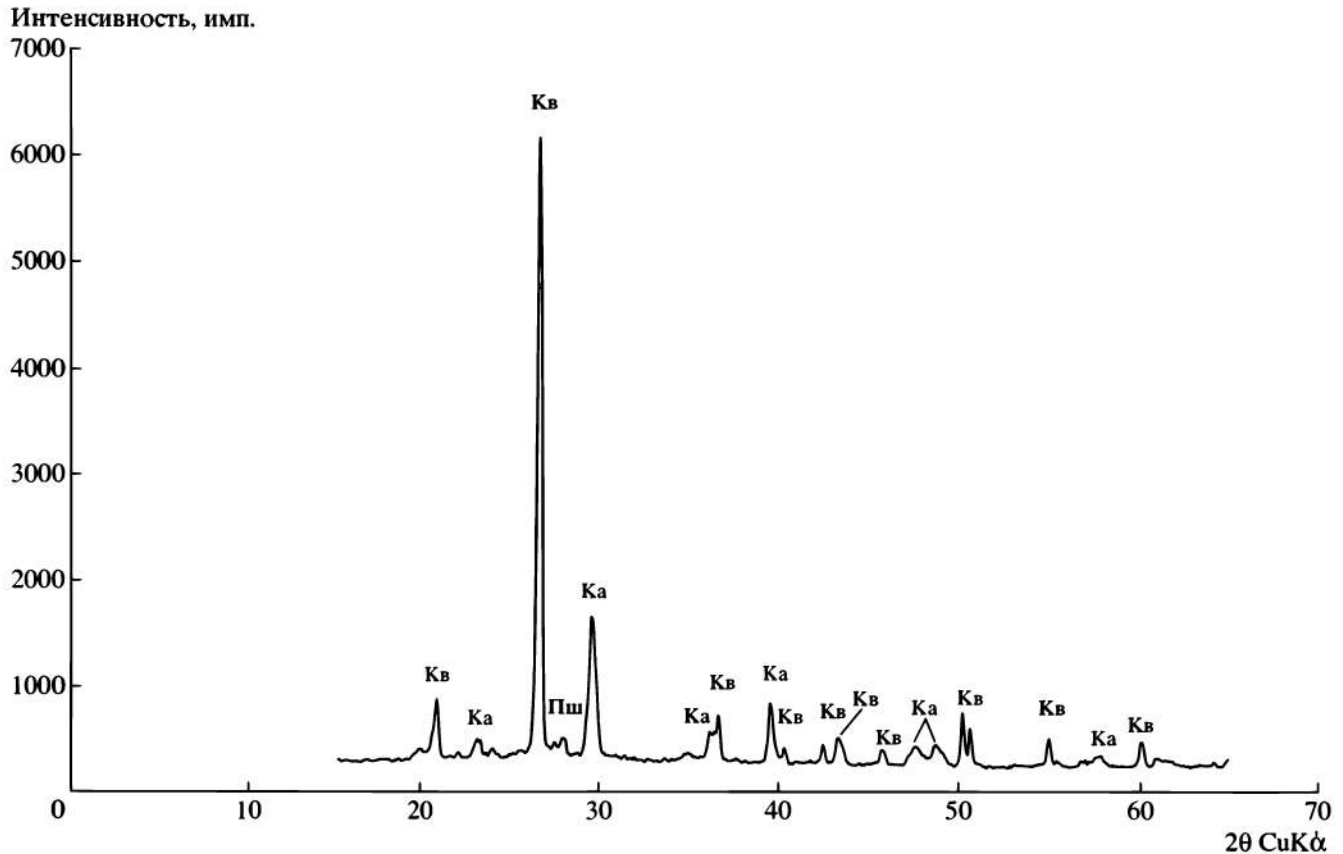


Рис. 3. Рентгендифрактограмма карбонатных конкреций (подгор. В2): Ка – кальцит, Кв – кварц, Пш – полевые шпаты.

и строение растительных тканей и анизотропен до темно-коричневых непрозрачных сгустков гумифицированного вещества. В нижней части гор. А на границе с подгор. В1 вместе с органическими фрагментами изредка встречаются экскременты клещей (рис. 4). Верхняя часть гор. А характеризуется лучшей сохранностью растительных ос-

татков с различной структурой тканей. В целом для гор. А можно отметить начальные этапы формирования гумуса типа модер. Микроструктура горизонта губчатая. Формируются единичные поры и микрозоны с признаками перераспределения и осаждения микрозернистых карбонатов. Граница с нижележащим горизонтом резкая и почти ровная.

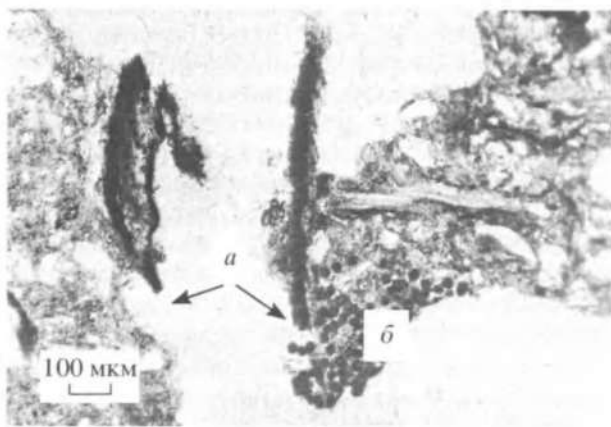


Рис. 4. Микростроение гор. А: гумифицированные растительные остатки (а), экскременты клещей (б) (N II).

Подгоризонт В1, 4–7 см. Минеральный, присутствия органических остатков не отмечается. Микроструктура кавернозная. Плазма характеризуется плотным сложением. Поры немногочисленны: горизонтально расположенные полости неправильной формы и поры-каналы, ориентированные вертикально или наклонно. Выделяются домены [7, 9], в пределах которых различимы чешуйки ориентированной глины. Плазма неравномерно окрашена. На основном сероватом фоне выделяются пятна соединений железа от светло до темно-коричневого цвета. Пятна имеют овальную или неправильную форму и диффузные границы. Помимо пятен присутствуют и другие железистые новообразования: пленки на стенках отдельных горизонтальных пор (рис. 5,а), конкреции и модули разнообразных размеров и морфологии. Широко распространены микро-

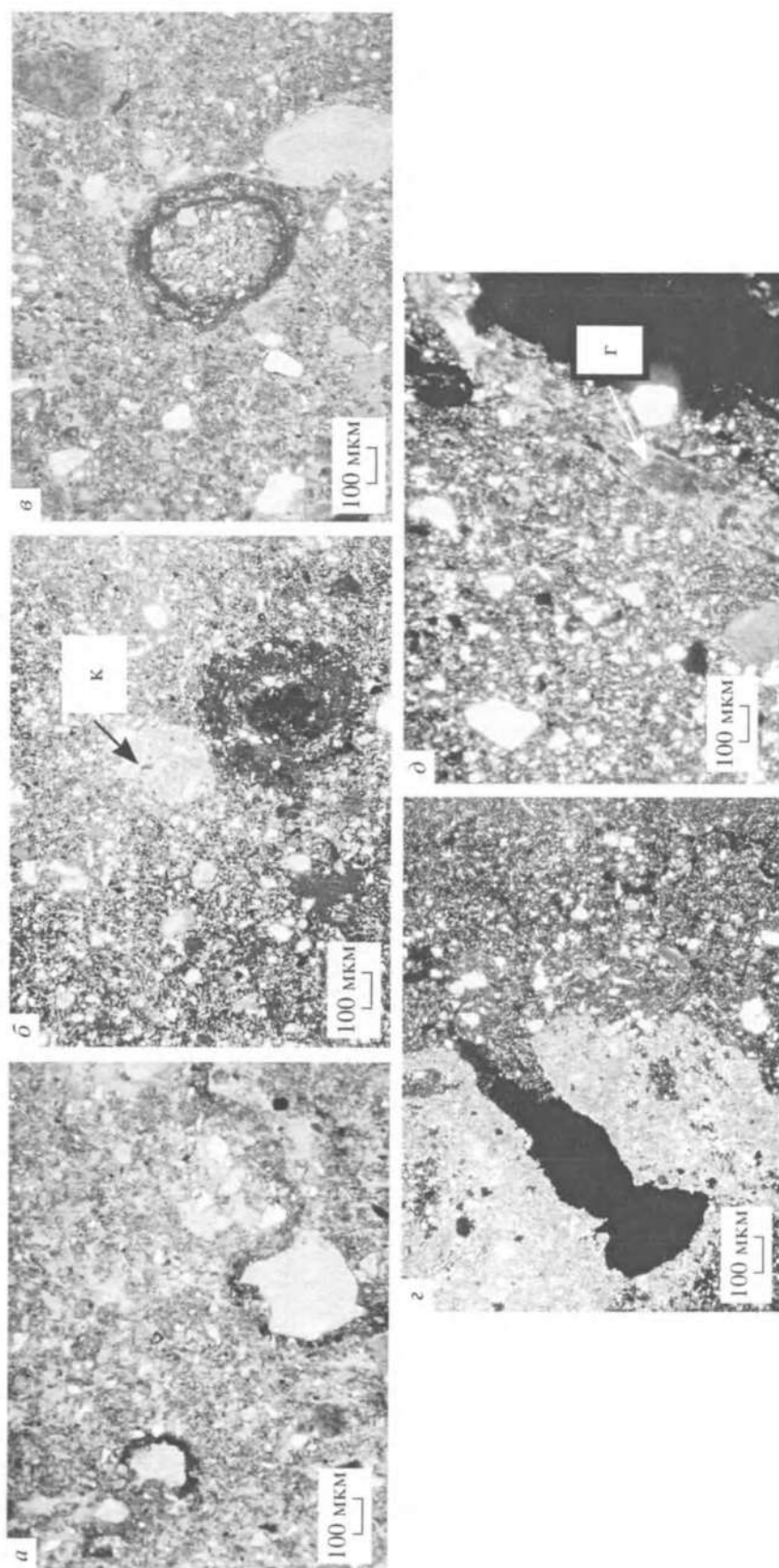


Рис. 5. Микростроение подгор. В1: а – железистые кутаны (N ||); б – Fe-конкреция и карбонатный нодуль (к) (N ||); в – Fe-диффузионное кольцо с включениями скелетных зерен (N ||); г – выделения микрита в вертикальной поре (N ×); д – глинистые натёки (г) (N ×).

ортштейны округлой формы, красно-коричневого цвета, с четкими границами и с редкими включениями скелетных зерен. Наблюдаются крупные конкреции округлой формы с четкими границами, а также диффузионные кольца с включением минеральных зерен (рис. 5,б, 5,в).

В пределах подгор. В1 выделяются 3 вида карбонатных новообразований: пропитка, стяжения и кутаны по порам. Пятна с карбонатной пропиткой имеют овальную форму и диффузные границы. Стяжения (модули) имеют размеры до 200 мкм, характеризуются четкими границами, они практически “чистые” или с единичными включениями скелетных зерен (рис. 5,б). Кутаны (кальцитаны) многочисленны и занимают значительные зоны околопорового пространства – 50–500 мкм (рис. 5,з) [7]. Часто карбонатные выделения неоднородны, включают оксиды железа, сингенетичные карбонатам.

Текстурные новообразования представлены пленками глинистого материала на отдельных минеральных зернах и глинистыми натеками. Последние занимают значительные участки вертикально ориентированных порканалов и встречаются редко (рис. 5,д).

Подгоризонт В2 (7–18 см) отличается от вышележащего по цвету и структуре. Структура горизонта неоднородна. Верхние 2–3 см имеют губчатую микроструктуру, переходящую ниже в комбинированную губчато-кавернозно-комковатую, участками – массивную. Пор значительно больше, чем в гор. В1. Они представлены горизонтально расположенными полостями разного размера овальной или неправильной формы и каналами в основном наклонной ориентации.

Окраска плазмы пятнистая, но преимущественно коричневая благодаря охристой пропитке. Отмечены многочисленные новообразования – железистые, карбонатные, текстурные. Железистые новообразования представлены двумя основными видами – пятнами и конкрециями. Железистые кутаны на стенках пор встречаются реже, чем в гор. В1. Распространение здесь получили диффузные охристые пятна неправильной формы без четких границ. Множественные железистые микроортштейны от крупных до средних размеров имеют в большинстве округлую форму и четкие границы (рис. 6,а).

Подгор. В2 – зона максимального распространения карбонатных новообразований. Выделяются участки с карбонатной пропиткой. Часто встречаются некрупные (до 500 мкм) стяжения криптозернистого кальцита (микрита) с четкими границами, содержащие в виде включений скелетные зерна (рис. 6,з). Наблюдаются выделения микрокристаллического кальцита по порам с сильным (50–200 мкм) замещением карбонатным материалом около порового пространства – каль-

цитаны (рис. 6,б). Как и в случае гор. В1, карбонатные новообразования часто встречаются вместе с железистыми. Это проявляется в ожелезнении около поровых выделений кальцита (рис. 6,в), наличии охристых пятен на участках плазмы с карбонатной пропиткой и крупных карбонатных стяжениях.

Соотношение карбонатных и железистых составляющих этих сложных новообразований говорит в пользу того, что их формирование осуществлялось скорее всего в несколько этапов.

Текстурные новообразования представлены глинистыми и пылеватыми кутанами и глинистыми натеками. Последние встречаются редко и приурочены, как правило, к вертикальным порам (рис. 6,д). Тонкие пленки глинистого материала вокруг минеральных зерен имеют приблизительно одинаковую толщину и широко распространены. Пылеватые кутаны зерен [7, 9] сложены достаточно плохо отсортированным материалом (рис. 6,е). Их расположение на верхних частях минеральных зерен указывает на направленное перемещение пылевато-глинистой плазмы сверху вниз. Отличительной чертой микростроения этого горизонта является наличие фрагментов плазмы с параллельной или сетчатой ориентацией глины [7].

Подгоризонт В3 (18–20 см) отличается от гор. В2 по цвету, структуре, меньшему количеству новообразований. Структура данного горизонта несколько плотнее, скорее губчатая, с двумя системами пор – горизонтально расположенными полостями овальной или неправильной формы и каналами с вертикальной или наклонной ориентацией. Цвет плазмы серовато-зеленоватый. Нижняя часть горизонта (до 1 см) окрашена в красно-коричневый (охристый) цвет благодаря сплошной охристой пропитке (рис. 7,а). Железистые новообразования представлены также многочисленными крупными модулями округлой или овальной формы. Карбонатные новообразования представлены тремя основными видами и довольно широко распространены в пределах всего горизонта, включая “подошву” профиля. Пятна с карбонатной пропиткой имеют неправильную форму и диффузные границы. В нижней части профиля на карбонатные пятна накладывается охристая пропитка. Карбонатные модули содержат включения скелетных зерен. Околопоровые выделения кальцита отличаются от вышележащих горизонтов более крупными размерами кристаллов (спарит) [11] (рис. 7,б). Отмеченная особенность свидетельствует об относительно низкой скорости кристаллизации и низкой концентрации поровых растворов [1]. В пользу данного вывода свидетельствует также малая площадь околопоровой карбонатной пропитки по сравнению с вышележащими горизонтами.

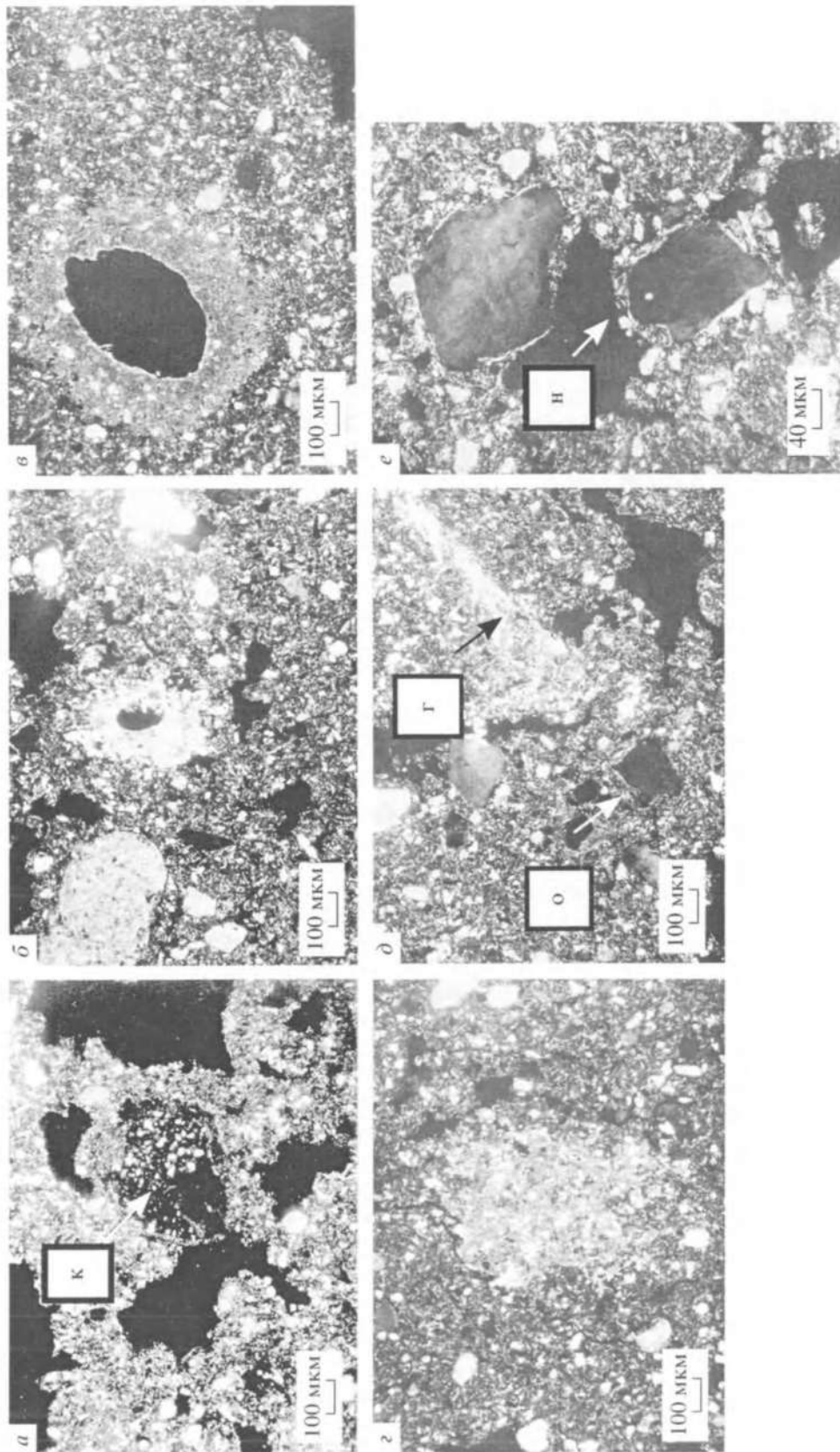


Рис. 6. Микростроение подгор. В2: а – Fe-микроортуштейн с включениями скелетных зерен (к); б – выделения микрита в поре; в – совместные выделения микрокристаллического кальцита и оксидов железа в поре; г – глинистые натеки (г), фрагменты плазмы с сетчатой ориентацией глины (о); е – пылеватые кутаны скелетных зерен (н) (N x).

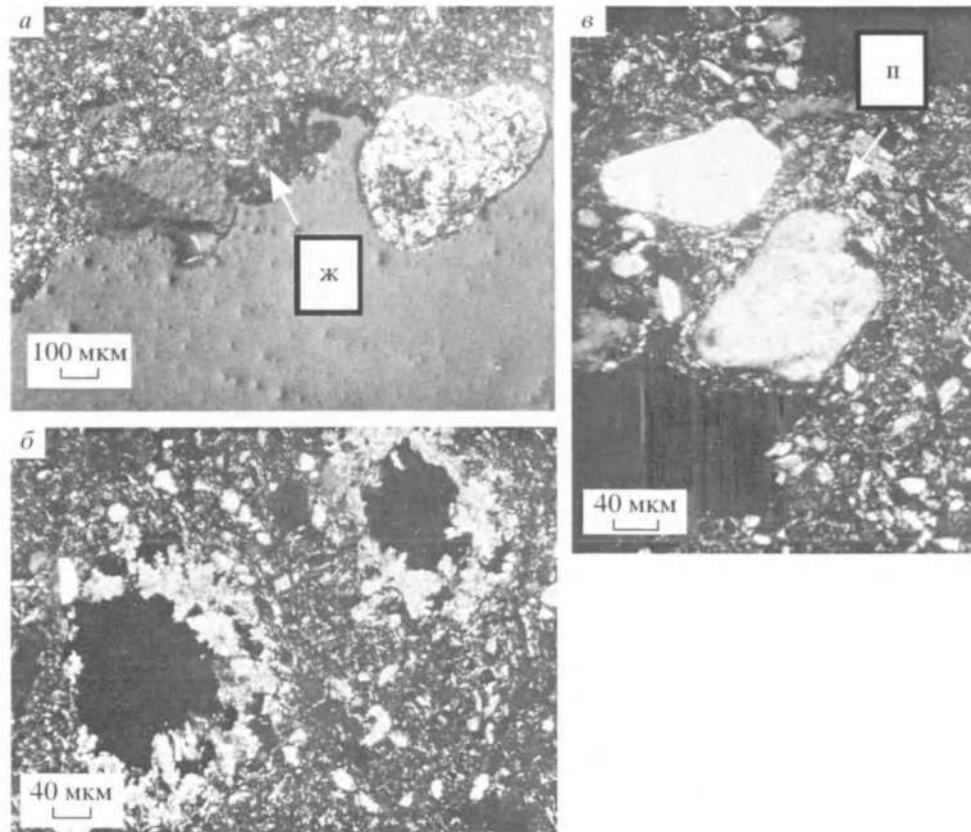


Рис. 7. Микростроение подгор. ВС: *a* – охристая пропитка и железистые натеки (ж) в подошве профиля; *б* – кристаллы спарита в порах; *в* – пылевато-глинистые кутаны скелетных зерен (п) (N ×).

Отмечаются четкие признаки иллювиирования пылевато-глинистой плазмы в виде пленок глинистого материала вокруг минеральных зерен и пылевато-глинистых кутан скелетных зерен. Последние характеризуются большей толщиной на верхних поверхностях минеральных зерен (рис. 7,в).

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Результаты микроморфологического исследования сформированного профиля обобщены в табл. 2.

Полученные данные показали, что в ходе эксперимента продолжительностью в один год в модельной толще блока “Педотрон” произошли существенные изменения в микростроении.

Материал органической подстилки (гор. АО) из опада лугового разнотравья, пополнявшегося дважды в течение этого периода времени, представлен грубым гумусом. Преобладают слабо-разложившиеся растительные остатки. Признаки деятельности почвенной микрофауны не характерны. Отмеченные продукты меланозиса органического вещества фрагментарны. Можно заключить, что роль “подстилки” как источника

СО₂ в данном эксперименте была второстепенной по сравнению с гор. А, где имеет место заметная гумификация органического вещества, в том числе при участии микрофауны (клещей). Здесь отмечаются начальные стадии формирования гумуса модер. Граница органо-минерального и минерального горизонтов резкая и почти ровная. Формирования промежуточного горизонта с признаками иллювиирования органического вещества не отмечается.

Исходный покровный суглинок с однородным микростроением и свойствами за время эксперимента приобрел новые признаки, характерные для почвы, и дифференцировался на три подгоризонта – В1, В2, ВС, отличающиеся окраской, плотностью сложения, присутствием новообразований и их характером. В пределах каждого подгоризонта имеет место микрозональность, которая проявляется в сосредоточении на отдельных участках зон иллювиирования пылевато-глинистой плазмы, различных форм новообразованных карбонатов и оксидов железа. Для подгор. В1 на фоне высокой плотности сложения материала плазмы характерно формирование пор с дифференцированными функциями: концентрация оксидов железа или карбонатов. В пределах подгор. В2 резко усилилась анизотропия глинистого ве-

Таблица 2. Микроморфологическое строение микропрофиля

Горизонт, глубина, см	Микроструктура	Новообразования Fe					Карбонаты			Сложные новообразования (карбонаты + оксиды Fe)	Текстурные новообразования		
		кутаны	пятна	конкреции			кутаны	пропитка	стяжения		глинистые натски	пылеватые кутаны зерен	глинистые пленки
				степень замещения вмещающей массы									
				чистые	средняя	слабая							
A, 0–4	Губчатая						+						
B1, 4–7	Кавернозная	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
B2, 7–18	Губчато-кавернозно-комковатая		+	+	+		+	+	+	+	+		
BC, 18–20	Губчатая	+	+	+	+		+	+	+	+		+	

Примечание. Знак (+) свидетельствует о наличии указанного признака.

Таблица 3. Состав лизиметрических вод (мг-экв/л)

Дата отбора	pH	Сухой остаток, г/л	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Катионы	Анионы
4.02.97	5.50	7.59	54.0	5.0	1.27	62.0	13.0	0.11	1.17	76.28	60.27
20.02.97	5.90	9.76	55.0	3.4	1.03	96.0	8.0	0.70	1.19	105.89	59.70
20.03.97	7.70	8.24	58.0	2.8	0.13	88.0	7.0	0.43	0.64	96.27	60.93
16.05.97	8.35	0.92	6.60	3.4	0.11	2.2	8.2	0.33	0.60	11.33	10.51

щества за счет перемещения пылевато-глинистой плазмы. Преимущественно губчатая микроструктура горизонта характеризуется широким развитием пор, которые представлены горизонтально расположенными полостями разного размера овальной или неправильной формы и каналами. Вместе с тем, при большом разнообразии железистых новообразований (нодули, пятна), концентрации оксидов железа в полостях не отмечается, что указывает на различие водного режима в микропрофиле. Как по макро-, так и микроморфологическим признакам подгор. В2 является зоной аккумуляции карбонатов. Их новообразования представлены стяжениями, околоторовой пропиткой, пропиткой основной массы суглинка. Подгор. ВС более уплотнен, с двумя системами пор – горизонтально расположенными полостями овальной или неправильной формы и каналами с вертикальной и наклонной ориентацией. Как и в подгор. В2, здесь присутствуют карбонатные новообразования, но диагностируются они только микроморфологически. Количество новообразований оксидов железа здесь значительно ниже. Вместе с тем сплошная охристая пропитка “по-

дошвы” профиля свидетельствует о существовании условий для высокой подвижности железа. Подвижна также и пылевато-глинистая плазма, подтверждением чему является развитие глинистых и пылеватых кутан зерен скелета.

Описанные изменения в микростроении профиля нашли отражение в изменении водно-физических свойств исходного суглинка. Так, фактор его дисперсности за время эксперимента уменьшился от 23 до 17%, а коэффициент фильтрации увеличился от 0.28 до 0.43 мм/мин [2, 10]. Эти данные свидетельствуют о частичной структуризации насыпного гомогенизированного суглинка.

Результаты комплексного изучения карбонатных новообразований показали, что они сложены кальцитом и что источником CO₂ для их формирования являлось органическое вещество опада. Количество выделяющегося CO₂ регулировалось гидротермическим режимом эксперимента. Содержание CO₂ в газовой фазе составляло 3.4% при 15°C, 5.9% – при 25°C и 7.8% при 35°C. Количество поглощаемого CO₂ регулировалось количеством хлореллы, помещенной в блоке “Фитотрон”,

которая выделяла адекватное количество O_2 для обеспечения аэробных условий разложения опада в “Педотроне”. Разница поступала в жидкую и твердую фазы блока. О высоком содержании CO_2 в жидкой фазе можно судить по составу лизиметрических вод (табл. 3). Анализ показал значительные колебания их состава и свойств. Величина рН изменилась от кислой (рН 5.5) в начале эксперимента до щелочной (рН 8.4) в конце.

Содержание HCO_3^- составляло 54–58 мг-экв/л в начале эксперимента и упало до 6.6 мг-экв/л в конце; содержание Ca^{2+} – 62–96 и 2.2 мг-экв/л соответственно. Таким образом можно заключить, что интенсивность углекислотного выщелачивания с растворением силикатов (таких, например, как Са-полевых шпатов) не была постоянной. Она контролировалась гидротермическим режимом, скоростью анаболизма (синтеза фитомассы хлореллы и эмиссии O_2), а также источником доступного органического вещества. Широкое распространение сложных карбонатно-железистых новообразований и их соотношение свидетельствует, что оксиды железа сингенетичны карбонатам и процессы формирования новообразований имели непостоянную интенсивность протекания, то есть носили пульсирующий характер – этапы пересыщения раствора по одному компоненту сменялись этапами пересыщения по другому. Гидротермический режим эксперимента стимулировал эти периодические пульсации.

Приведенные результаты исследования функционирования “Педотрона” позволяют констатировать, что рассмотренные нами почвенные процессы характеризуются высокими скоростями (малыми характерными временами) и имеют непостоянную интенсивность протекания. По оценкам Соколова и Таргульяна [4], интересующие нас свойства для почв умеренного гумидного климата имеют следующие характерные времена: состав почвенных растворов – сутки, месяцы; степень минерализации опада – месяцы, годы; гор. АО – годы и десятки лет; гумусовый и карбонатный профили – сотни и тысячи лет. Учитывая, что наша модель отвечала условиям влажного субтропического климата, можно предположить, что первые 3 группы изученных нами свойств вписываются в приведенную выше схему. Вместе с тем карбонатный профиль почвы является скорее ее лабильным, чем консервативным свойством и характеризуется существенно меньшими характерными временами, сопоставимыми, например, со скоростями минерализации опада. Мы, однако, отдаем себе отчет в том, что эти оценки не совсем корректны, поскольку нет уверенности в том, что профиль по истечении годового эксперимента достиг, по крайней мере, квазиравновесного состояния и что, таким образом,

понятие “характерного времени” [4, 5] применимо.

Однако несомненным преимуществом подобных экспериментов является возможность прямого изучения современных почвенных процессов и формирования свойств почвы-момента [4].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН С.В. Губину за помощь при обсуждении данных микроморфологического исследования и С.А. Олейнику за изотопные исследования состава карбонатных новообразований. Особую благодарность выражаем г. Д. Шрайберу (“Альтера”, Вагенинген, Нидерланды) за изготовление шлифов для микроморфологического исследования. Авторы благодарят рецензентов журнала “Почвоведение” за критические замечания, которые очень помогли на последнем этапе работы над рукописью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. РАН, Пушкинский научный центр, Институт почвоведения и фотосинтеза и МГУ им. М.В. Ломоносова. Пушкино, 1992. 212 с.
2. Керженцев А.С., Олейник С.А., Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Волокитин М.П., Гурьева С.Н., Демидов Э.Д., Зеленская Н.Н., Павлова Е.А., Чжен Се, Скрипниченко И.И., Зякун А.М., Захарченко В.Н., Романов В.Д. Принципы регулирования функций экосистем. Экология и почвы. Избранные лекции I–VII школ (1991–1997 гг.). Пушкино, 1998. Т. 1. С. 219–238.
3. Назаров А.Г., Кожухарь Ю.Н., Перетрухин В.Д., Белянин А.И. Ландшафтно-геохимические и гидрогеохимические особенности Приокско-террасного Государственного заповедника. Экосистемы Южного Подмосковья. М.: Наука, 1979. С. 13–52.
4. Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент // Изучение и освоение природной среды. М.: ИГАН, 1976. С. 150–164.
5. Таргульян В.О. Развитие почв во времени // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1982. С. 108–113.
6. Bal L. Micromorphological analysis of soils. Netherlands soil survey papers. N 6. Netherlands soil survey institute, Wageningen. 1973. 174 p.
7. Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., Tursina T., Babel U. Handbook for soil thin section description. Waine. Research Publications. 1985. 151 p.
8. Jongerius A., Heintzberger G. Methods in soil micromorphology: a technique for the preparation of large thin sections // Soil Survey. Papers 10, Soil Survey Institute, Wageningen, The Netherlands. 1975.

9. *Jongerius A., Rutherford G.* Glossary of soil micromorphology. Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation. 1979. 137 p.
10. *Kerzhentsev A.S., Volokitin M.P., Zelenskaya N.N., Olinik S.A., Alekseev A.O., Alekseeva T.V., Zyakun A.M., Zakharchenko V.N., Romanov V.D.* The principles of Regulation of Ecosystem Functions // Eurasian Soil Science. 2002. V. 35. Suppl. 1. P. 25–33.
11. *Wieder M., Yaalon D.H.* Micromorphological fabrics and development stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics // Geoderma. 1982. V. 28. P. 203–220.

Micromorphology of the Model Soil Profile “Pedotron” from the Experimental Device “Ecotron 97”

T. V. Alekseeva and A. S. Kerzhentsev

“Ecotron 97” is an experimental device used to imitate ecosystem functioning under the controlled environmental conditions. Pedotron is the soil block of this device. The micromorphological study of the experimental soil shows that significant changes in the soil morphology have taken place within one year of the experiment. The initial features of the moder type of soil humus horizons are registered in the topsoil. The model loamy sediment with the initially homogeneous microstructure and properties has been differentiated into three sub-horizons differing from one another by color, bulk density, and the presence of newly formed carbonates and iron oxides. The carbonates are represented by calcite. Isotopic analysis of the calcite shows that the carbon dioxide of the newly formed carbonates is the product of mineralization of the organic matter of plant litter added to the soil during the experiment.