

ПОЧВЫ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ПОЛЯРНОГО УРАЛА: ГЕНЕЗИС, СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ

© 2024 г. Е. В. Жангуров^{а, *}, М. П. Лебедева^б, Е. В. Шамрикова^а,
М. А. Королёв^а, А. Н. Панюков^а

^аИнститут биологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

^бПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия

*e-mail: zhan.e@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2024 г.

После доработки 28.06.2024 г.

Принята к публикации 28.06.2024 г.

На основании использования макро- и микроморфологической диагностики, анализа физико-химических свойств и химического состава проведено уточнение генезиса малоисследованных почв горно-тундровых ландшафтов Полярного Урала, сформированных на элювиально-делювиальных отложениях карбонатных пород. Установлена значительная неоднородность почвообразующего мелкозема за счет различного соотношения аллохтонного и автохтонного материала, залегающего на карбонатных породах. Органическое вещество почв представлено сочетанием нескольких микроформ гумуса, отражая как современные (криогенные, биогенные), так и унаследованные признаки предыдущих этапов почвообразования. Пирогенные воздействия на почву диагностируются по обилию обугленных растительных тканей в горизонтах с сильно-ожеженным и обугленным органическим веществом и по включению углистой крошки внутри трещиноватых обломков карбонатных пород. Почвообразование в более теплый период развития ландшафтов (климатический оптимум голоцена) диагностируется по признакам растворения и перекристаллизации кальцита породных фрагментов. Специфические реликтовые признаки в современных почвах, представленные с глинисто-гумусово-железистыми шапочками и пленками на обломках пород, инкорпорированными внутри карбонатной матрицы, выявлены на основании наличия включений в почвообразующий материал фрагментов палеопочв.

Ключевые слова: криометаморфический горизонт, микроморфологический анализ, горная криолитозона, пирогенез, Calcaric Stagnosol (Humic, Skeletic), Calcaric Skeletic Regosol

DOI: 10.31857/S0032180X24120055, **EDN:** JDJKOX

ВВЕДЕНИЕ

Почвы, формирующиеся при близком подсти- лании плотных карбонатных пород (известняки, доломиты, мергели), давно изучались в широком биоклиматическом спектре [5, 16, 26, 28, 43, 44, 53]. В лесной зоне наиболее полно описаны дерново-карбонатные почвы на карбонатных породах (КП) для северо-запада Русской равнины (Ленинградская, Псковская, Новгородская области) [8, 9, 10, 11, 18, 41], Прибалтика [34] и Предуралья [18, 27, 37]). Данные почвы имеют как общие (высокая гумусированность, наличие карбонатных пород с поверхностных горизонтов), так и отличительные черты (различные сочетания гумусовых и нижележащих горизонтов) по сравнению с аналогами на КП южной и средней тайги Средней Сибири [14].

В североазиатском регионе на КП различного генезиса и состава (известняки, мрамора, силикатно-карбонатные и глинисто-карбонатные породы) описаны карболитоземы (дерново-карбонатные почвы), серогумусовые, темно- и светлогумусовые остаточно-карбонатные почвы, метаморфизованные буроземы, криоземы остаточно-карбонатные [3, 7, 14, 27, 28].

Вопросы географических закономерностей направленности почвообразования в зависимости от состава КП остаются открытыми [15]. В частности, значительно меньше известно о почвах на КП, развивающихся в арктическом и субарктическом регионах [17]. В европейской части России, на фоне широкого распространения четвертичных отложений, выход на дневную поверхность

дочетвертичных КП различного возраста (Пермь, Ордовик) — редкое явление. Однако КП, как при близком залегании, так и в виде естественных геологических обнажений (плит), обуславливают специфику формирования почв Крайнего Севера. Есть сведения, что карбонатный субстрат препятствует развитию зональных процессов почвообразования, приводящих к элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, затормаживает оструктурирование, способствует поддержанию нейтрально-щелочной реакции, насыщенности почвенного поглощающего комплекса, образованию гуматно-кальциевого гумуса, а также накоплению неподвижных форм элементов на карбонатном геохимическом барьере [25, 29].

Широкому разнообразию элементарных почвообразовательных процессов в условиях гумидного климата способствуют и быстрое выщелачивание карбонатов, а также различная доля аллохтонного бескарбонатного мелкозема. Различают несколько вариантов почвообразования на плотных КП, как в автохтонном, а также в аллохтонном мелкоземе силикатных пород. Как отмечают Горячкин и Макеев: “эти субстраты часто принимают за продукты выветривания или элювий нижележащих КП. Однако на ледниковых территориях Севера эти породы отчетливо диагностируются как гляциальные отложения, так как в своем составе имеют включения валунов, гальки и гравия гранитов, гнейсов и других неродственных карбонатным отложениям пород” [15, с. 12]. В северных регионах наличие моренного материала обеспечивает большее литогенное разнообразие автономных почв на КП по сравнению с аридными [27]: в соответствии с проведенными исследованиями [14] выделено двенадцать типов почв на КП в различных отделах.

Цель работы — на основании сравнительного исследования макро- и микроморфологического строения и физико-химических свойств, установить генетические особенности почв на карбонатных породах горных тундр Полярного Урала.

Наряду со слабой изученностью генезиса почв на КП, актуальной задачей современности является выявление роли и специфики состава органического вещества в процессах почвообразования [49, 53]. Несмотря на “неоднозначность и двойственность понятия гуминовых веществ (специфические соединения и сумма операционных фракций), а также условность разделения органического вещества...” [22, с. 1449], вслед за Заварзиной с соавт. [31] считаем соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ удобным показателем характеристики органического вещества, отражающим условия образования почв. Выполнение данного вида анализа важно для определения положения малоисследованных ранее карбонатных почв Полярного Урала в общей базе данных о фракционно-групповом составе гумуса главных типов почв России и зарубежных стран.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований находится в южной части циркумполярной зоны и охватывает восточный макросклон Полярного Урала к северу от нежилого поселка Полярный (платформа 110 км), Ямало-Ненецкий автономный округ (рис. 1). Климат горной части Полярного Урала гумидный континентальный и характеризуется особенностями высоких широт: низкой температурой воздуха, высокой влажностью в связи с расположением в зоне избыточного увлажнения, с довольно интенсивными ветрами и перераспределением этих показателей в горном рельефе. Локальное увеличение количества осадков у крутых наветренных склонов может приводить к двух-трехкратному возрастанию мощности снежного покрова в его полосе шириной 100–300 м по сравнению с горными вершинами [42]. Количество осадков в зависимости от высоты горных хребтов существенно варьирует и составляет 600–1000 мм/год. Характерны резкие колебания сезонных и суточных температур: в июле абсолютный минимум температуры на поверхности почвы может опускаться до -13°C , при минимальной средней $+1.6^{\circ}\text{C}$ [38]. В результате высокой щебнистости, наличия карбонатных пород в срединных и нижних горизонтах и провальной фильтрационной способности льдистая мерзлота в пределах изученных почвенных профилей отсутствует [49]. На Полярном Урале сохранение многолетнемерзлых пород в пределах почвенного профиля возможно лишь в горно-тундровых ландшафтах с мощным торфяным горизонтом (до 30–40 см), где глубина сезонно-талого слоя составляет 45–50 см.

Полевые исследования проводили методом заложения почвенно-геоморфологического профиля (топокатены) протяженностью около 1.5 км с перепадом абсолютных высот от 265 до 235 м над ур. м. Выбрано четыре опорных разреза. Профили заложены в верхней, средней и в нижней частях склона С–В экспозиции хребта Большой Пайпудынский (рис. 2). Исследования проведены во второй декаде августа.

Индексация почвенных горизонтов и классификация почвенных профилей даны в соответствии [33, 55]. Индексы цвета почвенных горизонтов даны по шкале Манселла [52].

Микроморфологические свойства почв изучены в шлифах из ненарушенных микромонологитов основных генетических горизонтов почв. Микроморфологические описания проведены по международному микроморфологическому руководству [54] с использованием микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26 (Япония). Валовый химический состав почв (на прокаленную навеску) определен рентген-флуоресцентным методом на анализаторе РеСпект (Россия). Анализатор и микроскопы являются приборами ЦКП

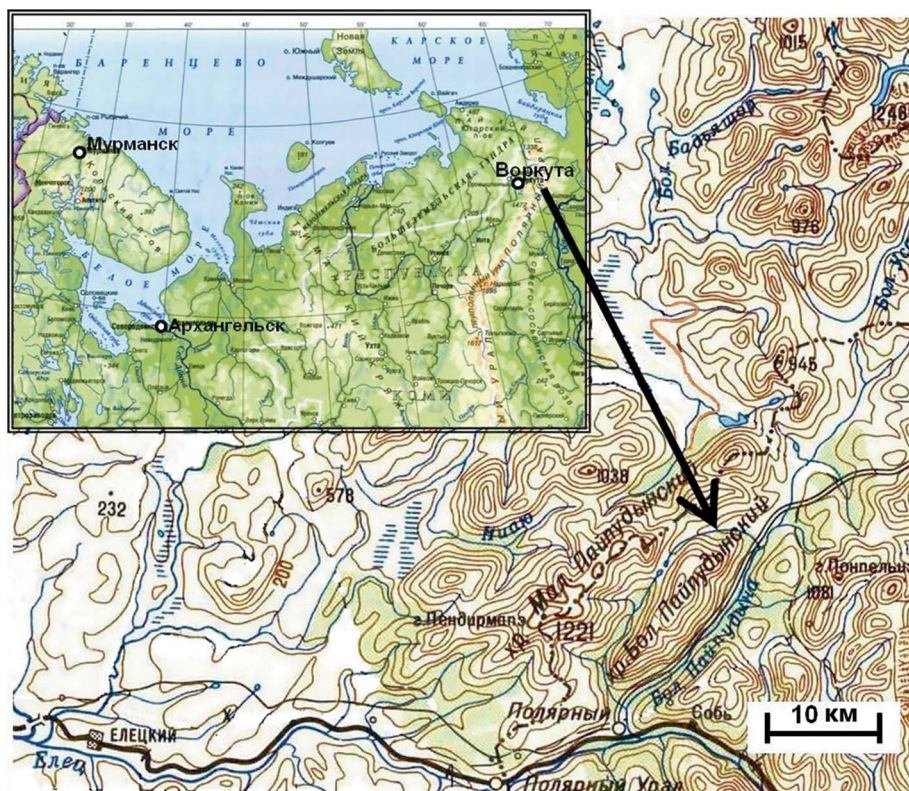


Рис. 1. Район исследований.

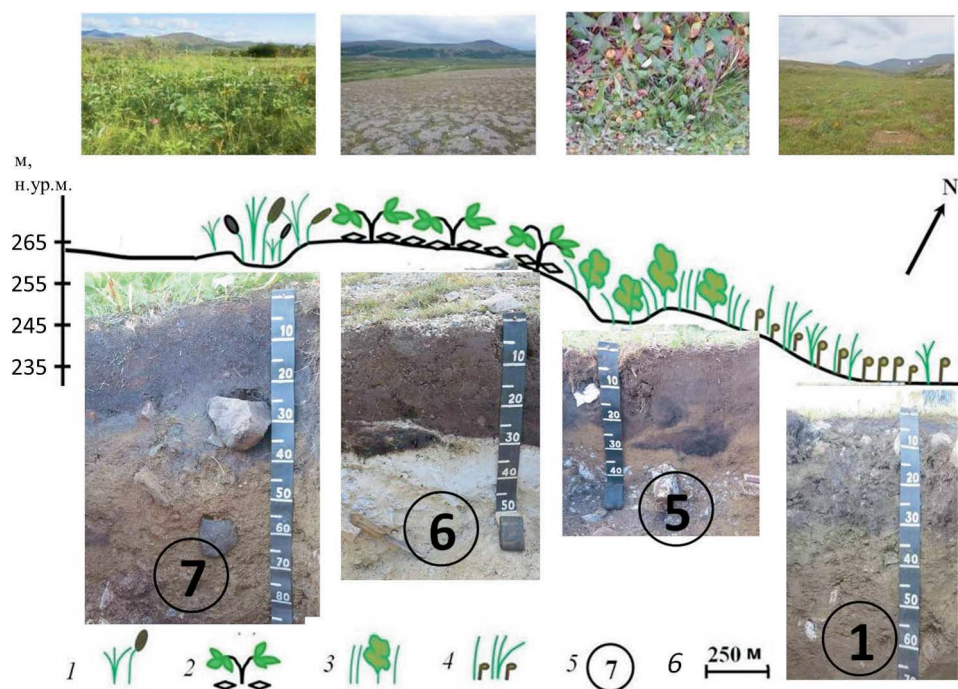


Рис. 2. Расположение объектов исследований на ландшафтно-геоморфологическом профиле. 1 – высокотравный луг; 2 – дриадовая тундра; 3 – травяно-ивковое сообщество; 4 – разнотравно-осоково-моховое сообщество; 5 – номер почвенного разреза; 6 – горизонтальный масштаб.

“Функции и свойства почв и почвенного покрова” Почвенного института имени В.В. Докучаева.

Содержание общего углерода ($C_{\text{общ}}$) и азота ($N_{\text{общ}}$) измерено на CHNS-O-элементном анализаторе EA 1110 (Carlo Erba, Италия), содержание карбонатов — на кальциметре 08.53 Eijkelkamp (SA07, США—Нидерланды). Фракционно-групповой состав гумуса определяли по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой со спектрофотометрическим окончанием. Массовая доля аморфных и слабоокристаллизованных форм железа и алюминия определена методом Тамма, несиликатных форм железа — методом Мера—Джексона [6]. Значения pH_{H_2O} оценены с помощью ионометра универсального Анион-4100 (Россия). Аналитические данные получены в Экоаналитической лаборатории, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий Росстандарта России (аттестат РОСС RU.0001.511257 от 16.04.2014), а также в отделе почвоведения Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Макро- и микроморфологические особенности почв. Разрез 7-ПУ заложен под высокотравным лугом (общее проективное покрытие яруса трав 100%) в небольшом мезопонижении в виде ложбины временного водотока. Абсолютная высота участка 260 м, координаты: 67°13'23.30" N; 65°38'10.70" E. Строение почвенного профиля: O(0–2)—H1(2–10)—H2(10–20)—CRHg(20–27)—CRM1ca(27–50)—CRM2ca(50–65)—BCca(65–80 см). Профиль имеет большую мощность и единичные включения известняков до 50 см, глубже их содержание постепенно увеличивается, а с 80 см отмечается резкое подстиление крупных глыб. Под слаборазложившейся подстилкой сформированы перегонные горизонты H (10YR 3/1; 2/1), мажущейся консистенции, состоящие из разложившихся и утративших исходное строение растительных остатков. Застойно-промывной тип водного режима, наряду со средне-тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, приводит к отчетливому формированию глееватого горизонта CRHg с серовато-сизой окраской (5Y 6/2) на глубине 20–27 см. По всему профилю отмечено присутствие Fe-гумусовых конкреций (рис. 3). При этом до глубины 20–27 см имеет место творожистая или икрная структура горизонта CRHg. Ниже отчетливо выражены криогенно-оструктурные криометаморфические горизонты с включениями обломков известняков. Горизонт CRM1ca — легкий суглинок с мелкокомковатыми структурными отдельностями, горизонт CRM2ca — среднесуглинистый, с угловато-плитчатыми структурными элементами [49]. Мелкозем до глубины 27 см не вскипает от HCl,

на глубине 30–80 см и мелкозем, и включения известняков вскипают бурно. Следует отметить, что серия горизонтов на глубине 20–65 см различается количеством фрагментированных растительных остатков. Почва по [33] перегнойно-криометаморфическая глееватая остаточно-карбонатная; по [55] — Calcaric Stagnosol (Humic, Skeletic).

На микроуровне для всех выделенных генетических горизонтов разреза 7-ПУ диагностируются микропризнаки оглеения по всему профилю: максимальное содержание железисто-гумусовых и железистых нодулей отмечены в верхнем горизонте (рис. 3а, 3б), постепенно снижаясь с глубиной. Железисто-марганцевые дендриты образованы в горизонте с высоким содержанием мелких органических остатков (рис. 3е, 3ф). Здесь отмечены ожелезненность и углефицированность растительных остатков.

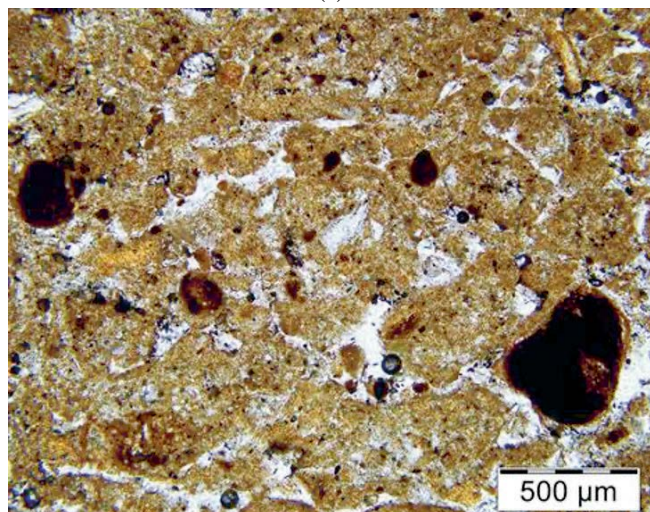
Разрез 6-ПУ заложен в элювиальных условиях в верхней части увала на абсолютной высоте 265 м; координаты: 67°13'29.70" N; 65°38'17.10" E. В растительном покрове — дриадовая тундра (общее проективное покрытие *Dryas octopetala* 30–35%). Отчетливо выражен криогенно-пятнистый микро-рельеф: пятна без растительного покрова имеют специфическую 4–5–6 угольную геометрическую форму и составляют 60–70% от общей поверхности. Разрез заложен под куртиной *Dryas octopetala*. Строение профиля: O(0–1)—AH1pir,ca(1–10/15)—AH2pir,ca(10/15–25)—AH3pir,ca(25–35)—BCca(35–45)—Cca(45–55 см).

Почва характеризуется отчетливой дифференциацией на генетические горизонты. Под мало-мощным подстильно-торфянистым горизонтом O сформированы бурно вскипающие от HCl перегнойно-темногумусовые горизонты AHpir,ca, которые диагностируются по наличию темной (от темно-коричневой вплоть до черной) окраской (10YR 3/3–3/1; 10YR 2/1) и непрочной комковатой структурой с отчетливым (резким) переходом по цвету в нижележащие горизонты (BCca и Cca). В горизонтах AHpir,ca имеется незначительная примесь растительных остатков разной степени разложения, а также включения послепожарных древесных углей.

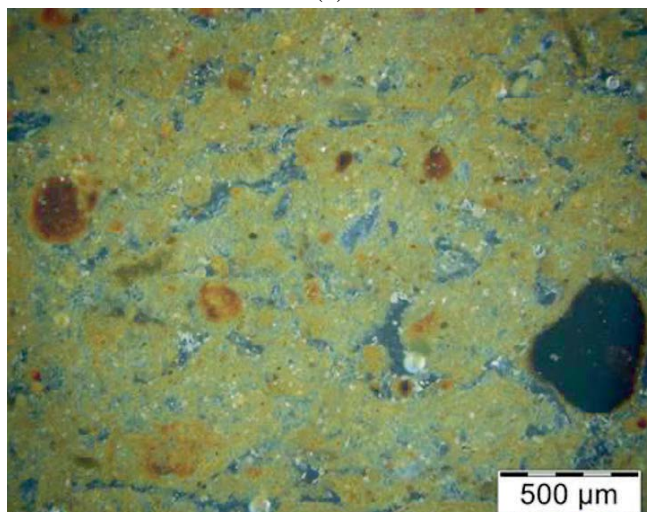
С глубины 32 см горизонты BCca и Cca имеют белесовато-серую (10YR 8/1; 10YR 7/3) окраску и песчано-супесчаный гранулометрический состав, что связано с включением обломков известняков. По всему профилю характерно бурное вскипание от HCl как мелкозема, так и щебня мраморизованных известняков, расположенных даже на дневной поверхности. Почва классифицируется как перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная [33]; Calcaric Skeletic Leptic Regosol [55].

На микроуровне также отмечена двучленность профиля. Верхние горизонты AHpir,ca(1–35 см)

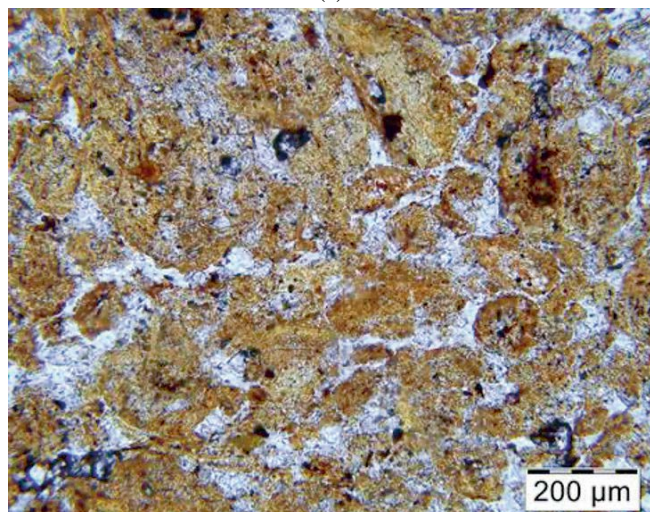
(a)



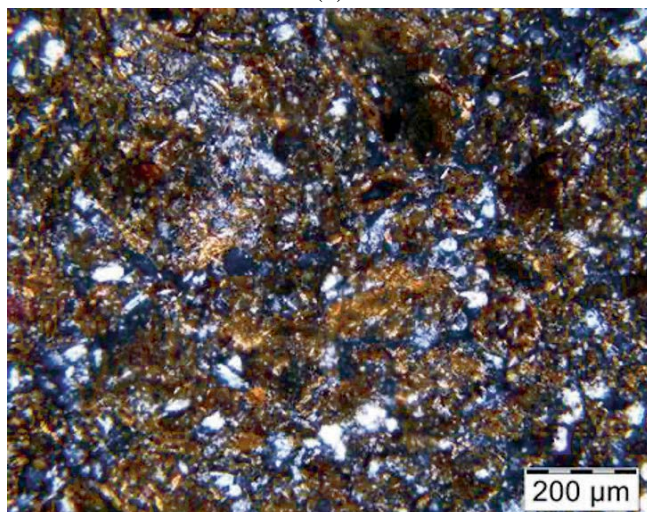
(b)



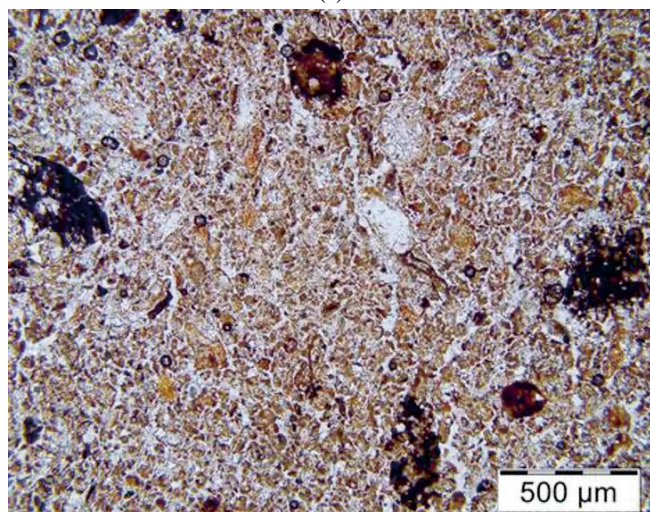
(c)



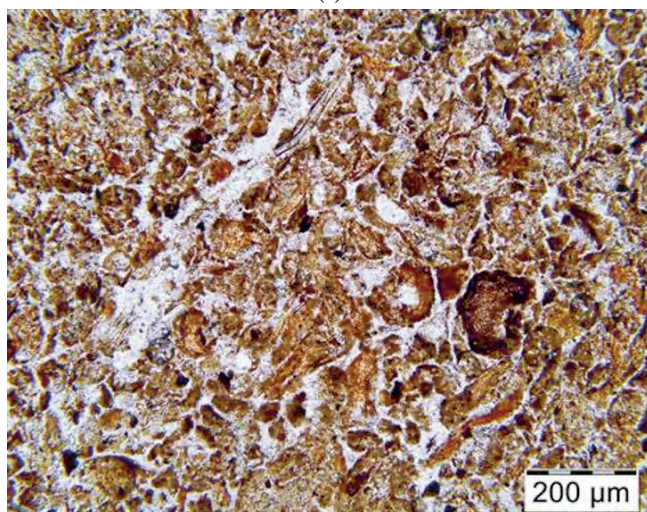
(d)



(e)



(f)



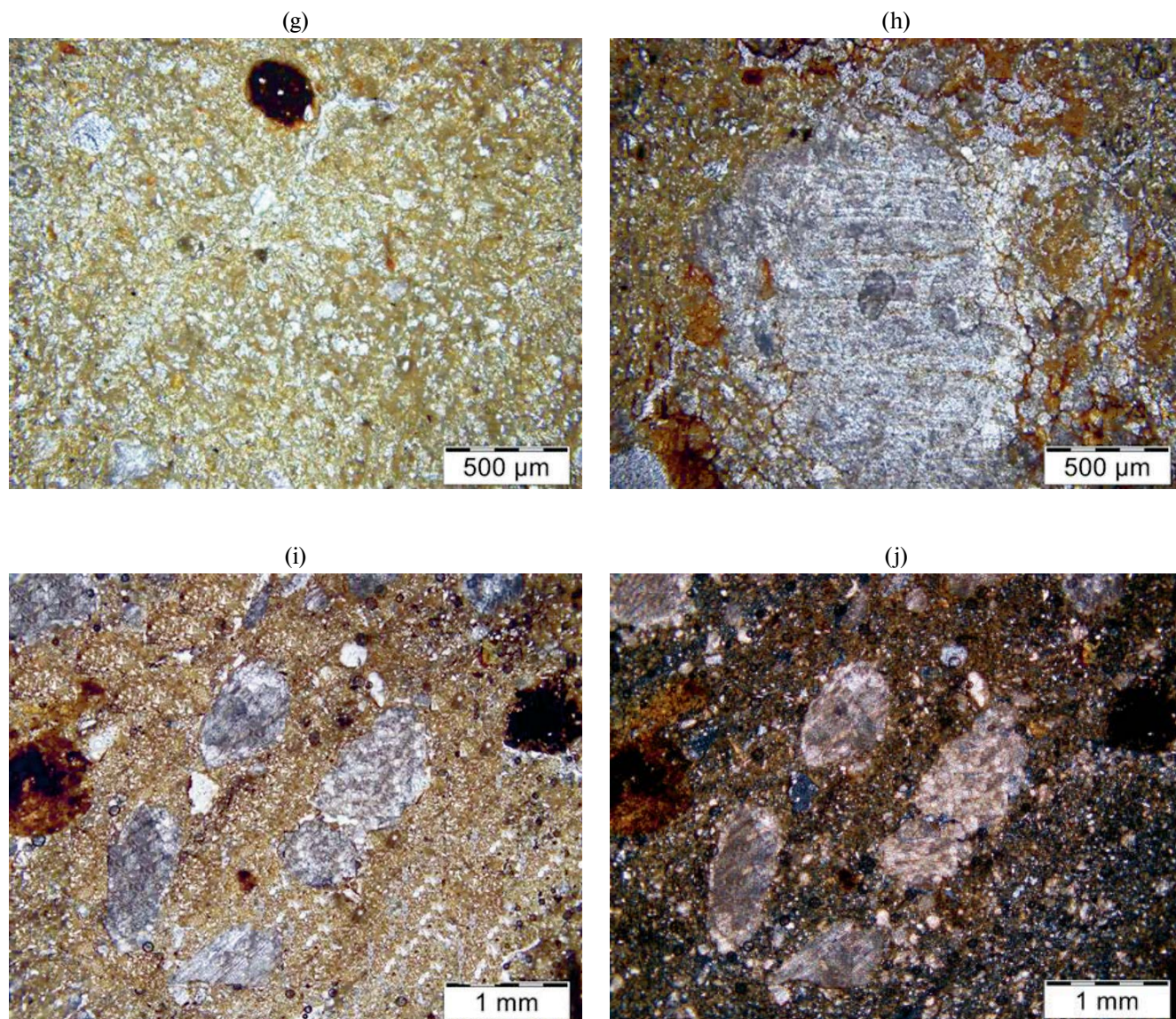
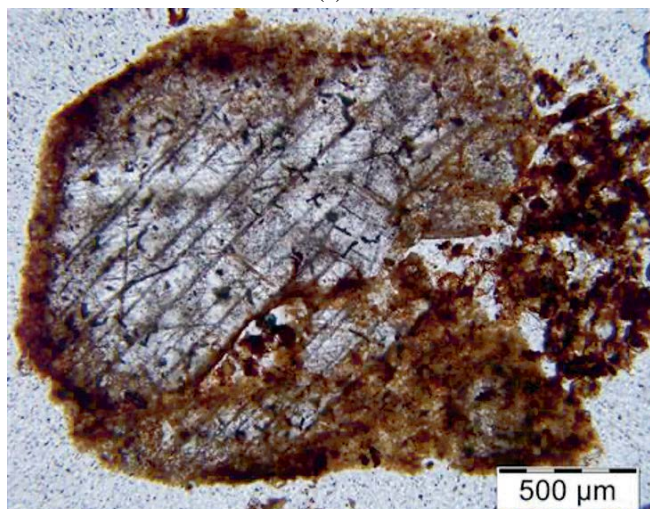


Рис. 3. Микростроение, разрез 7-ПУ: (a)–(d) – Н2 (10–20 см) – высокая микроагрегированность, железистые нодули, зерна пыли в порах (IIN – (a), (c); XN – (d)); отраженный свет – (b)); (e), (f) – CRHg (20–27 см) – мелкая фрагментация растительных остатков, углефицированные частицы; экскременты почвенной мезофауны (IIN); (g), (h) – CRM1ca (27–50 см) – карбонатный материал с Fe-нодулом ((g) – IIN), обломок карбонатной породы с трещинами разрушения в краевых зонах ((h) – XN); (i), (k) – CRM2ca (50–65 см) – включения обломков карбонатных пород, железисто-марганцевые конкреции ((i) – IIN; (k) – XN).

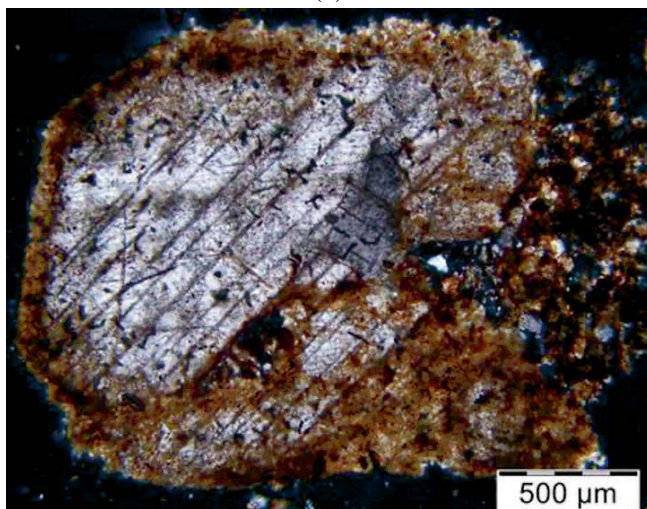
содержат агрегированный мелкозем пылевато-карбонатно-глинисто-железистого состава и обломки карбонатных пород с такими же по составу мелкоземистыми кутанами как и вмещающий глинисто-пылевато-гумусовый материал (рис. 4a–4d). Эти горизонты лежат на сложном по составу и организации карбонатном материале – включения интракластов (обломков крупнозернистых карбонатных пород) с такими же по составу кутанами, как в горизонте АН_{pir,ca}, которые сцементированы спаритовым карбонатным цементом – горизонт С_{ca} (рис. 4k).

Важно отметить, что в верхних горизонтах такие кутаны отмечены на верхних гранях, образуя шапочки, а в нижележащем карбонатном слое такие же по составу кутаны расположены без четкой приуроченности к расположению на обломках. Особенности микростроения мелкоземистых агрегатов в горизонтах АН_{pir,ca} (1–10, 10–20 см) является высокое содержание глинисто-железистого органического вещества и микросгустковая организация с тенденцией к микроплитчатости в более крупных комковатых агрегатах (рис. 4c).

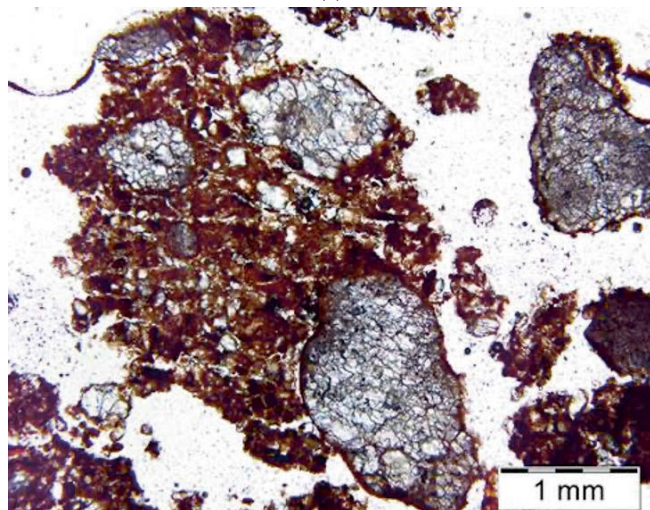
(a)



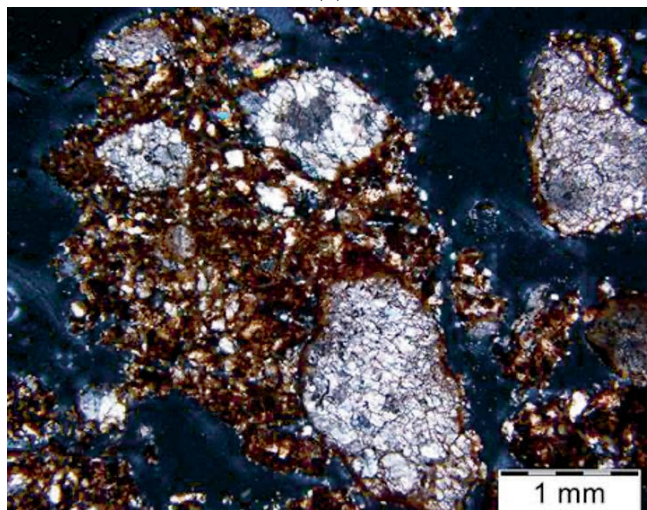
(b)



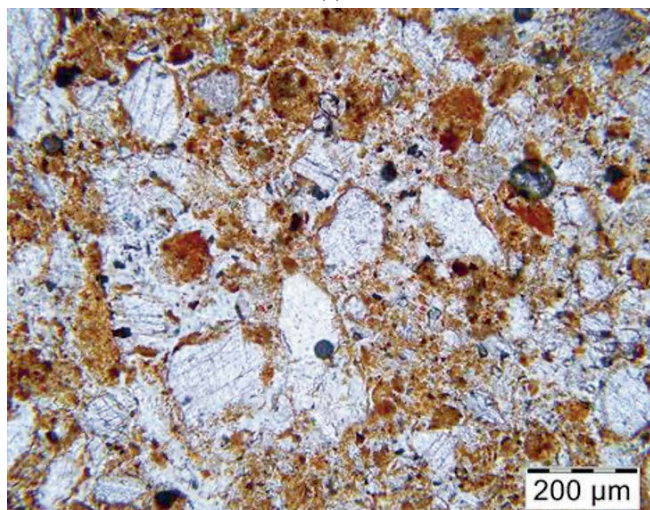
(c)



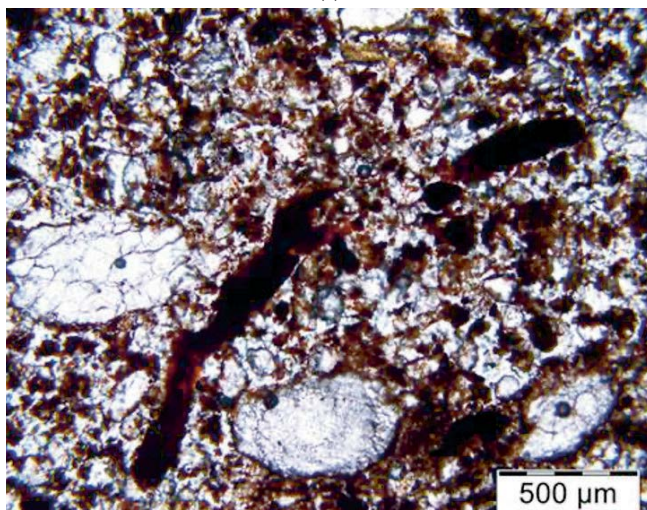
(d)



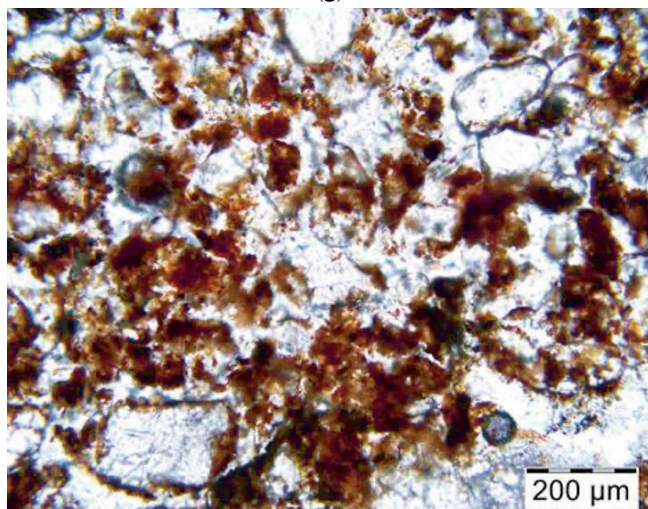
(e)



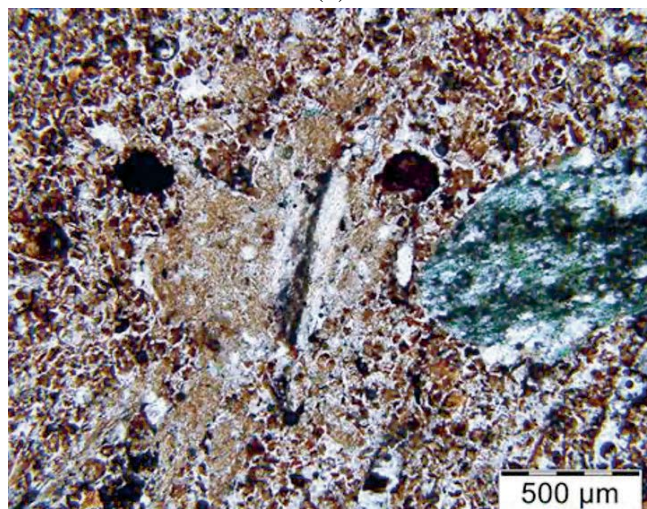
(f)



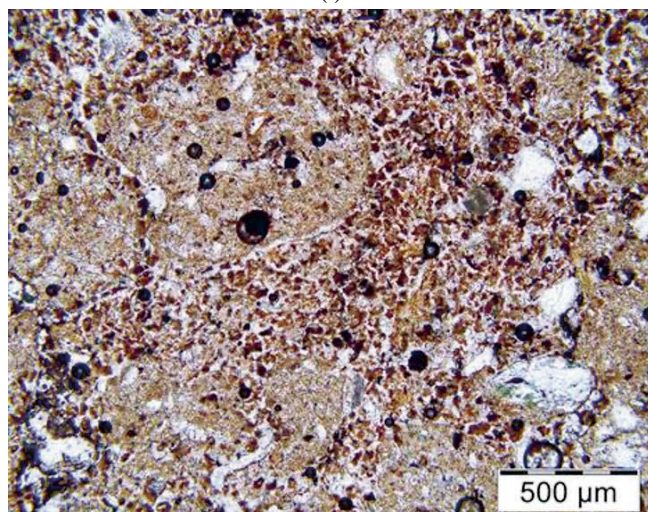
(g)



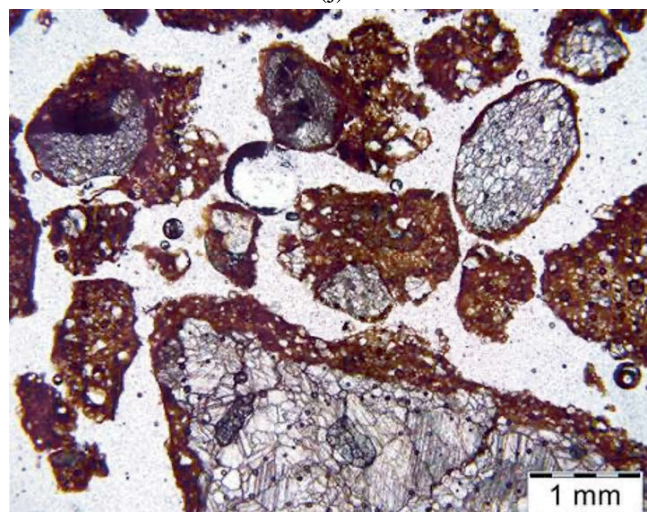
(h)



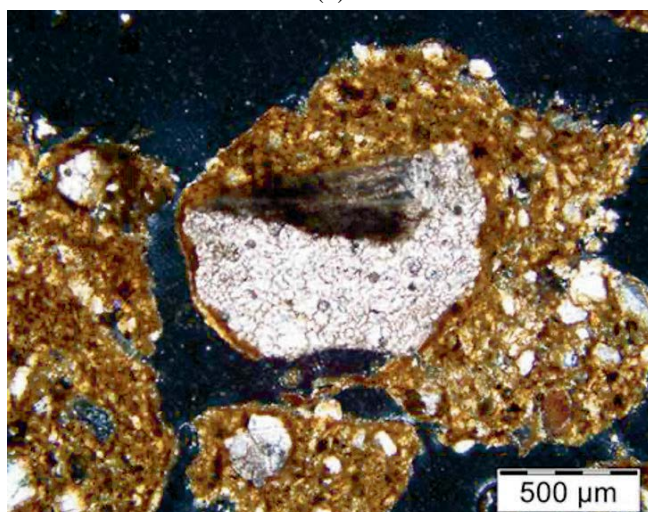
(i)



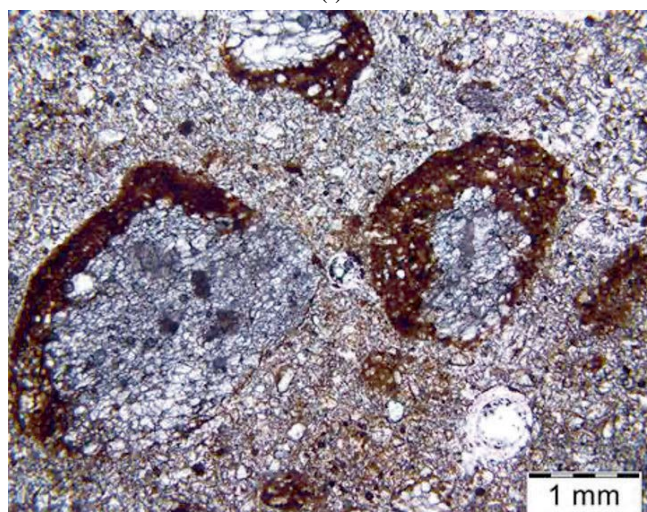
(j)



(k)



(l)



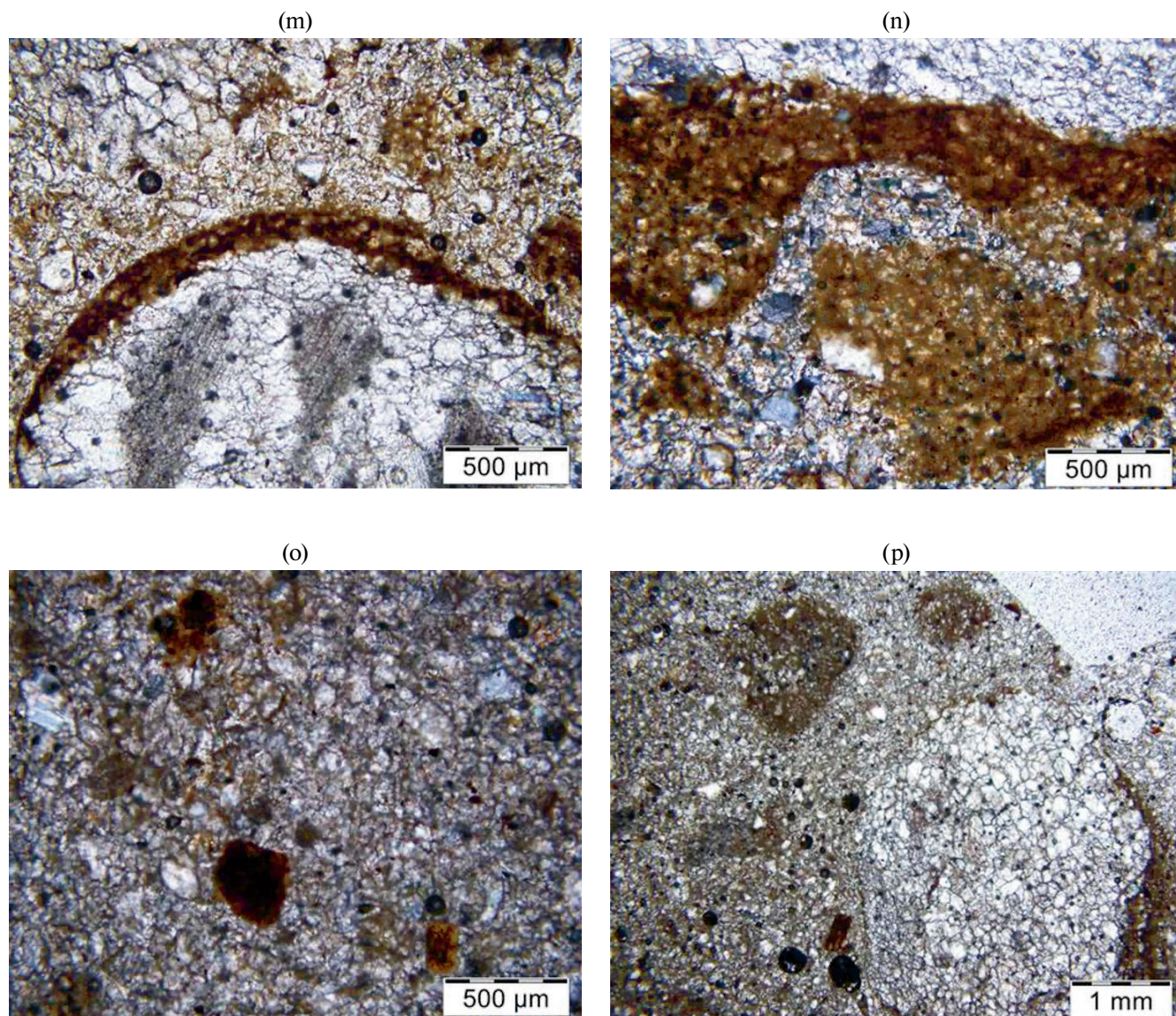


Рис. 4. Микростроение, разрез 6-ПУ: (а)–(е) – АН1pir,са (1–10/15 см) – карбонатные породы ((а), (с), (е) – ПН; (b), (d) – ХН); (f), (h)) АН2pir,са (10/15–25 см) – углефицированные растительные остатки, Fe-глинисто-гумусовые сгустки (ПН); (i), (j) – АН3pir,са (25–28 см) – комковатые агрегаты с обилием мелких экскрементов почвенной микрофауны в порах, включение амфибола (ПН); (k), (l) – АН3pir,са (28–35 см) – карбонатные породы с Fe-глинисто-гумусовыми кутанами, тонкая (k – ПН), углистая пыль на карбонатном обломке ((l) – ХН); (m)–(o)) ВСса (35–45 см) – карбонатные обломки с Fe-глинисто-гумусовыми кутанами в карбонатном плотном материале ((m), (n) – ПН, (o) – ХН); (p), (q) – Сса (45–...см) – плотный карбонатный горизонт, железистые нодулы разного размера ((p) – ХН; (q) – ПН).

Данный профиль отличается от других сравниваемых разрезов наличием большого количества углей, а также появлением обломков карбонатных пород с Fe-глинисто-гумусовыми кутанами и с включением тонкопылеватого углистого материала в “ямках” на поверхности карбонатов (рис. 4к, 4л).

Разрез 5-ПУ заложен на вогнутом (U-образной формы ложбина) участке верхней части склона на

переотложенных рыхлых отложениях мощностью 45 см, резко подстилаемых массивными плитами мраморизованных известняков (рис. 2). В растительном покрове травяно-ивковое сообщество (общее проективное покрытие 100%). Абсолютная высота участка 245 м, координаты: 67°13'30.70" N; 65°38'2.90" E. Строение профиля: О(0–2)–АН1pir(2–5)–АН2pir(5–15/20)–CRM(15/20–30)–CRMса(30–45 см). В верхней части почвенного

профиля под хорошо разложившейся оторфованной подстилкой развит перегнойно-темногумусовый горизонт АН_{рг} — очень темно-серый (10YR 3/1) материал с примесью растительных остатков разной степени разложения. Встречаются послепожарные древесные угли (2–3 мм), максимальное содержание которых локализовано на глубине 23–33 см в виде погребенного интенсивно темноокрашенного слоя (10YR 2/1 black). Единично присутствуют включения молочно-белого кварца с размерами до 10–15 мм. С 15(20) см идет серия криометаморфических горизонтов CRM(15–30)—CRMca(30–45) (10YR 4/3; 5/3), которые различаются по интенсивности вскипания (на глубине 30–45 см отмечено вскипание мелкозема). С глубины 45 см выражено резкое подстиление плит мраморизованных известняков. Почва по [33] перегнойно-темногумусовая криометаморфическая остаточно-карбонатная или Calcaric Mollic Leptic Stagnosol Skeletic [55].

Микроморфологические особенности разрез 5-ПУ показывают также двухчленность почвенного профиля по характеру агрегированности и карбонатности с границей на глубине 35 см. Верхние 35 см (рис. 5а–5d) отличаются высоким содержанием тонкой пыли и растительных остатков, в том числе мелких углефицированных тканей, агрегированностью и высокой межагрегатной пористостью, преобладанием глинисто-Fe-гумусового тонкодисперсного вещества. Ниже 35 см отмечены явные микропризнаки оглеения — обезжелезненный материал с Mn–Fe дендровидными новообразованиями и микронодулями (рис. 5h, 5i).

Признаки обезжелезнения пылевато-глинистого материала с образованием Fe–Mn нодулей и дендровидных железистых новообразований сходны с таковыми, описанными в горизонте CRM1ca (40–50 см) разреза 7-ПУ.

Разрез 1-ПУ заложен в нижней части пологого склона. В растительном покрове — пятнистая дриадово-моховая тундра; общее проективное покрытие — 60% (координаты: 67°13'28.7" N; 65°38'39.8" E). Пятна-медальоны без растительного покрова имеют округло-овальную форму (до 40–50 см) и составляют 10% от общей поверхности. Абсолютная высота 235 м. Строение профиля: O(0–1)—AY1(1–5)—AY2(5–15)—CRM(15–35)—CRMca(35–60 см). Под маломощной подстилкой сформирован серогумусовый горизонт AY — легкий суглинок с мелкокомковатой структурой серой окраски (10YR 3/3). В средней и нижней частях профиля наблюдается серия горизонтов CRM(15–35, 35–60 см) со специфической структурной организацией. Горизонты отличаются четко выраженной горизонтальной делимостью: линзовидные агрегаты толщиной 5–8 мм распадаются

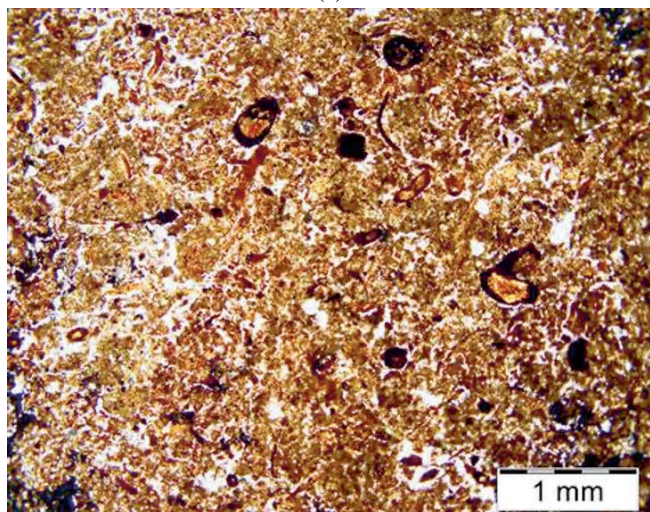
на мелкокомковатые (местами угловатые) структурные отдельности и достигают размеров 3–4 мм. Такую структуру, как известно, связывают с криогенным преобразованием минеральной почвенной массы на месте (процессы криогенного метаморфизма) [13, 20, 21, 40]. Внутрипедная масса агрегатов имеет желтовато-бурую окраску (10YR 4/3; 4/6) и не отличается от цвета поверхности агрегатов. В нижних горизонтах с глубины 15 см происходит постепенное возрастание дресвы и карбонатного щебня, мелкозем активно вскипает от воздействия 10%-ной HCl. Почва по [33] дерново-криометаморфическая остаточно-карбонатная или Calcaric Skeletic Regosol Loamic по [55]. Микроморфологические исследования не проводили, поскольку макроморфологически отдельные горизонты этого профиля сходны с разрезом 7-ПУ.

Химические свойства почв. Исследуемые разрезы характеризуются широким диапазоном значений pH_{H_2O} от 5.6 до 8.5 с наибольшими величинами в разрезе 6-ПУ, заложенном на вершине увала. В почвах значительно варьирует и содержание углерода органических соединений от 0 до 35%, и углерода неорганических соединений от 0 до 12% ($CaCO_3$ от 0 до 100%) (табл. 1). Органические соединения закрепляются в пределах поверхностных горизонтов и имеют максимальное содержание органических форм углерода и азота (до 2.5%). Неорганический азот (сумма $N-NO_3^-$ и $N-NH_4^+$) составляет менее 1% от общего его содержания элемента в почвах.

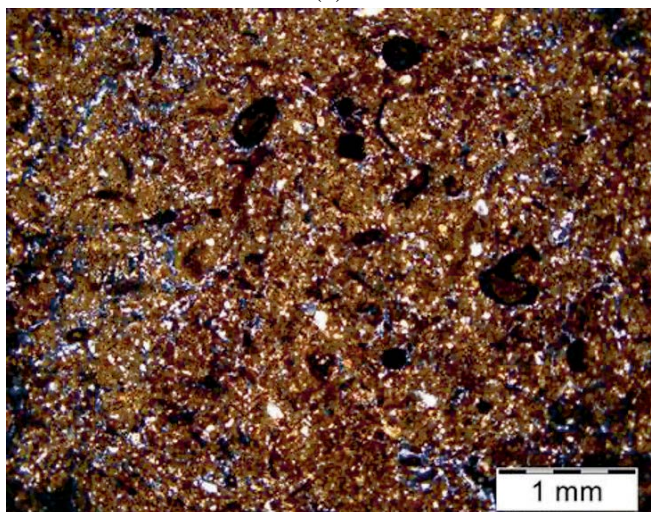
Для органогенных и ряда гумусовых горизонтов разрезов 1-ПУ, 5-ПУ и 7-ПУ характерен фульватно-гуматный тип гумуса по Д.С. Орлову ($C_{ГК}/C_{ФК} = 1.2–1.9$) с максимальными значениями в горизонте Н1 и Н2 (раз. 7-ПУ) (табл. 2). В горизонтах Н1 и Н2 (разрез 7-ПУ), а также АН_{2рг,са} (разрез 5-ПУ) выражено значительное накопление второй фракции гуминовых кислот (ГК), связанной с кальцием (40–50% от суммы ГК). Доля третьей фракции ГК, связанных с устойчивыми формами оксидов железа, алюминия и глинистыми минералами, всех изучаемых объектов составляет 30–60%.

В распределении валовых форм элементов в почвах преобладают кальций и кремний в разных соотношениях. Сумма оксидов этих двух элементов максимальна (96–99%) в горизонте ВСca (35–45) и Cca (45–55), мелкоземе и породе почвы 6-ПУ (табл. 3). Содержание CaO в этих объектах в 16–33 раза выше SiO_2 . В органогенном и гумусовых горизонтах данной почвы на сумму оксидов кремния и кальция приходится 80–88% за счет накопления Fe_2O_3 (3–8%), Al_2O_3 (~5%), MgO и K_2O (2%), при этом отмечено обратное отношение $SiO_2/CaO = 1.7$.

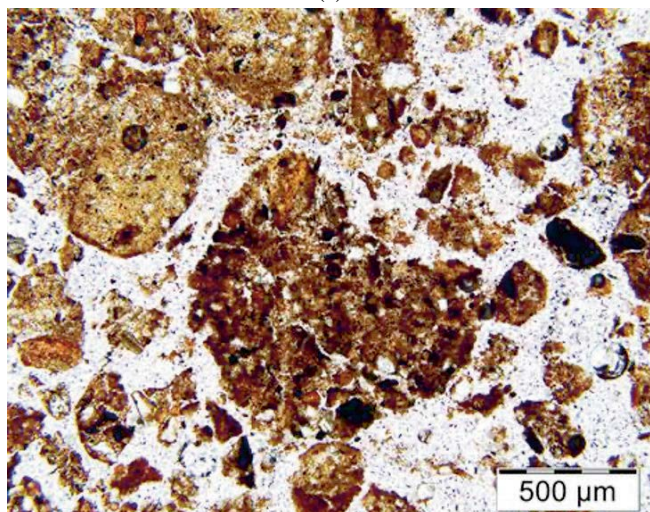
(a)



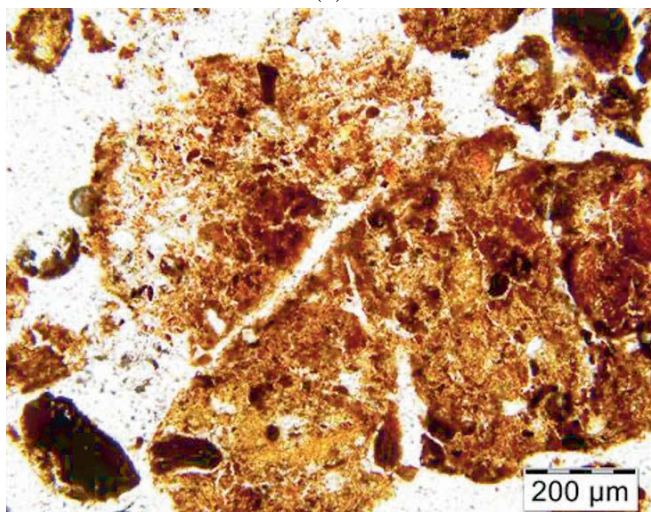
(b)



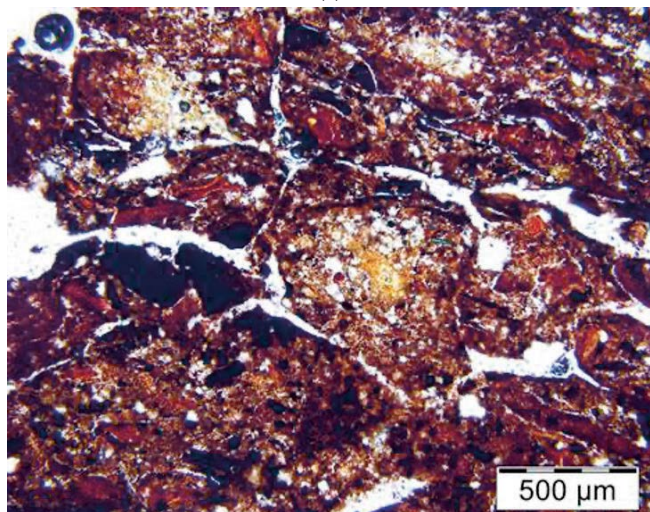
(c)



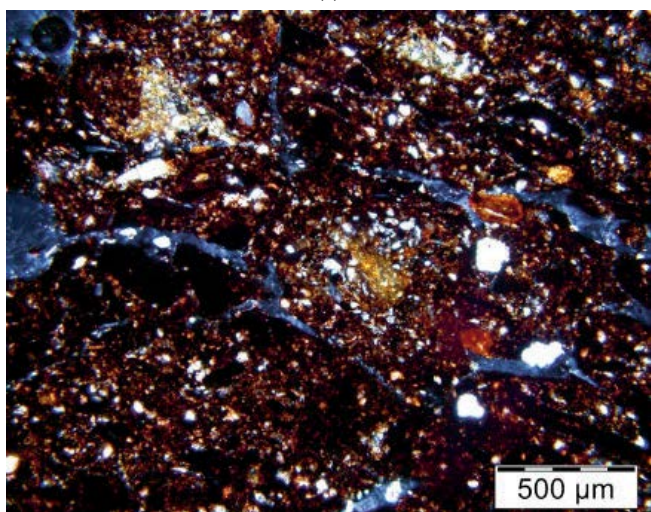
(d)



(e)



(f)



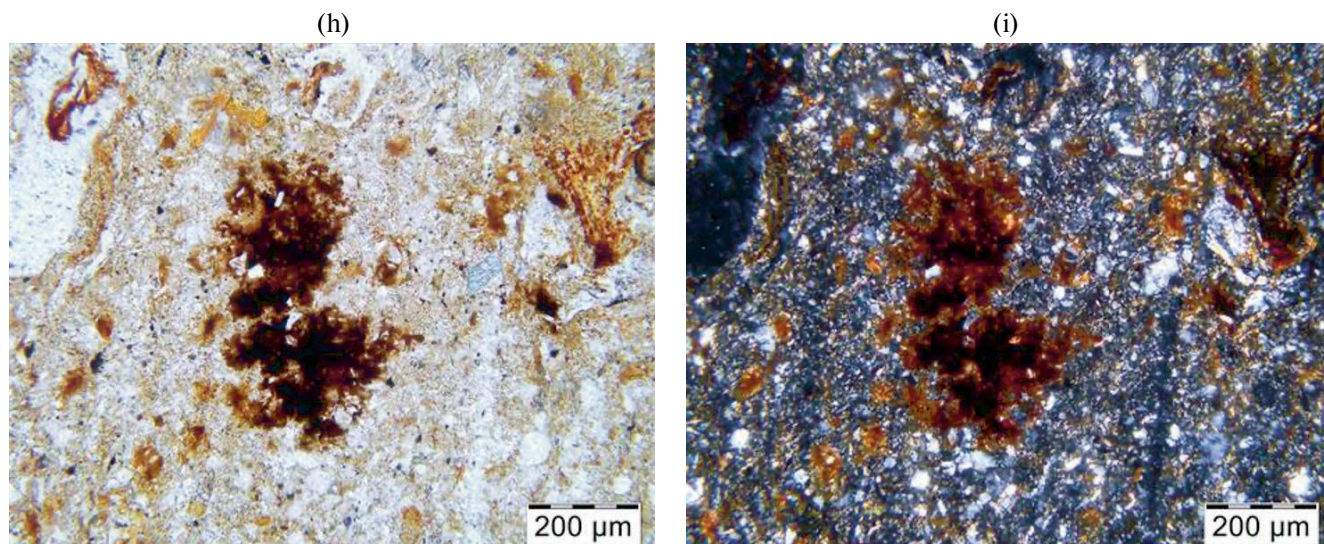


Рис. 5. Микростроение, разрез 5-ПУ: (a), (b) – АН1рпг (2–5 см) – пылевато-глинисто-гумусовый материал с обилием мелких растительных остатков ((a) – ПН; (b) – ХН); (c), (d) – АН2рпг (5–15(20) см) – агрегаты с разным составом органического тонкодисперсного материала (ПН); (d) – органические, сильно ожезненные агрегаты с угольками разного размера; (e), (f) – CRM (15(20)–30 см) – обугленные органо-железистые плитчатые агрегаты с включением спарита ((e) – ПН; (f) – ХН); (h), (i) – CRMca (30–45 см) – обесцвеченный пылеватый материал с Fe–Mn-дендритами ((h) – ПН; (i) – ХН).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В сравниваемых разрезах включения обломков и подстилающие породы представлены белыми массивными мраморизованными известняками нижнедевонского возраста [45], в которых заключены фрагменты карбонатных обломков с глинисто-Fe-гумусовых кутанами (рис. 4м–4о). Наличие таких специфических кутан на поверхности обломков карбонатных пород позволяет предполагать, что почвообразующий материал сравниваемых почв является педоседиментом – переотложенным материалом более древних почв [35].

Для разреза 7-ПУ зеленоватый цвет внутрипедной карбонатно-силикатной тонкодисперсной почвенной массы на глубине 40–50 см и проникновение ожезненного тонкодисперсного вещества в трещины по краям обломков карбонатных пород (рис. 3г, 3h) свидетельствуют о более длительном застое влаги на контакте с более тяжелым по гранулометрическому составу слоем (рис. 3i, 3м). Эти признаки оглеения на микроуровне позволяют говорить о периодической смене окислительно-восстановительного потенциала, что хорошо согласуется с почвенно-экологическими условиями. В межагрегатных порах отмечены чистые зерна кварц-полевошпатового состава за счет криогенной сепарации (рис. 3d). По наличию хорошо выраженной микроагрегированности – ооидной округлой структуре и обилию мелких фрагментированных растительных остатков и экскрементов почвенной микрофауны, особенно в горизонте до

глубины 27 см (рис. 3с–3f), можно констатировать о формировании в этой почве относительно мощного гумусово-криометаморфического горизонта CRHg (20–27 см).

В горизонтах CRM на глубине 27–50 и 50–65 см с включением обломков карбонатных пород с железистыми псевдоморфозами, вероятно, интенсивно протекают процессы криогенного выветривания материала, находящегося более длительное время во влажном состоянии по сравнению с верхними горизонтами (рис. 3h). Железисто-глинистые псевдоморфозы, как известно, могут быть связаны с разрушением железосодержащих минералов и с выделением аморфных соединений железа, проникающих в краевые трещины обломков карбонатных пород. Считаем, что именно криогенные процессы в слое длительной сезонной мерзлоты определяют возникновение таких специфических трещин, как трещины десквамации.

Слабое развитие специфических плитчатых и шлировых микроагрегатов в исследуемом разрезе, по-видимому, связаны с рядом причин. Как было показано различными авторами [12, 20, 36, 49] наиболее ярко криогенная микроструктурная организация выражена в почвах на кислых почвообразующих породах, сформированных на однородных пылеватых легко-среднесуглинистых отложениях в условиях частого перехода через ноль [30]. Формирование криогенной структуры происходит под воздействием многократных циклов промерзания–оттаивания в определенных диапазонах

Таблица 1. Физико-химическая характеристика почв

Горизонт	Глубина, см	Цвет по шкале Манселла	Доля крупно- зема $d > 1$ мм	pH_{H_2O}	$C_{орг}$	$CaCO_3$	$N_{общ}$	C/N	Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	
			%		%				%			
Разрез 7-ПУ. Перегнойно-криометаморфическая глееватая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Stagnosol (Humic, Skeletic))												
O	0–2	—	0	5.58	33.1	<п.о.*	2.54	15	—	—	—	
H1	2–10	10YR3/1	0	6.30	24.3		1.71	17	—	—	—	
H2	10–20	10YR3/2	5	6.49	16.7		1.20	16	0.70	0.46	1.03	
CRHg	20–27	10YR 4/2	5	6.61	2.1		0.16	15	0.43	0.42	1.08	
CRM1ca	27–50	10YR 5/6	10	7.61	0.9	5.8	0.05	19	0.29	0.32	1.03	
CRM2ca	50–65	10YR 5/4	25	7.97	0.0	20.5	0.04	—	0.23	0.25	0.85	
BCca	65–80	10YR 5/4	38	8.04	0.0	20.3	0.04	—	0.32	0.19	0.78	
Разрез 6-ПУ. Перегнойно–темногумусовая остаточно-карбонатная (Calcaric Skeletic Leptic Regosol)												
O	0–1	—	64	7.57	16.6	58.6	0.87	22	—	—	—	
AH1pir,ca	1–10(15)	10YR 4/3	74	8.04	3.5	67.6	0.32	13	0.22	0.27	0.50	
AH2pir,ca	10(15)–25	10YR3/3	66	8.08	7.4	41.8	0.54	16	0.52	0.62	0.80	
AH3pir,ca	25–35	10YR 2/1	55	7.98	7.7	36.7	0.62	14	0.60	0.75	0.98	
BCca	35–45	10YR 8/1	51	8.32	1.4	86.5	<п.о.	—	—	—	—	
Cca	45–55	10YR 7/3	45	8.50	0.0	102.0		—	—	—	—	
угли	10–25	10YR 2/1	—	—	37.1	—		0.39	—	—	—	—
угли	25–35	10YR 2/1	—	—	26.7	—	0.50	—	—	—	—	
Разрез 5-ПУ. Перегнойно–темногумусовая криометаморфическая остаточно–карбонатная (Calcaric Mollic Leptic Stagnosol (Skeletal))												
O	0–2	—	0	6.90	30.2	<п.о.	1.96	18	—	—	—	
AH1pir	2–5	10YR 3/1	0	6.59	11.0		0.98	13	—	—	—	
AH2pir	5–15(20)	5YR 2.5/1	2	6.97	7.6		0.69	13	0.67	0.73	1.64	
CRM	15(20)–30	10YR 4/3	5	7.40	1.8		0.15	14	0.36	0.49	1.17	
CRMca	30–45	10YR 5/3	10	7.73	0.9		5.5	0.13	8	0.32	0.42	1.02
Разрез 1-ПУ. Дерново–криометаморфическая остаточно–карбонатная (Calcaric Skeletic Regosol (Loamic))												
O	0–1	—	0	6.67	17.7	<п.о.	0.94	18	—	—	—	
AY1	1–5	10YR 3/3	0	6.99	3.3	4.1	0.24	16	0.39	0.45	1.04	
AY2	5–15	10YR 4/3	5	7.33	3.2	7.6	0.23	16	0.40	0.41	1.01	
CRM	15–35	10YR 5/4	10	7.72	0.6	5.4	0.07	9	0.25	0.15	0.65	
CRMca	35–60	10YR 6/2	15	7.90	0.2	0.9	0.05	6	0.26	0.16	0.66	

* Ниже предела обнаружения.
Примечание. Fe_2O_3 и Al_2O_3 – содержание компонентов, извлекаемых вытяжкой Тамма; Fe_2O_3 – Мера–Джексона; прочерк – не определено.

Таблица 2. Некоторые характеристики органического вещества почв

Горизонт	Содержание углерода, % от C _{орг}										C _{ГК} /C _{ФК}	Тип
	гуминовые кислоты				фульвокислоты					НО*		
	1	2	3	Σ	1	1a	2	3	Σ			
Разрез 7-ПУ. Перегнойно-криометаморфическая глееватая остаточно-карбонатная почва												
О	24.8	3.0	8.8	36.6	3.8	10.2	2.5	7.5	24.0	39.3	1.53	Φ—Г**
H1	23.3	11.1	14.2	58.6	3.8	10.1	2.5	9.1	25.5	25.9	1.91	Φ—Г
H2	22.0	15.5	14.4	51.9	4.7	9.6	7.5	7.5	29.3	18.8	1.78	Φ—Г
Разрез 6-ПУ. Перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная												
АН2pir	11.5	0	16.7	28.2	14.9	0	11.2	14.7	40.8	39.3	0.60	Г—Φ***
АН3pir	8.8	0	8.7	17.5	12.6	0	9.4	12.5	34.5	25.9	0.50	Г—Φ
Разрез 5-ПУ. Перегнойно-темногумусовая криометаморфическая остаточно-карбонатная												
О	14.5	1.4	11.4	27.3	2.9	6.6	2.1	6.5	18.1	54.6	1.51	Φ_Г
АН1pir	16.8	7.5	9.9	34.2	4.2	7.4	10.2	6.2	28.0	37.7	1.22	Φ—Г
АН2pir	9.3	13.0	11.1	33.4	4.9	2.6	11.3	7.3	26.1	40.6	1.28	Φ—Г
Разрез 1-ПУ. Дерново-криометаморфическая остаточно-карбонатная												
О	13.2	3.8	9.2	26.2	3.4	6.0	1.4	7.2	18.0	55.8	1.45	Φ—Г
АУ1	16.1	6.3	9.9	32.3	3.3	8.0	3.1	7.5	21.9	45.9	1.47	Φ—Г
АУ2	8.2	5.3	8.3	21.8	5.4	1.4	8.7	12.4	27.9	50.3	0.78	Г—Φ

* Негидролизующий остаток, ** фульватно-гуматный тип, *** гуматно-фульватный тип.

температуры, что выявлено для многих типов почв как в равнинных [4, 13, 20, 40], так и в горных ландшафтах [2, 21, 53]. Характер и степень выраженности криогенной структуры связан, как известно, с разной влажностью материала при промерзании [30, 32, 50]. Предполагаем, что в условиях длительного сезонного оглеения в горизонтах с большим количеством органических остатков над карбонатными плитами формирование специфической микрошлировой структуры не происходит.

В разрезе 6-ПУ наличие в почвенном профиле сильновыветрелой мелкой дресвы и обломков пород (3–10 мм), которые легко разрушаются при надавливании пальцами, свидетельствует об интенсивных процессах их физико-химической дезинтеграции.

Здесь отмечена высокая биогенность и гумусированность материала, проявляющаяся в большом количестве мелких экскрементов почвенной микрофауны и сгустковости гумуса (рис. 4е). Ниже отмечен рыхлый агрегированный материал с включением обломков карбонатных пород с Fe-глинисто-гумусовыми кутанами разной мощности (рис. 4м–4о). Данный факт дает возможность предполагать формирование горизонта BCsa.

Наличие кутан-шапочек в горизонтах АНpir,ca позволяют говорить об их современном проис-

хождении, в то время как включения карбонатных обломков с аналогичными по составу кутанами в спаритовом цементе свидетельствуют об их реликтовом генезисе. Предполагаем, что это является свидетельством их включения в насыщенный карбонатный раствор, который, по-видимому, затем был раскристаллизован при высыхании.

Высокая фрагментированность углистых растительных остатков и биогенная агрегированность сильно разложенных тканей, расположенных между агрегатами с глинистыми тонкими кутанами, выражена в горизонте АН3pir,ca (25–35) (рис. 4f–4j). Эти особенности обусловлены криогенными процессами при промерзании почв и активной деятельностью почвенной микрофауны в теплые сезоны.

Наличие обломков хлоритизированных пород (рис. 4i) позволяет предположить, что здесь представлен несколько иной литологический карбонатный слой, который в раз. 7-ПУ вскрыт не был или/и имело место привнос аллохтонного материала.

Одинаковый вид, размер и состояние органического детрита позволяет говорить, что органические остатки так же, как в горизонтах CRH раз. 7-ПУ, подвержены криогенной фрагментации. С другой стороны, здесь отмечена более высокая биогенная переработка, что связано, по-видимому,

Таблица 3. Валовый состав почв, % от прокаленной навески

Горизонт	Глубина	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Cl	SO ₃
	см	%												
Разрез 7-ПУ. Перегнойно-криометаморфическая глееватая остаточно-карбонатная почва														
H2	10—20	67.90	11.54	6.93	6.36	1.48	1.56	0.88	1.21	0.57	0.02	0.02	0.09	1.45
CRHg	20—27	69.43	15.58	6.59	2.03	2.04	1.53	1.29	1.05	0.23	0.01	0.01	0.03	0.18
CRM1ca	27—50	67.57	14.50	6.81	4.06	2.17	1.78	1.85	0.90	0.22	0.01	0.01	0.06	0.04
CRM2ca	50—65	64.71	13.14	6.03	10.04	1.75	1.64	1.54	0.79	0.19	0.01	0.01	0.03	0.12
BCca	65—80	63.88	12.25	6.06	11.37	2.02	2.02	1.16	0.75	0.36	0.01	0.01	0.03	0.08
Разрез 6-ПУ. Перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная														
АН1pir,ca	1—10(15)	32.98	3.12	4.99	55.00	0.95	1.57	0.50	0.26	0.20	0.06	0.03	0.11	0.24
АН2pir,ca	10(15)—25	44.97	7.46	4.60	38.06	1.25	1.76	0.02	0.52	0.46	0.12	0.02	0.12	0.64
АН3pir,ca	25—35	48.97	8.89	5.15	31.50	1.51	1.49	0.53	0.59	0.50	0.02	0.02	0.10	0.63
BCca	35—45	5.60	0.49	0.36	91.68	0.43	1.00	0.10	0.07	0.04	0.01	0.01	0.19	0.00
Cca	45—55	4.52	0.43	0.46	92.92	0.48	0.86	0.07	0.00	0.02	0.01	0.02	0.18	0.02
Мелкозем*	0—1	5.95	0.53	0.28	92.37	0.32	0.39	0.00	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01
Порода	0—1	3.23	0.27	0.16	92.72	2.87	0.41	0.11	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
Порода	35—45	2.91	0.25	0.18	95.66	0.34	0.64	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Порода	45—55	3.39	0.28	0.21	95.13	0.44	0.48	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00
Разрез 5-ПУ. Перегнойно-темногумусовая криометаморфическая остаточно-карбонатная														
АН2pir	5—15(20)	65.89	8.22	15.66	3.12	1.96	1.93	0.67	1.13	0.51	0.24	0.02	0.06	0.59
CRM	15(20)—30	69.26	6.98	15.06	1.77	1.95	1.76	1.51	1.08	0.24	0.16	0.02	0.03	0.18
CRMca	30—45	68.16	6.41	13.87	4.62	2.24	1.93	1.14	0.95	0.30	0.13	0.02	0.02	0.20
Разрез 1-ПУ. Дерново-криометаморфическая остаточно-карбонатная														
AY1	1—5	67.43	7.04	14.31	4.43	2.03	1.92	1.01	1.01	0.36	0.09	0.02	0.02	0.32
AY2	5—15	65.89	6.89	14.88	6.01	2.00	1.81	0.80	0.96	0.35	0.11	0.02	0.01	0.29
CRM	15—35	70.23	6.39	13.38	2.99	1.79	1.78	1.98	1.02	0.21	0.11	0.02	0.02	0.09
CRMca	35—60	67.68	7.34	13.99	3.31	2.16	1.72	2.41	0.89	0.21	0.11	0.02	0.04	0.09

* Дезинтегрированная порода на дневной поверхности до стадии мелкозема ($d < 1$ мм).

с мезоформными условиями почвообразования за счет расположения разреза в автоморфной позиции. Развитие гетерогенных пылевато-глинисто-Fe-гумусовых кутан на обломках карбонатных пород глубже 28 см позволяет предполагать их реликтовый альфегумусовый генезис. На это указывает включение обломков с такими кутанами и Fe-гумусовых микроагрегатов в составе плотного спаритового цемента горизонта Cca (рис. 4m–4q).
В разрезе 5-ПУ поверхностный слой (2–20) так же, как в других разрезах, характеризуется большим количеством и разнообразием по степени разложения растительных остатков. Отмечено

обилие мелких слаборазложённых, ожелезненных, сильноразложённых и обугленных обрывков растительных тканей, которые могут быть как фрагментированными растительными остатками, возникающими за счет криогенеза, так и экскрементами почвенной мезофауны, в том числе червей (рис. 5c, 5d). Наличие большого количества мелких углистых частиц в грубогумусовом горизонте свидетельствует о пожарных событиях (рис. 5e, 5f). Силикатные минералы крупнопылеватой размерности представлены преимущественно кварцем и полевыми шпатами, мелкопесчаные зерна единичны, но на поверхности некоторых видны фрагментарные железисто-глинистые кутаны. Следует

отметить, что агрегаты независимо от размера преимущественно имеют округлые формы, некоторые округлые агрегаты могут быть копролитами червей, которые были обнаружены нами в ходе полевых работ. Ранее на Полярном Урале выявлено присутствие трех видов дождевых червей, характерных для тундровой зоны: *Dendrobaena octaedra*, *Eisenia nordenskioldi*, *Lumbricus rubellus* [24, 51].

В погребенном гумусовом горизонте агрегаты имеют принципиально другую форму — здесь преобладают агрегаты остроугольные, с тенденцией к плитчатости. В составе пылеватых частиц появляются карбонаты (рис. 5е, 5f), которые, вероятно, являются разрушенными мелкими обломками пород. Внутрипедный материал этих агрегатов отличается от вышележащих большим содержанием углефицированных остатков и железистой пропиткой.

Микромасса горизонте CRMca (30–45 см) отличается плазменно-пылеватым составом, уплотнением, массивной структурой, низкой пористостью, наличием включений из очень мелких обрывков углистых тканей и относительно крупных Mn–Фендритов, а также большим количеством железистых нодулей разного размера (рис. 5g, 5h). Встречаются зерна перекристаллизованного кальцита, сильнотрещиноватые и с признаками растворения (“дырки” внутри обломков). Указанные микропризнаки позволяют предполагать, что гетерогенность этого горизонта связана с криотурбациями и локальными признаками оглеения.

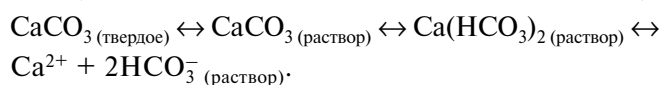
Микропризнаки растворения карбонатов могут быть результатом воздействия кислых растворов. Несмотря на то, что исследованные почвы характеризуются значениями pH в нейтральном — щелочном диапазоне, точечное подкисление могло быть связано с поступлением в почву низкомолекулярных органических кислот — экссудатов корней, продуктов метаболизма [46, 47]. Кроме того, на поверхности и внутри некоторых обломков кальцита появились глинистые пленочки — сохраненные признаки подвижности глины, возможно, связанные с лесной стадией почвообразования на изучаемой территории [39]. Известно, что на равнинной части Европейского северо-востока в климатический оптимум голоцена леса простирались вплоть до побережья Баренцева моря [1, 36].

Полученные данные по фракционно-групповому составу согласуются с ранее полученными результатами по почвам на карбонатных породах севера средней Сибири. Конюшков [25] связывает не характерные для почв тундры результаты с присутствием карбонатов, которые закрепляют гумусовые вещества, способствуя их консервации и старению. Таким образом, при всем широком разнообразии карбонатных почв, содержание углерода, характер его распределения, а также состав органического вещества почв имеют общие черты в различных

регионах — от тропического пояса до субарктического сектора [49], т.е. влияние климата подавлено литогенной матричностью почвообразования [19, 29]. Таким образом, ионы Ca^{2+} карбонатных пород оказывают стабилизирующее действие на компоненты органического вещества за счет образования устойчивых к биодеструкции темноокрашенных соединений. Тем самым литогенная матрица способствует выведению органического вещества из процессов постоянного обновления, а, следовательно, способствует его консервации и старению.

Следует обратить внимание на ряд особенностей состава органического вещества изучаемых объектов, подтверждающих факт нивелирования роли карбонатных пород в почвообразовательных процессах за счет действия биоклиматического фактора [29]. Отличием изучаемых объектов от почв Средней Сибири является накопление первой фракции гуминовых кислот — 40–70% от суммы фракций ГК против 0–20%. Возможным объяснением являться более суровые условия формирования органического вещества на Полярном Урале — гумидный климат против ультраконтинентального семигумидного-семиаридного. Кроме того, в гумусовых горизонтах разреза 6-ПУ и горизонте АУ2 разреза 1-ПУ отмечен гуматно-фульватный тип гумуса (0.5–0.8), в составе органического вещества горизонтов АН1rig,ca и АН2rig,ca разреза 6-ПУ с максимальной карбонатностью (40–70%) полностью отсутствует фракция ГК2. Этот факт свидетельствует о низком содержании ионов кальция, способных к обменным реакциям. Поступлению Ca^{2+} в почвенный раствор способствует растворение карбоната при взаимодействии с кислотами, включая низкомолекулярные органические кислоты, образующиеся в результате функционирования биоты. Очевидно, что на данном участке образование соединений кислой природы в результате деятельности растений ограничено. Данный участок имеет криогенно-пятнистый характер микрорельефа, площадь проективного покрытия растительности не превышает 25%, как было описано ранее, запасы наземной биомассы минимальны — 18 г/м² [48]. Для сравнения на участке, где формируется почва 7-ПУ, соответствующие показатели равны 100% и 1650 г/м² [48].

Второй процесс перевода кальция в раствор — растворение малорастворимого карбоната кальция в воде (произведение растворимости $\text{PP} = 3.8 \times 10^{-9}$):



Ландшафтная позиция данного участка (вершина увала) препятствует накоплению почвенной влаги, как в связи с минимальной мощностью снежного покрова, так и за счет поверхностного стока вод в нижележащие элементы рельефа, что также ограничивает “возможности” перехода ионов кальция в растворимое состояние. Вместе с

тем факт отсутствия фракции ГК2 требует дальнейшего изучения.

Этот факт свидетельствует о привносе слоя силикатного аллохтонного материала мощностью до 35 см на карбонатный субстрат в данном разрезе. В разрезах 7-ПУ, 5-ПУ и 1-ПУ сумма SiO_2 и CaO колеблется в диапазоне 70–75% с более значительным превышением первого, что наиболее существенно выражено в разрезе 5-ПУ и в слое 20–50 см разреза 7-ПУ ($\text{SiO}_2/\text{CaO} = 20\text{--}40$). Данный факт может быть объяснен геоморфологическим положением в ландшафте — транзитно-аккумулятивный для 5-ПУ и аккумулятивный тип для 7-ПУ и 1-ПУ. Интересно, что в разрезах 1-ПУ и 5-ПУ содержание Al_2O_3 составляет 14–16% и дважды превышает содержание Fe_2O_3 , в то время как в разрезе 7-ПУ соотношение этих двух оксидов — обратное. Распределение оксидов и дитиониторастворимых форм соединений железа подтверждает наличие переотложенного аллохтонного ледникового материала. Элювиальный характер их накопления в разрезе 6-ПУ — признак альфегумусовой миграции, что выражено в формировании горизонта ВСаф и в образовании глинисто-Fe-гумусовых кутан на поверхности обломков карбонатных кутан и в их трещинах.

Разрез 7-ПУ имеет максимальную мощность и единичные включения обломков карбонатов с глубины 50 см. В пределах 80-сантиметровой толщи значение $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ увеличивается от поверхности на 2.5 ед. Особенностью данного разреза является и высокое содержание валового железа — 11.5–15.6%, что в 2 раза больше по сравнению с остальными почвами. Вероятно, верхняя толща этой почвы сформирована на переотложенных бескарбонатных супесчано-легкосуглинистых отложениях водно-ледникового генезиса с сопредельного макросклона хребта Большой Пайпудынский. Аллохтонная природа материала проявляется и в значениях pH — наиболее низких среди всех рассмотренных почв [48]. Дополнительно накоплению аллохтонного материала способствует положение почвы в рельефе — мезопонижение в ложбине временного водотока. Бóльшее накопление снега и некоторая обводненность участка в периоды активного снеготаяния определяют застойно-промывной тип водного режима, а более тяжелый (средне-тяжелосуглинистый) гранулометрический состав нижележащий толщи профиля, а также нейтральная реакция почвенных растворов способствуют аккумуляции соединений Fe. Однако данная гипотеза требует дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для всех изученных почв отмечены общие признаки макро- и микростроения и состава органического вещества поверхностных горизонтов, которые позволяют отнести их к криометаморфическим

горизонтам: а) большое содержание растительных остатков разной степени разложения (преимущественно — средней степени) и ожелезненных, б) высокая биогенная переработанность и криогенная фрагментированность, в) относительная большая мощность гумусовых горизонтов (до 35 см), г) формирование микроплитчатых и округлых агрегатов, генезис которых может быть связан как с криогенной, так и биогенной агрегированностью.

Несмотря на влияние длительного промерзания, для гумусовых горизонтов характерно формирование гумуса мулль. Однако пожары преобразуют органическое вещество, формируя специфические пирогенные гумусово-криометаморфические горизонты, для которых характерен исключительно углефицированный гумус.

Специфика состава органического вещества почв отражает соотношение климатогенного и литогенного факторов. В гумусовых горизонтах почв, формирующихся в транзитно-аккумулятивных и аккумулятивных позициях ($\text{SiO}_2/\text{CaO} = 10\text{--}20\%$), выражено накопление фульватно-гуматного гумуса с высокой долей фракций ГК2 и ГК3, что указывает на биоклиматическую подавленность и доминирование роли литогенной основы. Напротив, на вершине увала — зоне выхода на поверхность КП с карбонатностью до 100% и наиболее жестких погодных условий — имеет место нивелирование вклада литогенной матрицы за счет действия биоклиматического фактора, о чем свидетельствует гуматно-фульватный тип органического вещества с полным отсутствием фракции ГК2.

Соотношение аллохтонного и автохтонного материала, залегающего на карбонатных породах (плитах) разного состава в условиях различного геоморфологического расположения разрезов, определяет разную степень проявления криогенеза, гидроморфизма, оглеения. В почвах понижений, расположенных в условиях более длительного обводнения, характерно формирование гумусово-железистых глинистых нодулей и детритов на фоне обезжелезненной почвенной массы и начальных признаков выщелачивания карбонатов, глеевого элювирирования тонкодисперсного вещества. Почвы, сформированные в автоморфных условиях, отличаются микросгустковым органическим веществом, формированием глинисто-Fe-гумусовых кутан на поверхности обломков карбонатных пород и псевдоморфоз по трещинам десквамации в краевых зонах этих пород. Наличие обломков пород с глинисто-гумусовыми кутанами внутри плит с признаками перекристаллизации позволяет говорить о наличии реликтовых признаков педогенеза.

Таким образом, для карбонатных гумусированных длительно промерзающих почв Полярного Урала характерны:

1) фрагментация ожеженных растительных остатков, криогенное оструктурирование верхних горизонтов, образование линзовидных и плитчатых микроструктур в пирогенных и капрогенных горизонтах;

2) формирование редокс-криогенных округлых микроструктур с большим количеством органо-железистых нодулей и выдавливание пылеватых силикатных частиц в межагрегатные поры;

3) криогенная десквамация карбонатных включений и образование по ним глинисто-Fe-гумусовых псевдоморфоз в почвах, сформированных в автоморфных условиях при близком залегании карбонатных пород.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы обращаются к светлой памяти Учителя — д.с.-х.н., проф. Ии Васильевны Забоевой, проводившей исследования почв и почвенного покрова Европейского северо-востока, включая горы Урала.

Авторы выражают искреннюю благодарность проф., д.г.н. Института наук о Земле, Санкт-Петербургского государственного университета Софье Николаевне Лесовой за ценные советы, критические замечания и консультации при подготовке рукописи, а также Юрию Васильевичу Жданову за содействие в проведении полевых исследований (г. Лабытнанги).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-27-00231 “Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация”.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. М.: Наука, 1983. 150 с.
2. Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е. Арктические и тундровые почвы на новой цифровой почвенной карте России масштаба 1 : 2.5 млн // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 46–75. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-46-75>
3. Ананко Т.В., Конюшков Д.Е. Почвенный покров Севера Средней Сибири на почвенной карте РСФСР (1988) и на листах государственной почвенной карты // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 81. С. 45–70. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-45-70>
4. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Добровольского Г.В. и др. Сыктывкар, 2010. 356 с.
5. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Куртовский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов-на-Дону, 2007. 198 с.
6. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 270 с.
7. Воробьева Л.А., Климанов А.В., Новикова А.Ф., Конюшкова М.В. Щелочность целинных солонцов Северной Калмыкии (район Аршань-Зельменского стационара РАН) // Почвоведение. 2010. № 2. С. 166–174.
8. Гагарина Э.И. Опыт изучения выветривания обломков карбонатных пород в почве // Почвоведение. 1968. № 9. С. 117–126.
9. Гагарина Э.И. Сравнительная характеристика почвообразования на карбонатных моренах Северо-Запада СССР и Средней Европы // Вестник Ленинградского университета. 1971. № 3. С. 25–38.
10. Гагарина Э.И., Хантулев А.А. О соотношении процессов выщелачивания и оподзоливания в дерново-карбонатных почвах ижорской возвышенности // Вестник Ленинградского ун-та. 1961. № 21. С. 113–120.
11. Гагарина Э.И., Чижикова Н.П. О лессиваже в почвах на карбонатных моренах // Почвоведение. 1984. № 10. С. 5–17.
12. Головлева Ю.А., Аветов Н.А., Брюан А., Кирюшин А.В., Толпешта И.И., Красильников П.В. Генезис таежных слабодифференцированных почв Западной Сибири // Лесоведение. 2017. № 2. С. 83–93.
13. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
14. Горячкин С.В., Водяницкий Ю.Н., Конюшков Д.Е., Лесовая С.Н., Мергелова Н.А., Титова А.А. Биоклиматогенные и геогенные проблемы географии почв Северной Евразии // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2008. № 62. С. 48–68.
15. Горячкин С.В., Макеев А.О. Направления таежного почвообразования: спектр мезоморфных почв Европейского Севера // Почвообразование и выветривание в гумидных и семигумидных ландшафтах. М.: Ин-т географии РАН, 1991. С. 8–72.
16. Горячкин С.В., Спиридонова И.А., Седов С.Н., Таргульян В.О. Северотаежные почвы на плотных гипсах: морфология, свойства, генезис // Почвоведение. 2003. № 7. С. 773–785.
17. Государственная почвенная карта России (масштаб 1 : 1000000). Объяснительная записка к

- листу Q-41 (Воркута) / Сост. Забоева И.В. и др. Сыктывкар, 2011. 56 с.
18. Градусов Б.П., Урусевская И.С. Особенности глинистого материала дерново-карбонатных и дерново-подзолистых почв западных и восточных районов Русской равнины // Вестник Моск. ун-та. Сер. 6, биология, почвоведение. 1974. № 6. С. 105–113.
 19. Грачева Р.Г. Проявления климатогенной зональности и литогенной матричности почвообразования в гумидных горных системах. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук М., 1993. 24 с.
 20. Жангуров Е.В., Лебедева М.П., Забоева И.В. Микростроение генетических горизонтов автоморфных таежных почв Тимана // Почвоведение. 2011. № 3. С. 288–299.
 21. Жангуров Е.В., Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В., Дымов А.А. Морфолого-генетические особенности почв горных лиственничных лесов и редколесий Приполярного Урала // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1415–1429. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120141>
 22. Заварзина А.Г., Данченко Н.Н., Демин В.В., Артемьева З.С., Козут Б.М. Гуминовые вещества — гипотезы и реальность (обзор) // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1449–1480. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169>
 23. Классификация и диагностика почв России. М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 342 с.
 24. Колесникова А.А., Долгин М.М., Акулова Л.И. Дождевые черви (*Oligochaeta, lumbricidae*) Республики Коми // Тр. КарНЦ РАН. Сер. Биogeография. 2022. № 1. С. 1–18. <https://doi.org/10.17076/bg1550>
 25. Конюшков Д.Е. О роли карбонатности пород в процессах педогенеза // Тез. докл. II Съезда Докучаевского общества почвоведов. Кн. 2. СПб., 1996. С. 70–71.
 26. Конюшков Д.Е. Почвообразование на карбонатных породах в континентальной субарктике (на примере севера Средней Сибири). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1991. 28 с.
 27. Конюшков Д.Е., Герасимова М.И., Ананко Т.В. Корреляция дерново-карбонатных почв на почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн и в системе классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 3. С. 276–289. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19030079>
 28. Копосов Г.Ф. О генезисе дерново-карбонатных почв // Почвоведение. 1981. № 4. С. 5–15. <https://doi.org/10.1134/S1064229319030074>
 29. Мартынова Н.А. Реализация литогенной матричности почвообразования в фосфоритонесных ландшафтах горного Прихубсугулья на юге Байкальской рифтовой зоны // Известия Иркутского гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2017. Т. 22. С. 79–95.
 30. Мажитова Г.Г. Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты Европейского Северо-Востока России // Почвоведение. 2008. № 1. С. 54–67.
 31. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 333 с.
 32. Пастухов А.В. Микроморфологическое строение мерзлотных и длительно сезонно-промерзающих суглинистых почв европейского северо-востока // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 4. С. 30–39.
 33. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
 34. Рейнтам Л.Ю. Образование и развитие рендзин // Научн. тр. Эстонской с.-х. академии. 1975. № 100. С. 3–29.
 35. Русанова Г.В. Полигенез и эволюция почв Субарктического сектора (на примере Большеземельской тундры). СПб.: Наука, 2009. 165 с.
 36. Русанова Г.В., Шахтарова О.В., Пастухов А.В. Почвы лесных и тундровых ландшафтов Северной лесотундры (бассейны рек Сейда и Хоседа-ю) // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. 2014. № 3. С. 50–61.
 37. Светлова Е.И., Градусов Б.П. Минералогический и химический составы почв южно-таежной подзоны Приуралья // Почвоведение. 1985. № 2. С. 104–113.
 38. Справочник по климату СССР. Вып. 17. Ч. 2. Тюменская и Омская область. Л., 1965. 276 с.
 39. Сурова Т.Г., Троицкий Л.С., Пуннинг Я.М. Палеогеография и абсолютная хронология голоцена Полярного Урала // Известия АН ЭССР. Химия–геология. 1975. № 2. С. 152–159.
 40. 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.
 41. Хантулев А.А., Гагарина Э.И., Матинян Н.Н., Счастлива Л.С. Вопросы генезиса почв Северо-Запада РСФСР (Ленинградская, Псковская, Новгородская области) // Вестник Ленинград. ун-та. 1972. № 9. С. 121–127.
 42. Ходаков В.Г. Снежный покров и современное оледенение Полярного Урала // Исследования ледников и ледниковых районов. 1962. Вып. 2. С. 41–49.
 43. Чевычелов А.П., Коноровский А.К., Зигер Х. О генетической сущности остаточно-карбонатных почв Якутии // Почвоведение. 1990. № 3. С. 5–16.
 44. Чирич М. Особенности образования почв на известняках и основы их классификации // Почвоведение. 1967. № 1. С. 70–78.
 45. Шадрин Л.Ф., Островский Л.Я. О картировании ордовикских толщ на Полярном Урале // Тр. ЗапСибНИГНИ. Вып. 128. Геология и металлогения ордовикских образований осевой зоны севера Полярного Урала. Тюмень, 1978. С. 21–27.

46. Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В., Хабиллина Ф.М., Кубик О.С. Водорастворимые низкомолекулярные органические кислоты в автоморфных суглинистых почвах тундры и тайги // Почвоведение. 2013. № 6. С. 691–697. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060099>
47. Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С., Пунегов В.В., Кызьюрова Е.В., Боброва Ю.И., Зуева О.М. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1325–1335. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17110107>
48. Шамрикова Е.В., Жангуров Е.В., Кубик О.С., Королев М.А. Состав водных вытяжек из растительного материала, почв на карбонатных породах и поверхностных вод в северной части Полярного Урала // Почвоведение. 2021. № 8. С. 911–926. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21080153>
49. Шамрикова Е.В., Жангуров Е.В., Кулюгина Е.Е., Королев М.А., Кубик О.С., Туманова Е.А. Почвы и почвенный покров горно-тундровых ландшафтов Полярного Урала на карбонатных породах: разнообразие, классификация, распределение углерода и азота // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1053–1070. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20090154>
50. Korkina E.A., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., Golovleva Iu A. Micromorphological features of cryogenesis in the structure of taiga soils on the West Siberian Plain // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 862. P. 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012069>
51. Makarova O.L., Kolesnikova A.A. Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in the Tundra of Eastern Europe // Biol. Bull. 2019. V. 46. P. 438–449. <https://doi.org/10.1134/S1062359019050078>
52. Munsell A. Munsell Soil Color Chart. Colmorgan Instruments. 1988. Baltimor. MD.
53. Shamrikova E.V., Shevchenko O.G., Zhangurov E.V., Korolev M.A. Antioxidant properties of soils and associated vegetation in the Polar Urals // Catena. 2022. V. 208. P. 105722. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105722>
54. Stoops G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections // Soil Science Society of America. Madison, 2003. 184 p.
55. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 106. Rome: FAO, 2014.

Soils on Carbonate Rocks of the Polar Urals: Genesis, Properties and Classification

E. V. Zhangurov^{1, *}, M. P. Lebedeva², E. V. Shamrikova¹, M. A. Korolev¹, and A. N. Panyukov¹

¹*Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 167982 Russia*

²*Dokuchaev Soil Institute, Moscow, 119017 Russia*

**e-mail: zhan.e@mail.ru*

Based on the use of macro- and micromorphological diagnostics, physicochemical analysis, the genesis of poorly studied soils of the mountain-tundra landscapes of the Polar Urals, formed on eluvial-deluvial deposits of carbonate rocks, was clarified. Significant heterogeneity of the soil-forming fine earth was established due to the different ratio of allochthonous and autochthonous material occurring on carbonate rocks. The organic matter of the soils is represented by a combination of several microforms of humus, reflecting both modern (cryogenic, biogenic) and inherited features of previous stages of soil formation. Relict pyrogenesis is diagnosed by the abundance of charred plant tissues in horizons with highly ferruginous and charred organic matter and by the inclusion of carbonaceous crumbs inside the fractured fragments of carbonate rocks. A warmer (Holocene climatic optimum) period of landscape development is diagnosed by signs of dissolution and recrystallization of calcite in rock fragments. Specific relict signs in modern soils are revealed by the inclusion of paleosol fragments in the soil-forming material, represented by rock fragments with clay-humus-ferruginous caps and films incorporated within the carbonate matrix.

Keywords: cryometamorphic horizon, micromorphological analysis, mountain cryolithozone, pyrogenesis, Calcaric Stagnosol (Humic, Skeletic), Calcaric Skeletic Regosol