

ПОЧВЫ МЕЛОВЫХ ПОЛИГОНОВ ПОДУРАЛЬСКОГО ПЛАТО: МОРФОЛОГИЯ, СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ

© 2024 г. Д. Г. Поляков^{а, *}, И. В. Ковда^б, А. Г. Рябуха^а

^аИнститут степи УрО РАН, ул. Пионерская, 11, Оренбург, 460000 Россия

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

*e-mail: polakovdg@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.06.2023 г.

После доработки 14.08.2023 г.

Принята к публикации 17.08.2023 г.

Для почв меловых полигонов Общего Сырта и Подуральского плато характерно сочетание разновозрастных признаков, сформированных в разных природных условиях. Современные признаки являются результатом биогенно-аккумулятивных процессов, структурообразования, засоления и коркообразования. Реликтовые признаки обусловлены палеокриогенезом, к ним относятся: палеомерзлотный комплекс блок–псевдоморфоза, криотурбации, палеомерзлотный клин, скопления и сортировка крупнозема и др. Хорошая выраженность реликтовых криогенных признаков и современные криогенные процессы определяют уникальность степных почв, горизонты и формула профиля которых отсутствуют в классификации и диагностике почв России (КиДПР). Для отражения особенностей современного облика почв и их генезиса в терминологии КиДПР предложен новый диагностический горизонт ВСМ криоструктурно-метаморфический, а почвы комплекса диагностированы как криоструктурно-метаморфические (Calcaric Regosol) на микроповышениях, на микросклонах – протогумусовые и светлогумусовые криоструктурно-метаморфические (Calcaric Regosol (Ochric)), светлогумусовые и светлогумусовые криометаморфические (Rendzic Calcaric Phaeozem) в микропонижении. Реликтовые криогенные признаки предлагается учитывать в классификации этих почв на уровне рода с приставкой палео.

Ключевые слова: (палео)криогенез, микрорельеф, реликтовые признаки, мозаичный профиль, структурный метаморфизм, криотурбации, засоление

DOI: 10.31857/S0032180X24010148, **EDN:** ZKLOWO

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Восточно-Европейской равнины почвы на карбонатных породах занимают около 2 млн га. Они встречаются на Среднерусской, Калачской, Приволжской и Подольской возвышенностях, а также на территории Донецкого кряжа, Общего Сырта, Подуральского плато, Степного Крыма и Северного Прикаспия [20].

В зависимости от биоклиматических условий на карбонатных породах формируются арктические карбонатные, перегнойно-карбонатные, дерново-карбонатные почвы, остаточно-карбонатные черноземы или темно-каштановые почвы [15]. Снижение мощности рыхлого чехла до 30 см и менее при подстилании плотными карбонатными породами приводит к формированию рендзин. При выходе белого писчего мела на поверхность, отмечается развитие элювиального слоя, представляющего смесь обломков мела, окаменевших

остатков морских организмов и тонкодисперсного мела, называемого “меловой мукой” [20].

В степных и сухостепных ландшафтах юга России на известняках и мергелях известны остаточно-карбонатные, темно-каштановые, темно-каштановые неполноразвитые почвы и рендины [1, 25, 35]. В Казахстане на меловых породах встречаются особые карбонатные солонцы, образование которых связывалось с периодическим сезонным поступлением солевых растворов из близко залегающих грунтовых вод, содержащих натриевые соли [16].

Новая классификация и диагностика почв России (КиДПР) [10, 21, 46] ставит перед почвоведом задачу обновления номенклатуры почв и почвенной карты Российской Федерации. Проведенный анализ [15] показал, что в зависимости от географических особенностей территории, состава и свойств пород, почвы на карбонатных породах попадают в различные отделы, типы и подтипы

почв. При переводе этих почв в КидПР возникают классификационные проблемы, так как ареалы дерново-карбонатных почв образуют несколько кластеров, в каждом из которых проявляются свои географо-генетические закономерности. Авторы отмечают разнообразие проявления процессов гумусообразования в верхних горизонтах, структурный метаморфизм, иллювиирование, элювиирование и криометаморфизм в срединных горизонтах, проявление которых зависит от свойств субстрата, климата и условий дренирования [15]. Важным выводом является предложение “не ограничивать выделение подтипов их перечнями в рамках типов” в связи с необходимостью использовать несуществующие в перечне признаки. В качестве примера приводится признак “криометаморфизованный”, не предусмотренный для отдела органо-аккумулятивных почв, предлагается ввести тип светлогумусовых карболитоземов и др.

Особенностью Подуральского региона и всей Оренбургской области является распространение ареалов специфических ландшафтных комплексов, состоящих из упорядоченных бугров пучения [42]. Бугры пучения встречаются на глинистых и меловых породах, в случае последних было предложено название “меловые полигоны” [34]. Они представляют сочетание микроповышений, разделенных ложбинообразными микропонижениями. Вершины бугров представлены незадернованными меловыми пятнами, разбитыми на сегменты узкими полосами с растительностью. Микропонижения образуют полигональную сеть и характеризуются густым растительным покровом. Высота микроповышений в основном колеблется от 10 до 30 см, расстояние между центрами соседних микроповышений около 5–6 м.

Почвы меловых полигонов впервые были исследованы в работе [12]. Описав необычное морфологическое строение почв бугров (смятые в складки слои почвы или шток известковых пород, деформированные почвенные горизонты), авторы предложили включить их в Красную книгу почв Оренбургской области в качестве эталона уникальных почв. Уникальным на их взгляд был “анизотропный педотурбационный характер строения почвенного профиля” и нетипичное строение почв, что не позволило авторам диагностировать генетические горизонты и почвы согласно принятой на тот период диагностике и классификации почв [9]. Горизонты были индексированы римскими цифрами, а почвы получили авторское название “гидролакколиты анизотропные глинистые на меловых породах” [12].

Генезис почв бугров пучения, в частности, меловых полигонов, остается дискуссионным. Образование меловых полигонов связывалось с морозобойными явлениями, высыханием грунта и весенним выдавливанием жидкого мела на поверхность [34], с криогенными процессами, химическим растворением и механическим разрушением

мело-мергельных пород подземными водами [20], педотурбациями (перемещением и вспучиванием почвенных слоев) неясной природы [11].

Наши исследования последних лет выявили достаточно широкое (17 участков площадью от 5 до 30 га, обычно состоящих из нескольких разобнесенных ареалов) распространение бугров пучения на меловых породах. В Оренбургской области они встречаются в пределах Общего Сырта и Подуральского плато [24]. Исследования, проведенные в траншеях, вскрывших почвы не только бугров, но весь комплекс меловых полигонов, включая понижения между буграми, обнаружили под понижениями двухъярусные клиновидные образования, называемые криолитологами грунтовыми жилами или псевдоморфозами [22, 23]. Это позволило выдвинуть гипотезу палеокриогенного происхождения меловых полигонов [24]. Морфологические исследования выявили сочетание разнообразных криогенных макро- и микропризнаков [13]. Это позволило отнести почвы меловых полигонов к предложенной в работе [19] формации криогенных холодных длительно сезоннопромерзающих почв (имеющих морфологические криогенные признаки, выраженные, как правило, слабее, чем в мерзлотных почвах, развивающихся за пределами области распространения многолетней мерзлоты), и еще раз подтвердило уникальность почв меловых полигонов и необходимость их включения в Красную книгу [11, 17].

Формирование криогенных макропризнаков таких, как криотурбации, клиновидные двухъярусные жилы и др., могло происходить только в условиях мерзлоты, поэтому в настоящее время они являются реликтовыми [40]. Современные криогенные признаки, такие как полигональный микрорельеф, плитчатая структура почвы, морозная сортировка крупнозема и др. предполагают наличие механизмов поддержания или воспроизводства, что совершенно нетипично для современных условий степи. Появление новой классификации почв России [10, 21, 46] и ее открытость позволяет провести диагностику и классификацию почв меловых полигонов, которым не было места в классификации почв СССР [9], определить место и роль криогенных процессов и признаков при их диагностике.

Таким образом, в задачи данной работы входит выявление и систематизация характерных признаков уникальных почв меловых полигонов, включая криогенные, для уточнения генезиса, диагностики и классификации почв меловых полигонов в современной системе КидПР.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на Подуральском плато на двух ключевых участках с различной формой микрорельефа микроповышений (рис. 1).

(a)



(b)



(c)

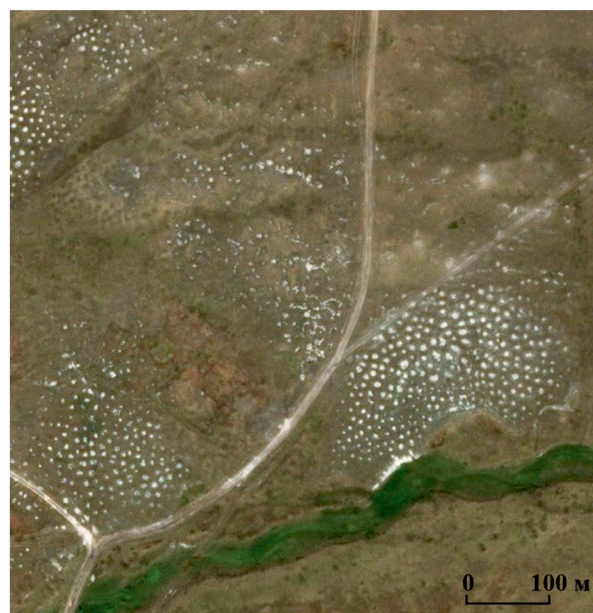


Рис. 1. Расположение (a) и общий вид ключевых участков меловых полигонов Новопавловского (b) и Итчашканского (c) участков.

Участок Новопавловка представлен чередованием слабовыпуклых микроповышений с выпуклым меловым пятном, оконтуренных ложбинообразными микропонижениями (рис. 2a). Он располагается на юго-восточной окраине с. Новопавловка ($51^{\circ}08'10''$ N, $55^{\circ}37'16''$ E), на слабопологом склоне юго-западной экспозиции, примыкающем к р.

Акмола. Абсолютная высота 185 м над ур. м. Меловые полигоны участка Итчашкан ($51^{\circ}8'1.12''$ N, $55^{\circ}43'43.70''$ E) характеризуются микроповышениями с плоскими меловыми пятнами (рис. 2b). Данный участок расположен на 8 км восточнее Новопавловского участка на правом берегу р. Итчашкан в пределах выровненной поверхности

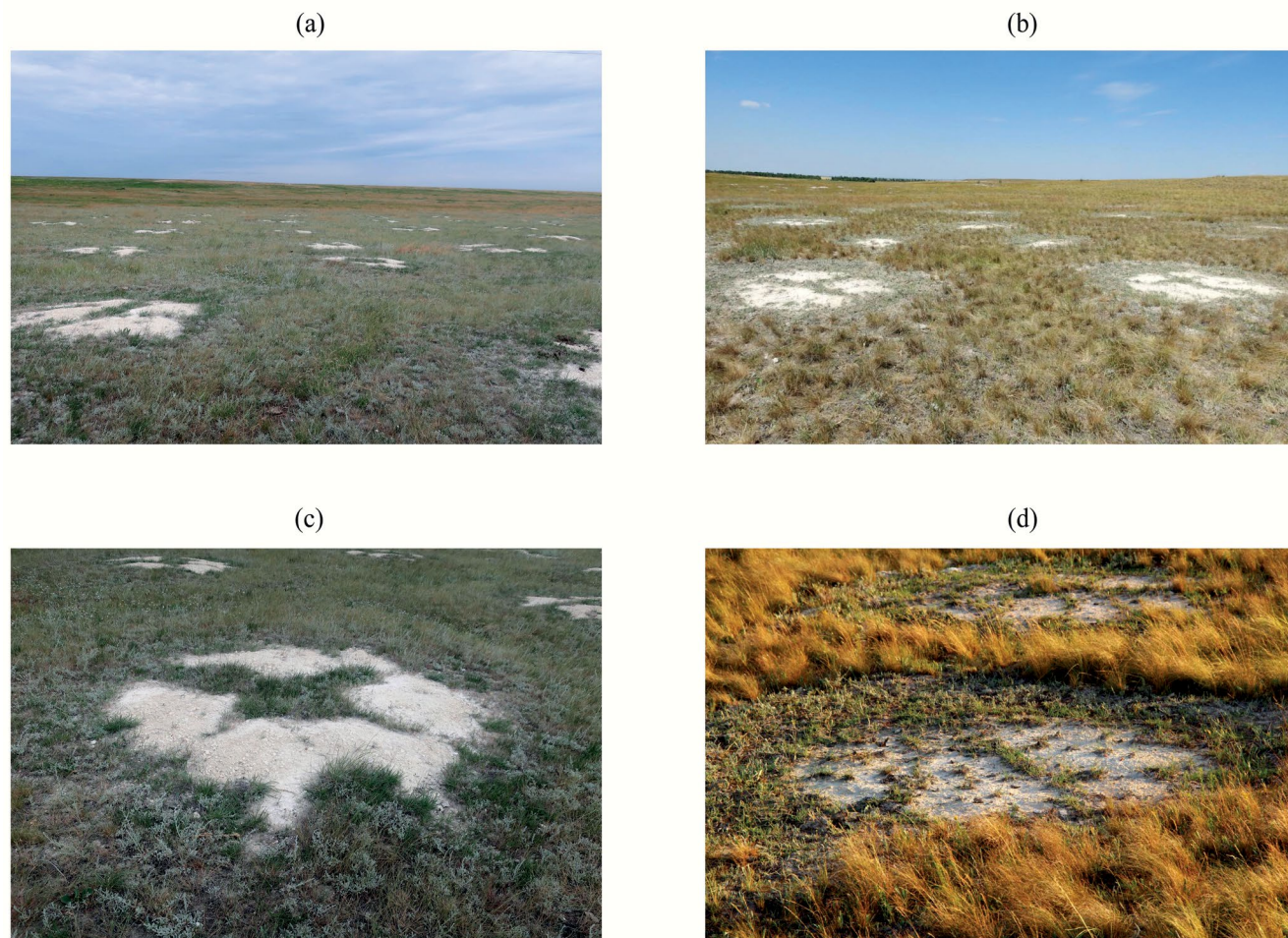


Рис. 2. Внешний вид полигонов Новопавловского (а, с) и Итчашканского (b, d) участков на местности.

склона южной экспозиции, на высоте 2.5–3.0 м над урезом реки и абсолютной высоте 217 м над ур. м. На других участках (50°37'2" N, 54°41'5" E; 50°40'51" N, 54°36'0" E; 52°5'18" N, 53°8'59" E), меловые полигоны изучали в разрезах, показавших принципиальное сходство в строении с описываемыми объектами.

Почвообразующими породами выступают рыхлые отложения с большим содержанием мела, подстилающими — толща мела маастрихского возраста или продукты его переотложения. Климат континентальный ($T_{\text{ср год}} \sim 4^{\circ}\text{C}$) с большой годовой амплитудой температур и значительным преобладанием испаряемости (800–900 мм) над осадками (260–390 мм). Зима холодная ($T_{\text{ср янв}} -15^{\circ}\text{C}$), малоснежная, глубина промерзания до 120–140 см. Лето жаркое ($T_{\text{ср июля}} +21^{\circ}\text{C}$). Продолжительность безморозного периода достигает 140 дней. Зональный почвенный покров представлен черноземами, характерна комплексность почвенного и растительного покровов. В ботанико-географическом

отношении территория относится к зоне бедноразнотравных типчаково-ковыльных степей. Грунтовые воды не обнаружены. Участки с меловыми полигонами приурочены к педиментам (выровненным наклонным, до 5° , поверхностям), дренируемым мелкими водотоками.

Почвы изучены в траншеях длиной около 4–5 м и глубиной 1.2–1.3 м, вскрывающих толщу между центрами двух соседних микроповышений. Дополнительно закладывали прикопы на элементах микрорельефа соседних полигонов. Строение почв схематично зарисовано и сфотографировано, из наиболее представительных горизонтов (морфонов) отобраны образцы для лабораторных исследований (рис. 3). Цвет почв определен с использованием таблиц Манселла. Диагностика почвенных горизонтов и классификация почв выполнена в соответствии с Полевым определителем почв России [21] с учетом дополнений [30, 31, 46].

Содержание общего углерода определяли на анализаторе АН-7529 методом сухого сжигания

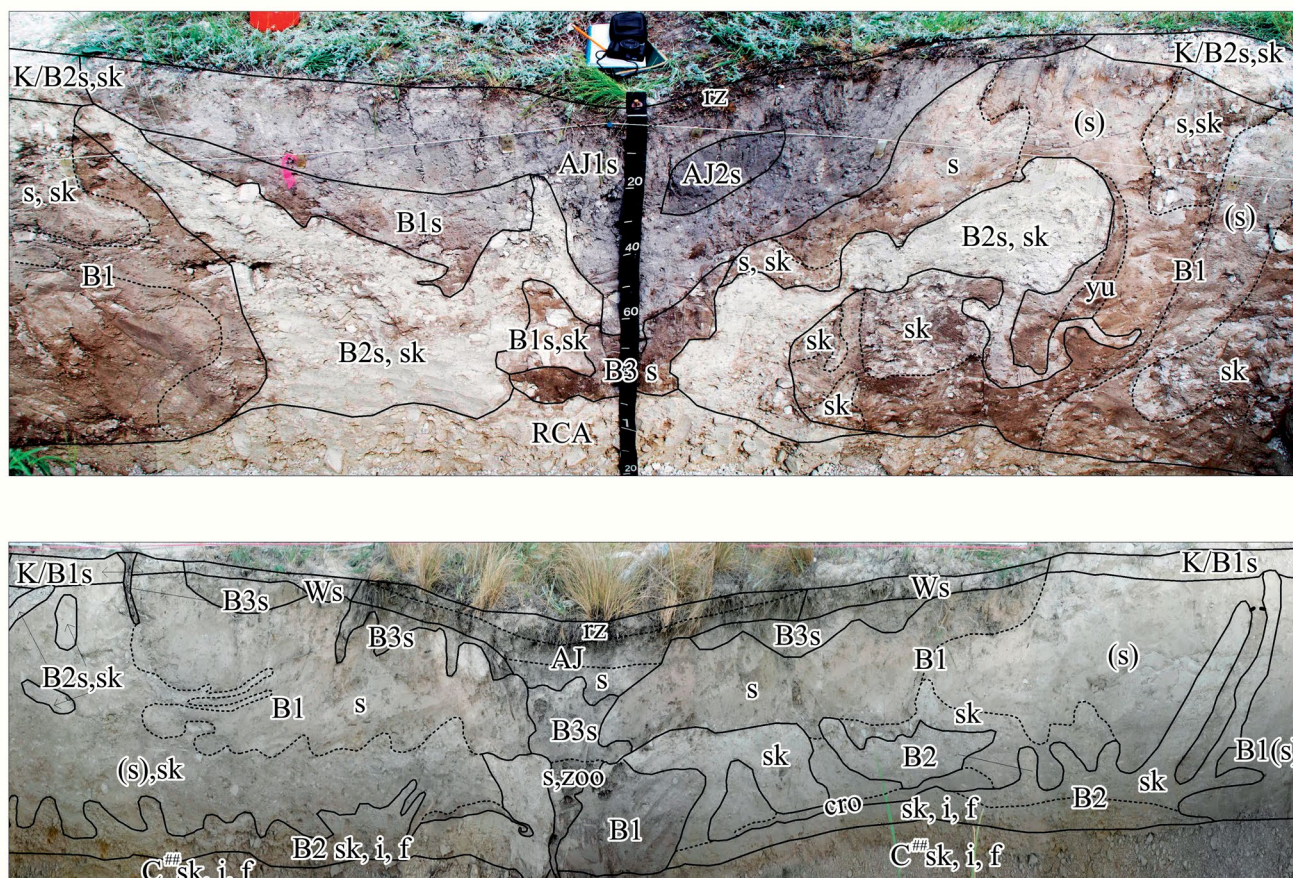


Рис. 3. Схема строения почв Новопавловского (верхний профиль) и Итчашканского (нижний профиль) участков. Границы горизонтов показаны сплошной линией, морфонов – пунктирной.

в токе кислорода [14, 44], неорганического углерода – автоматическим титрованием при разложении соляной кислотой на этом же приборе. Содержание органического углерода рассчитывали по разности между содержанием общего и неорганического углерода. Эквивалентное содержание CaCO_3 рассчитывали, исходя из доли неорганического углерода в относительной молекулярной массе карбоната кальция. Обменный калий и подвижный фосфор определяли по методу Мачигина, pH водной суспензии – потенциометрически, ионы легкорастворимых солей – в водной вытяжке при соотношении почва : вода 1 : 5 [28], гранулометрический состав пипет-методом с предварительной пирофосфатной диспергацией [36]. Минералогический состав илстой фракции исследовали в ЦКП Почвенного института им. В. В. Докучаева рентгendifрактометрическим методом с помощью универсального рентгendifрактометра HZG-4a (Carl Zeiss, Jena). Режим съемки: CuK_α -излучение, напряжение на трубке 30 кВ, сила тока 20 мА, угловая скорость движения счетчика 20 град/мин. Расчеты производили с применением программного обеспечения дифрактометра-авто,

версия 2014, разработчик ООО “Ирис”. Съемку ориентированных препаратов из фракций, насыщенных магнием, выполняли в воздушно-сухом состоянии, сольватированном этиленгликолем в течение 2 сут и после прокаливании при 550°C в течение 2 ч. Соотношения основных минеральных фаз в илстой фракции рассчитано по методу Бискайя [37, 38].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое строение почв. Почвы Новопавловского и Итчашканского участков имеют принципиальное сходство в отсутствии “нормальных” горизонтов и фрагментарном (мозаичном) сочетании материала трех толщ серого, палевого и белого цвета с четкими границами и резкими переходами между ними (рис. 3).

Главной особенностью обоих ключевых участков является двухчленное строение (палевый материал, подстилаемый меловой породой), нарушаемое клиновидными структурами в центральной части понижений и восходящими интрузиями

мелового материала с выходом на поверхность и образованием меловых пятен.

Клиновидные структуры (грунтовые жилы) заполнены наиболее темным гумусированным материалом, переходящим книзу в темный палевый. Они имеют двухъярусное строение, с расширенной верхней частью и сужающейся нижней, переходящей в тонкую извилистую волосовидную, иногда ветвящуюся трещину в меловой породе. Подробное описание морфологии клиновидных структур и их размеров дано ранее [24, 43]. Материал неоднородный по цвету, состоит из осветленных и более темных морфонов субгоризонтальной и субвертикальной ориентации. На передних стенках, вскрытые грунтовые жилы имеют максимальную ширину и мощность расширенной части. На задних стенках траншей — они более узкие и укороченные (рис. 4а, 4б). Горизонтальные зачистки траншей на различных глубинах показали, что гумусированные клинья на противоположных стенках траншей соединены между собой и образуют единую полигональную систему.

Палевая толща окружает и подстилает грунтовую жилу. Она пронизана меловыми интрузиями и имеет фрагментарное строение, состоящее из морфонов разнообразной формы, отличающихся по оттенку (светло- и темно-палевые), оструктуренности (с плитчатостью и без) и насыщенности меловыми включениями (зоны скопления меловых включений и зоны практически полного отсутствия включений). Встречаются морфоны вертикально ориентированные, изогнутые или повторяющие очертания меловых интрузий (рис. 4д). На микроповышениях палевый материал сильно перемешан с меловым и содержит максимальное количество меловых включений. Палевые участки, практически без включений, располагаются между меловой интрузией и перемешанной зоной.

Почвенный профиль подстилается горизонтально залегающей плотной белой меловой породой. Характерной особенностью обоих ключевых участков является наличие белых меловых жил-интрузий шириной от 5 до 20 см. Они поднимаются от горизонтально залегающей меловой породы из центра микропонижения к меловым пятнам на вершинах микроповышений под углом от 45°–60° до 80° (рис. 3, 4е). На участке Новопавловка, с выпуклыми меловыми полигонами, интрузии выражены более четко, они широкие, смятые в складки. На участке Итчашкан с плоскими меловыми полигонами меловые интрузии диапировидные, менее четкие на общем светло-палевом фоне. Материал интрузий состоит из диспергированного мела, имеет плитчатую структуру и насыщен твердыми включениями мела разного размера и степени окатанности. Меловые пятна на поверхности микроповышений также состоят из меловой муки с включениями окатанного и раздробленного мела

и белемнитов. На участке Новопавловка пятна покрыты соевым налетом, а на Итчашканском участке соевой налет отсутствовал.

Генезис меловых полигонов. На макроуровне, на поверхности и в толще почв обоих ключевых участков, прослеживаются упорядоченные полигональные формы микрорельефа и приуроченные к ложбинообразным микропонижениям клиновидные двухъярусные образования.

Отсутствие явных горизонтов, фрагментарное и мозаичное строение почв обычно интерпретируется как результат физических деформаций, которые могут быть вызваны одним из процессов: усадкой—набуханием в случае глинистого смектитового состава почв, зоотурбациями, газогидротермальным турбированием почв, криотурбациями и криогенным пучением [18, 32, 33, 39, 41].

Однако проведенный минералогический анализ показал полиминеральный состав илистой фракции материала заполнения грунтовой жилы: слюды и гидрослюды, имеющие три- и диоктаэдрический характер заполнения октаэдров (48–55%), лабильные силикаты, представленные неупорядоченными высокозарядными смешанослойными иллит-смектитовыми структурами (15–28%), железисто-магнезиальный хлорит (9–16%) и каолинит (10–19%) несовершенного и совершенного типа. Также идентифицированы тонкодисперсные кварц, калиевые полевые шпаты и плагиоклазы. Смешанослойная фаза представлена неупорядоченным образованием с сегрегацией пакетов смектита и значительного (>>50%) количества иллита с единичными хлоритовыми пакетами. Основные диагностические рефлексы смектита, слюды, хлорита и каолинита имеют слабовыраженные пики, при этом на дифрактограммах присутствует высокой интенсивности с широким основанием рефлекс 0.44 нм, свидетельствующий о значительной агрегации ориентированных препаратов, вероятно, за счет карбонатов.

На основании отсутствия достаточного количества разбухающих минералов, сликенсайдов и клиновидных агрегатов, термальных вод, признаков зоотурбаций, и при этом наличия таких типичных признаков криогенеза, как морозная сортировка и скопления крупнозема, повышенная окатанность меловых включений в интрузиях, а также их дробление, вихревой рисунок морфонов, позволили связать мозаичность профиля с криотурбациями.

Детальное изучение морфологии и пространственного расположения меловых интрузий и диапиров, выходящих или близко подходящих к дневной поверхности, с послойным препарированием стенок, подтвердило, что именно они являлись каналами поступления мелового материала на поверхность, за счет чего образовались меловые пятна.

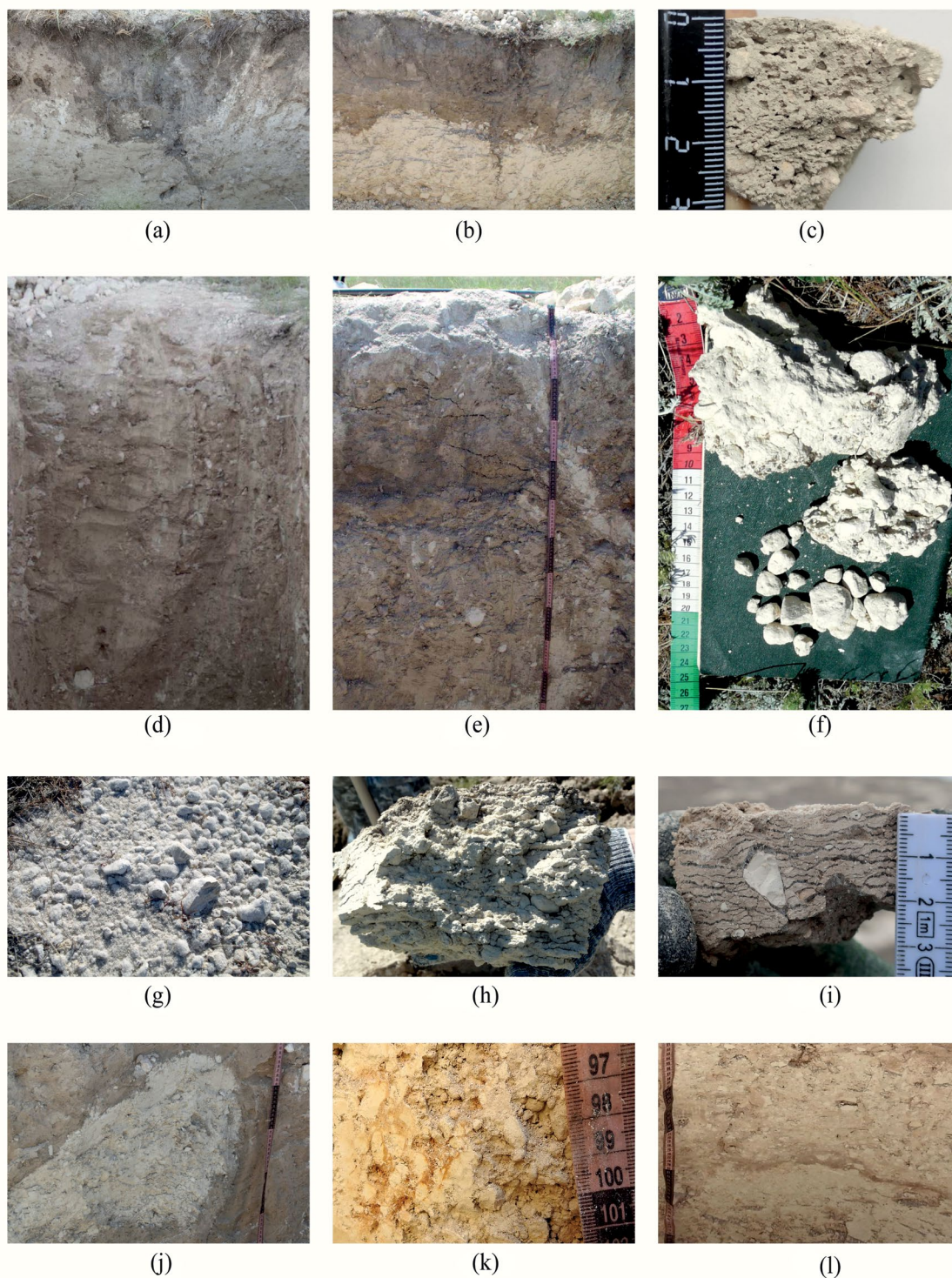


Рис. 4. Некоторые морфологические признаки почв меловых полигонов: двухъярусные клиновидные тела на задней стенке траншеи ОР2018–1 (а) и ОР2019–1 (b); меловая корка (с); вертикально ориентированный морфон (d); интрузивные внедрения мелового материала на боковой стенке (е); сочетание меловой муки и твердых меловых включений различного размера и степени окатанности в интрузиях (f); солевой налет на поверхности мелового пятна (g); постшлировая структура с окатанными меловыми включениями горизонта В2 (h); криотекстура горизонта В1 с вертикально ориентированным крупноземом с ледяной каймой (i); темные изогнутые морфоны по трещинам на границе ВМ1 и ВМ2 (j); пропиточные пятна ожелезненной меловой муки горизонта ВМ2 (k); темная измятая полоса в нижней части профиля (l).

Известно, что мел является специфическим материалом, слабосцементированной дисперсной структурированной карбонатной породой, отличающейся значительной изменчивостью физико-механических свойств при изменении влажности и нарушении структуры. В сухом состоянии он прочный, при промерзании легко дробится. Во влажном состоянии приобретает вязко-пластичные свойства, может переходить в разжиженное состояние, меняет свои деформационные свойства [29].

В настоящее время подобные процессы пучения и пятнообразования под воздействием криостатического давления активно протекают в современной криолитозоне. Пучение почвенной массы, с формированием нанополлигонального рельефа и почв-пятен, происходит в криоземах с близким к поверхности (до 70 см) залеганием многолетнемерзлых пород [8].

Выше отмечалось, что меловой материал в интрузиях представляет собой сочетание меловой муки и твердых меловых включений различного размера и степени окатанности (рис. 4f). По сезонным наблюдениям в летний период интрузии характеризуются повышенной влажностью, а в зимний в них образуются наиболее толстые ледяные шлиры.

Двухъярусные клиновидные структуры известны как результат перигляциальных процессов в суровых резкоконтинентальных условиях многолетней мерзлоты [22, 23] и считаются надежным индикатором многолетнемерзлых пород с температурами грунтов не выше -3°C [27].

В работе [3] установлено, что поздневалдайская фаза криогенеза (25–12 тыс. л. н.) характеризовалась наиболее суровым и континентальным сухим климатом. По наличию реликтового криогенного микрорельефа и псевдоморфоз по жильным льдам, зона низкотемпературной сплошной мерзлоты была реконструирована до 48° – 49° N, вплоть до низовий Волги и Прикаспийской низменности [2, 45] и Казахстана [6, 7]. Это позволяет экстраполировать реконструированные границы палеомерзлоты на территорию левобережья Волги, Подуралья и Зауралья, что было подтверждено натурными исследованиями [26, 43].

Полагаем, что на этапе присутствия многолетней мерзлоты и формирования макроклиньев, происходило криостатическое выдавливание мелового материала, находящегося во влажно-пластичном состоянии. Отражение этих процессов прослеживаются в виде завихрений на стенках траншей, интрузий и диапиров в почвенной толще вплоть до выхода на поверхность с образованием бугристого микрорельефа и пятен мела.

Судя по сходной морфологии, почвы микроповышений и микросклонов можно считать реликтами криоземов, а меловые пятна на поверхности микроповышений — реликтами пятен излияния.

Диагностические признаки горизонтов и морфонов. Меловые пятна на микроповышениях представлены пористой коркой (К) мощностью 2–4 см, состоящей из смеси диспергированного мелового материала и плотного крупнозема (включений меловой острореберной щебенки и окатышей, единичных обломков белемнитов в диаметре до 2 см — признак sk), который находится как внутри корки, так и на ее поверхности (рис. 4с). В летний сезон на поверхности часто отмечается солевой налет, напоминающий иней (рис. 4g), свидетельствующий о подтягивании и испарении легкорастворимых солей (признак s). На срезе корка имеет слабовыраженную слоеватость, пористая: поры в основном округлой формы, иногда щелевидные или неправильной формы с выраженными углами (признак akl).

Под коркой расположена рассыпчатая белая масса, состоящая из смеси мелового крупнозема (признак sk) и тонкодисперсного мела с ясно выраженной горизонтальной делимостью (рис. 4h). Наблюдения в зимний период обнаружили в меловой массе под пятнами ледяные шлиры (рис. 4i). Таким образом, встречающиеся здесь плитовидные и линзовидные агрегаты толщиной около 1–2 мм можно считать постшлировой структурой. По ощущениям материал влажнее окружающей серой и палеовой массы.

В серой толще вне меловых пятен и интрузий выделены несколько морфонов соответствующих горизонтам W и AJ.

W (протогумусовый) формируется в верхней части микросклона по периферии меловых пятен. Светло-серый 10YR7/3, при высыхании светлеет до 10YR8/1, рыхлый, структура мелкозернистая (~1 мм) со слоеватостью (толщиной ~1–2 мм), редко пористый.

AJ (светлогумусовый) наиболее темноцветный в траншее, встречается в микрозападинах и на микросклонах, заполняя бывшие ледяные клинья, серого цвета, более темный в верхней центральной части под ложбинами (10YR4/2 влаж., 10YR5/1–6/1 сух.), рыхлый, постепенно переходящий в уплотненный, структура комковатая, распадается на острореберные неправильной формы и зернистые отдельности (d 1–2 мм) с примесью мелкокомковатых, содержит много корней и незначительное количество меловых включений, преимущественно неокатанной формы, покрытых темно-серым налетом. Признаки биологической активности не выражены. Локально развита дернина (признак rz).

На Новопавловском участке выделяется темноокрашенный морфон в виде небольшого наклонно-вытянутого овала, который может интерпретироваться как второй гумусовый горизонт (AJ2) или фрагмент погребенного гумусового горизонта.

Срединная часть профилей почв микросклона и микроповышения, которую в целом можно характеризовать как горизонт В (срединный), состоит из сочетания мозаичного палевого материала, прерываемого меловыми интрузиями.

Палевый материал горизонта В плотноватый со слабым уплотнением книзу, плитчатой структурой с элементами линзовидности и постепенным переходом с глубиной от тонокоплитчатой (пластинчатой) до среднеплитчатой под микроповышением. Содержит небольшое количество крупнозема, имеющего в основном уплощенную или вытянутую форму с преобладанием неокатанных или слабоокатанных форм. Горизонт неоднородный, состоит из морфонов, отличающихся плотностью, оттенками палевого цвета от светло-палевого (10YR7/3 влажн., 10YR9/2 сух.) до темно-палевого, формой и криотурбированностью (признак @), степенью насыщенности окатанным и неокатанным меловым крупноземом (признак sk), выраженностью плитчатой структуры, наличием линзовидности и угловато-крупитчатой структуры. В нижней части горизонта Итчашканского участка появляются железистые новообразования — кутаны вокруг крупнозема и пятна, пропитывающие меловую муку между ним (признаки i, f, рис. 4k). Здесь встречаются тонкие измятые прослойки темного цвета (рис. 4l).

На Новопавловском участке в зоне микросклона встречаются вертикальные и изогнутые гумусированные морфоны горизонта В более темного серовато-палевого цвета (рис. 4j) (признак @) без включений крупнозема и без признаков постшлировой текстуры. Морфоны оконтурены крупноземом. В зоне перехода от микросклона к микроповышению между меловой турбированной зоной и зоной, насыщенной крупноземом, расположена палевая зона (морфон). Она характеризуется повышенной плотностью и сухостью, практически без включений и признаков плитчатости (постшлировой текстуры), с признаками угловато-крупитчатой структуры (признак crm).

Темно-палевый морфон с плотным бесструктурным материалом горизонта В встречается в нижней части срединной толщи, в том числе заполняет нижнюю языковатую часть (хвосты) псевдоморфоз в микропонижениях (признак yu), содержит небольшое количество мелового щебня аналогичного крупнозему в материале AJ.

На Итчашканском участке фрагментарно под горизонтами AJ и W встречается горизонт В светло-серого цвета (2.5Y7/1), белеющий при высушивании (2.5Y8/1 сух.), свежий, уплотненный, с хорошо выраженной тонкоплитчатой структурой (~1–2 мм), редким меловым крупноземом и единичными кротовинами.

Интрузии или диапиры белого цвета состоят из смеси тонкодисперсного мела и мелового

крупнозема различной степени окатанности. Доля крупнозема около 50% (признак sk), преобладают изометричные окатанные отдельности. Материал плотный, влажноватый, с выраженной крупноплитчатой структурой толщиной ~1 см (рис. 4h), делится на плитчатые (толщиной ~2–3 мм), линзовидные (угловато-крупитчатые) агрегаты и округлые включения меловой породы. По границе некоторых крупных меловых отдельностей отмечены скопления тонких корней.

С одной стороны, меловые интрузии и диапиры представляют собой диспергированную подстилающую породу (RCA' или D'). С другой стороны, они включены в современный почвенный профиль и фактически представляют собой фрагменты метаморфического горизонта B2 с признаками @, crm, sk, lit.

Подстилающая карбонатная порода (RCA) отмечается на Новопавловском участке. Она представлена крупными острореберными отдельностями плотного мела, увеличивающимися в размере с глубиной, с редкими железистыми примазками. На свежих сколах видны ржавые нитевидные прожилки и точки (признак i). В центральной части микропонижения, вблизи хвостовой части грунтовой жилы, железистые пятна и примазки становятся обильнее, появляются железистые кутаны (признак f) (рис. 4k).

C^{##} вскрыт на Итчашканском участке, белый, состоит из отдельностей меловой гальки (до 5 см в диаметре) разного размера, увеличивающегося с глубиной и небольшого количества мелового мелкозема, не полностью закрывающего пространство между галькой. Характерны бурые железистые пятна и примазки (признак f), наибольшее количество которых сосредоточено на границе с горизонтом B2.

В качестве общих признаков и характеристик почв обоих участков можно отметить низкое количество корней и их неравномерное распределение. Корни преимущественно тонкие (единичные d до 1 см) в слое 2–7 см, реже до 20–30 см, по грунтовым жилам — видны до дна. Бурное вскипание с поверхности и во всей толще, включая микропонижение. Низкое содержание $C_{\text{орг}}$ (за исключением верхней части микрозападин), вплоть до его отсутствия под меловыми пятнами. Появление солевого налета на стенках при их подсыхании.

Основные химические свойства почв и состав водной вытяжки приведены в табл. 1 и 2. Отмечается очень высокое (57–93%) содержание CaCO_3 , щелочная (>8.2) реакция среды со слабой пространственно-профильной дифференциацией. Практически все горизонты имеют содержание токсичных солей >0.1–0.2% (признак s). На участке Итчашкан засоление почв более сильное. Тип

Таблица 1. Основные химические свойства почв меловых полигонов

Горизонт/морфон	Глубина, см	pH Н ₂ O	C _{орг} , %	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaCO ₃ , %	Σ < 0.01 мм, %
				мг/кг			
Новопавловский участок							
Микроповышение							
K/B1s, sk	0–10	8.2	0.0	6.2	105	85	33
B1sk, s	10–20	8.4	0.0	8.3	107	87	79
B1	40–50	8.4	0.4	7.7	93	78	79
B1	57–67	8.3	0.0	11.1	101	85	80
Микросклон							
AJs	3–13	8.2	1.8	5.8	662	71	61
B1s	15–25	8.2	0.7	5.5	433	79	73
B2s, sk	35–45	8.4	0.0	12.0	92	93	53
Микропонижение							
AJs	5–15	8.2	3.6	12.4	644	57	63
AJs	10–20	8.2	2.9	9.5	428	Не опр.	67
AJs	43–53	8.3	1.3	9.8	513	70	73
Bs	70–90	8.3	0.2	7.3	430	Не опр.	71
Итчашканский участок							
Микроповышение							
K/B1s	0–10	8.8	0.0	9.4	202	84	60
B1s	20–30	8.5	0.0	6.9	62	91	83
B2s, sk	25–35	8.4	0.0	6.8	32	93	64
B1	50–60	8.4	0.0	6.5	57	92	82
B2f, i, sk	80–90	8.4	0.0	6.9	36	93	60
CCAf, i, sk	110–120	8.3	0.0	Не опр.	Не опр.	91	33
Микросклон							
Ws	0–5	8.4	0.2	4.0	89	77	57
B3s	5–15	8.8	0.2	4.2	76	84	58
B1s	30–40	8.8	0.1	20.2	249	89	69
B1s	60–70	8.9	0.0	4.9	162	90	78
CCAf, i, sk	110–120	8.5	0.0	3.1	84	94	52
Микрозападина							
AJrz	0–5	8.3	0.9	4.0	61	70	38
AJ	5–15	8.4	0.5	5.1	35	68	46
B3s	30–40	9.0	0.3	14.8	329	77	41
CCAs, f, i, sk	50–60	9.3	0.1	8.5	310	91	74

засоления хлоридно-сульфатный с участием соды. При этом подповерхностные горизонты засолены слабее, чем на Новопавловском участке, где засоление поверхностных горизонтов слабее. Тип засоления содово-хлоридный, распределение солей более контрастное. Содержание оксидов фосфора и калия на обоих участках очень неравномерное

как по профилю, так и микрорельефу (табл. 1). Это согласуется с мозаичным строением реликтовой криогенной толщи.

Диагностика и классификация. Основная сложность при диагностике почв состоит в том, что помимо диагностических горизонтов W, AJ

Таблица 2. Катионно-анионный состав водной вытяжки

Горизонт	Глубина, см	$S_{\text{общ}}$	$S_{\text{токс}}$	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		%		смоль (экв)/кг							
Новопавловский участок											
Микроповышение											
Kakl/B1	0–10	0.88	0.69	0.28	4.72	6.41	1.81	2.29	0.87	9.6	0.10
B1sk, s	10–20	0.59	0.42	0.22	1.44	6.52	0.84	2.37	0.86	7.21	0.06
B1	40–50	0.23	0.1	0.13	1.38	1.35	0.62	1.59	0.76	0.96	0.08
B1	57–67	0.17	0.07	0.14	0.91	1.14	0.55	1.23	0.75	0.6	0.05
Микросклон											
AJs	3–13	0.65	0.48	0.00	2.41	6.54	0.82	2.12	0.78	7.35	0.19
B1s	15–25	0.64	0.54	0.12	1.23	7.20	1.63	1.25	0.72	8.28	0.13
B2s, sk	35–45	0.27	0.18	0.14	2.24	1.12	0.34	1.06	0.74	1.84	0.04
Микрозападина											
AJs	5–15	0.31	0.21	0.00	1.26	2.21	1.02	1.23	0.53	2.66	0.24
AJs	10–20	0.40	0.24	0.00	1.18	3.06	2.17	2.06	1.23	2.46	0.19
AJs	43–53	0.50	0.29	0.00	2.03	2.65	2.65	2.72	0.05	3.86	0.19
Bs	70–90	0.59	0.37	0.14	2.88	2.63	3.26	2.75	0.21	4.48	0.14
Итчащанский участок											
Микроповышение											
Kakl/B1	0–10	0.89	0.8	0.08	1.36	6.12	6.21	1.05	0.86	11.36	0.02
B1s	20–30	0.18	0.14	0.00	1.18	0.36	0.83	0.44	0.23	1.74	0.01
B2s, sk	25–35	0.09	0.05	0.00	0.91	0.16	0.15	0.48	0.21	0.52	0.01
B1	50–60	0.10	0.06	0.00	1.02	0.16	0.15	0.45	0.28	0.64	0.01
B2f, sk	80–90	0.09	0.04	0.00	0.58	0.12	0.57	0.61	0.35	0.27	0.01
CCAf, i, sk	110–120	0.08	0.04	0.00	0.48	0.12	0.58	0.55	0.47	0.28	0.01
Микросклон											
W	0–5	1.18	0.95	0.06	1.54	8.41	8.54	3.12	0.21	13.55	0.02
B3s	10–20	0.42	0.37	0.00	0.51	4.92	1.41	0.62	0.76	5.47	0.02
B1s	30–40	0.22	0.16	0.00	0.48	1.28	1.63	0.74	0.65	2.1	0.01
B1s	60–70	0.19	0.15	0.00	0.72	0.64	1.48	0.52	0.71	1.64	0.01
CCAf, i, sk	110–120	0.11	0.07	0.00	0.44	0.16	1.00	0.44	0.74	0.42	0.01
Микрозападина											
AJrz	0–5	0.10	0.05	0.00	0.68	0.05	0.73	0.65	0.65	0.18	0.01
AJ	5–15	0.11	0.06	0.00	0.63	0.15	0.74	0.67	0.53	0.38	0.01
B3s	30–40	0.17	0.13	0.00	0.54	0.5	1.42	0.55	0.41	1.54	0.01
CCAs, f, i, sk	50–60	0.24	0.20	0.00	0.56	0.78	2.18	0.53	0.4	2.61	0.01

и почвообразующих пород, срединная толща не соответствует ни одному из возможных срединных горизонтов в КиДПР.

Горизонты (морфоны) срединной толщи, обозначенные выше как В, характеризуются криогенной метаморфизацией почвенной структуры, и в определенной степени обладают признаками

горизонтов в которых проявляется криогенный структурный метаморфизм – CRM и BPL. Однако они не соответствуют в полной мере диагностическим критериям ни одного из них. Имеют палевый, белый или серый цвет, преимущественно слоистое однопорядковое сложение, признаки турбаций, в основном плитовидную структуру,

иногда с элементами линзовидности и местами угловато-крупитчатую структуру. При этом необходимый для BPL и CRM признак — наличие многолетнемерзлых пород — отсутствует.

По нашему мнению, здесь можно выделить два основных горизонта: дезинтеграционно-метаморфический горизонт (BDM) и криоструктурно-метаморфический горизонт (BCM). Дезинтеграционно-метаморфический горизонт BDM, ранее предложенный в работе [5] как минеральный горизонт почв на плотных породах, в котором плотные породы превращены в результате внутрипочвенного выветривания в мелкозем. Криоструктурно-метаморфический горизонт BCM, предложен нами, как криогенно-оструктуренный минеральный материал.

Общая характеристика горизонта BCM:

Минеральный горизонт — результат метаморфизации суглинисто-глинистой почвенной массы в циклах замерзания—оттаивания с образованием шлировой криотекстуры. Имеет характерную плитчатую оструктуренность. Окраска горизонта наследуется от преобразуемой толщи и может изменяться в широких пределах, не являясь диагностическим признаком. Горизонт может иметь срединное положение или залегать с поверхности. При наличии крупнозема в профиле и на поверхности имеются признаки криогенной сортировки и вертикальной ориентации отдельностей.

Диагностические критерии:

Горизонт имеет обязательное сочетание следующих характеристик:

1. Один из вариантов расположения в профиле:
 - 1а. Залегает под гумусовым горизонтом; ИЛИ
 - 1б. Залегает с поверхности, сочетаясь с тонкой пористой коркой в верхней части; И
2. Преобладание плитовидной структуры почвы (от чешуйчатой до крупноплитчатой) с элементами линзовидности в сочетании с линзовидными и (или) остросеберными изометричными (или угловато-крупитчатыми) отдельностями, которые (при наличии) вписываются в общее слоеватое сложение горизонта; И
3. Один из вариантов изменения структуры с глубиной:
 - 2а. Постепенное утолщение структурных отдельностей и снижение их выраженности с глубиной; ИЛИ
 - 2б. Появление с глубиной многопорядковой структуры, высшим порядком которой является плитовидная, постепенно утолщающаяся с глубиной; И
4. Мощность более 10 см.

В уточняющей аналитической характеристике не нуждается.

Сравнение с другими горизонтами:

Горизонт BCM отличается от метаморфического BM специфичностью структуры. От палео-метаморфического BPL и криометаморфического CRM выраженностью плитчатой структуры и ее изменением с глубиной, а также отсутствием мерзлоты на глубине.

Ареалы. Горизонт формируется в промерзающих почвах в засушливых условиях. Обнаружен в Оренбургской области в пределах палеокриогенных почвенных комплексов в степной и сухостепной зонах. Потенциально может иметь и более широкий ареал.

Почвы с горизонтом BCM в формуле профиля предлагаем относить к отделу криоструктурно-метаморфических почв постлитогенного ствола почвообразования. В классификации почв важными признаются дополнительные диагностические признаки, отражающие подтиповую и родовую принадлежность почв [31]. В почвах меловых полигонов обнаруживается большое количество признаков (отмечены выше). При этом некоторые из них очевидно реликтовые. Учитывая хорошую выраженность реликтовых признаков, предлагаем выделять их с приставкой палео (р), по аналогии с WRB, и отражать на уровне рода. Например, криотурбированный (Turbic) отразить как палеокриотурбированный (Relictiturbic).

На ключевых участках выявлены подтипы: засоленный (s) и скелетный (sk), а также роды: с корково-подкорковым микропрофилем (akl), дернинный (rz), темнаяязыковатый (yu), палеокриотурбированный (r@), палеоожелезненный (rf).

В итоге в пределах меловых пятен (реликтов пятен излияния криоземов) сформированы криоструктурно-метаморфические почвы со следующей последовательностью горизонтов: BCMakl—BCM/BDM—C^{##}(RCA).

На микросклонах, являющихся периферией палеомерзлотного блока, в зависимости от интенсивности биогенно-аккумулятивных процессов формируется W или AJ с формулой профиля: W—BDM/BCM—C^{##} и/или AJ—BDM/BCM—C^{##}(RCA). Предлагается отнести их к стволу постлитогенного почвообразования, отделу криоструктурно-метаморфических почв, к типам протогумусовых и светлогумусовых почв.

В микропонижениях, являющихся реликтами палеомерзлотных жил, AJ становится более мощным. В них формируются светлогумусовые почвы отдела органо-аккумулятивных почв с формулой профиля AJ—C^{##}(RCA), и светлогумусовые криоструктурно-метаморфические с профилем AJ—BCM—C^{##}(RCA).

Систематизация почвенных признаков и интерпретация почвенных процессов. Уникальность почв меловых полигонов проявляется в сочетании

признаков аридного почвообразования с комплексом типичных криогенных признаков, характерных для почв современной криолитозоны. Почвы характеризуются следующими особенностями: слабыми гумусированностью и биогенностью; слабой преобразованностью срединных горизонтов; палевым цветом, характерным для палево-метаморфических почв; нарушением горизонтного строения и мозаичностью профиля за счет палеомерзлотных клиньев (псевдоморфоз), палеоинтрузий и следов палеотурбаций в виде вихревого рисунка; постшлировой плитчатой, линзовидной и угловато-крупитчатой структурой; трещиноватостью с темной языковатостью. И на микроповышениях и в микрозападинах, несмотря на высокое содержание мела, отмечается полное отсутствие любых форм карбонатных новообразований.

Перераспределение поверхностного увлажнения по микрорельефу проявляется в признаках иллювиирования под клиньями. В пределах грунтовых жил, характеризующихся относительно пониженным содержанием мела (57–70%) и большей увлажненностью, отмечается усиление биогенно-аккумулятивных процессов. Профиль, в значительной степени, представлен более гумусированным материалом заполнения клина (псевдоморфозы). Присутствуют глубинные горизонтальные прослойки органического вещества, что при наличии большого количества реликтовых криогенных признаков можно интерпретировать как результат палеоретинизации или надмерзлотной аккумуляции гумуса.

На микроповышениях толща палевого цвета состоит преимущественно из диспергированного мелового материала. Характеризуется высокой контрастностью по степени насыщенности твердыми меловыми включениями различного размера и окатанности. Включения неравномерно распределены, имеют признаки сортировки с увеличением концентрации в интрузиях, внутри и вдоль границ отдельных морфонов. Высокая литогенная карбонатность, преобладание в мелкозем мелового материала с низкой долей глинистых минералов, низкий резерв питательных элементов совместно с испарительным засолением (при отсутствии солевых образований за исключением солевого налета на меловых пятнах и солевых выпотах при подсыхании стенок) способствуют угнетению растительности и усилению признаков аридного почвообразования, засоленности срединной толщи и поверхности меловых пятен.

Сохранность криогенных признаков отчасти может объясняться тем, что консервация реликтовых признаков является отличительной чертой аридного почвообразования [4]. Выше отмечалось, что современные условия также характеризуются суровыми зимами с глубоким промерзанием почв. Процессы криогенного оструктурирования,

сортировки, дробления происходят и в настоящее время, однако характеризуются локальным проявлением и приурочены главным образом к материалу с высоким содержанием мела (меловым интрузиям и микроповышениям). Именно в этих частях при зимних наблюдениях были обнаружены ледяные шпирь и морозное пучение. Весной на микроповышениях после оттаивания избыточного льда наблюдается оплывание меловых бугорков. При этом наличие микрорельефа со свежей меловой поверхностью пятен свидетельствует, что микрорельеф поддерживается морозным пучением. Предполагаем, что криогенные процессы на меловых полигонах связаны со способностью влаги подтягиваться снизу. Хороший контакт интрузий с подстилающей меловой массой обуславливает их повышенную влажность и солевой налет летом, морозное пучение и обновление микрорельефа при промерзании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Меловые полигоны являются реликтами криогенного этапа развития территории Подуральского плато, в которых до сих пор сохраняются и поддерживаются криогенные черты ландшафта и почв. Микроповышения — это реликты мерзлотных блоков с пятном криоземов, а окружающие их западины — реликты мерзлотных жил (псевдоморфоз). Разное происхождение микроповышений и микрозападин отражается в минералогическом составе: в почвах микроповышений отмечается тотальное доминирование мела, а в почвах, развивающихся по реликтовым мерзлотным жилам, его содержание существенно меньше.

Упорядоченное сочетание палеокриогенных образований разного минералогического состава и микрорельефа формирует современную структуру почвенного покрова меловых полигонов. В почвах отмечается сочетание современных и реликтовых, аридных и криогенных признаков почвообразования. К современным проявлениям отнесены — гумусообразование, гумусонакопление, оструктурирование (в том числе криогенное), засоление, коркообразование, шпирообразование, сортировка и вымораживание крупнозема. К реликтовым признакам: криотурбации, зоны скопления крупнозема и его различная окатанность в профиле, клиновидные грунтовые жилы, темные измятые полосы и др.

Необходимым условием формирования почв меловых полигонов является наличие горизонта BDM, т.е. глубокая степень проработки и дезинтеграции плотного мелового материала. По-видимому, современному этапу почвообразования предшествовал этап криогенной дезинтеграции, обусловивший формирование мелкоземистой толщи тяжелого гранулометрического состава с резкой

сменной грубообломочным материалом на глубине 1–1.2 м, маркирующей границу сезонно-талого слоя и мерзлоты. Затем BDM подвергся криотурбациям, а в настоящее время — процессам криогенного структурного метаморфизма.

Классификация и диагностика почв меловых полигонов представляет определенные трудности из-за отсутствия в КидПР подходящего диагностического горизонта. Предлагается дополнить КидПР новым структурно-метаморфическим горизонтом ВСМ. Хорошо выраженные реликтовые криогенные признаки отражать на уровне рода с приставкой “палео”.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена по темам НИР Института степи УрО РАН № АААА-А 21-121011190016-1 и Почвенно-го института им. В. В. Докучаева № FGUR-2022-0013.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Куртовский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов-на-Дону: Росиздат, 2007. 198 с.
2. Величко А.А. (ред.) Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен — голоцен. Атлас-монография. М., 2009. 120 с.
3. Величко А.А. Эволюционная география: проблемы и решения М.: ГЕОС, 2012. 562 с.
4. Глазовская М.А., Горбунова И.А. Биогенное ошелачивание аридных почв как фактор текстурной их дифференциации // Почвы, биогеохимические циклы и биосфера (развитие идей В.А. Ковды). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. С. 342–357.
5. Горячкин С.В., Спиридонова И.А., Конюшков Д.Е. Дезинтеграционно-метаморфические горизонты и признаки в почвах на плотных карбонатных и гипсовых породах в различных условиях криогенеза // Междунар. конф. “Криогенные ресурсы полярных регионов”. Салехард, 2007. Т. II. С. 67–70.
6. Горбунова И.А. Криогенез почв степной зоны Казахстана. Дис. ... канд. геогр. наук. М., 1985. 255 с.
7. Горбунов А.П., Северский Э.В. Криолитозона в плейстоцене на территории Казахстана // Матер. пятой конф. геокриологов России. 14–17 июня 2016 г. Т. 2. Ч. 5–7. М.: Университетская книга, 2016. С. 168–175.
8. Губин С.В., Лупачев А.В. Роль пятнообразования в формировании и развитии криоземов Приморских низменностей севера Якутии // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1283–1295. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17110077>
9. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
10. Классификация почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
11. Климентьев А.И., Чибилев А.А., Блохин Е.В., Грошев И.В. Красная книга почв Оренбургской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 295 с.
12. Климентьев А.И., Блохин Е.В. Почвенные эталоны Оренбургской области: Материалы для Красной книги почв Оренбургской области. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 90 с.
13. Ковда И.В., Рябуха А.Г., Поляков Д.Г., Левыкин С.В., Петрищев В.П., Яковлев И.Г., Норейка С.Ю., Ряхов Р.В. Криогенные признаки в почвах меловых полигонов Оренбургской области // Почвы в биосфере. Томск, 2018. С. 37–41.
14. Козут Б.М., Большаков В.А., Фрид А.С., Краснова Н.М., Бродский Е.С., Кулешов В.И. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв. М.: Изд-во РАСХН, 1993. 73 с.
15. 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>
16. Котин Н.И. Карбонатные солонцы западной части Подуральского плато // Почвоведение. 1962. № 7. С. 67–76.
17. Красная книга почв России: Объекты Красной книги и кадастра особо ценных почв / Под ред. Добровольского Г.В., Никитина Е.Д. М.: МАКС Пресс, 2009. 576 с.
18. Лупачев А.В., Губин С.В., Герасимова М.И. Диагностика криогенных почв в современной классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1157–1162. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080100>
19. Макеев О.В. Фации почвенного криогенеза и особенности организации в них почвенных профилей. М.: Наука, 1981. 88 с.
20. Михно В.Б. Меловые ландшафты Восточно-Европейской равнины. Воронеж: Петровский сквер, 1992. 232 с.
21. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
22. Попов А.И. Перигляциальные образования северной Евразии и их генетические типы // Перигляциальные явления на территории СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. С. 49–62.
23. Попов А.И. Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры // Вопросы геогр., мерзлотовед. и перигляциальной

- морфологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. С. 109–130.
24. Рябуха А.Г., Стрелецкая И.Д., Поляков Д.Г. Морфология, генезис и современная динамика полигональных меловых ландшафтов в долине реки Итчашкан // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 3. С. 57–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/57-68>.
25. Савельев К.Н., Абакумов Е.В. Разнообразие и генетические особенности рендзин Самарской Луки // Самарская Лука: бюл. 2007. Т. 16. № 4. С. 708–718.
26. Стрелецкая И.Д., Рябуха А.Г., Поляков Д.Г., Яковлев И.Г., Норейка С.Ю. Реликтовые криогенные структуры в ландшафтах южного Предуралья // VIII Шукинские чтения: рельеф и природопользование. Матер. конф. М., 2020. С. 368–373.
27. Сычева С.А. Палеомерзлотные события в перигляциальной области Среднерусской возвышенности в конце среднего и позднем плейстоцене // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 4. С. 45–56.
28. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
29. Трофимов В.Т. Грунтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2005. 1024 с.
30. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21080098>
31. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Предлагаемые изменения в классификацию почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. 2022. № 1. С. 3–14. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22010087>
32. Хитров Н.Б., Калинина Н.В., Роговнева Л.В., Рухович Д.И. Слитоземы и слитизированные почвы России. М.: ИД Академии Жуковского, 2020. 516 с.
33. Хитров Н.Б., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Рупышев Ю.А., Аюшина Т.А., Жамбалова А.Д., Цыремпилов Э.Г., Пармонова А.Е., Насатуева Ц.Н. Газогидротермальное турбирование почв как фактор формирования микроповышений // Почвоведение. 2020. № 2. С. 133–151. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20020069>
34. Чибилев А.А. Река Урал: Историко-географические и экологические очерки о бассейне р. Урал. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 168 с.
35. Черноземы СССР (Поволжье и Предуралье). М.: Колос, 1978. 303 с.
36. Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М., Губер А.К., Початкова Т.Н., Сидорова М.А., Смагин А.В., Умарова А.Б. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 200 с.
37. Biscaye P.E. Distinction between Kaolinite and Chlorite in Recent Sediments by X-Ray Diffraction // The American Mineralogist. 1964. V. 49. P. 1281–1289.
38. Biskaye P.E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans // Geol. Soc. Am. Bull. 1965. V. 76. P. 803–832.
39. Bockheim J.G. 2015. Cryopedology. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08485-5>.
40. Kovda I., Polyakov D., Ryabukha A., Lebedeva M., Khaydapova D. Microrelief and spatial heterogeneity of soils on limestone, SubUral plateau, Russia: attributes and mechanism of formation // Soil Ill. Res. 2021. V. 209. P. 104931. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104931>
41. Mallen-Cooper M., Nakagawa S., Eldridge D.J. Global meta-analysis of soil-disturbing vertebrates reveals strong effects on ecosystem patterns and processes // Global Ecol. Biogeogr. 2019. V. 1. P. 661–679. <https://doi.org/10.1111/geb.12877>
42. Polyakov D., Ryabukha A., Kovda I. The cryogenic structure and texture of seasonally freezing soil in the steppe zone of the TransVolga-Urals region // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 817. P. 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012087>.
43. Ryabukha A.G., Streletskaia I.D., Polyakov D.G., Kovda I.V., Yakovlev I.G. Relict cryogenic structures in the landscapes of Orenburg region, Russia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 817. P. 012093. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18120031>
44. Schumacher B.A. Methods for the determination of total organic carbon (toc) in soils and sediments. Ecological Risk Assessment Support Center, Las Vegas, 2002.
45. Vandenberghe J., French H.M., Gorbunov A., Marchenko S., Velichko A.A., Jin H., Cui Z., Zhang T., Wan X. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. Boreas. 2014. <https://doi.org/10.1111/bor.12070>
46. <https://new.esoil.ru/info/news/publikatsii/klassifikatsiya-pochv-rossii/> [дата обращения 08.02.2023]

Soils of Chalk Polygons of the Sub-Ural Plateau: Morphology, Properties and Classification

D. G. Polyakov^{1, *}, I. V. Kovda², and A. G. Ryabukha¹

¹Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, 460000 Russia

²Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: polakovdg@yandex.ru*

The unique soils of the chalky polygons soil complexes in the steppe zone of Common Syrt and the Sub-Ural Plateau have been studied. They are characterized by a combination of different age features formed in contrast environments. Modern features are the result of biogenic-accumulative processes, structuring, salinization and crust formation. The relict features are associated to paleocryogenesis, they include the paleo-permafrost complexes of block-pseudomorph, cryoturbations, paleo-permafrost wedges, accumulations and sorting of coarse fraction, etc. The good conservation of relict cryogenic features and modern cryogenic processes determine the uniqueness of these steppe soils. Such horizons and profile formula are not found in the existing diagnostic scheme for the classification and diagnostics of soils in Russia (CaDSR). In order to represent the features, modern image and genesis of these soils in the terminology of CaDSR, a new diagnostic horizon BCM cryostructural-metamorphic was proposed. The soils were diagnosed as cryostructural-metamorphic on microhighs, protohumic and lighthumus cryostructural-metamorphic on the microslopes, and lighthumus and lighthumus cryometamorphic in microdepressions of the chalky polygons. Relict cryogenic features are proposed to be taken into account in the classification of these soils at the level of soil genus with the prefix paleo. According to the WRB soils were classified as Rendzic Endoleptic Calcaric Phaeozem (Relictiturbic, Tonguic) in microdepressions, Skeletic Calcaric Regosol (Relictiturbic, Ruptic, Nudiyermic) in microhighs and (Relictiturbic, Raptic, Ochric) in microslopes.

Keywords: (paleo)cryogenesis, microrelief, relict features, mosaic profile, cryoturbations, salinization