

УДК 631.4

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ В ЭЛЮВИАЛЬНО-ИЛЛЮВИАЛЬНОМ ГОРИЗОНТЕ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

**© 2017 г. Н. П. Чижикова*, Е. Б. Скворцова,
Е. Б. Варламов, Н. А. Чурилин, А. Е. Чурилина,
К. Н. Абросимов, А. В. Юдина, К. А. Романенко**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
e-mail: chizhikova38@mail.ru

С помощью микротомографического, рентгендифрактометрического анализов, лазерной дифрактометрии и метода седиментации почвенных частиц анализировали строение микромонолитов из элювиального (EL), переходного (BEL) и иллювиального (BT1) горизонтов агродерново-подзолистой почвы, сформированной на покровном суглинке, подстилаемом на глубине 2–3 м некарбонатной мореной. Объекты расположены на опытном поле Зеленоградского стационара Почвенного института им. В.В. Докучаева (с. Ельдигино Московской области). С помощью метода компьютерной томографии определены зоны, из которых выделены пылеватые и глинистые фрагменты переходного горизонта. Метод седиментации позволил зафиксировать различия в количественном содержании фракций <1, 1–5, 5–10, >10 мкм. Соотношение минералов во фракциях разной размерности и их качественный состав установлены с помощью рентгендифрактометрии. Минимальное содержание илистой фракции установлено в образце из элювиальной части профиля, максимальное – в переходном горизонте, в образце обособившегося глинистого материала. Наиболее существенные различия в минералогическом составе наблюдаются во фракции менее 1 мкм. Для элювиальной части профиля характерно преобладание гидрослюд и смешанослойных хлорит-вермикулитов. Аналогичное соотношение минералов зафиксировано в образце из пылеватой части переходного горизонта. В иллювиальной части профиля снижается количество компонентов с жесткой структурой (гидрослюд, хлорит-вермикулитов), но увеличивается количество минералов с лабильной структурой (смешанослойных слюда-сметкитов с высоким содержанием сметкитовых пакетов). В глинистой части переходного горизонта содержание ила, а в нем слюда-сметкитов – наибольшее. Распределение фракций тонкой (1–5 мкм) и средней (5–10 мкм) пыли и их минералогический состав менее информативны по дифференциации почвенного профиля при подзолообразовании.

Ключевые слова: кристаллохимия слоистых силикатов, смешанослойные образования, хлорит-вермикулиты, микротомографический анализ, рентгендифрактометрия.

DOI: 10.19047/0136-1694-2017-88-75-95

ВВЕДЕНИЕ

В работе предпринята попытка подойти к решению проблемы текстурной дифференциации почв подзолистого типа с помощью тщательного анализа переходной зоны от элювиальной части профиля к иллювиальной. Происходит ли оподзоливание фронтально или в почвенной массе выделяются участки с различной степенью выраженности этого процесса?

До настоящего времени вопрос о текстурной дифференциации почв подзолистого типа остается дискуссионным. В книге В.Д. Тонконогова (2010) подведены итоги исследований почв, почвенных процессов и условий почвообразования в таежной зоне Восточно-Европейской равнины, в которой автор обобщает материалы по текстурной дифференциации профилей почв. По А.А. Роде подзолообразовательный процесс – процесс разрушения минералов. “Сущность подзолообразовательного процесса с точки зрения судьбы минеральной части почв заключается в полном распаде всех минералов материнской породы, кроме кварца, и вынос из верхних слоев породы всех продуктов этого распада” (1944, с. 66). В работах [Фридланда](#), [Бондарева](#), [Градусова](#), [Кузнецовой](#), [Тонконогова](#), [Чижиковой](#) и [Тонконогова](#), [Градусова](#), [Рубилиной](#), [Таргульяна](#) уделено внимание поведению тонкодисперсных фракций в первую очередь илистой и их роли в текстурной дифференциации профилей почв. Особенности кристаллохимического строения слоистых силикатов, их избирательная трансформация при подзолообразовательном процессе позволили выявить наиболее мобильные и легко выветриваемые компоненты ила. Зафиксирована резкая дифференциация основных минеральных фаз по профилю глинистого материала почв. В элювиальной толще почвы по сравнению с текстурными горизонтами и почвообразующей породой относительно накапливаются минералы с жесткими структурами: каолинит, гидрослюды диоктаэдрического типа, кварц микронной размерности. Особенности кристаллохимии основного компонента элювиальной части профилей дерново-подзолистых почв – смешанослойных хлорит-вермикулитовых образований –

детально рассмотрены в работе Б.П. Градусова ([1968](#)). В иллювиальных горизонтах основным компонентом являются сложные смешанослойные образования со смектитовым пакетом. В ряде случаев количество этого компонента в текстурном горизонте превышает таковое в почвообразующей породе, что может быть свидетельством его миграции из верхних горизонтов.

Цель работы – установление особенностей кристаллохимического строения минералов тонкодисперсных фракций в переходном гор. BEL дерново-подзолистой почвы для выявления пространственной неоднородности трансформации минералов на границе элювиальной и иллювиальной почвенной толщи.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Исследовано кристаллохимическое строение минералов тонкодисперсных фракций в двух основных компонентах переходного гор. BEL: материале EL и материале BT.

2. Исследовано кристаллохимическое строение минералов тонкодисперсных фракций в гор. EL и BT1, залегающих соответственно выше и ниже переходного гор. BEL.

3. Проведено сопоставление компонентов EL и BT в переходном гор. BEL с материалом генетических гор. EL и BT1 по кристаллохимическому строению минералов тонкодисперсных фракций.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужила по агродерново-подзолистая почва на покровном суглинке, подстилаемом на глубине 2–3 м некарбонатной мореной. Разрез заложен на опытном поле Зеленоградского стационара Почвенного института им. В.В. Докучаева в районе с. Ельдигино Московской области. Формула почвенного профиля: P (0–30 см)–EL (30–35(40) см)–BEL (35(40)–40(50) см)–BT1 (40(50)–60 см)–BT2 (60–90 см)–BC (90–150 см) (индексация горизонтов по [Классификации почв России, 2004](#)).

Минералогический состав тонкодисперсных фракций почв Зеленоградского стационара неоднократно исследован ([Чижикова, 1990, 1992](#); [Иванов, 1989, 1990](#)). Проводились сравнения профилей глинистого материала почв, наиболее широко распространенных на территории стационара в различных условиях их формиро-

вания – под лесом, пашней, при различных агрохимических воздействиях.

Установлено, что почвы Зеленоградского стационара имеют четко выраженную текстурную дифференциацию по элювиально-иллювиальному типу. Илистая фракция почвообразующей породы (бескарбонатного пылеватого суглинка) состоит из сложных неупорядоченных смешанослойных образований с различным сочетанием пакетов в кристаллитах: слюда-сметкитов (преобладают), хлорит-сметкитов, хлорит-вермикулитов, слюда-вермикулитов. Фракция содержит неупорядоченный каолинит и магнезиально-железистый хлорит, индивидуальный сметкит. Присутствие в составе фракции минералов разного генезиса, структуры и дисперсности определяет их неодинаковое отношение к агентам выветривания и условиям почвообразования.

Наибольшие потери минералов по сравнению с однородным покровным суглинком характерны для гор. EL. Здесь снижается содержание каолинита и гидрослюд, а смешанослойные образования со сметкитовым пакетом исчезают полностью. Вероятно, это является результатом разрушения ряда минералов в первую очередь смешанослойных образований. Не исключен процесс суспензионного переноса минералов (лессиваж для глинистых минералов, партлювация для любых частиц). Эти процессы приводят к образованию натечных глинистых кутан и скелетан в нижележащих горизонтах.

Для исследования кристаллохимического строения минералов тонкодисперсных фракций в переходном гор. BEL и пограничных с ним гор. EL и BT1 в профиле агродерново-подзолистой почвы на глубинах 32–36 (гор. EL), 37–41(гор. BEL) и 42–46 (гор. BT1) отобраны цилиндрические образцы ненарушенного сложения (микромонолиты) высотой 4 см и диаметром 3 см. Образцы отбирали колонкой, чтобы сократить влияние латеральной изменчивости состава почвы. Для оценки однородности строения почвенной массы отобранные образцы в нативном состоянии исследовали на рентгеновском микротомографе SkyScan 1172 (Бельгия). На рис. 1 представлены трехмерные компьютерные реконструкции образцов в виде виртуальных призм, вырезанных из микротомографических стеков. В табл. 1 перечислены основные компоненты строения образцов из горизонтов EL–BEL–BT1 на трехмерных компьютерных реконструкциях.

Микротомографический анализ показал, что образец гор. EL имеет комковато-пластинчатую структуру и уплотненное сложение. Основная масса образца имеет однородный пылеватый состав с низкой рентгеновской плотностью, благодаря чему его рентгеновское изображение слабо дифференцировано по уровням серости (за исключением слабопроницаемых для рентгена железисто-марганцевых ортштейнов).

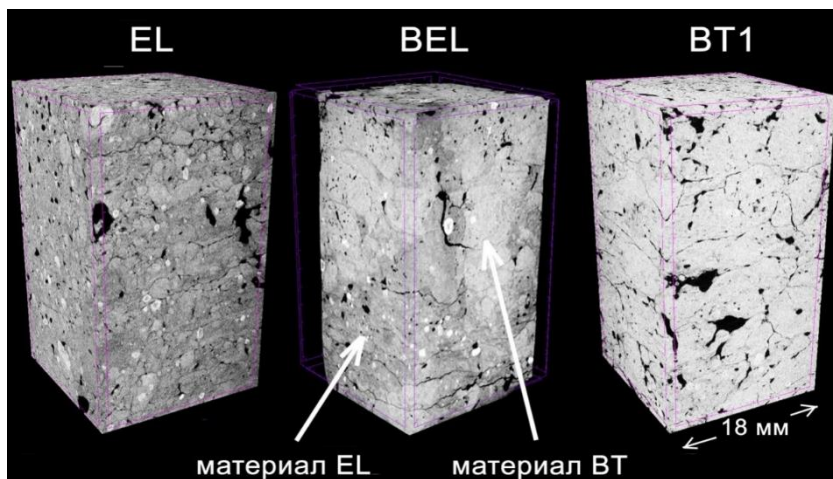


Рис. 1. Строение микромонолитов из элювиального (EL), переходного (BEL) и иллювиального (BT1) горизонтов дерново-подзолистой почвы. Трехмерные компьютерные реконструкции на основе микротомографического сканирования (микротомограф SkyScan 1172, разрешение 16 мкм/пиксель).

Таблица 1. Окраска, проницаемость для рентгеновских лучей и локализация основных компонентов строения горизонтов EL–BEL–BT1 на трехмерных компьютерных реконструкциях

Компонент строения	Окраска	Проницаемость для рентгеновских лучей	Локализация
Поры и трещины	Черная	Очень высокая	Все горизонты
Пылеватый материал гор. EL	Серая	Высокая	EL, фрагменты BEL
Глинистый материал гор. BT	Светло-серая	Низкая	BT1, фрагменты BEL
Ортштейны	Белая	Очень низкая	EL, BEL, единично BT1

Образец из гор. ВТ1 с четко выраженной угловато-блоковой структурой также однороден по составу. Однако в результате высокого содержания илистых частиц он имеет более высокую рентгеновскую плотность и более светлую окраску. Переходный гор. ВЕL представляет собой сочетание пылеватого и глинистого материала. На его компьютерной реконструкции хорошо видны светло-серые включения материала ВТ на фоне серой элювиальной массы ЕL. Включения ВТ имеют сложные очертания и четкие границы раздела с вмещающим материалом ЕL.

Для установления пространственной неоднородности кристаллохимического строения минералов тонкодисперсных фракций в переходном гор. ВЕL весь микромоноклит ВЕL вручную разобран на слагающие его компоненты ЕL, ВТ (не включая ортштейны). Дальнейшему исследованию подвергли образцы четырех видов: усредненный материал микромоноклита из гор. ЕL, материал пылеватых фрагментов микромоноклита из гор. ВЕL, материал глинистых фрагментов микромоноклита из гор. ВЕL, усредненный материал микромоноклита из гор. ВТ1.

В перечисленных образцах исследовали гранулометрический состав методом лазерной дифрактометрии (дифрактометр Microtrac 3500 в модификации Bluwave 1) и кристаллохимическое строение минералов во фракциях <1, 1–5, 5–10 мкм. Использование лазерной дифрактометрии обусловлено малыми объемами образцов из фрагментов гор. ВЕL.

Диспергирование почвенной массы для выделения тонкодисперсных фракций проводили без использования химических реагентов путем растирания образца в состоянии густой пасты (метод [Н.И. Горбунова, 1963](#)). Ориентированные препараты фракций ила, тонкой и средней пыли исследовали рентгендифрактометрическим методом на аппаратуре фирмы Карл Цейсс Йена (Германия). Режим работы универсального дифрактометра марки ХZG-4А: напряжение на трубке 30 кВ, анодный ток 30 мА, скорость вращения гониометра 20° в мин, излучение медное, фильтрованное никелем. Рентгендифрактограммы получены для воздушно-сухих образцов, насыщенных этиленгликолем и прокаленных при температуре 550°С в течение 2 ч. Расшифровку рентгенограмм проводили по общепринятым руководствам ([Горбунов, 1963](#); [Градусов, 1976](#); [Рентгеновские методы..., 1965](#); [Соколова и](#)

[др., 2005](#)). Полуколичественное содержание основных минеральных фаз во фракции <1 мкм определено по методике Biscaye (1965). Измеряли относительные площади дифракционных максимумов в области 7, 10 и 17–18 Å на рентгенограммах насыщенных этиленгликолем препаратов, что соответствует интенсивностям первых базальных рефлексов соответственно каолинита и хлорита, гидрослюды и смешанослойных образований со смектитовым пакетом. Затем рассчитывали величины площадей дифракционных пиков к их сумме с поправкой на структурные факторы. Для гидрослюды использовали пересчетный коэффициент 4, для 7 Å рефлекса каолинита и хлорита – 2, для смешанослойных образований – 1. Полуколичественное содержание основных минеральных фаз во фракциях 1–5 и 5–10 мкм определяли по методике Cook et al. (1975). Суть методики сводится к следующему. Рентгендифрактограмма произвольно разбивается на несколько отрезков. Их размер должен быть таким, чтобы захватить один или два пика. К каждому отрезку проводится касательная. Для определения содержания минералов данной фракции для каждого компонента необходимо измерить общую длину (расстояние от касательной до максимума пика всех соответствующих рефлексов (в миллиметрах)). Далее проводят ряд вычислений. Полученные значения для каждого минерала умножают на соответствующий поправочный коэффициент и складывают. Например, поправочные коэффициенты для хлорита, каолинита, полевых шпатов, кварца и смешанослойных образований соответственно равны 4.95, 2.25, 4.3, 1.3. Сумма принимается за 100%, и рассчитывается процентное содержание каждого компонента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Содержание тонкодисперсных фракций в исследованных образцах существенно различается. Согласно данным рентгеновской дифрактометрии, по содержанию частиц <5 мкм исследованные образцы формируют следующий ряд: глинистые фрагменты BEL > материал BT1 > пылеватые фрагменты BEL > материал EL (рис. 2). Таким образом, фрагменты EL и BT в гор. BEL по гранулометрическому составу не тождественны соответствующим гор. EL и BT1 и отличаются от них большим содержанием ила и тонкой пыли. Полученные результаты подтверждаются анализом образцов на раст-

ровом электронном микроскопе. Фрагменты ВТ в образце переходного гор. ВЕL по сравнению с гор. ВТ1 отличаются более выраженными глинистыми пленками (рис. 3).

Аналогичные различия в содержании тонкодисперсных частиц получены при фракционировании образцов по методу Н.И. Горбунова (табл. 2). Так, наименьшее количество илистой фракции отмечено из образца гор. EL – 4.37%. В осветленной части гор. ELVt этот показатель увеличивается до 9.27%, а в глинистой части возрастает до 23.32%. В гор. Vt количество ила составляет 16.78%.

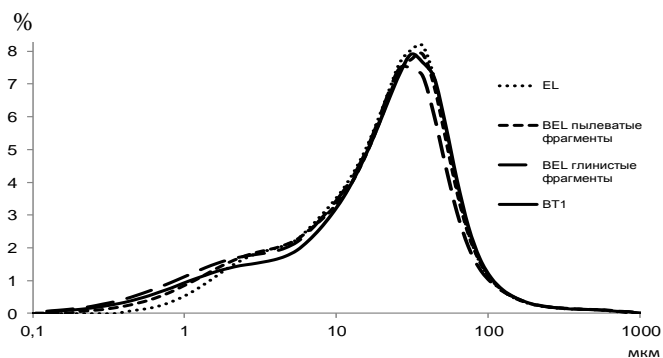


Рис. 2. Кривые распределения тонких фракций в исследованных образцах. Данные лазерной дифрактометрии (дифрактометр Microtrac 3500 в модификации Bluwave 1).

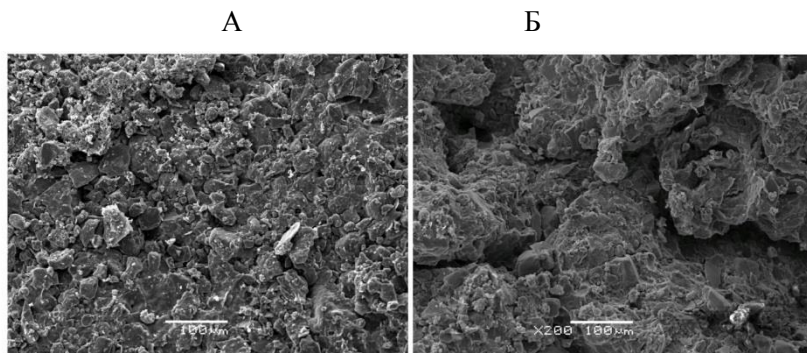


Рис. 3. Растровые электронные изображения материала из гор. ВТ1 (А) и из глинистого фрагмента гор. ВЕL (Б).

Таблица 2. Содержание в образцах гранулометрических фракций, выделенных по методу Горбунова, %

Генетический горизонт	Глубина, см	Размер фракций, мкм			
		<1	1–5	5–10	>10
EL	32–36	4.4	5.6	7.2	82.8
VEL	37–41 (пылеватая часть)	9.3	6.6	10.7	73.5
VEL	37–41 (глинистая часть)	23.3	7.3	6.5	62.8
BT1	42–62	16.8	11.4	4.3	67.6

Минералогический состав тонкодисперсных фракций, выделенных из гор. EL (глубина 32–36 см). Содержание илистой фракции в образце составляет 4.37%. Фракция состоит из сложных неупорядоченных смешанослойных минералов, в которых прослеживается сегрегация пакетов нескольких типов: слюд, смектита, вермикулита, хлорита. Доминирует хлорит-вермикулитовое смешанослойное образование с небольшой примесью слюда-смектитов (табл. 3). Диагностированы сильно гидратированная гидрослюда в основном триоктаэдрического типа с небольшой примесью диоктаэдрических мусковитов, несовершенный каолинит в достаточно высоком количестве и магнезиально-железистый хлорит.

Во фракции тонкой пыли, количество которой составляет 5.6%, содержание слоистых силикатов резко снижено и доминирует кварц (табл. 4). По сравнению с фракцией ила увеличено количество калиевых полевых шпатов и плагиоклазов. Среди слоистых силикатов преобладают слюды-гидрослюды. Присутствуют хлорит и каолинит. Небольшая примесь хлорит-вермикулита.

Во фракции средней пыли, количество которой равно 7.24%, увеличивается содержание каркасных минералов и снижается – слоистых силикатов. Последние представлены слюдами триоктаэдрического типа, магнезиально-железистым хлоритом, каолинитом, степень совершенства структуры которого в этой фракции более высокая, чем в илистой.

Минералогический состав тонкодисперсных фракций, выделенных из гор. VEL, пылеватые фрагменты образца. Количество илистой фракции, выделенной из этого образца составляет 9.3%. Состав компонентов фракции представлен сложными неупорядоченными смешанослойными образованиями с сегрега-

Таблица 3. Соотношение основных минеральных фаз во фракции <1 мкм, %

Горизонт, глубина, см	Фракция <1 мкм, %	Содержание минералов во фракции <1 мкм						Содержание минералов в почве в целом, %				
		каолинит	хлорит	гидрослюда	смешано-слоистые образования		каолинит	хлорит	гидрослюда	смешано-слоистые образования		
					слоида-сметит	хлорит-вермикулит (сметит)				слоида-сметит	хлорит-вермикулит (сметит)	
EL, 32–36	4.4	18	7	49	6	21	0.8	0.3	2.2	0.3	0.9	
BEI, 37–41 пылеватая часть	9.3	12	5	48	12	22	1.1	0.5	4.5	1.1	2.0	
BEI, 37–41 глинистая часть	23.3	10	11	34	22	24	2.3	2.6	7.9	5.1	5.6	
BT1, 42–62	16.2	8	7	36	21	28	1.3	1.1	5.8	3.4	4.5	

цией пакетов вермикулитового и хлоритового типов. Кроме этого резко доминирующего компонента ила наблюдается небольшая примесь слюда-сметитов и хлорит-сметитов. Гидрослюда относится к категории триоктаэдрических. Каолинит – несовершенный по своей структуре и магнезиально-железистый хлорит. Так же, как и в образце из элювиального горизонта слоистые силикаты дополняются кварцем, калиевыми полевыми шпатами, плагиоклазом. Различие между минералами, выделенными из гор. EL, и минералами пылевой фракции гор. BEI заключается в более совершенной структуре минералов, выделенных из пылевой части гор. BEI, что доказывается в увеличении интенсивностей рефлексов всех слоистых силикатов илистой фракции этого образца.

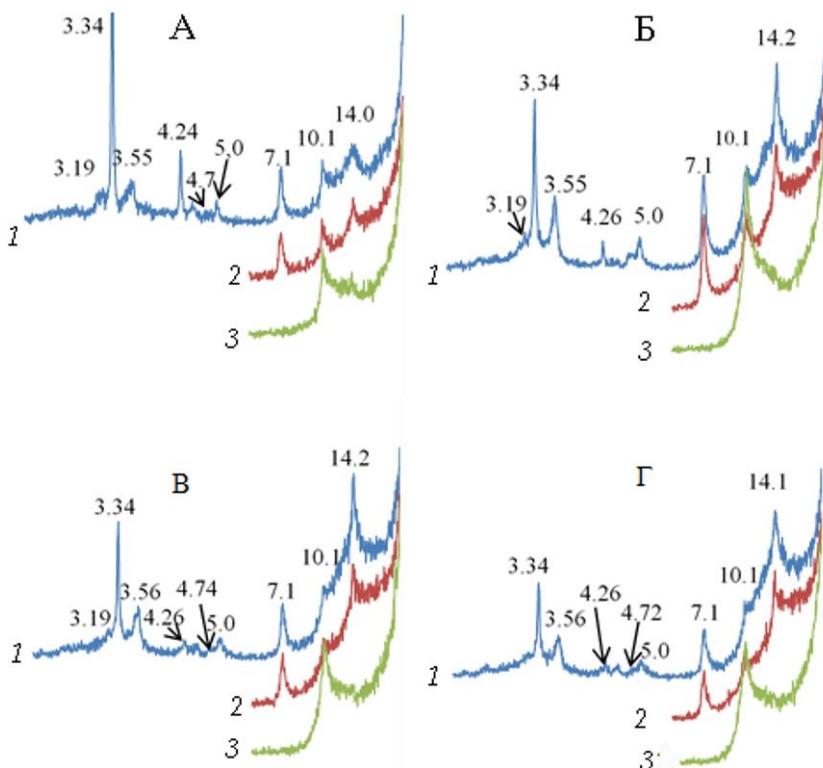


Рис. 4. Рентгендифрактограммы илистой фракции, выделенной из образцов горизонтов: А – EL (32–36 см); Б – ELbt (пылеватая часть); В – ELbt (глинистая часть); Г – Bt (42–62 см); 1 – образец в воздушно-сухом состоянии; 2 – после сольватации этиленгликолем; 3 – после прокаливании при 550°C в течение 2 ч; межплоскостные расстояния в ангстремах.

Кроме того, илстый материал, выделенный из пылеватого образца переходного горизонта, содержит меньшее количество кварца.

Фракция тонкой пыли, количество которой составляет 6.6%, как и в образце из элювиального горизонта существенно отличается от илистой значительным увеличением количества кварца, калиевых полевых шпатов и плагиоклазов. Слоистые силикаты представлены слюдами-гидрослюдами триоктаэдрического типа, магнезиально-железистым хлоритом, каолинитом. Отмечается

Таблица 4. Содержание минералов во фракции тонкой пыли (1–5 мкм), %

Горизонт, глубина, см	Содержание фракции, %	Содержание минералов во фракции						Содержание минералов в почве					
		кварц	плаггиоклазы	калиевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	кварц	плаггиоклазы	калиевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит
EL, 32–36	5.6	42	14	20	17	4	2	2.4	0.8	1.1	1.0	0.3	0.1
BEL, 37–41 пылеватая часть	6.6	39	10	15	27	3	6	2.5	0.7	1.0	1.8	0.2	0.4
BEL, 37–41 глинистая часть	7.3	35	9	14	33	3	7	2.5	0.6	1.1	2.4	0.2	0.5
BT1, 42–62	11.8	28	10	15	30	4	12	3.3	1.2	1.7	3.6	0.5	1.4

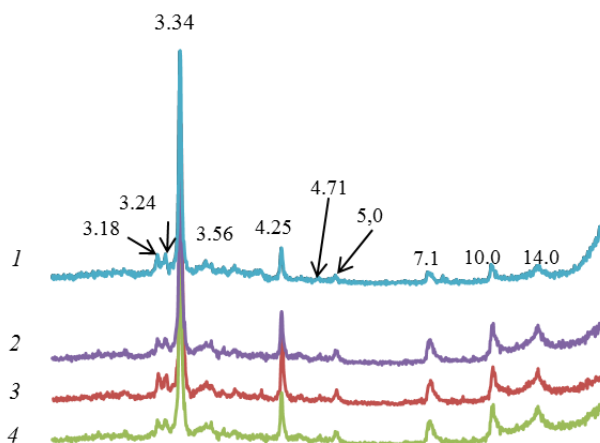


Рис. 5. Рентгендифрактограммы фракции 1–5мкм, выделенной из образцов горизонтов: 1 – EL, 32–36 см; 2 – ELBt, пылеватая часть; 3 – ELBt глинистая часть; 4 – Bt, 42–62 см; образцы сняты в воздушно-сухом состоянии, межплоскостные расстояния в ангстремах.

Таблица 5. Содержание минералов во фракции средней пыли (5–10 мкм), %

Горизонт, глубина, см	Содержание фракции, %	Содержание минералов во фракции						Содержание минералов в почве					
		кварц	плаггиоклазы	калиевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит	кварц	плаггиоклазы	калиевые полевые шпаты	слюды	хлорит	каолинит
EL, 32–36	7.24	42	15	17	20	3	4	3.1	1.1	1.2	1.4	0.2	0.3
BEL, 37–41 пылевая часть	10.66	38	13	19	23	3	3	4.2	1.4	2.1	2.5	0.3	0.4
BEL, 37–41 глинистая часть	6.52	43	12	16	24	1	4	2.8	0.8	1.2	1.6	0.1	0.3
Bt1, 42–62	4.11	42	12	17	22	2	5	1.9	0.5	0.8	1.0	0.1	0.2

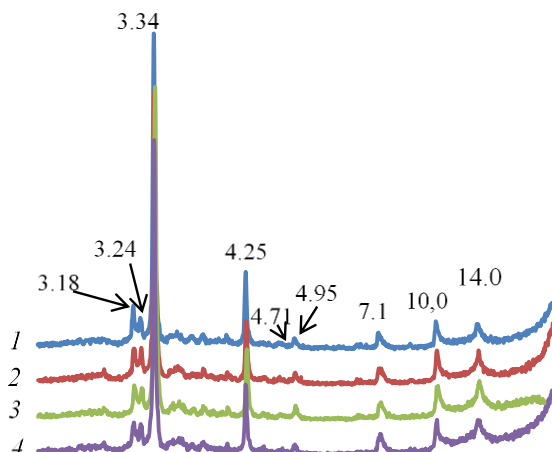


Рис. 6. Рентгendifрактограммы фракции 5–10 мкм, выделенной из образцов горизонтов: 1 – EL 32–36 см; 2 – ELBt пылевая часть; 3 – ELBt глинистая часть; 4 – Bt 42–62 см; образцы сняты в воздушно-сухом состоянии; значения межплоскостных расстояний в ангстремах.

небольшая примесь хлорит-вермикулитового смешанослойного образования. По сравнению с тонкой пылью образца, препарированного из гор. EL, здесь больше слюд и каолинита.

Содержание фракции средней пыли составляет 10.66%. Состав компонентов аналогичен таковым фракции тонкой пыли. Однако значительно увеличено количество кварца, калиевых полевых шпатов, слюд.

Минералогический состав тонкодисперсных фракций, выделенных из гор. ВЕL, глинистые фрагменты образца. Содержание илистой фракции, выделенной из глинистой части переходного горизонта, наибольшее по сравнению со всеми анализируемыми образцами и составляет 23.3%. Состав минералов также отличается от образцов, рассмотренных ранее. В первую очередь это касается наличия смектитовой фазы, представленной неупорядоченными смешанослойными образованиями с высоким содержанием смектитовых пакетов. Итак, основным компонентом ила в данном образце является смешанослойные образования, среди которых диагностированы слюда-смектиты с высоким (более 50%) содержанием смектитовых пакетов, далее хлорит-смектиты, хлорит-вермикулиты, хлорит-смектиты. Гидрослюды сильно гидратированы, о чем свидетельствует существенная асимметрия 10.2 \AA рефлекса в сторону малых углов. В смеси триоктаэдрических и диоктаэдрических структур преобладают первые. Структура каолинита в этом образце несовершенна, что подтверждается наличием широкого основания рефлекса 7 \AA . Магнезиально-железистый хлорит сильно деградирован. Среди кластогенных минералов доминирует кварц, примесь калиевых полевых шпатов невелика, плагиоклазы отсутствуют.

Таким образом образец из глинистой части гор. ВЕL существенно отличается по своим кристаллохимическим показателям илистого вещества от такового горизонтов элювиальной части профиля; высоким содержанием фракции, преобладанием в ней смектитовой фазы в виде слюда-смектитов с высоким содержанием смектитовых пакетов и серии смешанослойных образований со смектитовым – вермикулитовым пакетом – продуктов трансформации хлоритов, несовершенными формами каолинита, низкой примесью кластогенных минералов.

Фракция тонкой пыли составляет 7.33%. Состав компонентов фракции схож с таковым рассмотренных выше образцов. Преобладает кварц (34.55%). Довольно высокое содержание слюд-гидрослюд (32.64%) в основном триоктаэдрического типа. Количество калиевых полевых шпатов составляет 14.5%, а плагиоклазов 8.71%. Слюды-гидрослюды, каолинит и хлорит составляют всего около 3% в пересчете на почву в целом.

Фракция средней пыли (11.76%) состоит из тех же компонентов, которые диагностированы во фракции тонкой пыли (табл. 5). Однако наблюдаются различия в количественном соотношении минералов: высокая доля кварца 43.11%, плагиоклазов, но меньше слюд, каолинита, хлорита.

Минералогический состав тонкодисперсных фракций образца из гор. ВЕЛ глинистой части в наибольшей мере отличается от таковых элювиального горизонта и светлой части гор. ВЕЛ в основном по составу минералов илистой части за счет наличия в ней смектитовой фазы. Чем крупнее размерность фракции, тем более схож их минералогический состав как по составу минералов, так и по их количественному содержанию.

Минералогический состав тонкодисперсных фракций, выделенных из гор. Вt (глубина 42–46 см). Минералогический состав фракции <1 мкм, выделенной из иллювиального горизонта (глубина образца 42–46 см) схож с таковым образца, взятого из глинистой части гор. ELBt (табл. 3, рис. 4). Во фракции преобладают (66.03%) неупорядоченные сложные смешанослойные образования с сегрегацией пакетов смектитового, слюдистого, вермикулитового и хлоритового типов, а именно слюда-смектиты с высоким содержанием смектитовых пакетов, те же образования с низким содержанием смектитовых пакетов, хлорит-смектиты, хлорит-вермикулиты. Рефлексы первого порядка смешанослойных образований имеют существенную интенсивность, островершинны. Гидрослюды, представляющие смесь триоктаэдрических и диоктаэдрических типов структур, составляют 15.14%. Каолинит обладает более совершенной структурной организацией, судя по интенсивности рефлекса 7.1 \AA , чем каолинит в рассмотренных ранее образцах. Можно констатировать, что минералы илистой фракции из верхней части иллювиального горизонта менее затронуты почвообразованием, чем минералы элювиальной части про-

филя. Наличие смектитовой фазы в виде смешанослойного слюда-смектита можно рассматривать с нескольких позиций: 1 – как продукт разрушения и трансформации до смектитовой фазы гидрослюды и хлоритов, происходящих в элювиальной части профиля; 2 – как продукт выноса этой фазы из элювиальной части профиля; 3 – как продукт трансформации триоктаэдрических гидрослюды на месте, а также как продукт трансформации хлорита в хлорит-смектит через стадию хлорит-вермикулита.

Во фракции тонкой пыли состав минералов существенно отличается от такового ила за счет большего количества кварца, калиевых полевых шпатов, плагиоклазов (28.42, 14.77, 10.2% соответственно). Слюды-гидрослюды также составляют высокую долю, каолинит 12.15%, хлорит 4.05%.

Фракция средней пыли, количество которой равно 4.26%, состоит из кварца, калиевых полевых шпатов, плагиоклазов, слюд. Примесь слоистых силикатов незначительна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование образцов, морфологически выделяемых как фрагменты элювиальной, иллювиальной частей профиля дерново-подзолистой почвы и фрагменты переходного гор. ВЕЛ, позволяет сделать заключение, что наиболее существенный вклад в создание текстурной дифференциации профиля дерново-подзолистой почвы вносит селективное минералого-гранулометрическое внутрипочвенное выветривание.

Подзолообразование существенным образом изменяет тип сегрегации пакетов в слоистых силикатах в различных генетических горизонтах. В элювиальной части профиля накапливаются минералы с жесткими структурами – каолинит и гидрослюды диоктаэдрического типа. Здесь фиксируется минимум смешанослойных образований со смектитовым пакетом (далее смектитовая фаза) по сравнению с иллювиальной частью профиля и почвообразующей породой. При пересчете содержания минералов в илистой фракции на почву в целом, еще резче наблюдается обеднение элювиальной части профиля смектитовой фазой в виде смешанослойных образований слюда-смектитового типа, а также гидрослюды. Установлено, что “дефицит ила в элювиальной части профиля на 60–80% может обеспечиваться за счет разрушения

смешанослойных образований со смектитовым пакетом” ([Тонконогов и др., 1987](#)). В этих горизонтах остаточно сохраняются хлорит-смектиты-вермикулиты – продукты трансформации хлоритов, происходящих как в илистой фракции, так и в продуктах дробления с последующей трансформацией хлоритов из более грубых фракций (тонкой и средней пыли). В этой части профиля относительно накапливается каолинит, кварц, полевые шпаты. Подзолообразование привело к “рафинированию” структуры каолинита, рефлекссы которого в этой части профиля имеют наибольшую интенсивность, остроконечность рефлекса при 7 Å, наименьшую полуширину. В иллювиальных горизонтах в значительной мере увеличено количество смешанослойных образований слюда-смектитового типа с высоким содержанием смектитовых пакетов.

Различия в количестве илистой фракции и ее минералогическом составе, отмеченные в пылеватом и глинистом фрагментах переходного гор. ВЕL свидетельствуют о локальном изменении минеральных компонентов под влиянием продуктов жизнедеятельности растительных сообществ и водного режима. При наличии высокого содержания ила, а в нем – смектитовой фазы, глинистые фрагменты переходного горизонта почвы противостоят процессу выветривания в большей мере, чем фрагменты этого же горизонта с малым содержанием илистой фракции фазы, благодаря чему эти глинистые фрагменты длительное время остаются малоизмененными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горбунов Н.И.* Высокодисперсные минералы и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 302 с.
2. *Градусов Б.П.* К природе глинистых минералов подзолистых горизонтов из почв Русской равнины // Доклады АН БССР. 1968. Т. X11. № 2. С. 152–154.
3. *Градусов Б.П.* Минералы со смешанослойной структурой в почвах. М.: Наука, 1976. 128 с.
4. *Иванов Д.Ю.* Микроморфологические и петрографо-минералогические признаки разрушения илистого вещества в иллювиальных горизонтах текстурно-дифференцированных почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1989. Вып. 51. С. 34–35.

5. *Иванов Д.Ю.* Гетерогенность химического и минералогического составов суглинистых дифференцированных почв Нечерноземья: Автореф. дис. ... к. геогр. н. М., 1990. 23 с.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под ред. Брауна Г. М.: Мир, 1965. 600 с.
8. *Роде А.А.* О возможной роли растительности в подзолообразовании (Предварительное сообщение). Избр. тр. Т.1. Теоретические проблемы почвоведения и вопросы генезиса почв. М., 2008. С. 66–91.
9. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешина И.И.* Глинистые минералы в почвах. М., 2005. 336 с.
10. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
11. *Тонконогов В.Д.* Глинисто-дифференцированные почвы Европейской части России. М., 1999. 155 с.
12. *Тонконогов В.Д., Градусов Б.П., Рубилина Н.Е., Таргульян В.О., Чижикова Н.П.* К дифференциации минералогического и химического составов дерново-подзолистых и подзолистых почв // Почвоведение. 1987. № 3. С. 68–81.
13. *Фридланд В.М., Бондарев А.Г., Градусов Б.П., Кузнецова И.В., Тонконогов В.Д., Чижикова Н.П.* Сравнительная характеристика дерново-подзолистых почв Европейской России и лессивированных почв Франции // Генезис, география и картография почв. М., 2000. С. 29–76.
14. *Чижикова Н.П.* Изменение минералогического состава илистых фракций и их подвижности в дерново-подзолистых почвах под влиянием вносимых удобрений // Минералогический состав и микростроение почв в решении вопросов генезиса и плодородия. М., 1990. С. 16–29.
15. *Чижикова Н.П.* Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза: Дис. ... д. с.-х. н. М., 1992. 679 с.
16. *Biscaye P.E.* Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1965.V. 76. P. 803–832.
17. *Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., Zemmels I.* Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside // Hayes D.E., Frakes L.A., et al., Init. Repts. DSDP, 28: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1975. P. 999–1007.

THE DISTRIBUTION OF MINERALS IN ELUVIO-ILUVIAL HORIZON OF AGRO SODDY-PODZOLIC SOIL

N. P. Chizhikova*, **E. B. Skvortsova**,
E. B. Varlamov, **N. A. Churilin**, **A. E. Churilina**,
K. N. Abrosimov, **A. V. Yudina**, **K. A. Romanenko**

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Pyzhevskii per. 7, Moscow, 119017 Russia
e-mail: chizhikova38@mail.ru*

The structure of micromonoliths from eluvial horizon (EL), transitional horizon (BEL) and iluvial horizon (BT1) of agro soddy-podzolic soil developed on clay loam mantle, underlain by non-calcareous moraine was studied. The following methods were applied: microtomography, x-ray diffractometry analyses, laser diffractometry, and soil particles sedimentation method. The objects are located on the experimental field of Zelenograd stationary related to Dokuchaev Soil Science Institute (Yeldigino village, Moscow Oblast). The method of computer tomography helped to determine the zones, from which the silty and clayey fragments of transitional horizon were extracted. The method of sedimentation allowed to mark the differences in the amount of fractions with sizes <1 , $1-5$, $5-10$, >10 μm . The method of x-ray diffractometry allowed us to determine the correlation of minerals in fractions with different particles sizes and also their qualitative composition. The minimal content of the clayey fraction is set in the sample from the eluvial part of the profile. The maximal content was set in the sample of separated clayey material from the transitional horizon. The most significant differences in the mineralogical composition are observed in the fraction lower than 1 μm . The eluvial part of the profile is characterized by the prevailing of hydromicas and chlorite vermiculite mixed-layer minerals. The same correlation of minerals is observed within the sample of silty part from the transitional layer. The iluvial part of the profile is characterized by the decrease of compounds with rigid structure (hydromicas, chlorite vermiculite). The clayey part of the transitional horizon is characterized by the highest content of silt and mica smectite within it. The distribution of fractions of fine ($1-5$ μm) and medium ($5-10$ μm) silt and their mineralogical content is less informative in relation to the differentiation of the soil profile during the podzolization.

Keywords: crystal chemistry of layered silicates, interstratification minerals, chlorite-vermiculite, microtomography analysis, x-ray diffractometry.

REFERENCES

1. Gorbunov N.I. *Highly dispersed minerals and methods for their study*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. 302 p. (in Russian)
2. Gradusov B.P. To the nature of clay minerals of podzolic horizons from the soils of the Russian Plain, *Doklady AN BSSR*, 1968, V. X11, No. 2, pp. 152-154. (in Russian)
3. Gradusov B.P. *Minerals with a mixed structure in soils*. Moscow: Publ. Nauka, 1976. 128 p. (in Russian)
4. Ivanov D.Yu. Micromorphological and petrographic-mineralogical signs of the destruction of silty matter in illuvial horizons of texturally differentiated soils, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 1989, V. 51, pp. 34-35. (in Russian)
5. Ivanov D.Yu. *Heterogeneity of chemical and mineralogical compositions of loamy differentiated soils of Non-Black Earth Region*: Extended abstract of Doctor's thesis. N. Moscow, 1990, 23 pp.
6. *Classification and diagnostics of soils in Russia*, Smolensk: Oykumena, 2004, 342 p. (in Russian)
7. *X-ray methods of studying and structure of clay minerals* / Ed. Brauna G.M., Moscow: Publ. Mir, 1965, 600 p. (in Russian)
8. Rode A.A. On the possible role of vegetation in podzol formation (Preliminary report). Fav. Tr. V.1. *Theoretical problems of soil science and soil genesis*, Moscow, 2008, pp. 66-91.
9. Sokolova TA, Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I. *Clay minerals in soils*, Moscow, 2005, 336 p. (in Russian)
10. Tonkonogov V.D. *Automorphic soil formation in the tundra and taiga zones of the East European and West Siberian Plains*, Moscow: Publ. Soil. Institute of. V.V. Dokuchaeva, 2010, 304 p. (in Russian)
11. Tonkonogov V.D. *Clay-differentiated soils of the European part of Russia*. Moscow, 1999, 155 p. (in Russian)
12. Tonkonogov VD, Gradusov BP, Rubilina NE, Targulian VO, Chizhikova NP To the differentiation of mineralogical and chemical compositions of sod-podzolic and podzolic soils // *Pochvovedenie*, 1987, No. 3, pp. 68-81. (in Russian)
13. Fridland V.M., Bondarev A.G., Gradusov B.P., Kuznetsova I.V., Tonkonogov V.D., Chizhikova N.P. Comparative characteristics of sod-podzolic soils of European Russia and the leaved soils of France, *Genesis, geography and cartography of soils*, Moscow, 2000, pp. 29-76. (in Russian)
14. Chizhikova N.P. Changes in the mineralogical composition of silty fractions and their mobility in sod-podzolic soils under the influence of introduced

fertilizers, *Mineralogical composition and microstructure of soils in solving problems of genesis and fertility*, Moscow, 1990, pp. 16-29. (in Russian)

15. Chizhikova N.P. *Transformation of the mineralogical composition of soils in the process of agrogenesis*: Doctor's thesis. Moscow, 1992, 679 p. (in Russian)

16. Biscaye P.E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans, *Geol. Soc. Am. Bull.* 1965, V. 76, pp. 803–832.

17. Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., and Zemmels I. Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside. In: Hayes D.E., Frakes L.A., et al., *Init. Repts. DSDP*, 28: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1975, pp. 999–1007.

Ссылки для цитирования

Чижикова Н.П., Скворцова Е.Б., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Чурилина Е.А., Абросимов К.Н., Юдина А.В., Романенко К.А. Перераспределение минералов в элювиально-иллювиальном горизонте агродерново-подзолистой почвы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 75-95. doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-75-95

Chizhikova N.P., Skvortsova E.B., Varlamov E.B., Churilin N.A., Churilina A.E., Abrosimov K.N., Yudina A.V., Romanenko K.A. The distribution of minerals in eluvio-iluvial horizon of agro soddy-podzolic soil, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2017, Vol. 88, pp. 75-95. doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-75-95