

УДК 551.34

РЕЗУЛЬТАТЫ КРИОТРАСОЛОГИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ПАЛЕОПОЧВ, ВЫЯВЛЕННЫХ К СЕВЕРУ ОТ ЛЁССОВОГО ПОЯСА ЕВРОПЫ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В. С. Шейнкман^{1,2,3,*}, академик РАН В. С. Мельников^{1,2,3},
С. Н. Седов^{1,2,3}, А. В. Русаков^{4,5}

Поступило 23.07.2018 г.

Промерзание горных пород воздействует на почвенные комплексы при максимальных градиентах температур и формирует в твердофазной матрице почв набор специфических криотрасологических признаков. Сохраняясь, эти признаки служат прямыми или косвенными индикаторами бывших криогенных обстановок. К прямым индикаторам относится преобразование почвенной массы на макро- и микроморфологическом уровне, к косвенным — оглеение почв в дренированных средах, обусловленное наличием в прошлом мёрзлых водоупоров. Комплекс таких признаков, выявленных в палеопочвах к северу от лёссового пояса Европы и Западной Сибири, использован авторами для оценок мерзлотных обстановок позднего плейстоцена.

Ключевые слова: криогенные индикаторы, палеопочвы, плейстоценовые реконструкции.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524873317-321>

Криотрасология, одно из новых направлений криологии [3], нацелена на расширение информационной базы знаний о мире холода и использовании для индикации и реконструкции криогенных обстановок и образований дополнительных данных о них как на макро-, так и микроуровне их изучения. Это касается не только наиболее репрезентативного в плане проявления криогенеза геологического периода — квартера, но и более отдалённого прошлого. Чаше реконструкции проводятся на основе анализа эвидентных признаков воздействия криогенеза на горные породы по проявлению в них льда и следов его присутствия. Немало информации несут и латентные признаки: её объём значителен, но ещё мало освоен, так как она требует распознавания тонких механизмов модифицирующего воздействия криолитогенеза в поле многолетних циклических преобразований мёрзлых и промерзающих пород. Все эти признаки могут быть объединены понятием “криотрасологические индикаторы”. Один из ёмких их наборов несут почвы как открытые системы, в среде которых идёт трансформация материнского

субстрата под воздействием факторов почвообразования, среди которых одним из ведущих является такой регулятор криогенеза, как климат.

В зоне многолетнемёрзлых пород (ММП) почвообразование обычно охватывает талый слой (исключение — толщи с мощными таликами), а в зоне сезонной мерзлоты регулируется промерзанием пород — почвенный профиль тогда нередко составляет несколько метров, что, как правило, превышает мощность сезонно-мёрзлого слоя. Отражение криолитогенеза фиксируется в почвах как специфический блок памяти [5], и в нём записано воздействие на твердофазную почвенную матрицу генерированных и модифицированных криолитогенезом элементарных почвообразовательных процессов. На уровне современного криоморфизма эти записи неплохо изучены: они детально рассмотрены в ряде фундаментальных работ (например, в [7]). Но опыт проекции данного знания на прошлое с детальным прочтением записей о мерзлотных обстановках ограничен. Набор носителей почвенных записей в базовом труде [5], например, рассмотрен широко, но раздела о педогенных признаках былого криогенеза там нет. Авторы, приобретя опыт выявления криотрасологических индикаторов как носителей информации о криогенных обстановках прошлого, в меру своих сил этот пробел восполняют.

Важно то, что в породообразующей матрице почв определяемые криолитогенезом признаки сохраняются после их выхода из-под криогенного влияния.

¹ Тюменский государственный университет

² Институт криосферы Земли

Тюменского научного центра

Сибирского отделения Российской Академии наук

³ Тюменский индустриальный университет

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет

⁵ Российский государственный педагогический университет

им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

*E-mail: vlad.sheinkman@mail.ru

Ибо, подвергаясь воздействию экзогенных и порой эндогенных процессов, почвы среди всех верхних слоёв литосферы находятся под влиянием самых больших градиентов температуры и влажности, и в условиях криолитогенеза в них идёт особое, причём весьма существенное преобразование, связанное с появлением воды и её фазовыми переходами.

Применение криотрасологических индикаторов наиболее эффективно показало себя при изучении почв Морской изотопной станции (МИС) МИС-5–2, особенно термохрона МИС-3 (~55–25 тыс. лет назад) — он важен, так как его ход сравнивают с текущим потеплением. Почвы МИС-3 давно используются для индикации пород лёссового пояса, но севернее они мало изучены, и существенно расширить их информационную базу позволили криотрасологические индикаторы. Преобразованные криолито-генезом почвы МИС-3 были выявлены в Верхнем Поволжье и на севере Западной Сибири [9–11, 13], и в последнем случае результаты особо важны: значительной частью исследователей здесь была принята модель покровного ледника, и они были уверены в нереальности в появления в этой зоне палеопочв. Сделав анализ данных сторонников и противников такой модели, авторы провели на севере Западной Сибири своё исследование. Реликтов ледников они не обнаружили; ими было выявлено господство процессов глубокого промерзания земной коры в квартере на фоне саморазвития речной сети [12, 13], и тогда их усилия были направлены на поиск преобразованных криолито-генезом палеопочв, которые в отсутствие ледникового покрова так или иначе в этой зоне тогда могли иметь место. Вскоре они были установлены в восточной части Сибирских Увалов — вверху и в центре 30–40-метровой аллювиальной террасы (её кровля здесь имеет отметки 110–130 м). По первой палеопочве получена серия ^{14}C -дат конца МИС-3 (~35–25 тыс. л.н.), а по второй — U/Th-датировка, фиксирующая конец МИС-5 (~100 тыс. л.н.) [9–11]. Все исследованные палеопочвы были хорошо сохранены, состояли из торфянисто-перегнойного и глеевого горизонтов и имели реакцию среды, близкую к нейтральной, в отличие от слабокислой реакции у современного, не имеющего признаков гидроморфизма, подзола.

Исследование микроморфологического строения почв показало ясное проявление криотрасологических признаков и у волжских, и у сибирских почв, и в обоих случаях набор таких признаков сходен для палеопочв МИС-3 ненарушенного сложения. В их торфянистых и перегнойных горизонтах (рис. 1, I) изобилуют слаборазложившиеся растительные фраг-

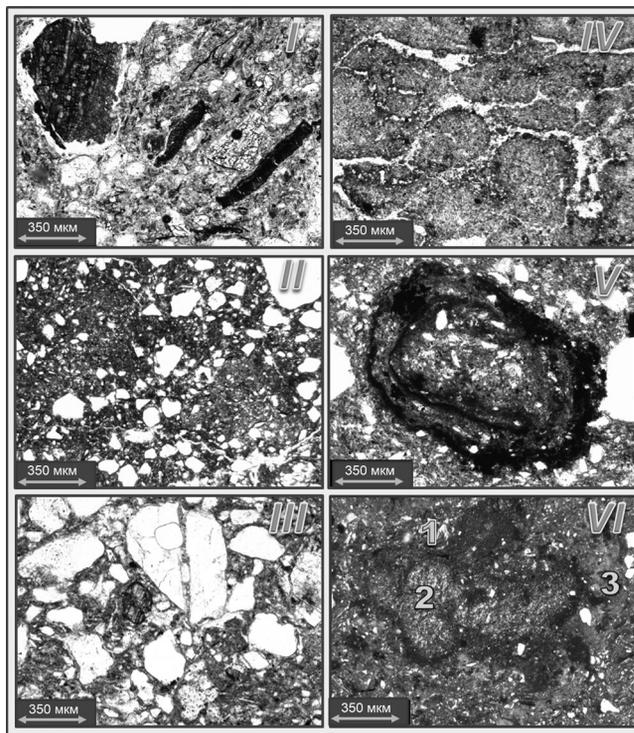


Рис. 1. Микроморфологическое строение палеопочв МИС-3 и проявляемые в нём криотрасологические индикаторы (пояснения в тексте). I — фрагменты растительных остатков разнообразной ориентации, смешанные с минеральным материалом, педокомплекс разреза Косково (Верхняя Волга), горизонт Нб; II — кольцевое расположение песчаных зёрен, когда центральная часть колец занята пылевато-глинистым материалом, педокомплекс разреза Косково (Верхняя Волга), горизонт Срб; III — морозное растрескивание песчаного зерна кварца, педокомплекс разреза Черемошник, бассейн Верхней Волги, горизонт Agb3; IV — криогенная блоковая и плитчатая микроструктура, связанная со шлировым льдовыделением, разрез Белая Гора (р. Вах, правобережье Средней Оби), горизонт Vgb; V — концентрическое железистое стяжение в палеопочве из разреза Пужбол (Верхняя Волга), горизонт DG2; VI — обрамлённые кристаллами гипса (1) и гидроксидами железа (2) стяжение новообразованного пирита (3) в палеопочве из разреза Зелёный Остров (р. Сабун, правобережье Средней Оби), горизонт Ahb. Фото С.Н. Седова.

менты, которые перемешаны с минеральным материалом, частично деформированы и имеют разную ориентацию. Но признаков активности мезофауны здесь не замечено: почвенная масса остаётся компактной, отсутствуют агрегаты-копролиты, биогенные поры, каналы и камеры. Наблюдаемое на макро- и микроуровнях и сопровождающееся фрагментацией и деформацией органического детрита смешение органогенных и минеральных частиц — это характерный признак [8] криотурбаций в сочетании с криогенным разрушением растительных остатков.

Поэтому в рассматриваемых палеопочвах авторы выявленные ими признаки интерпретируют как прямые криотрасологические индикаторы. В минеральных горизонтах наблюдалось также неоднородное распределение частиц различного размера. Крупные песчаные частицы образовывали кластеры (рис. 1, *II*), иногда кольцевые структуры и скопления в порах в соседстве с микрозонами, обогащёнными пылевато-глинистым материалом — итогом [1] мерзлотной сортировки частиц. В ряде случаев отмечено (рис. 1, *III*) растрескивание крупных песчаных зёрен со смещением образовавшихся фрагментов, причём минеральные горизонты волжских палеопочв были очень компактны — поровая сеть в них и микроструктура не выражены. Тогда как у палеопочв Сибирских Увалов хорошо развита структура из компактных блоков и линзовидных агрегатов, разделённых трещинной сетью (рис. 1, *IV*) — по [8, 15] подобные структуры отражают многократные циклы промерзания.

Отличительной особенностью оглеённых горизонтов всех палеопочв было наличие в них железистых новообразований (рис. 1, *I*) — округлых и концентрических микроконкреций. В одной из палеопочв Сибирских Увалов было также обнаружено присутствие скоплений фрамбонидов пирита в ассоциации с гидроксидами железа, образовавшегося при окислении сульфидов и кристаллов гипса как итог окислительно-восстановительных процессов, происходивших в условиях насыщения почвы влагой (рис. 1, *VI*).

Сходство исследованных почв подчёркивало их общий генезис. Они в обоих случаях включали перегнойно-торфянистый поверхностный горизонт, подстилаемый оглеённым минеральным горизонтом, иногда с криогенной микроструктурой. Важно учитывать их формирование в неблагоприятной для оглеения среде — оно требует насыщения почв влагой, обеспечивающей восстановительную обстановку, и тогда идёт ответственная за формирование признаков оглеения мобилизация железа; глеевые почвы поэтому тяготеют к переувлажнённым понижениям и слабодренированным водоразделам. В противоречии с этим наши глеевые почвы занимают хорошо дренированные части склонов, выпуклые водоразделы и высокие части террас, где признаков современного застоя влаги нет. Наиболее приемлемой гипотезой их развития является мерзлотная — лишь наличие водоупора ММП могло обеспечить в данных условиях застой влаги и запуск окислительно-восстановительных процессов, генерирующих глеевые признаки.

Отличие таких палеопочв от палеопочв, синхронных им, но расположенных в поясе лёссов, кардинальное. В лёссах Европы они представлены карбонатными и бурыми горизонтами [4], и их современными аналогами считают палевые почвы Якутии, а в Западной Сибири это искитимский педокомплекс, сформированный слабо развитыми чернозёмами [2]. К северу от них применение криотрасологических индикаторов как раз и показывает реальность специфической северной зоны мерзлотно-глеевых почв МИС-3.

Важно понять переход от МИС-3 к самому холодному криохрону квартера МИС-2. Именно в конце МИС-3 и начале МИС-2 в европейских лёссах появляются палеопочвы с сильным оглеением — с неоднородной окраской субстрата и бледно-сизыми и яркими охристыми пятнами [14]. Применение криотрасологических индикаторов обеспечивает перспективы их более глубокой интерпретации, тем более что лёссы — это содержащие карбонаты (они ограничивают мобилизацию железа) пористые породы с хорошим внутренним дренажем. Единственной приемлемой гипотезой, как и в случае с нашими сибирскими почвами, для объяснения сильного оглеения в них является наличие мёрзлого водоупора. В разрезе Пюлькы в верховьях р. Таз авторы также обнаружили (рис. 2) относящиеся к пе-

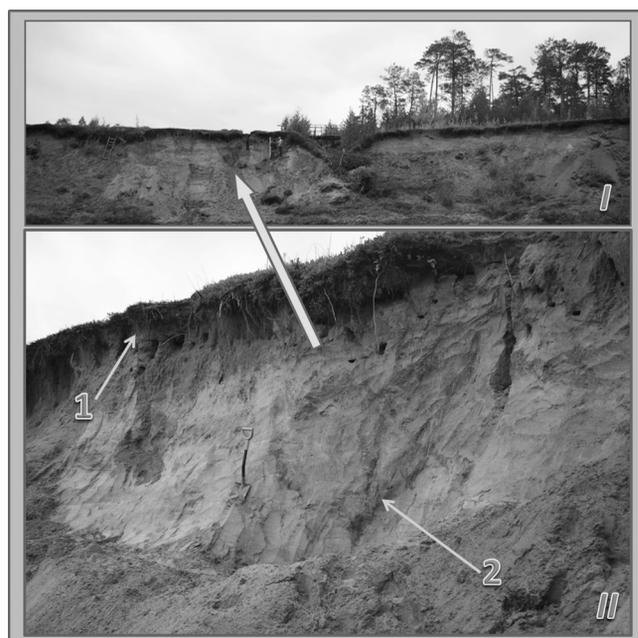


Рис. 2. Верхняя часть разреза Пюлькы в верховьях р. Таз: *I* — общий вид, *II* — часть разреза с псевдоморфозой по полигонально-жильному льду; 1 — современный подзол, 2 — палеопочва конца МИС-2, окаймляющая прежнее мёрзлое основание. Фото В.С. Шейнкмана.

реходу плейстоцен—голоцен оглеённые почвы хорошо дренированных высоких песчаных террас, у которых голоценовые поверхностные почвы — это хорошо развитые подбуры и подзолы без признаков оглеения. Характерно, что здесь палеопочвы в виде педоседиментов переходят в осадки заполнения псевдоморфоз по хорошо выраженным полигонально-жильным льдам МИС-2. Из ржаво-бурого горизонта в окаймлении одной из таких псевдоморфоз по его гумусу авторы недавно получили ^{14}C -датировку; она дала календарный возраст 10889 ± 146 лет (датировка по паспорту ICA 170S/0629), подтвердивший время конца МИС-2 — начала голоцена.

Интерпретируя подобные палеопочвы, следует понимать, что оглеение криолитогенез контролирует двояко. С одной стороны, для развития мёрзлых слоёв, становящихся водоупором и обеспечивающих застой влаги, климат должен быть достаточно холодным. С другой стороны, оглеение проводится микроорганизмами, активность которых с определённого момента при усилении похолодания подавляется, окислительно-восстановительные процессы затормаживаются и морфологически их признаки, несмотря на близость ММП и насыщение сезонно-талого слоя влагой, не проявляются. В [6] это охарактеризовано как гидроморфное неглеевое почвообразование, и такие почвы названы криозёмами, которые распространены в наиболее холодных континентальных областях зоны ММП.

В целом криотрасологические индикаторы, отражая наложение на педогенез криогенеза, позволяют уточнить характер обстановок. Появление преобразованных криогенезом почв, отличающихся от почв тёплых эпох, указывает на похолодание с формированием ММП. А внутри криохронов глеевые уровни, становясь свидетелями относительно более мягких событий, позволяют детализировать их, фиксируя достаточное для активизации микробиологических процессов прогревание почвы над мерзлотой. Так или иначе авторы полагают, что освещённый в сообщении материал ясно показывает, что использование криотрасологических педогенных индикаторов для интерпретации обстановок прошлого имеет большую перспективу.

Источники финансирования. Работа выполнена по госзаданию согласно проекту IX 135.2.2, гранту РФФИ 18–55–11005 АФ_т, а также при поддержке партнёрских проектов ТюмНЦ СО РАН и Тюменского индустриального и Тюменского государственного университетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А.* Микроморфология почв природных зон СССР. Пушкино: Пушкин. науч. центр РАН, 1992. 214 с.
2. *Зыкина В.С., Зыкин В.С.* Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Гео, 2012. 477 с.
3. *Мельников В.П., Геннадиник В.Б., Брушков А.В.* // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 2. С. 3–11.
4. *Морозова Т.Д.* Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. М.: Наука, 1981. 281 с.
5. Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Под ред. В.О. Таргульяна, С.В. Горячкина. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.
6. *Соколов И.А.* // Почвоведение. 1980. № 1. С. 21–32.
7. *Bockheim J.G.* Cryopedology. Heidelberg; N.Y.; Dordrecht; L.: Springer Press, 2015. 177 p.
8. *Gubin S.V.* // Dokuchaev Soil Bull. 2016. № 86. P. 53–63.
9. *Rusakov A., Sedov S.* // Quatern. Intern. 2012. V. 265. P. 126–141.
10. *Rusakov A., Sedov S., Sheinkman V., et al.* // Quatern. Intern. 2019. V. 501. P. 174–192.
11. *Sedov S., Rusakov A., Sheinkman V., Korkka M.* // Catena. 2016. № 146. P. 38–47.
12. *Sheinkman V.* // Quatern. Intern. 2016. V. 420. P. 15–23.
13. *Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh L., et al.* // Quatern. Intern. 2016. V. 418. P. 132–146.
14. *Terhorst B., Sedov S., Sprafke T., et al.* // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2015. № 418. P. 43–56.
15. *Van Vliet-Lanoë B.* In: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Amsterdam: Elsevier, 2010. P. 81–106.

**RESULTS OF CRYOTRASOLOGIC INDICATION
OF PALEOSOLS ENCOUNTERED TO THE NORTH
OF THE EUROPEAN AND WEST-SIBERIAN LOESS BELT**

**V. S. Sheinkman^{1,2,3}, Academician of the RAS V. P. Melnikov^{1,2,3},
S. N. Sedov^{1,2,3}, A. V. Rusakov^{4,5}**

¹*Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation*

²*Eath's Cryosphere Institute, Tyumen science Center, Siberian Branch of RAS,
Tyumen, Russian Federation*

³*Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation*

⁴*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation*

⁵*A.I. Herzen' Russian State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russian Federation*

Received July 23, 2018

Rock freezing affects the soil complexes under maximal temperature gradients and forms a set of specific cryotrasological features in the solid soil matrix. When preserved these features serve as direct or indirect indicators of the past cryogenic conditions. Transformation of soil material on macro- and microscale belongs to the direct indicators whereas gleying in the well-drained positions, conditioned by the permafrost waterlogging is an indirect indicator. A variety of these features observed in the paleosols to the north of the European and West Siberian Loess belt was used by the authors to reconstruct the cryogenic environments of the late Pleistocene.

Keywords: cryogenic indicators, paleosols, Pleistocene reconstruction.