

КРИОГЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В МИКРОСТРОЕНИИ ЛУГОВЫХ ПОДБЕЛОВ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

© 2024 г. А. Б. Гынинова^{a,*} (<http://orcid.org/0000-0001-7897-7848>),
М. И. Герасимова^{b,c} (<http://orcid.org/0000-0002-1815-4476>), М. П. Лебедева^c

^aИнститут общей и экспериментальной биологии СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 Россия

^bМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

^cПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

*e-mail: ayur.gyninova@mail.ru

Поступила в редакцию 31.08.2023 г.

После доработки 17.12.2023 г.

Принята к публикации 18.12.2023 г.

Луговые подбелы (темногумусовые подбелы глееватые и глеевые в классификации почв России) на западе своего ареала испытывают глубокое и длительное промерзание, проявляющееся в криогенных деформациях горизонтов и в их микростроении. Микропризнаки почв на многолетне-мерзлых породах хорошо известны, и задачей данного исследования было их выявление в трех профилях луговых подбелов, учитывая особенности их криологического режима и увлажнения. В отличие от северных мерзлотных почв, луговые подбелы имеют темногумусовые горизонты со слабовыраженными криогенными признаками; в элювиальных горизонтах таковыми являются плитчатые микроструктуры и многочисленные гумусово-железистые нодулы разных размеров. В текстурных горизонтах формируются своеобразные микроструктуры из округлых или эллипсоидных агрегатов с гумусово-железистыми нодулами в центре и агрегатов-ооидов: округлых с железистой пропиткой в центре и оптически ориентированными глинами по периферии. Типичные микропризнаки глея в нижних глинистых горизонтах сочетаются с глинистыми кутанами иллювиирования, частично деформированными. В отличие от мерзлотных почв, перераспределение микромассы и скелета почти не выражено, как и кольцевая ориентация зерен скелета.

Ключевые слова: плитчатые сложные микроструктуры, нодулы, ооиды, скелетаны, глубокопромерзающие гумусированные почвы, режим промерзания–оттаивания

DOI: 10.31857/S0032180X24050016, **EDN:** YLWUBX

ВВЕДЕНИЕ

Луговые подбелы Дальнего Востока представляют собой периодически поверхностно-переувлажняемые и глубокопромерзающие текстурно-дифференцированные почвы с высоким содержанием гумуса, формирующиеся на отложениях тяжелого гранулометрического состава [2, 3, 8, 9, 11, 13, 17, 26]. Луговые подбелы приурочены к межгорным равнинам и речным террасам. Вопросы их генезиса известны лишь в общих чертах, в частности, неясен вклад криогенеза в структурное состояние и свойства почв. Опыт изучения различных мерзлотных и глубокопромерзающих почв показал целесообразность использования микроморфологического метода, подтверждающего или детализирующего криогенные черты генетических горизонтов. Проявления криогенных признаков

в почвах зависят от гранулометрического состава и режимов увлажнения [15]. Макро- и микроморфологические признаки криогенеза в суглинистых и глинистых почвах весьма разнообразны и связаны с особенностями льдовыделения, режимами промерзания и оттаивания, вызывающими те или иные перемещения грубо- и тонкодисперсных компонентов микростроения [4, 5, 24, 34–36].

Весьма подробно и систематически криогенные микропризнаки обсуждаются в работах [35, 36], в которых объектами исследований были почвы Альп, Швеции, Земли Франца-Иосифа, Антарктиды. Проявления криогенеза и механизмы формирования криопризнаков рассмотрены авторами по следующим элементам микростроения: микроструктуры, трещины, основная масса – грубо- и тонкодисперсная ее части, новообразования – текстурные

Профиль луговых подбелов имеет строение: AU–EL–(BEL)–BT–C [7, 22], субэлювиальный горизонт BEL не всегда присутствует. В международной классификации [30] луговые подбелы могут быть названы Tonguimollic Luvic Stagnic Phaeozems (Clayic, Albic, Humic, Gelistagnic).

Морфологическое строение почв исследовалось в соответствии с методами, предлагаемыми Розановым [25]. Физико-химические и физические свойства определялись по [28, 29].

Микростроение изучалось в трех профилях луговых подбелов: на повышенном ровном участке (разрез 1Б), пологом склоне (разрез 1В) и в понижении (разрез 3).

Микроморфологические исследования проводили по классическим методикам с использованием поляризационного микроскопа нового поколения Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26 (оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием “Функции и свойства почв и почвенного покрова” ФГБНУ ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”). Визуализация и измерение деталей микростроения проведены с помощью компьютерных программ, приложенных к микроскопу фирмы Olympus BX51 (Япония). Описание элементов микростроения проведено согласно международной терминологии, переведенной на русский язык [1, 32, 33].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Профили трех разрезов включают аккумулятивно-гумусовые, элювиальные, текстурные горизонты и почвообразующую породу. Почвы содержат в аккумулятивном горизонте от 8.28 до 9.71% гумуса, имеют реакцию от слабокислой до нейтральной, степень насыщенности основаниями – около 80%. Профили расчленены вертикальными трещинами, пересекающими несколько горизонтов до глубины 80–90 см. В почве разреза 3 в понижении залегание горизонтов волнистое в связи с криогенной деформацией [4].

Верхний горизонт профиля почвы на ровном участке (разрез 1Б, в автономной позиции) буровато-темно-серый с комковатой структурой и высокой степенью структурности (70% макроагрегатов), с небольшим количеством слаборазложившихся растительных остатков. Нижняя граница горизонта ровная и находится на глубине 20 см, что подтверждает сведения о том, что более 70 лет назад он был пахотным. На склоне и в понижении (разрезы 1В и 3) гумусовый горизонт темно-серый, почти черный и имеет меньшую мощность; в почве понижения появляются элементы слоистого сложения.

В горизонтах ELg, расположенных глубже 20–25 см, содержание гумуса уменьшается до

1.45–2.41%. Во всех разрезах элювиальные горизонты белесые из-за отмытости части зерен кластогенных минералов от красящих пленок. В разрезе 1Б структура дробовидно-ореховатая: внутренние части агрегатов охристые, часто – это компактные нодулы. В склоновом разрезе 1В структура тонкочешуйчатая, чешуйки в центральной части несколько утолщены и содержат железистые стяжения. В разрезе понижения структура тонкоплитчатая, железистые конкреции компактные. Количество макроагрегатов, как и микроагрегатов, минимальное и резко возрастает в горизонтах BTg. Субэлювиальный горизонт BEL почти не выражен в разрезе 1Б, он встречается в виде отдельных морфонов в разрезе 1В почвы на склоне и значительно чаще – в почве понижения. Наличие мерзлотных трещин и беспорядочное расположение морфонов позволяет предполагать их криогенное перемещение.

Текстурные горизонты структурны, содержание микроагрегатов в них высокое и закономерно уменьшается книзу. Агрегаты в основном округлые, диаметром ~3 мм, в разрезах 1В и 3 они темно-серые за счет темных кутан на поверхности; по цвету, форме и размерам напоминают черную икру. Границы между горизонтами резкие, а форма границ неровная вплоть до карманистой. Горизонт BT1g почвы склона (разрез 1В) отличается наличием железистых стяжений в центрах агрегатов. В горизонте BT2g структура становится более мелкой и теряет рассыпчатость. Переходный к почвообразующей породе горизонт имеет массивную структуру и признаки оглеения в виде сизых, бурых и охристых тонов окраски.

Луговые подбелы относятся к криогенным холодным, промерзающим на всю глубину профиля почвам [16]. Исследования динамики влажности почв в зимний период [4] позволили выделить несколько зон в почвенном профиле с разным криологическим режимом, соответствующих генетическим горизонтам:

- 1) горизонт AU. Активное промерзание с частыми переходами через 0°C поздней осенью и ранней весной. Избыточное увлажнение не характерно;

- 2) горизонт ELg. Активное промерзание осенью с формированием ледяных шлиров и некоторым иссушением, весеннее таяние льда с оттоком влаги;

- 3) горизонт BT1g. Умеренное промерзание с зимним оттоком влаги к фронту промерзания в вышележащий горизонт и оттаивание с миграцией талой воды по порам вниз;

- 4) горизонт BT2g. Медленное промерзание и медленное оттаивание со слабым оттоком влаги зимой и ранним летом, накоплением – поздним летом;

Таблица 1. Физико-химические и физические свойства почв

Горизонт (глубина, см)	Гумус, %	pH		Обменные катионы		Гидроли- тическая		ЕКО	СНО*, %	Σ частиц <0.001 мм	Гранулометрический показатель структурности	Σ микроагре- гатов, %		Σ макроагре- гатов, %
		H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Н ⁺	>0.05					1–0.25		
								смоль(+) / кг						
Разрез 1Б														
AU (2–10)	8.60	5.4	5.0	18.2	7.4	10.9	36.5	70	19.0	77.6	67.5	48.2	75	
ELg (20–35)	1.45	5.5	4.6	11.6	5.4	4.1	21.1	80	31.4	46.9	34.8	10.7	39	
BT1g (50–65)	0.83	4.8	4.3	13.2	8.7	5.1	27.0	81	48.6	95.3	61.1	40.5	79	
BT2g (75–90)	0.57	5.1	4.2	14.2	11.4	4.7	30.3	84	43.9	78.4	52.2	22.4	–	
BCg (100–120)	0.64	5.2	4.3	13.6	8.5	4.0	27.1	85	41.8	72.8	54.6	26.9	–	
Cg (135–145)	0.60	5.3	4.4	15.7	10.3	4.0	30.0	87	40.1	67.6	47.0	16.3	–	
Разрез 1В														
AU (5–15)	8.28	5.8	4.7	23.6	6.8	10.0	40.4	75	18.1	64.4	54.5	43.3	80	
ELg (20–30)	1.60	6.0	4.5	10.0	4.8	6.1	20.9	71	31.9	49.4	16.1	2.8	73	
BT1g (50–65)	0.91	6.0	4.6	17.6	9.4	5.8	32.8	82	53.8	116.9	57.1	28.8	77	
BT2g (90–110)	0.30	6.1	4.6	15.5	8.4	3.7	27.6	87	44.2	81.1	42.9	14.1	–	
BCg (130–140)	0.66	6.2	4.7	16.4	8.9	3.8	29.1	87	42.9	76.0	16.1	7.0	–	
Разрез 3														
AU (5–15)	9.71	6.2	5.0	21.8	6.3	12.1	40.2	70	18.0	88.7	50.3	37.6	–	
ELg (25–30)	2.41	6.1	4.8	10.7	4.1	7.4	22.2	66	28.7	41.5	15.0	2.2	–	
BT1g (50–60)	1.31	6.4	4.9	14.1	5.9	5.4	25.4	79	55.1	126.7	49.2	31.3	–	
BT2g (70–80)	0.48	6.5	5.0	16.1	7.4	3.9	27.4	86	50.1	103.3	48.0	23.3	–	
BCg (110–130)	0.47	6.6	4.9	15.2	7.6	3.5	26.3	87	43.0	75.1	20.4	6.3	–	

* СНО – степень насыщенности основаниями.

5) горизонты BCg и Cg. Постоянно влажные и относительно постоянные температуры в районе 0°C, медленное промерзание/оттаивание, что характерно для холодных почв [15].

Микростроение

Разрез 1Б. Рис. S2, ровная поверхность.

Горизонт AU. 0–5 и 7–12 см. Рис. S2a–S2d. Однородный, буровато-темно-серый, агрегирован, первичные агрегаты округлые, часто собраны в вытянутые педы второго порядка, проявляя тенденцию к плитчатости. Немного межагрегатных пор упаковки и тонкие трещины. Микромасса глинистая с дисперсным гумусом, часто изотропная, мелкой пыли мало, но местами образует осветленные микрозоны. Растительные остатки в верхней части горизонта, бурые волокнистые, фрагментированные, единичны углистые и сильно разложившиеся, есть выбросы энхитреид. Выбросы и следы выедания клещами в контуре крупного растительного остатка, частично заполненного неагрегированным материалом.

Горизонт ELg. 25–30 см. Рис. S2e, S2f. Светло-серый глинисто-пылеватый, округло-плитчатая микроструктура; много компактных нодулей с фрагментами тонких глинистых кутан по периферии, железистых сегрегаций в центрах агрегатов, мелких стяжений со светло-охристыми внешними краями, свидетельствующими о возможностях их “роста”. Сложение относительно компактное с частичной аккомодацией. Обогащенные скелетом микроучастки не обнаруживают сортировку частиц. Крупные агрегаты местами с пылеватыми микрополосками и тонкими глинистыми кутанами.

Горизонт BT1g. 55–60 см. Рис. S2g, S2h. Серовато-бурый, глинистый. Агрегирован, агрегаты-блоки, размером 3–5 мм. Округлые агрегаты 1–3 мм, в компактных микрозонах. Поры упаковки тонкие извилистые; крупные биогенные поры. В центрах агрегатов – железистые стяжения, нодули, на периферии и в пустотах – скелетана. Микромасса в агрегатах железисто-глинистая, или имеет вид гумусово-железистых хлопьев. Высокое двупреломление тонкодисперсной массы, особенно в краевых частях округлых агрегатов, с тенденцией к фрагментарным вокруг-агрегатным кутанам в части агрегатов.

Горизонт BT2g. 78–83 см. Рис. S2i, S2j. Крупные агрегаты (0.5–1.0 мм), разной формы, плотно упакованные, разделяются узкими трещинами. Агрегаты округлые, овальные, блоковые и прямоугольные, некоторые с ожелезнением в центре. Глинистая микромасса с высоким двупреломлением представлена волокнистыми и струйчатыми, вокругагрегатными и околопоровыми формами, зерен скелета мало. Неоднородный крупный

округлый агрегат с включениями: бурый составной агрегат и обрывки углистых растительных остатков. Глинистые кутаны по порам и волокнистые глинистые кутаны по краям всех агрегатов.

Горизонт BCg. 100–105 см. Рис. S2k, S2l. Ожелезненные и осветленные микроучастки, неагрегированный, с массивной микроструктурой, с трещинами двух порядков. Микромасса глинисто-пылеватая, сильно обезжелезненная и обезилена на большинстве участков, слабоанизотропная. Глинистые слоистые кутаны, крупные и мелкие. В ожелезненной части – мелкие глинистые кутаны и железистые разводы, мелкие углистые частицы. На пересечении трещин – слоистые глинистые кутаны, похожие на кутаны давления.

Разрез 1В. Рис. S3, склон.

Горизонт AU. 7–12 см. Рис. S3a – S3d. Отличается многопорядковостью агрегатов. Первичные, размером ~ 50 мкм, соединены в агрегаты второго порядка (200–400 мкм). Агрегаты размером ~600 мкм однородны или состоят из более мелких, но плотно упакованных отдельностей. Наиболее крупные агрегаты размером ~1000 мкм нередко осветлены или разделены трещинами. Светлые агрегаты анизотропные с чешуйчатым строением, некоторые с гумусированными “шапочками”. Микромасса глинистая с дисперсным гумусом, небольшой долей пыли, изотропна. На периферии агрегатов иногда наблюдается увеличение доли пылеватых фракций. Почти черные железистые нодули, диффузионные кольца иногда внутри округлых агрегатов. Внутри крупного агрегата включенные в него мелкие с элементами кольцевой ориентации пылеватых частиц по периферии.

Горизонт ELg. 25–30 см. Рис. S3e, S2f. Отличается от осветленного горизонта почвы на повышении ясной слоистостью. Слои состоят из неровных тонкопластинчатых агрегатов размером до 4 мм, включающих округлые слегка размытые агрегаты с ожелезненными центрами или нодулем в центре. Микромасса глинисто-пылеватая, пористость 15–20%. Неоднородное распределение пылеватых частиц в основной массе с зонами обогащения, образовавшимися в результате криогенной сепарации на плазму и скелет, ориентированные частицы почти отсутствуют.

Горизонт BT1g. 55–60 см. Рис. S2g, S2h, S2i, S2j. Агрегирован, агрегаты-блоки, размером 3–5 мм. В компактных микрозонах округлые агрегаты, 1–3 мм, отличаются кольцевой ориентировкой глинистого вещества. Поры упаковки тонкие извилистые. В центрах агрегатов – железистые стяжения, нодули. Микромасса в агрегатах железисто-глинистая, или в центрах гумусово-железистые компактные хлопья. Высокое двупреломление тонкодисперсной массы, особенно в краевых частях округлых агрегатов, с тенденцией к фрагментарным

вокруг-агрегатным кутанам. Агрегаты с новообразованиями в центре: стяжения в центральной части агрегатов, пропитка, редкие крупные нодулы, покрытые тонкими глинистыми оболочками. Поверхности агрегатов покрыты тонкими глинистыми кутанами.

Горизонт BT2g. 95–100 см. Рис. S3k, S2l. Также, как в горизонте BT2g почвы повышения, агрегаты размером 1–2 мм слившиеся, микромаassa пылевато-глинистая, гумусовая пропитка слабая. Тонкие глинистые светлые волокнистые кутаны, вокруг агрегатов слабопрерывистые. Единично иллювиальные мелкие глинистые кутаны в порах. “Включенный” бурый агрегат в более светлый, крупный и глинисто-пылеватый. Мелкая глинисто-железистая кутана в поре и глинистые тонкие папулы.

Горизонт BCg@. 130–135 см. Рис. S3m, S3n. Бесструктурный. Разделен трещинами. Микромаassa пылевато-глинистая, на большинстве участков обезжелезненная, пылеватые частицы не ориентированы. Бурая слоистая глинистая кутана с признаками фрагментации по крупной поре. Пores-камеры. Стенки покрыты частично скелетаной (отсепарированной тонкопылеватой фракцией). В ожелезненном микроучастке — интенсивная пропитка, по краю микроучастка — железистые кутаны.

Горизонт Cg. 150 см. Рис. S3o, S2 p. Почвенная масса разделена трещинами на отдельные размером 2–3 мм. Стенки трещин покрыты натечной глинистой кутаной с высоким двупреломлением. “Черное пятно”: возможно, крупный углистый растительный остаток или перемещенный криотурбациями морфон в глеевом микроучастке.

Разрез 3. Рис. S4 в Приложении, понижение.

Горизонт AU. 7–12 см. Рис. S4a, S4b. Отличается четко выраженной слоистостью: тонкие, <1 мм, пластинки состоят из линзовидных, редко — округлых агрегатов близких размеров; или состоят из неагрегированной массы. Pores упаковки тонкие, трещинообразные. Выбросы энхитреид. Углистые частицы, в биопорах сильно разложенные растительные остатки. Пластинки с неровными резкими границами, неоднородные в отношении гумусовой пропитки. Микромаassa глинисто-пылеватая, пыль мелкая и средняя, беспорядочно рассеянная, тонкодисперсная масса изотропна.

Горизонт ELg. 15–20 см. Рис. S4c, S4d. Отличается хорошей аккомодацией округло-плитчатой микроструктуры, с тонкими извилистыми порами упаковки, отчетливой кольцевой ориентацией тонкопылеватых частиц. Округлые агрегаты правильной формы и разного размера с интенсивной железистой пропиткой или нодулом в центре плиток в буроватой основной массе. Вокруг крупных агрегатов — пылеватые скелетаны.

Горизонт BT1g. 25–30, 55–60 см. Рис. S4e, S4f. Аналогично микростроению горизонтов BT1g

разрезов 1Б и 1В имеет мелкие однородные и крупные агрегаты с ожелезнением в центре. Пористость выше в микроразделах с мелкими агрегатами, крупные упакованы компактно. Микромаassa пылевато-глинистая. В мелких агрегатах больше пылеватых частиц, микромаassa анизотропна: околопоровые тонкие прерывистые волокнистые глинистые сепарации.

Горизонт BT2g. 70–75 см. Рис. S4g, S4h. По сравнению с аналогичным горизонтом почв разрезов 1Б и 1В отличается более рыхлым сложением. Агрегирован полностью. Микроагрегаты желтоватого цвета, округлые, размером 200–500 мкм и до 1 мм, состоят из первичных агрегатов, часть агрегатов сцементирована гидрооксидами железа в центральной части. Агрегаты без аккомодации. Микромаassa (железисто)-глинистая с небольшой долей пылеватых частиц. Крупные агрегаты, иногда идеально круглые с интенсивной железистой пропиткой в центре и тонкими глинистыми кутанами по периферии; или округлые, относительно однородные со слабым ожелезнением в центре и неясной концентричностью пылеватых частиц и тусклой окраской.

В целом исследование микростроения луговых подбелов обнаруживает следующие общие черты гумусовых горизонтов: темная окраска, гумус типа мулль, хорошо оформленная двух- или многопорядковая микроструктура с наибольшей долей крупных, по сравнению с другими горизонтами, микроагрегатов (0.25–1.0 мм), высокое содержание гумуса и минимальное количество растительных остатков, что соответствует критериям темногумусового горизонта AU. Влажное жаркое лето обеспечивает относительно быструю трансформацию большой массы травяного опада с участием микрофауны: оribатид и энхитреид; органо-минеральных копролитов очень мало. Однако присутствие небольшого количества углистых частиц свидетельствует об избыточном увлажнении, как и небольшое количество мелких железистых нодул.

По строению агрегатов почвы несколько различаются, при том, что агрегаты первого порядка однородны по составу и строению. Плитки, в которые собраны первичные агрегаты, лучше выражены в разрезах 1Б и 3. Коэффициент структурности у него самый высокий. В верхнем горизонте разреза на склоне агрегаты имеют иной облик: они округлые, с анизотропной микромаассой, иногда с “шапочками”. Можно предположить, что они связаны с криогенными перемещениями по склону.

Общей чертой всех элювиальных горизонтов является повышенное содержание пылеватой фракции в микромаассе, тренд к слоистости-плитчатости на фоне относительно компактного сложения. Плитчатость, по мнению большинства исследователей, формируется ледяными шилами. Данные микроагрегатного анализа показывают резкий

минимум в содержании микроагрегатов и минимальный показатель структурности. В шлифах из элювиальных горизонтов много гумусово-железистых нодулей, часть которых является ядром нечетких округлых агрегатов. В центрах агрегатов без нодулей отмечается интенсивная железистая пропитка или хлопья. В агрегатах с ожелезненным центром почвы понижения есть полосы оптически ориентированных глин. Присутствие железистых новообразований свидетельствует о застойно-промывном водном и пульсирующем окислительно-восстановительном режимах, приводящих к концентрации соединений железа в различных микроформах параллельно с образованием осветленного слабо агрегированного материала.

Срединный горизонт BT1g выделяется как текстурный — иллювиальный по содержанию илстой фракции, хотя в нашем случае не исключается литологическая неоднородность, в частности, в почве понижения: значения Кд сильно превышают требования диагностики текстурного горизонта BT по классификации почв России [7]. Другой его важный признак — иллювиальные кутаны, обнаруживающие при исследовании в шлифах небольшую толщину и, часто, прерывистость. Самый яркий микропризнак горизонта — сплошная агрегированность. Выделяется три типа агрегатов: “с железистым нодулем”, “с хлопьевидными стяжениями или плотной пропиткой в центре, преимущественно округлые, близкие к округло-блоковым с тонкими глинистыми кутанами по периферии, сплошными или прерывистыми¹”, “со слабым ожелезнением в центре и с признаками концентрической организации”. Размеры агрегатов колеблются от 1 до 3 мм, они имеют четкие внешние границы и выражены тем лучше, чем выше доля пылеватых частиц в основной массе. Сепарации скелета и микромагниты встречаются редко, что, по мнению [33], обычно для глинистых мерзлотных почв. Высокая структурность горизонта подтверждается профильным ходом величин коэффициента структурности, самым высоким в профиле. Основная масса содержит некоторое количество рассеянного тонкодисперсного гумуса, что может быть причиной темной окраски и соответствует аналитическим данным.

В нижней части текстурного горизонта в целом сохраняются микроструктуры с агрегатами с ожелезненными ядрами, но они становятся более компактными. Оглеение проявляется в виде железистых стяжений различных размеров и форм обычно внутри агрегатов как индикатор криогенного обогащения незамерзшей части влаги растворимыми веществами при образовании льда. С глубиной меняются проявления оглеения: к глинисто-железистым и железистым кутанам добавляется ярко выраженная микроразнональность, как

следствие миграции скелетаны по трещинам. Застойный водный режим в холодных глубоких горизонтах определяет не только развитие “классического” оглеения, но и аккумуляцию иллювиальной глины в виде крупных однородных кутан в основной массе и по трещинам и образование агрегатов и аморфных гидрооксидов железа, что может быть связано с промерзанием. Сохранность органических остатков аналогична описанной в тундровых почвах [14] в предлагаемом ими горизонте CRO — надмерзлотно-органно-аккумулятивному.

Комплекс микропризнаков верхней части текстурного горизонта во многом соответствует представлениям о свойствах и генезисе гумусово-криометаморфического горизонта CRH в классификации почв России [7] — горизонта, формирующегося в гумусированных избыточно увлажненных почвах с близким залеганием мерзлоты или глубоким промерзанием. По комплексу свойств рассматриваемый срединный горизонт соответствует определению текстурного BT, но может быть дополнительно охарактеризован на уровне сложного подтипа как глееватый и гумусово-криометаморфический с диагностическими признаками g и cgh.

В итоге формулу объектов исследования — профиля лугового подбела — в системе классификации почв России можно представить следующим образом: (O)—AU(ao)—ELnn—BTcrh—BTg—BCg(@).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние мерзлотного фактора на свойства луговых подбелов проявляется в развитии особых микропризнаков, связанных с длительностью промерзания, режимами заморозания—оттаивания, увлажнения—иссушения, гранулометрическим составом. В глубокопромерзающих и мерзлотных почвах эти признаки почти идентичны и дифференцированы по генетическим горизонтам.

Несмотря на влияние длительного промерзания, для *гумусового горизонта* характерно формирование гумуса мулль. Различия в увлажнении проявляются в соотношении слаборазложившихся, углистых и ожелезненных растительных остатков, их фрагментированности и в характере агрегатов гумусовых горизонтов. Плитчато-чешуйчатая структура, образованная динамикой ледяных шлиров, выражена во всех гумусовых и элювиальных горизонтах независимо от количества и состава (гумусированности) округлых биогенных агрегатов. Циклическое промерзание не мешает активности клещей и энхитреид, копролиты которых обнаружены в гумусовых горизонтах.

В верхних горизонтах почвы понижения, расположенных в зоне активного подтягивания влаги к фронту промерзания, ледяные шлиры формируют неровные плитчатые агрегаты второго порядка,

¹ Иногда в таких агрегатах обнаруживаются “шапочки”.

включающие округлые железисто-гумусовые агрегаты. В остальных почвах перестройка округлых гумусовых агрегатов ограничивается их субпараллельной ориентацией. Максимум плотных Fe-гумусовых нодулей приходится на осветленные (обезжелезненные) *элювиальные горизонты* с контрастным редокс-режимом при фазовых переходах влаги.

В верхних частях *текстурных горизонтов* сегрегация железа выражена иначе и слабее. Отмечены нодули с диффузными границами, железистые кольца и пропитка центральных частей некоторых агрегатов. Встречаются округлые агрегаты с кольцевой ориентацией глины вокруг гумусово-железистых центров, которые можно отнести к агрегатам-ооидам, генезис которых связывают с криогенными процессами.

Ниже текстурных горизонтов характерны типичные застойно-глеевые черты: массивная микроструктура, яркая микрозональность по железу, чисто железистые кутаны, редкие углефицированные растительные остатки. В отличие от собственно мерзлотных почв, они связаны с тяжелым гранулометрическим составом и аккумуляцией влаги снеготаяния и муссонных дождей.

Наличие на макроуровне криотурбаций во всех профилях подтверждает криогенную природу выявленных микропризнаков.

Во всех трех разрезах, начиная примерно с полуметра, появляются тонкие глинистые слоистые кутаны, иногда сложные с железистыми и гумусовыми пылеватými слоями. По-видимому, глинисто-иллювиальный процесс усиливается в периоды оттаивания в начале лета и во время летних муссонных дождей. Слоистые глинистые кутаны в нижних горизонтах частично разрушаются, вероятно, в результате не только периодического промерзания, но и процессов набухания и усадки благодаря смектитам в составе глинистых минералов.

Таким образом, для глинистых гумусированных длительно промерзающих почв характерны:

1) фрагментирование ожелезненных растительных остатков, криогенное оструктурирование верхних горизонтов, образование линзовидных и плитчатых микроструктур;

2) редокс-криогенные плитчато-линзовидные микроструктуры с большим количеством органико-железистых нодулей в элювиальных горизонтах и изометрические микроструктуры с кольцевой ООГ на периферии вокруг гумусово-железистых стяжений в текстурных горизонтах — ооиды;

3) кольцевая ориентация силикатных пылеватых частиц при соответствующем (пылеватом) гранулометрическом составе;

4) причины образования стресс-кутан — тонких гипокутан на поверхности агрегатов при смене температурных режимов, а также разрушение

слоистых глинистых кутан при смене режимов увлажнения—иссушения при мерзлотных процессах остаются дискуссионными.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность д.г.н. Валентине Ивановне Росликовой за помощь в обсуждении полученного материала и к.б.н. Оксане Олеговне Плотниковой за помощь в описании и фотографировании почвенных шлифов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке бюджетного финансирования по темам НИР: № 121030100228-4 ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, № 0591-2019-0028 и 0439-2022-0013 ФГБНУ ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу <https://doi.org/10.31857/S0032180X24050016>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова М.И., Ковда И.В., Лебедева М.П., Туркина Т.В. Микроморфологические термины как отражение современного состояния исследований микростроения почв // Почвоведение. 2011. № 7. С. 804–817.
2. Герасимова М.И., Росликова В.И. Микроморфология луговых почв Приханкайской низменности // Почвоведение 1985. № 1. С. 106–114.
3. Гынинова А.Б. Луговые подбелы Приамурья (микроморфология, физические и химические свойства в связи с мелиорацией). Дис. ... канд. биол. наук. М., 1991. 179 с.
4. Гынинова А.Б., Шоба С.А., Балсанова Л.Д. Влияние криогенных факторов на морфогенез луговых подбелов Приамурья // Вестник МГУ. 2008. № 3. С. 10–14.
5. Ершов Э.Д. Влагоперенос и криогенные текстуры в дисперсных породах. М.: Изд-во МГУ, 1979. 214 с.
6. Жангуров Е.В., Лебедева (Верба) М.П., Забоева И.В. Микростроение генетических горизонтов автоморфных таежных почв Тимана // Почвоведение. 2011. № 3. С. 288–299.

7. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
8. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
9. *Иванов Г.И.* Почвообразование на юге Дальнего Востока. М., 1976. 200 с.
10. *Конищев В.Н., Rogov B.B.* Микроморфология криогенных почв и грунтов // Почвоведение. 1977. № 2. С. 119–125.
11. *Ливеровский Ю.А., Карманов И.И.* Почвы // Дальний Восток. Физико-географическая характеристика. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 159–182.
12. *Ливеровский Ю.А., Росликова В.И.* О генезисе некоторых луговых почв Приморья // Почвоведение. 1962. № 8. С. 36–40.
13. *Ливеровский Ю.А., Рубцова Л.П.* Почвенно-географическое районирование Приамурья. // Вопросы природного районирования Советского Дальнего Востока в связи с районной планировкой. М., 1962. С. 149–170.
14. *Лупачев А.В., Губин С.В., Герасимова М.И.* Проблемы диагностики криогенных почв в современной классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 10. с. 1157–1162.
15. *Макеев О.В.* Мерзлота как фактор почвообразования // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 196–201.
16. *Макеев О.В.* Криология почв. М.: Изд-во РАН, 2019. 464 с.
17. *Матюшкина Л.А., Чижикова Н.П.* Химико-минералогические особенности тонкодисперсных фракций в почвах Среднеамурской низменности // Рациональное использование почв Приамурья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 76–93.
18. *Морозова Т.Д.* Мерзлотные палевые почвы Центральной Якутии // Микроморфологический метод в исследовании почв. М.: Наука, 1966. С. 93–114.
19. *Новороцкий П.В.* Климатические изменения в южных районах Хабаровского края и Еврейской автономной области // Глобальные и региональные изменения климата. 2013. № 3. С. 16–22.
20. *Пастухов А.В.* Микроморфологическое строение мерзлотных и длительно сезонно-промерзающих суглинистых почв европейского Северо-Востока // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. Вып. 4(12). С. 30–39.
21. *Петров Е.С., Новороцкий П.В., Ленишин В.Т.* Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
22. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
23. Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн / Под ред. Фридланда В.М. М.: ГУГК при СМ СССР, 1988. 16 л.
24. *Rogov B.B.* Основы криогенеза. Новосибирск: ГЕО, 2009. 203 с.
25. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: Академический Проект, 2004. 432 с.
26. *Росликова В.И., Рыбачук Н.А., Короткий А.М.* Атлас почв юга Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. 246 с.
27. *Скворцова Е.Б., Шеин Е.В., Абросимов К.Н., Романенко К.А., Юдина А.В., Клюева В.В., Хайдапова Д.Д., Rogov B.B.* Влияние многократного замораживания – оттаивания на микроструктуру агрегатов дерново-подзолистой почвы (микротомографический анализ) // Почвоведение. 2018. № 2. С. 187–196.
28. Теории и методы физики почв / Под ред. Шеина Е.В., Карпачевского Л.О. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
29. Теория и практика химического анализа почв. / Под ред. Воробьевой Л.А. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
30. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria.
31. *Gyninova A.B., Badmaev N.B., Tsybenov Yu.B., Gonchikov B.N., Mangataev A.Ts., Kulikov A.I. and Sympilova D.P.* Soils of the Darkhitui catena in the southern Vitim Plateau and their micromorphological features. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science the VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society 19–24 July 2021, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 862 012068
32. *Stoops G.* Micromorphology as a tool in soil and regolith studies Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, 2018. 982 p.
33. *Stoops G.* Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. John Wiley & Sons (Publ.), 2021. 240 p.
34. *Tarnocai C., Broil G. and Blume H.-P.* Classification of Permafrost-Affected Soils in the WRB // Cryosols Permafrost – Affected Soils. Berlin: Springer-Verlag, 2004. P. 637–656.
35. *Van Vliet-Lanoe B., Fox C.A., Gubin S.V.* Chapter 2. Micromorphology of Cryosols // Cryosols: Permafrost-affected soils. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2004. P. 365–390.
36. *Van Vliet-Lanoe B., Fox C.A.* Frost Action / Stoops G. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, 2018. P. 575–603.

Micromorphological Cryogenic Features in Meadow Podbels of Middle-Amur Lowland

A. B. Gyninova^{1, *}, M. I. Gerasimova^{2, 3}, and M. P. Lebedeva³

¹Russia Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, 670047 Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

³Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: ayur.gyninova@mail.ru*

Meadow podbels (dark-humus gleyic and gleypodbels in the Classification of soils of Russia) are subject to deep and prolonged freezing in the western part of their area. It is manifested in cryogenic deformations of genetic horizons as well as in thin sections. Micromorphological features of soils on permafrost are well known, and the purpose of this research was to reveal them in three profiles of meadow podbels as related to soil cryological and hydrological regimes. Unlike northern cryogenic soils, the meadow podbels have dark-humus horizons with weak cryogenic manifestations; in eluvial horizons, there are frost-created platy microstructures and numerous iron-organic nodules of any size. Specific microstructures are common in textural BT horizons: these are rounded or ellipsoidal peds with iron-organic nodules in their nuclei, and ooids: rounded aggregates with iron impregnation/segregations in their centres and circular striated b-fabric of the micromass on aggregate peripheries. Typical gley microfeatures in the lowermost clayey horizons are well expressed, along with illuviation clay coatings, part of them being deformed. The skeleton grains and micromass re-arrangement, as well as concentric orientation of skeleton grains in the groundmass, are weak as compared to cryogenic soils with permafrost.

Keywords: platy microstructures, ooids, skeleton grains, deeply freezing humus-rich soils, freeze/thaw regime