

ГЕНЕЗИС  
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.48

**КРИОЗЕМЫ И ПАЛЕВЫЕ СЛАБОДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ПОЧВЫ  
ТУНДРА И ТАЙГИ ЯКУТИИ: СВОЙСТВА, МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ  
И КЛАССИФИКАЦИЯ**

© 2021 г. Р. В. Десяткин<sup>а, \*</sup>, С. Н. Лесовая<sup>б</sup>, М. В. Оконешникова<sup>а</sup>, А. З. Иванова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр-т Ленина, 41, Якутск, 667891 Россия

<sup>б</sup>Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет,  
В.О., 10 линия, 33, Санкт-Петербург, 199178 Россия

\*e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru

Поступила в редакцию 20.04.2021 г.

После доработки 16.06.2021 г.

Принята к публикации 30.06.2021 г.

Изучены свойства, минералогический состав илистых фракций и профильное распределение глинистых минералов в слабодифференцированных почвах Якутии, сформированных в условиях холодного ультраконтинентального климата. Объекты представлены криоземами тундры, редколесий и северной тайги (Анабарское плато и Алазейское плоскогорье) и палевой мерзлотной почвой подзоны средней тайги (Центрально-Якутская равнина). Выявлено, что профильная дифференциация глинистых минералов в почвах выражена слабо из-за криогенной гомогенизации. Несмотря на изменение кислотно-щелочных условий профиль палевой почвы слабо дифференцирован по минералогическому составу. Однако анализ полученных данных позволяет предположить, что выветривание минералов в палевых почвах Центральной Якутии является более значительным, чем считалось ранее. Это предположение согласуется с наличием в профиле мощного гумусового горизонта, характерного для почв гумидных регионов. Целесообразно эти почвы Центральной Якутии классифицировать как дерново-палевые.

*Ключевые слова:* криогенные почвы, глинистые минералы, ультраконтинентальный климат

DOI: 10.31857/S0032180X21120042

## ВВЕДЕНИЕ

Почвообразование и выветривание в обширной зоне распространения многолетней мерзлоты, расположенной на северо-востоке Сибири и относящейся в административном делении к Республике Саха (Якутия), происходит в условиях, близких к экстремальным. Это одно из наиболее континентальных и холодных мест Евразии. Климат характеризуется самым продолжительным в Северном полушарии периодом с отрицательными температурами (6.5–9 мес.); годовые колебания температур достигают 70–100°C; среднегодовое количество осадков ниже, чем испаряемость [17]. Территория республики находится в пределах нескольких природно-климатических зон. Показано, что испарение в лесных экосистемах больше, чем в тундровых [34], а многолетняя мерзлота является существенным источником влаги для обеспечения роста лесов [1, 9, 43]. Холодный, ультраконтинентальный климат Якутии отличается от климатических условий холодных, но более влажных регионов, где широко распространены и изучены

почвы, сформированные при близком залегании многолетней мерзлоты [6, 36].

Основы исследования почв Якутии заложены в работах классиков отечественного почвоведения [4, 9–11, 22, 23]. Рассмотрены физико-химические свойства почв, их генезис, вопросы классификации. Значительно меньше изучен минералогический состав почв. Для столь обширного региона Сибири как Якутия, химико-минералогические свойства рассмотрены для почв труднодоступной Колымской низменности [27, 31] и Центрально-Якутской равнины [24], включая результаты наших исследований [8, 38]. В настоящее время актуальны данные о минералогическом составе пород и почв, профильном распределении глинистых минералов тонкодисперсных фракций, как наиболее отзывчивых к почвообразовательным процессам. Это обусловлено тем, что в связи с глобальными изменениями климата существует необходимость получения новых данных, особенно для труднодоступных и недостаточных ранее регионов. К таковым относятся территории, содержащие ледовые комплексы,



**Рис. 1.** Расположение почвенных разрезов: Анабарское плато: 1 – P-18.12.A; 2 – P-12.12.A; Алазейское плоскогорье: 3 – P-31.08.A1, 4 – P-04.09.A1; 5 – Центрально-Якутская равнина: P-0-1-11.

где отмечается интенсивная деградация подземных льдов и связанные с этим нарушения почвенного покрова, а также водного баланса бассейнов отдельных рек. Происходит вовлечение нового материала в ежегодно оттаивающий слой, и, как следствие, изменение морфогенетических характеристик почв. Кроме того, появление новой классификационной системы почв России [12, 20] поставило вопрос о месте в ней многих почв Якутии.

Цель работы – изучение макроморфологических, физико-химических и химических свойств и минералогического состава слабодифференцированных почв, сформированных в условиях холодного, ультраконтинентального климата разных природно-климатических зон Якутии, в том числе для решения некоторых классификационных вопросов.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования расположены в широком географическом диапазоне в пределах криолитозоны. Три ключевых участка, значительно удаленных друг от друга, расположены на Анабарском плато, Алазейском плоскогорье и Центрально-Якутской равнине (рис. 1). Почвенные разрезы были заложены в тундре, лесотундре и тайге (северная и средняя подзоны). Ключевые участки на Анабарском плато и Алазейском плоскогорье расположены в труднодоступных райо-

нах, почвы которых до настоящего времени остаются малоизученными. В отличие от них ключевой участок на территории Центрально-Якутской равнины находится в пределах стационара “Элгэйи”, который входит в сеть лесных стационаров международного экологического мониторинга. Классификационная принадлежность, свойства почвы этого стационара, за исключением минералогического состава, рассмотрены ранее [18].

**Почвы Анабарского плато.** Массив, представляющий собой одну из древнейших структур докембрийского возраста Земли, находится в северо-западной Якутии. Эта территория ограничена с одной стороны горами плато Путорана, с другой – р. Леной. Метаморфический комплекс архейских пород представлен разнообразными кристаллическими сланцами и гнейсами с интрузиями гранита [16, 25]. Плато по периферии обрамлено протерозойскими и нижнепалеозойскими известняками [19]. Район исследований находится на северо-востоке Сибирской платформы, на восточной периферии Анабарского щита, и относится к бассейну р. Анабар. Притоки реки протекают по карбонатным породам кембрийского возраста [5]. Температура многолетнемерзлых пород, достигающих глубины 700–800 м, составляет от  $-5$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Мощность сезонного протаивания не превышает 0.8 м [14, 15]. Среднемесячная температуры июля составляет  $+12^{\circ}\text{C}$ , ян-

варя  $-35.1^{\circ}\text{C}$ , среднегодовое количество осадков 130–230 мм [17].

Ключевые участки находятся в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты в тундре и лиственничном редколесье. Разрез Р-18.12.А (координаты  $71^{\circ}16'46''\text{N}$ ,  $114^{\circ}28'38''\text{E}$ ) заложен в дриадово-пушицевой моховой тундре. Исследованный профиль расположен на участке со слабоволнистым микрорельефом, на вершине берегового увала левобережья р. Маят. Последовательность горизонтов в профиле: О (0–7 см) – моховой очес и свежий опад; Оао (7–12 см) – опад-подстилочный грубогумусированный – маломощный, с большим количеством неразложившихся/слаборазложившихся растительных остатков и корней; СRg (12–31 см) – криогенный глееватый – буровато-сизо-серый с охристыми пятнами, легкосуглинистый, бесструктурный, мокрый; Сg $\perp$  (31–50 см) – глееватая среднесуглинистая порода – отличается более серым цветом, залегает на многолетней мерзлоте. Профиль не вскипает. Почвообразующие породы представлены аллювиально-переотложенными супесчано-суглинистыми отложениями протерозоя и кембрия, выходы которых окружают плато. В минеральных горизонтах разреза присутствуют включения мелкого щебня – обломков плотных глинисто-известковых пород этих отложений. Диаметр включений составляет до 10 см в СRg и до 15 см в Сg $\perp$ . Почва залегает на слабодистой многолетней мерзлоте. В соответствии с подходами национальной классификации [12, 20] почва классифицирована как криозем грубогумусированный глееватый. Традиционно используемое название почвы в Республике Саха (Якутия) [10] – мерзлотная тундровая глееватая. В соответствии с международными подходами [35] Reductaquic Cryosol (Eutric, Loamic).

Второй ключевой участок расположен в кустарничково-лишайниково-моховом лиственничном редколесье, на территории с выраженным бугорковатым микрорельефом и большим количеством морозобойных трещин на поверхности. Разрез Р-12.12.А (координаты:  $71^{\circ}21'28''\text{N}$ ,  $114^{\circ}38'18''\text{E}$ ) заложен в долине ручья 41, бассейн р. Маят, на вершине берегового увала первой террасы. Почвообразующие породы представлены делювиально-пролювиальными суглинистыми отложениями древней коры выветривания Анабарского плато. Последовательность горизонтов в разрезе: О (0–3 см) мохово-лишайниковый очес; Оао (3–8 см) – в горизонте присутствует значительное количество растительных остатков слабой степени разложения; СRg (8–34 см) – светло-серовато-бурый с пятнами оглеения, влажный, бесструктурный, с признаками тиксотропии, плотный; С $\perp$  (34–60 см) – отличается более буровато-серым цветом. Профиль не вскипает, мерзлота с включениями кристаллов льда находится на глу-

бине 60 см. Профиль классифицирован как криозем грубогумусированный глееватый [12, 20] или криозем типичный [10], или Oxyaquic Turbic Cryosol (Eutric, Loamic) [35].

**Почвы Алазейского плоскогорья.** Плоскогорье расположено в северо-восточной части Якутии. Ключевые участки находятся вдоль р. Алазеи. Большая часть бассейна реки расположена в подзоне северной тайги (до  $69^{\circ}\text{N}$ ), тундровая зона находится между  $69^{\circ}$  и  $71^{\circ}\text{N}$ . Почвообразующие породы представлены темно-серыми аллювиальными, озерно-аллювиальными, озерно-болотными, делювиально-солифлюкционными и криогенно-эоловыми четвертичными отложениями, мощностью до нескольких десятков метров. Мощность сезонного протаивания достигает 50–70 см. Среднемесячная температура июля составляет  $+13.4^{\circ}\text{C}$ , января  $-37.3^{\circ}\text{C}$ , среднегодовое количество осадков 209–275 мм (данные по Среднеколымску) [13–15].

Разрез Р-31.08.А1 (координаты:  $69^{\circ}45'03''\text{N}$ ,  $154^{\circ}57'52''\text{E}$ ) заложен на территории с выраженным бугорковатым микрорельефом, в злаково-кустарничково-зеленомошной тундре. Профиль расположен в предгорном районе (местность Кисилых-Тас), на левом берегу р. Алазеи у подножия увала, переходящего в надпойменную террасу. Относительная высота составляет 3–4 м над урезом воды. Последовательность горизонтов: Оао (0–2 см) – с большим количеством сильноразложившихся растительных остатков; СRcgm (2–57 см) – криогенный криометаморфизованный – светло-серовато-бурый, влажный, супесчаный, структура творожисто-зернистая; СRg $\perp$  (57–65 см) – отличается более темной буровато-серой окраской с сизыми, охристыми пятнами оглеения и глыбистой структурой. Профиль не вскипает. Мерзлота находится на глубине 65 см. Почва классифицирована как криозем грубогумусированный криометаморфизованный глееватый [12, 20] или мерзлотная тундровая глееватая [10], или Cambic Turbic Cryosol (Eutric, Siltic) [35].

Разрез Р-04.09.А1 ( $68^{\circ}04'47''\text{N}$ ,  $151^{\circ}44'49''\text{E}$ ) расположен в лиственничнике кустарничково-лишайниково-зеленомошном на надпойменной террасе левого берега р. Алазеи, недалеко от с. Сватай. На ключевом участке выражен бугристый микрорельеф. Последовательность горизонтов: моховой очес (0–10 см), состоит из растительного опада, живых мхов; Оао (10–12 см) – коричневатобурый с большим количеством корней, слаборазложившихся/неразложившихся растительных остатков; СRg $\perp$  (12–50 см) – буровато-серый с охристыми пятнами, влажный, слабо оструктурен, плотное сложение, слегка тиксотропен. Профиль не вскипает. Мерзлота находится на глубине 50 см. Почва классифицирована как криозем грубогумусированный глее-

ватый [12, 20] или криозем типичный [10], или Reductaquic Turbic Cryosol (Eutric, Loamic) [35].

**Почва Центрально-Якутской равнины.** Централь-но-Якутская равнина представлена комплексом плейстоценовых террас, перекрытых преимущественно лёссовидными суглинками, которые представляют собой часть обширной перигляциальной области Сибири [21] и перигляциальной гиперзоны Северной Евразии [3]. Минералогический состав лёссовидных суглинков ледового комплекса Центральной Якутии практически однороден как в пространственном простирании, так и в вертикальном профиле [41]. Среднемесячная температура: июля +18°C, января –42.2°C, среднегодовое количество осадков 300 мм [17]. Глубина протаивания в лесу составляет 1–1.5 м, а на открытых местах до 3 м [14, 15].

Разрез Р-01-11 (60°00′59″ N, 133°49′54″ E) заложен в 60 км южнее с. Усть-Мая, в лиственнично-брусничном лесу на коренном левом берегу р. Алдан. Почвообразующие породы в профиле представлены элювиальными карбонатными суглинками, не относящимися к распространенным на Центрально-Якутской равнине лёссовидным отложениям. Многолетняя мерзлота залегает на глубине 88 см.

Профиль характеризуется следующей последовательностью горизонтов: опад-подстилочный О (0–6(20) см) состоит из слаборазложившихся растительных остатков и корней; гумусовый горизонт А (6(20)–11(24) см) – преимущественно серый, неплотный, свежий, комковато-пороховидный; В (11(24)–25(30) см) отличается светло-серой окраской, пороховидной структурой, слабым вскипанием от HCl, развит фрагментарно – отсутствует под трещинами; Bca (25(30)–56 см), серый, вскипает; Csa (56–88 см), появляется палево-оттеночный, сильно вскипает. Залегает на малольдистой мерзлоте. Индексация горизонтов этого профиля дана в соответствии с [10], почва классифицирована как мерзлотная палево- или Cambic Cryosol (Eutric, Loamic) [35]. В соответствии с подходами [12, 20] классификационное название профиля почвы является дискуссионным и будет рассмотрено ниже.

Таким образом, объекты исследований представлены мерзлотными тундровыми почвами и криоземами Анабарского плато и Алазейского плоскогорья и мерзлотной палево-почвой Центрально-Якутской равнины.

## МЕТОДЫ

Даны традиционно используемые в Республике Саха названия почв [10], а также в соответствии с [12, 20] и [35]. Индексы почвенных горизонтов определены по [12, 20], за исключением разреза палево-почвы, для которой индексация

горизонтов дана в соответствии с [10]. Гранулометрический состав определен методом пипетки по Качинскому в модификации Почвенного института; рН – потенциометрически. Общее содержание углерода методом Тюрина. Для верхних горизонтов, обогащенных неполностью разложившимся органическим материалом, приведены потери при прокаливании. Аналитическая характеристика почв включала определение гигроскопической влаги и плотности твердой фазы. В разрезах, за исключением профиля палево-почвы, содержание обменных катионов и гидролитическую кислотность определяли по методу Гедройца. Поскольку образцы из палево-почвы вскипали, обменные катионы в этом профиле определяли по методу Пфедффера; содержание углерода карбонатов – ацидиметрическим методом.

Для определения минералогического состава карбонаты во вскипающих образцах мелкозема разрушали 9%-ной уксусной кислотой. Илистые фракции (<0.001 мм) выделяли по методу Горбунова. Для коагуляции илистой фракции использовали 1 М раствор MgCl<sub>2</sub>. Предварительная обработка образцов включает насыщение этиленгликолем и прокалывание при температуре 550°C в течение 3 ч. Съемку ориентированных образцов проводили на приборе Rigaku MiniFlex II (Rigaku Corporation, Tokyo, Japan) X-ray дифрактометр (XRD), CoK<sub>α</sub>. Диагностику глинистых минералов при расшифровке рентгендифрактограмм проводили в соответствии с [30, 33].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Аналитическая характеристика.** Исследованные почвы по гранулометрическому составу относятся к среднесуглинистым за исключением единственного супесчаного разреза (Р-31.08.А1), расположенного на Алазейском плоскогорье (табл. 1). В маломощных почвах Анабарского плато и Алазейского плоскогорья преобладает фракция крупной пыли. В палево-почве Центрально-Якутской равнины (Р-01-11) выражено два максимума: фракции мелкого песка и крупной пыли. В исследованных разрезах закономерности профильное перераспределение гранулометрических фракций не выражены.

Высокие значения потерь при прокаливании, диагностируемые в верхних органогенных горизонтах (О) почв, обычны для таких горизонтов с высоким содержанием слабо-разложившегося органического вещества (табл. 2). Гумусово-аккумулятивный горизонт А сформирован только в наиболее южном из исследованных профилей, расположенном в средней тайге на территории Центрально-Якутской равнины (Р-01-11). Горизонт характеризуется большим содержанием органического углерода с резким его уменьшением вниз по профилю (табл. 3). В северных почвах

**Таблица 1.** Гранулометрический состав объектов исследования и некоторые другие аналитические данные

Горизонт, глубина, см	Содержание гранулометрических фракций, %, размер частиц, мм							ГВ, %	Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>
	1.0–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01		
Анабарское плато									
P-18.12.A, криозем грубогумусированный глееватый, тундра									
CRg, 12–31	1.8	23.8	44.5	6.6	7.7	15.6	29.9	1.86	2.59
Cg <sub>L</sub> , 31–50	0.7	18.8	45.7	6.6	8.9	19.3	34.8	1.76	2.64
P-12.12.A, криозем грубогумусированный глееватый, лиственничное редколесье									
CRg, 8–34	1.0	19.7	40.0	7.8	12.2	19.3	39.3	2.39	2.61
C <sub>L</sub> , 34–60	1.4	18.1	42.9	7.3	11.9	18.4	37.6	2.09	2.60
Алазейское плоскогорье									
P-31.08.A1, криозем грубогумусированный криометаморфизованный глееватый, тундра									
CR <sub>rm</sub> , 2–57	0.5	35.3	49.0	7.8	6.9	0.5	15.2	0.98	2.61
CRg <sub>L</sub> , 57–65	0.3	30.6	49.8	9.4	5.7	4.2	19.3	0.94	2.62
P-04.09.A1, криозем грубогумусированный глееватый, северная тайга									
CRg <sub>L</sub> , 12–36	1.2	23.6	38.0	11.4	12.3	13.5	37.2	3.15	2.53
36–50	0.3	19.6	39.6	10.2	14.7	15.6	40.5	1.76	2.69
Центрально-Якутская равнина									
P-01-11*, мерзлотная палевая почва, лиственничник, средняя тайга									
B, 11(24)–25(30)	7.1	31.2	22.8	9.0	11.5	18.4	38.9	1.34	2.62
Bca, 25(30)–56	5.7	25.2	27.8	9.4	13.5	18.4	41.3	1.15	2.68
Cca, 56–88	7.2	29.9	23.8	12.7	9.8	17.2	39.7	1.09	2.64

Примечание. ГВ – гигроскопическая влага. \* Индексация горизонтов в соответствии с [10].

(Анабарское плато и Алазейское плоскогорье) только в разрезе P-18.12. А значения pH соответствуют нейтральной и слабощелочной реакции среды, при этом минимум отмечается в органо-генном горизонте (табл. 2). Несмотря на относительно высокие значения pH, вскипание зафиксировано не было. В остальных разрезах кислая среда верхних органо-генных горизонтов сменяется слабо-кислой–нейтральной в минеральных. При таких величинах pH закономерны низкие значения гидролитической кислотности и доли протона среди обменных катионов в минеральных горизонтах этих почв. В противоположность минеральным горизонтам, большое содержание органического вещества в верхних органо-генных горизонтах обуславливает повышенную гидролитическую кислотность, что определяет уменьшение насыщенности почв основаниями. Среди обменных катионов преобладает кальций с выраженным био-генным накоплением этого элемента в горизонтах с высоким содержанием органического вещества.

В палевой почве (P-01-11) Центрально-Якутской равнины выражена вертикальная дифференциация значений pH: верхние горизонты O и A – кислые, B – нейтральный, Bca и Cca – щелочные (табл. 3). Гидролитическая кислотность закономерно имеет большие значения в верхних гори-

зонтах с наиболее низкими значениями pH, резко уменьшаясь вниз по профилю. Соответственно, гумусовый горизонт ненасыщен основаниями в противоположность горизонту B. Среди обменных катионов в профиле преобладает кальций при его меньшей доле в горизонте A по сравнению с нижележащими горизонтами. Ранее для палевых почв Центральной Якутии отмечали отсутствие биогенного накопления этого элемента в верхней части профиля [8]. Среди обменных катионов доля ионов натрия незначительна, что не позволяет отнести по этому показателю исследуемую почву к осолоделым.

**Минералогический состав илстых фракций почв.** Диагностированы следующие индивидуальные минералы: диоктаэдрическая слюда/иллит, хлорит, каолинит. На присутствие каолинита при наличии в образце хлорита указывает расщепление пика на  $3.54 \text{ \AA} - d_{004}$  (хлорит) и  $3.58 \text{ \AA} - d_{002}$  (каолинит). Сметитовая фаза, диагностируемая по отражению  $\geq 17 \text{ \AA}$  на рентгендифрактограммах насыщенных образцов, не дает отражения  $002 \sim 8.49 \text{ \AA}$ , характерного для индивидуальных сметитов. Последнее указывает, что сметитовая фаза представлена неупорядоченными смешанослойными слюда-сметитовыми образованиями с высоким содержанием ( $\geq 50\%$ ) сметито-

**Таблица 2.** Некоторые физико-химические свойства почв Анабарского плато и Алазейского плоскогорья

Горизонт, глубина, см	рН водный	C <sub>орг</sub> (ППП*), %	ГК, смоль (экв)/кг	Обменные катионы (по методу Гедройца)			V, %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>	
				смоль(экв)/кг			
Анабарское плато							
P-18.12.A, криозем грубогумусированный глееватый, тундра							
Oao, 7–12	6.8	59.2*	16.3	83.0	28.6	–	87.2
CRg, 12–31	7.9	2.4	0.5	25.6	9.0	–	98.5
Cg <sub>L</sub> , 31–50	7.4	0.9	1.2	14.9	7.7	–	94.9
P-12.12.A, криозем грубогумусированный глееватый, лиственничное редколесье							
Oao, 3–8	4.2	80.8*	67.4	24.7	11.9	28.3	35.1
CRg, 8–34	6.3	1.8	3.8	14.5	6.7	0.2	84.8
C <sub>L</sub> , 34–60	6.9	1.9	2.2	15.4	8.4	0,0	91.5
Алазейское плоскогорье							
P-31.08.A1, криозем грубогумусированный криометаморфизованный глееватый, тундра							
CRcm, 2–57	5.9	0.7	4.8	5.4	4.5	0.7	67.3
CRg <sub>L</sub> , 57–65	6.1	0.8	4.0	5.2	4.2	0.5	70.3
P-04.09.A1, криозем грубогумусированный глееватый, лиственничник, северная тайга							
Oao, 10–12	4.8	43.7*	46.3	27.6	10.6	8.5	45.2
CRg <sub>L</sub> , 12–36	6.9	1.1	3.6	13.7	4.9	0.02	83.8
36–50	7.1	1.2	2.9	12.6	3.8	0.01	85.2

Примечание. Здесь и в табл. 3: ППП – потери при прокаливании, ГК – гидролитическая кислотность, V – степень насыщенности основаниями, прочерк – не определяли.

**Таблица 3.** Некоторые физико-химические свойства почвы Центрально-Якутской равнины

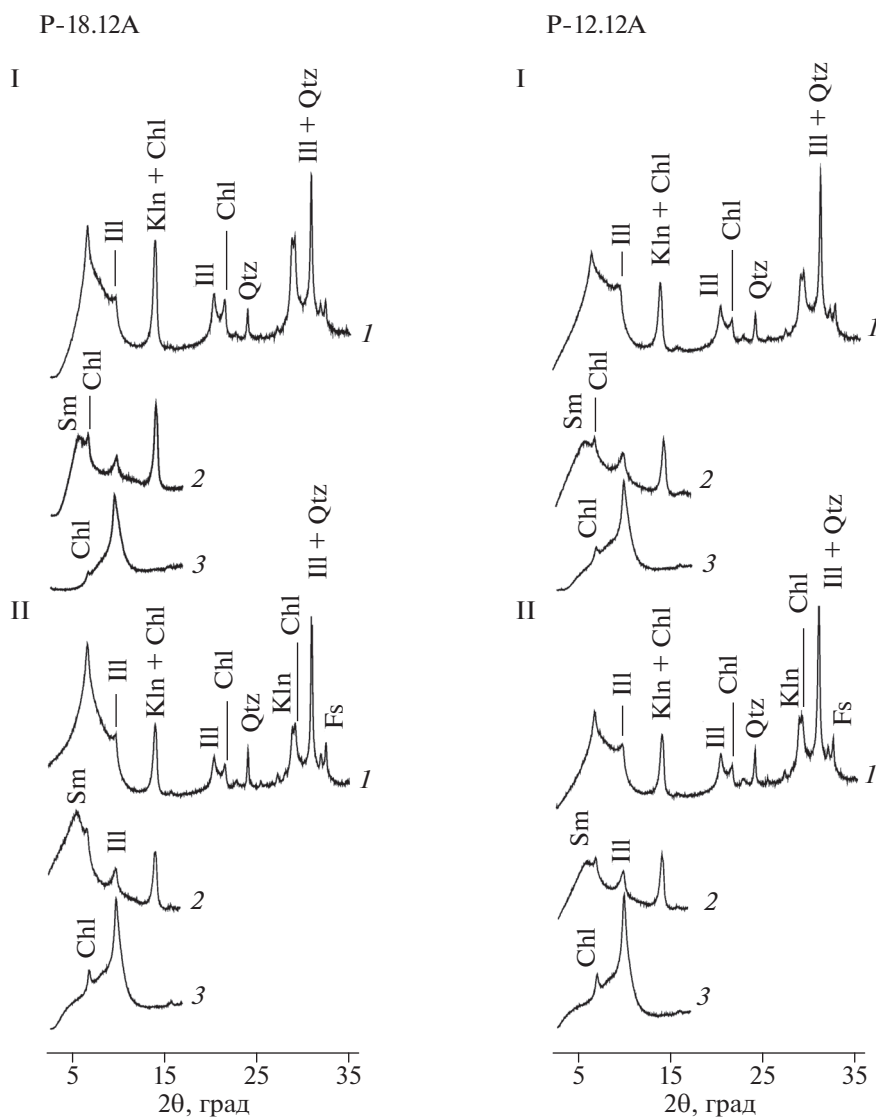
Горизонт, глубина, см	рН водный	C <sub>орг</sub> (ППП*), %	C <sub>карб</sub> , %	ГК, смоль (экв)/кг	Обменные катионы (метод Пфедффера)				V, %
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
					смоль(экв)/кг				
P-01-11, мерзлотная палевая почва, лиственничник, средняя тайга									
O, 0–6(20)	4.3	75.8*	Нет	58.8	–	–	–	–	–
A, 6(20)–11(24)	4.9	7.2	Нет	17.1	7.8	6.1	0.2	0.3	31.5
B, 11(24)–25(30)	6.7	0.9	0.15	1.5	11.5	6.4	0.2	0.2	92.4
Bca, 25(30)–56	7.8	0.7	0.23	–	13.3	4.2	0.1	0.2	–
Cca, 56–88	7.9	0.5	0.32	–	13.4	3.2	0.2	0.2	–

вых слоев. На присутствие в образце неупорядоченных хлорит-вермикулитовых (сметитовых) образований указывает появление отражения в области 10–14 Å на дифрактограммах прокаленных образцов. Из неглинистых минералов диагностированы кварц, полевые шпаты, кальцит.

В почвах Анабарского плато диагностирована единая ассоциация минералов, унаследованных от почвообразующей породы. Из глинистых минералов присутствуют сметитовая фаза (неупо-

рядоченные слюда-сметитовые смешанослойные образования), иллит, хлорит, каолинит, из неглинистых – кварц и полевые шпаты. Выделяется горизонт Cg<sub>L</sub> в разрезе P-18.12.A большей долей сметитовой фазы, что оценено по отношению интенсивностей отражений 17 от 14 Å на дифрактограммах насыщенных образцов (рис. 2).

В отличие от почв Анабарского плато в почвах Алазейского плоскогорья диагностированы неупорядоченные хлорит-вермикулитовые образования



**Рис. 2.** Рентгendifрактограммы илистых фракций почв Анабарского плато. Условные обозначения: P-18.12.A, I – CRg (12–31 см), II – CgL (31–50 см); P-12.12.A, I – CRg (8–34 см), II – C<sub>L</sub> (34–60 см). Здесь и в рис. 3 и 4 минеральные фазы: Kln – каолинит, Ill – иллит, Chl – хлорит, Sm – смектитовая фаза, Chl/V – смешанослойные хлорит – вермикулитовые образования, Qtz – кварц, Fs – полевые шпаты, Cal – кальцит. Образец: 1 – насыщенный магнием, 2 – насыщенный этиленгликолем, 3 – прокаленный при 550°C.

и отсутствует смектитовая фаза. Соответственно присутствуют иллит, каолинит, хлорит, смешанослойные неупорядоченные хлорит-вермикулитовые образования, из неглинистых – кварц и полевые шпаты. Все минералы являются унаследованными от почвообразующей породы. На уровне тенденции в профильном распределении глинистых минералов можно отметить уменьшение доли хлорита в верхнем минеральном горизонте (CR<sub>cm</sub>) в разрезе P-31.08.A1 (зона тундры). Вывод сделан на основании уменьшения интенсивности 14 Å отражения по отношению к 10 Å на дифрактограммах образцов в воздушно-сухом состоянии (рис. 3). По-

скольку увеличение доли неупорядоченных смешанослойных хлорит-вермикулитовых образований, как продуктов трансформации хлорита, не идентифицировано, пришли к выводу, что происходит именно разрушение/растворение хлорита.

В профиле P-01-11 Центрально-Якутской равнины диагностированы смектитовая фаза (неупорядоченные смешанослойные слюда-смектитовые образования), иллит, хлорит, каолинит, из неглинистых – кварц, полевые шпаты и в нижних горизонтах (V<sub>ca</sub> и C<sub>ca</sub>) – кальцит. От почв Анабарского плато, в которых ассоциация глинистых минералов та же, профиль P-01-11 отличается

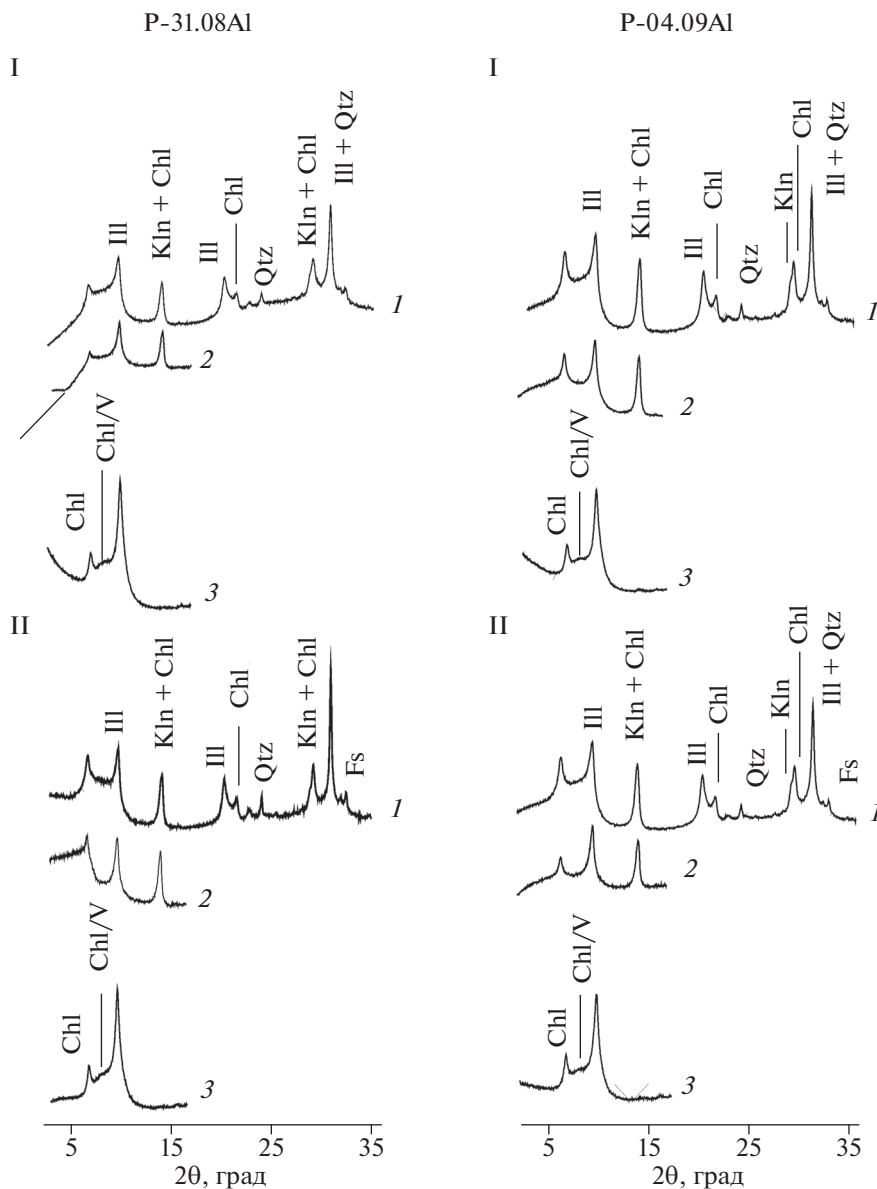


Рис. 3. Рентгendifрактограммы илстых фракций почв Алазейского плоскогорья. Условные обозначения: P-31.08.A1: I – CRcm (2–57 см), II – CRg⊥ (57–65 см); P-04.09.A1: I – CRg⊥ (12–36 см), II – CRg⊥ (36–50 см).

большой долей хлорита, особенно в нижних горизонтах (рис. 4). Значительных изменений, оцененных по соотношению минеральных фаз, между горизонтами в этом профиле не выражено.

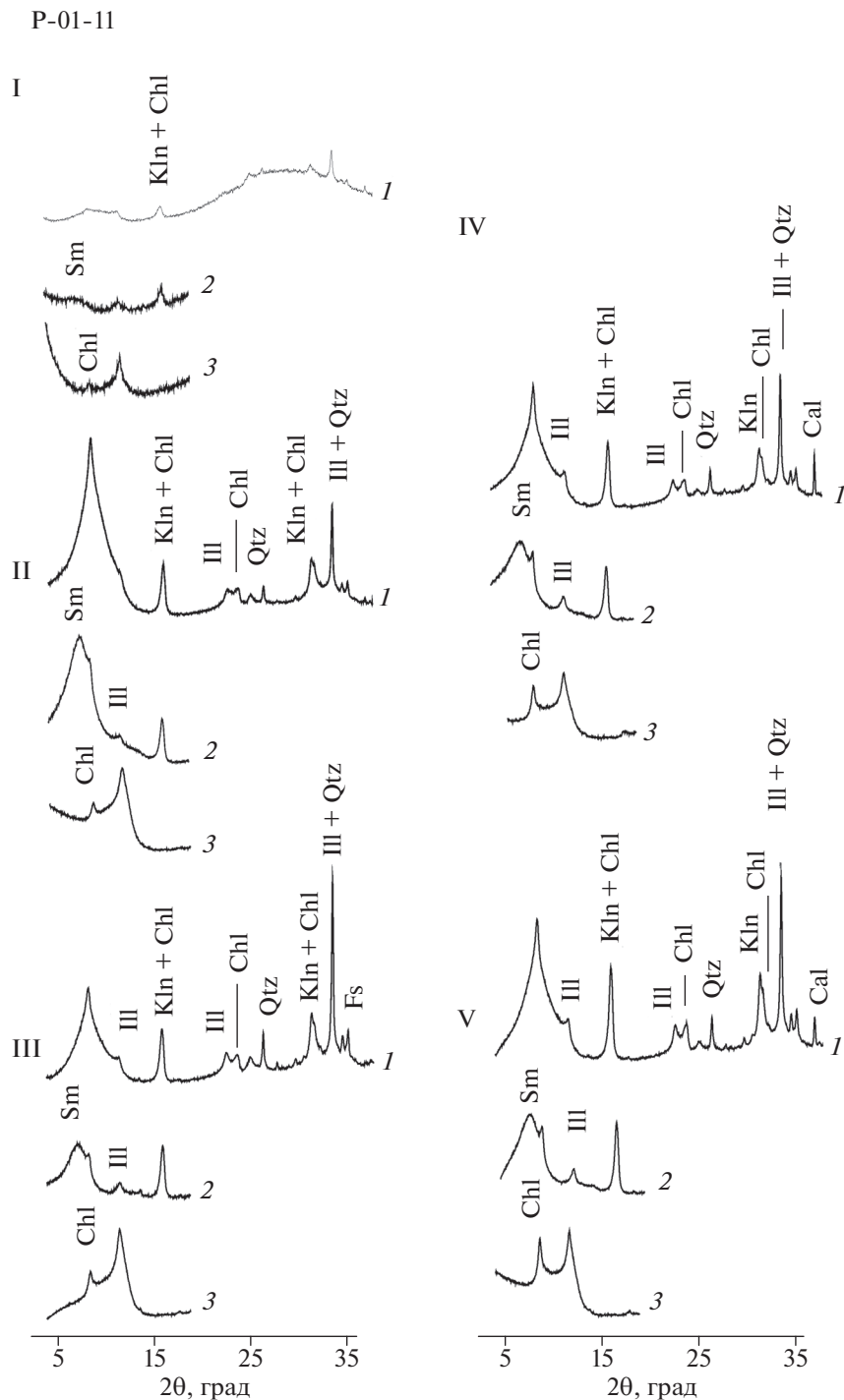
Однако в профильной дифференциации отмечается ряд различий между горизонтами. Интенсивность пиков (001) минералов очень низкая в илистой фракции верхнего горизонта О. Это обусловлено высоким содержанием рентгеноаморфного, в том числе органического вещества, что проявляется в высоком фоне в области углов  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$  на дифрактограммах воздушно-сухих образцов. В горизонтах А и В по сравнению с нижележащими отмечено уменьшение доли хлорита, диагностиру-

емое по меньшей интенсивности  $14 \text{ \AA}$  отражения по сравнению с  $10 \text{ \AA}$  на дифрактограммах прокаленных образцов. Поскольку смешанослойные хлорит-вермикулитовые (сметитовые) образования в профиле P-01-11 не диагностированы, отмеченное уменьшение доли хлорита отражает частичное растворение минерала, а не его трансформацию в смешанослойные фазы.

## ОБСУЖДЕНИЕ

**Почвы Анабарского плато и Алазейского плоскогорья.** Несмотря на близкое залегание многолетней мерзлоты, только в почвах Анабарского





**Рис. 4.** Рентгendifрактограммы илстых фракций почвы Центрально-Якутской равнины (P-01-11). Условные обозначения: I – O (0–6(20) см), II – A (6(20)–11(24) см), III – B (11(24)–25(30) см), IV – Cca (25(30)–56 см), V – Cca (56–88 см).

плато (особенно в горизонте CRg в P-18.12.A) отмечено относительно большое содержание органического углерода в минеральных горизонтах почв. Эти данные находятся в согласии с представлением о значительной гумусированности мерзлотных криотурбированных почв [28]. По сравне-

нию с почвами Алазейского плоскогорья почвы Анабарского плато имеют большие значения насыщенности основаниями, что, возможно, обусловлено влиянием древних глинисто-известковых пород, включения которых диагностированы в одном из профилей.

На Анабарском плато исследованы два профиля криоземов грубогумусированных глееватых (P-18.12.A и P-12.12.A). На их примере рассмотрена потенциальная возможность вклада плотных пород, включения которых в большом количестве диагностированы в одном из профилей (P-18.12.A), в минералогический состав илистой фракции. Ранее на примере щебнистых почв на морене, сложенной породами различного генезиса и состава, показано, что в илистой фракции почв диагностируются минералы, унаследованные от менее устойчивой к выветриванию породы, из нее же формируется и мелкозем почв [39]. Минералогический состав исследованных почв Анабарского плато идентичен. Этот факт указывает на то, что включения щебня не являются дополнительным ресурсом минеральных фаз, отличающихся по составу от диагностируемых в мелкоземе.

Слабая профильная дифференциация глинистых минералов характерна только для разреза P-18.12.A, расположенного в тундре. Несмотря на то, что значения pH в минеральных горизонтах этого профиля находятся в щелочном диапазоне, именно в нем отмечается уменьшение доли смектитовой фазы в горизонте CRg по сравнению с нижележащим горизонтом Cg. Значения pH обусловлены тем, что притоки р. Анабар протекают по породам кембрийского возраста, представленным доломитами и реже известняками. Возможно, поэтому в профиле не зафиксировано вскипание от холодной соляной кислоты. Но усредненный образец, в котором определяли кислотность, может быть более щелочным, чем участки горизонта непосредственно под подстилкой. В пользу этого предположения говорит наибольшее в профиле значение гидролитической кислотности в горизонте Oao. Смектитовая фаза является наиболее неустойчивым компонентом в соответствии с гипотезой селективного разрушения/растворения минералов [25]. Частичное разрушение смектитовой фазы может происходить непосредственно под подстилкой в локальных, наиболее кислых участках. Возможно, что этот процесс более масштабный, но криотурбационные процессы сглаживают дифференциацию материала.

Как и на Анабарском плато, в почвах Алазейского плоскогорья слабая профильная дифференциации глинистых минералов прослеживается на уровне тенденции только в криоземе, расположенном в тундровой зоне (P-31.08.A1). Это более кислый (pH 5.9–6.1) и легкий по гранулометрическому составу профиль по сравнению с разрезом P-04.09.A1, который был заложен в листовничнике. В нем отмечено частичное разрушение хлорита, диагностируемое по уменьшению доли этого минерала в верхнем из минеральных горизонтов. Разрушение хлорита происходит без появления смешанослойных образований,

что является одним из возможных сценариев в кислых почвах [37, 42].

Минералогический состав исследованных почв Алазейского плоскогорья сходен с таковым в криоземах едомы Колымской низменности, находящейся к северо-востоку от Алазейского плоскогорья. В почвах едомы, несмотря на слабокислые–нейтральные условия, отмечена трансформация хлорита и иллита в неупорядоченные смешанослойные образования и формирование лепидокрокита ( $\gamma\text{FeOOH}$ ) на криогенном барьере [27]. Близкий минералогический состав исследованных почв показан для разрезов, расположенных на территории Колымской низменности вдоль р. Колыма. Отмечены незначительные профильные изменения, обусловленные трансформацией иллита в вермикулит [31]. Профильное изменение минеральных фаз в разрезе P-31.08.A1 связано только с хлоритом и в отличие от почв Колымской низменности не затрагивает иллит, который более устойчив в кислой среде в соответствии с гипотезой селективного разрушения минералов [25]. Таким образом, в исследованных почвах Алазейского плоскогорья преобразование минеральной фазы менее интенсивно, чем в близких по составу криоземах Колымской низменности.

В целом данные о минералогическом составе исследованных почв Анабарского плато и Алазейского плоскогорья указывают на слабую активность процессов выветривания, что в целом характерно для высоких широт [29]. Во всех профилях не выражено перераспределения наиболее отзывчивых к почвообразовательным процессам тонкодисперсных фракций, что указывает на слабый педогенный потенциал в холодных ультраконтинентальных условиях. Кроме того, гомогенность почвенных профилей закономерно обусловлена действием перемешивающих почвенный материал криогенных процессов.

**Палевая почва Центрально-Якутской равнины.** Ранее предложено ввести в национальную классификацию почв России [12, 20] тип дерново-палевых почв с последовательностью горизонтов AY–BPL–BCA–Cca [8]. В гумусовом горизонте этих почв, с характерными значениями pH в кислом диапазоне, возможно (но не обязательно) наличие натрия в составе поглощенных катионов. Наличие обменного натрия согласуется с гипотезой Ивановой [11] о возможности развития современного подзолообразования в профиле с выраженными признаками осолодения. Осолодение профиля отражает предыдущий этап почвообразования.

В публикациях [2, 7] показано, что по свойствам гумусовый горизонт в палевых почвах является переходным между светлогумусовым AJ и серогумусовым AY. В исследованном профиле P-01-11 гумусово-аккумулятивный горизонт кислый, с не-

большим среди обменных катионов содержанием натрия. С учетом анализа наших данных [18] и диагностических признаков, используемых при характеристике серогумусового горизонта [12, 20], гумусово-аккумулятивный горизонт в профиле P-01-11 должен быть индексирован как серогумусовый, то есть АУ.

Помимо этого горизонта, характерного для почв более гумидных условий, в профиле палевой почвы (P-01-11) специфично распределение глинистых минералов. Профильная дифференциация обусловлена частичным растворением хлорита в верхних горизонтах А или АУ в соответствии с [12, 20] и горизонтах В (BPL). Однако только в горизонте АУ, значение рН находится в кислом диапазоне, что и позволяет объяснить растворение хлорита. Можно предположить, что в нейтральном BPL горизонте разрушение/растворение хлорита происходит в более кислых участках (например, прикорневых), чем можно заключить из данных рН усредненного образца большой навески. В свою очередь, несогласие в значениях рН и фактом разрушения хлорита может быть объяснено влиянием разнонаправленной миграцией карбонатных растворов на показатели кислотности. Чередование нисходящей во влажные сезоны годы и восходящей миграцией почвенных растворов к фронту промерзания в осенний период для мерзлотных почв Якутии было показано Зольниковым [9].

Следующим дискуссионным моментом профильного распределения глинистых минералов является факт, что, несмотря на уменьшение доли хлорита в горизонтах АУ и BPL, доля смектитовой фазы, которая наиболее неустойчивая в кислой среде [25], по профилю не изменяется. Можно предположить, что унаследованная смектитовая фаза, как и хлорит, растворяется/разрушается в верхних горизонтах профиля. При этом стабильное содержание смектитовой фазы в них может поддерживаться за счет трансформации иллита в неупорядоченные слюда-смектитовые образования. В свою очередь, поступление иллита возможно за счет дезинтеграции иллита из более крупных фракций. Эта схема типична для значительно более гумидных и кислых почв и впервые была рассмотрена на примере подзолов Фенноскандии [32]. Кроме того, показано, что хлорит первым исчезает из крупных фракций [40]. Это предположение хорошо согласуется с данными по палевым почвам Центральной Якутии, для которых выявлено несколько вариантов профильного распределения глинистых минералов [38]. Наиболее сложный из них связан с частичным растворением унаследованной от почвообразующей породы смектитовой фазы и появлением в верхних горизонтах “педогенной” смектитовой фазы – продукта трансформации иллита и хлорита в смешанослойные структуры. В нижележащих

горизонтах Вса и Сса (ВСА и Сса соответственно) в профиле P-01-11 значения рН находятся в щелочном диапазоне, что обусловлено присутствием карбонатных новообразований. В этих горизонтах закономерно не отмечено каких-либо изменений в соотношении минеральных фаз. Присутствие карбонатных новообразований в профиле согласуется с относительно значимым увлажнением территории, где осадки достигают 300 мм.

Проведенный анализ позволяет заключить, что процессы выветривания минеральной фазы в исследованной палевой почве более развиты, чем предполагает отсутствие выраженных трендов профильной дифференциации глинистых минералов. Этот вывод согласуется с наличием в профиле дернового горизонта, характерного для кислых почв более гумидных регионов, и подтверждает высказанное ранее утверждение о серогумусовой природе гумусового горизонта в мерзлотных палевых почвах Центральной Якутии. В соответствии с этим предложением профиль P-01-11 имеет формулу О (0–6(20) см–АУ (6(20)–11(24)) см–BPL (11(24)–25(30)) см–ВСА (25(30)–56) см–Сса (56–88) см, и почва классифицирована как дерново-палева типичная. Полученные результаты дополняют представления о минералогическом составе палевых почв центральной Якутии, сложившиеся с 70-х годов XX в. [24]: считалось, что в профильном распределении глинистых минералов отсутствует четкая дифференциация как в недифференцированных палево-карбонатных почвах, так и в морфологически дифференцированных палево-осолоделых почвах. Анализ полученных данных позволяет заключить, что выветривание и трансформации минералов в палевых почвах Центральной Якутии являются более масштабными процессами, чем считалось ранее.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы Анабарского плато и Алазейского плоскогорья характеризуются слабовыраженной морфологически и химико-минералогически дифференциацией, что обусловлено невысокой активностью процессов выветривания и почвообразования. Кроме того, гомогенизация почвенных профилей может быть также обусловлена влиянием криогенных процессов. Слабовыраженные процессы профильной дифференциации глинистых минералов, обусловленные частичным разрушением/растворением наиболее неустойчивых в кислой среде минералов, отмечены только в почвах тундровой зоны. Проявление этих процессов в почве со значениями рН, варьирующими в нейтральном–слабощелочном диапазоне, возможно, связано с формированием более кислых локальных участков в горизонте непосредственно под подстилкой, что

не улавливается традиционными методами измерений рН в больших навесках.

В профиле мерзлотной палеовой почвы Центральной Якутии наблюдается частичное растворение хлорита в верхних горизонтах с кислой и нейтральной реакцией среды, в то время как доля смектитовой фазы, которая более неустойчива в кислой среде, по профилю не изменяется. Можно предположить, что унаследованная смектитовая фаза, как и хлорит, растворяется/разрушается в верхних горизонтах профиля, но трансформация иллита в неупорядоченные слюдосмектитовые образования может поддерживать стабильное содержание смектитовой фазы. Соответственно, логично предположить, что процессы выветривания минеральной фазы в исследованной мерзлотной палеовой почве более развиты, несмотря на отсутствие выраженных трендов профильной дифференциации глинистых минералов. Это предположение согласуется с наличием в профиле мощного гумусового горизонта и подтверждает высказанное ранее утверждение о серогумусовой природе гумусового горизонта палеовых почв Центральной Якутии. Таким образом, в очередной раз поднимается вопрос о классификационной идентификации палеовых почв Центрально-Якутской равнины как дерново-палеовых с последовательностью горизонтов АУ–ВРЛ–ВСА–ВСса.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

XRD данные получены в ресурсном центре СПбГУ “Рентгенодифракционные методы исследования”.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты 20-04-00888 и 19-29-05151), а также государственного задания ИБПК СО РАН по проекту V.54.1.2 (0376-2018-0003), рег. номер АААА-А17-117020110057-7.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аболин Р.И.* Геоботаническое и почвенное описание Лено-Вилуйской равнины. Труды Комиссии по изучению ЯАССР. Т. 10. Л.: Изд-во АН СССР, 1929. 378 с.
2. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Палеовые почвы Средней Сибири на бескарбонатных породах в классификации почв России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 77. С. 29–50.
3. *Величко А.А.* Природный процесс в плейстоцене. М.: Наука, 1973. 256 с.
4. *Герасимов И.П.* Самобытность генетических типов почв Сибири // Сибирский географический сборник. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 10–25.
5. *Герасимов Б.Б., Желонкин Р.Ю., Земнухов А.Л.* Типоморфизм мелкого россыпного золота и потенциальные коренные источники Анабарского россыпного района (северо-восток Сибирской платформы) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 24. № 4. С. 37–48. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-3>
6. *Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
7. *Гуркова Е.А., Бронникова М.А., Герасимова М.И., Сухачева Е.Ю., Конопляникова Ю.В.* Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные и палео-метаморфические почвы коллекции Центрального музея почвоведения: верификация типовой диагностики // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 37–56. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-37-56>
8. *Десяткин Р.В., Лесовая С.Н., Оконешникова М.В., Зайцева Т.С.* Палеовые почвы Центральной Якутии: генетические особенности, свойства, классификация // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1–11.
9. *Зольников В.Г.* Почвы восточной половины Центральной Якутии, их использование // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Вып. 4. С. 55–222.
10. *Еловская Л.Г.* Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
11. *Иванова Е.Н.* Почвы Центральной Якутии // Почвоведение. 1971. № 9. С. 3–17.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. Криоэкосистемы бассейна реки Алазея / Отв. ред. А.П. Исаев, И.В. Климовский. Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2018. 211 с. ISBN 978-5-9909584-0-1
14. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1 : 2500000 / Под ред. П.И. Мельникова. М.: ГУГК, 1991. 2 л.
15. Мерзлотные ландшафты Якутии (Пояснительная записка к Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1 : 2500000) / Под ред. А.Н. Федорова и др. Новосибирск: ГУГК, 1989. 170 с.
16. *Минорин В.Е., Подчасов В.М., Богатых И.Я., Граханов С.А., Шаталов В.И.* Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Россыпные месторождения. Якутск: Изд-во СО РАН, 2004. 424 с.
17. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР, Л.: Гидрометеопиздат, 1989. Кн. 1. 607 с.

18. *Оконешникова М.В., Лесовая С.Н., Десяткин Р.В.* Почвы лиственничных лесов стационаров “Спаская падь” и “Элгээйи” (Центральная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 25. № 3. С. 71–79. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2018-25-3-71-79>
19. *Пармузин Ю.П.* Средняя Сибирь: Очерк природы. М.: Мысль, 1964. 310 с.
20. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
21. *Равский Э.И.* Осадконакопление и климаты внутренней Азии в антропогене. М.: Наука, 1972. 280 с.
22. *Соколов И.А.* Некоторые теоретические итоги и проблемы изучения почв Восточной Сибири и Дальнего Востока // Почвоведение. 1991. № 5. С. 131–145.
23. *Соколов И.А., Турзина Т.В., Белоусова Н.И.* Современное подзолообразование на равнинах Центральной Якутии // Почвоведение. 1969. № 12. С. 22–29.
24. *Соколов И.А., Наумов Е.М., Градусов Б.П., Турзина Т.В., Цюрупа И.Г.* Ультраконтинентальное таежное почвообразование на карбонатных суглинках в центральной Якутии // Почвоведение. 1976. № 4. С. 11–27.
25. *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.
26. Якутия. М.: Наука, 1965. 467 с.
27. *Alekseev A., Alekseeva T., Ostroumov V., Siegert C., Gradusov B.* Mineral transformation in permafrost-affected soils, North Kolyma Lowland, Russia // Soil Sci. Soc. Am. J. 2003. V. 67. P. 596–605. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.0596>
28. *Bockheim J.G., Tarnocai C.* Recognition of cryoturba-tion for classifying permafrost-affected soils // Geoderma. 1998. V. 81. P. 281–293. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00115-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00115-8)
29. *Borden P.W., Ping C.-Lu., McCarthy P.J., Naidu S.* Clay mineralogy in arctic tundra Gelisols, northern Alaska // Soil Sci. Soc. Am. J. 2010. V. 74(2). P. 580–592. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0187>
30. *Churchman G.J.* Clay minerals formed from micas and chlorites in some New Zealand soils // Clay Miner. 1980. V. 15(3). P. 59–76. <https://doi.org/10.1180/claymin.1980.015.1.05>
31. *Gentsch N., Mikutta R., Shibistova O., Wild B., Schnecker J., Richter A., Ulrich T., Gittel A., Šantrůčková H., Bárta J., Lashchinskiy N., Mueller C.W., Fuß R., Guggenberger G.* Properties and bioavailability of particulate and mineral-associated organic matter in Arctic permafrost soils, Lower Kolyma Region, Russia // Eur. J. Soil Sci. 2015. V. 66. P. 722–734. <https://doi.org/10.1111/ejss.12269>
32. *Gjems O.* Some notes on clay minerals in Podzol profiles in Fennoscandia // Clay Miner. 1960. V. 4(24). P. 208–211. <https://doi.org/10.1180/claymin.1960.004.24.06>
33. *Harris W., White N.G.* X-ray diffraction techniques for soil mineral identification // Methods of Soil Analysis. Part 5. Mineralogical Methods, SSSA Book Series, № 5. Madison, Wisconsin, 2008. 81–115 p.
34. *Herzschuh U., Pestryakova L., Savelieva L., Heinecke L., Böhmer T., Biskaborn B.K., Andreev A., Ramisch A., Shinneman A., Birks H.* Siberian larch forests and the ion content of thaw lakes form a geochemically functional entity // Nat. Commun. 2013. V. 4. P. 2408. <https://doi.org/10.1038/ncomms3408>
35. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. 2015. FAO, Rome.
36. *Kimble J.M.* (Ed.) Cryosols: Permafrost-Affected Soils. Berlin. Springer-Verlag, 2004. 726 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-06429-0>
37. *Kodama H., Brydon J.E.* A study of clay minerals in podzol soils in New Brunswick, eastern Canada // Clay Miner. 1968. V. 7. P. 295–310. <https://doi.org/10.1180/claymin.1968.007.3.04>
38. *Lessovaia S.N., Goryachkin S.V., Desyatkin R.V., Okoneshnikova M.V.* Pedoweathering and mineralogical change in Cryosols in an ultracontinental climate (Central Yakutia, Russia) // Acta Geodyn. Geomater. 2013. V. 10(172). № 4. P. 465–473. <https://doi.org/10.13168/AGG.2013.0047>
39. *Lessovaia S.N., Goryachkin S., Polekhovskiy Y., Ershova V., Filimonov A.* Abiotic and biotic processes of mineral weathering in tundra soils on ultramafic and mafic rocks of the Polar Urals, Russia // Biogenic–Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems. Lecture Notes in Earth System Sciences. Springer Int. Publ. Switzerland, 2016. 223–236 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24987-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24987-2_18)
40. *Pederstad K., Jørgensen P.* Weathering in a marine clay during postglacial time // Clay Miner. 1985. V. 20. P. 477–491. <https://doi.org/10.1180/claymin.1985.020.4.04>
41. *Péwé T.J., Journaux A.* Origin and Character of loesslike silt in unglaciated South-Central Yakutia, Siberia, USSR // Geol. Sur. Prefess Pap., 1983. V. 1262. 46 p.
42. *Ross G.J., Wang C., Ozkan A.I., Rees H.W.* Weathering of chlorite and mica in New Brunswick podzol developed on till derived from chlorite-mica schist // Geoderma. 1982. V. 27. P. 255–267. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(82\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0016-7061(82)90034-9)
43. *Sugimoto A., Yanagisawa N., Naito D., Fujita N., Maximov T.C.* Importance of permafrost as a source of water for plants in East Siberian taiga // Ecol. Res. 2002. V. 17(4). P. 493–503. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00506.x>

## **Cryosols from Tundra and Taiga Zones of Yakutia: Properties, Clay Mineralogy, and Problems of Classification**

**R. V. Desyatkin<sup>1, \*</sup>, S. N. Lessovaia<sup>2</sup>, M. V. Okoneshnikova<sup>1</sup>, and A. Z. Ivanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Biological Problems of the Cryolithozone, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, 667891 Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, 199178 Russia*

*\*e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru*

The general properties and characteristics as well as clay mineralogy based on XRD data of the <1 μm fractions and vertical patterns of clay mineral distributions have been studied in the weakly differentiated soils (Cryosols). The soils have formed in the ultra-continental climate conditions of the permafrost affected zone of the north–eastern part of Siberia. The objects of the present research are located in the several bio-climate zones of Yakutia (from tundra to middle taiga). They are represented by permafrost affected soils (Kryozems) from the Anabar and the Alazei plateaus and Palevaya (Pale) soil from the Central Yakutia plain. In the Kryozems, which profile homogeneity can be affected by cryoturbation, the vertical patterns of clay mineral distributions are not pronounced. The profile of Pale soil is also characterized by the minor difference related to clay mineralogy, which is taken place despite the strong difference into pH-values. Opposite to the Kryozems, it was supposed that the mineral weathering in the Pale soils is more advanced than it was concluded in the 70s of the XX century based on absence of pronounced trends in vertical pattern of clay mineral differentiation in the profile. That is in good agreement with the presence of a sufficiently thick, upper humus (sod) horizon, which is typical for more humid region and confirms our former proposal to classify the Pale soils of Central Yakutia as Sod-Pale.

*Keywords:* permafrost affected soils, clay minerals, soil classification