

**РЕЛИКТОВАЯ КРИОГЕННАЯ МОРФОСКУЛЬПТУРА
В РАЗРЕЗАХ И РЕЛЬЕФЕ БОРИСОГЛЕБСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

Е.В. Гаранкина^{1,2}, В.А. Лобков¹, И.Г. Шоркунов¹, В.Р. Беляев^{1,2}

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия, evgarankina@gmail.com

² Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**RELICT PERMAFROST FEATURES
IN DEPOSITS AND LANDSCAPE OF BORISOGLEBSK UPLAND**

E.V. Garankina^{1,2}, V.A. Lobkov¹, I.G. Shorkunov¹, V.R. Belyaev^{1,2}

¹ Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

² Faculty of Geography Lomonosov MSU, Moscow, Russia

Возвышенности краевой зоны московского оледенения в перегляциальных условиях позднего плейстоцена длительно подвергались сезонному и многолетнему промерзанию [9, 17]. Об этом свидетельствует ряд реликтовых криогенных признаков и форм, сохранившихся в покровных отложениях междуречий [1, 2, 3]. Наиболее яркими следами позднеплейстоценового криогенеза являются разномасштабные полигональные сети псевдоморфоз по ледяным и ледогрунтовым клиньям и изначально грунтовых жил [6, 13]. Они отражают различия условий как возникновения самих мерзлотных ландшафтов, так и их последующей трансформации при вытаивании подземных льдов. Несколько осцилляций валдайского ледникового покрова спровоцировали наложение друг на друга разновозрастных криогенных признаков, которые как правило относят к трем криогенным горизонтам: смоленскому (ранневалдайскому), владимирскому (средневалдайскому) и ярославскому (поздневалдайскому) [3, 17]. Однако возможность их выявления и стратиграфического расчленения в разрезах и роль в современном ландшафте контролируются не только и не столько степенью изначальной криогенной переработки, сколько временным соотношением с процессами аккумуляции и денудации вещества.

Полигональная реликтовая криогенная морфоскульптура (РКМ) проявляется на распахиваемых полях в виде более или менее упорядоченных сетей, состоящих из многоугольных или округлых ячеек различного размера. В ландшафтной структуре они обычно подчеркнуты характером почвенного и растительного покровов, что отражается в различиях фототона на аэрокосмических изображениях [3, 8, 12]. В то же время в рельефе РКМ выражена не всегда, зачастую будучи полностью погребена или, напротив, значительно срезана. На склонах эрозия, наоборот, может подчеркивать РКМ, используя преимущественно полигональные понижения, наследующие мерзлотные жилы [3]. Более активно этот процесс идет по ложбинам, падающим по общему уклону, в результате чего могут формироваться делли [2, 11].

Борисоглебская возвышенность – одна из крупных позднемосковских форм рельефа – сформирована в условиях разрушения пассивного ледникового покрова. Ее волнистые и ступенчатые междуречья образованы преимущественно в результате озерно-ледникового осадконакопления при участии глыб мертвого льда [4, 16]. Обилие замкнутых понижений инверсионного рельефа обеспечило широкое развитие постледниковой мелководной седиментации [14]. Это отличает возвышенность от типичных конечно-моренных образований и обусловило достаточно высокую динамику трансформации ее рельефа на постледниковом этапе. Распаханные участки междуречий здесь покрыты нерегулярными сетями полигонов и пятен довольно неправильных очертаний. Топографически РКМ здесь практически не выражена в отличие от соседнего Владимирского ополья [1, 3], однако в строении чехла рыхлых отложений ей отвечают контрастные латеральные неоднородности. Поэтому основными задачами исследования было выявить типы погребенных криоструктур и степень их сохранности, а также установить наличие и характер связи между ними и современной ландшафтной организацией.

В период карантина 2020 года мы детально исследовали небольшой участок СВ макросклона Борисоглебской возвышенности (рис. 1), где начались масштабные земельные работы при строительстве животноводческого комплекса. Занимая междуречье двух небольших овражных систем Пужбола и Максимовиц, постепенно расширявшиеся котлованы позволили изучить литологическое строение в серии перпендикулярных вертикальных и горизонтальных срезов. Детально описаны более 20 разрезов глубиной от 1,5 до 3,5 м, выполнена их макросъемка, измерения кажущейся магнитной восприимчивости с регулярным шагом 10-50 см. Отобраны 20 монолитов для мезоморфологического анализа, а также более 400 образцов на комплексный литологический анализ, в т.ч. 30 - для радиоуглеродного датирования. Выявленные в разрезах пачки и вертикальные литоструктуры были прослежены в стенках котлованов общей длиной более 1 пог.км и их днищах площадью около 3 га. Для этого весной-летом 2020 г. было выполнено 5 разновременных съемок участка с БПЛА с наземным геодезическим контролем. Полученные аэрофотопланы, космические снимки высокого разрешения из открытого доступа, а также архивные данные ДЗЗ были проанализированы для выявления полигональных закономерностей в строении отложений, а также почвенного и растительного покрова.

В результате проведенных комплексных исследований литологических, криогенных и педогенных признаков в разрезах установлена стратиграфическая последовательность вмещающих суглинистых пачек (рис. 2), лежащих на супесчаном цоколе позднемосковских водно-ледниковых отложений (I). Неровности ледниковой кровли выполняют светло-серые озерные суглинки (II) [14] относительно небольшой мощности. Выше их сменяет серия контрастных склоновых линзовидно-слоистых пачек с эрозийными контактами: желтовато-серых суглинков (III), буровато-серых до розовато-бурых иловатых суглинков (IV), желтовато-бурых иловато-пылеватых суглинков (V) и красновато-бурых пылеватых суглинков (VI). Каждая из литологических пачек несет в себе и собственный набор педо- и криогенных признаков, указывая на различия в обстановках отложения и стабильного экспонирования материала. В понижениях современного рельефа поверхность наиболее молодой склоновой пачки (VI) фиксируется так называемым вторым гумусовым горизонтом (ВГГ). Его темно-серые насыщенные органическим веществом линзы с осветлением в основании (VII) лучше всего сохраняются под мощными агроделювиальными выполнениями крупных ложбин (VIII).

Описанную слоистую толщу пронизывают, как минимум, 4 генерации погребенных вертикальных структур, контрастно отличающихся от вмещающихся пачек по цвету, составу и текстуре. Большая их часть более или менее V-образной формы сопоставляется псевдоморфозам по жильным структурам с различным изначальным содержанием льда. Так, наиболее древние структуры (C) шириной до 2 м развиты с поверхности пачки (IV); на контакте вмещающие отложения сильно деформированы и затянuty вниз, характерны постшлировые наклонные текстуры, подчеркнутые ожелезнением. Их наследуют более молодые и наиболее выраженные жильные структуры (B), внедряющиеся с поверхности пачки (V) зачастую непосредственно в ледниковый цоколь. Они выполнены пылеватым суглинком до алевроита характерного крупнолинзовидного облика с резкими часто почти вертикальными контактами. Наиболее молодые клиновидные структуры (A) меньших размеров развиты также с поверхности пачки (V), но не проявляют четкой унаследованности по отношению к предыдущим генерациям. Клинья (A) выполнены наклонно до вертикально линзовидно-слоистым темно-серым органоминеральным веществом и имеют резкие остроугольные контакты. В верхней части их материал приобретает флювиальные пологовогнутые линзовидные текстуры, будучи переотложен в ходе накопления перекрывающей пачки (VI).

Отдельного внимания заслуживают диапироподобные, или луковичеобразные [15] структуры (D), расширяющиеся книзу и обычно ассоциированные с осевыми частями жильных псевдоморфоз (B) и (C). Своими корнями они постепенно уходят в озерные отложения (II), а все вышележащие слои и структуры пронизывают вплоть до

приповерхностной пачки (VI). Выполнение этих структур как правило алевритистое, с нарастанием доли ила книзу.

Почти все охарактеризованные структуры контрастно выделяются на фоне вмещающих отложений по повышенным значениям кажущейся магнитной восприимчивости. Лишь темноцветные молодые клинья (А), напротив, обладают наиболее низкими показателями, сравнимыми здесь лишь с также органосодержащим ВГГ. В то же время значения χ переотложенного материала клиньев (А') уже существенно выше и сопоставимы с вмещающими. Исследования во Владимирском ополье [5] показывают, напротив, повышенные значения магнитной восприимчивости для ВГГ, что отражает региональные особенности почвообразования [1].

Таким образом, в истории развития ключевого участка Борисоглебской возвышенности выявлено как минимум три периода формирования жильных мерзлотных структур с различной степенью их последующей переработки. Гетерогенная структура заполнений клиньев, их различный размер, форма и глубина распространения указывает на несколько перестроек в динамике аградации и деградации мерзлоты в течение позднего плейстоцена и раннего голоцена, разделенных интенсивным накоплением склоновых отложений. Пока в отсутствии данных абсолютной геохронологии, это хорошо коррелирует с предложенным А.А. Величко [3, 17] палеокриогенными горизонтами для Русской равнины. Верхние клинья (А и В) могут быть отнесены к ярославскому криогенному горизонту. Более древние псевдоморфозы (В) наследуют крупные ледогрунтовые жилы максимума последнего оледенения. Более молодые темноцветные псевдоморфозы (А) можно отнести к криогенной полигональной сети позднего дриаса, отличавшейся меньшей глубиной, частотой и размером. Вероятно, она отвечала более засушливым условиям позднеледниковья и формировалась по изначально-грунтовому типу без существенного участия льда в клиньях. В пользу этого говорит высокое содержание углерода органических соединений в материале заполнения и сохранность остроугольных контактов с вмещающими (VI). Одновременные почвообразование, интенсивный склоновый снос и криогенез могли быть спровоцированы кратковременным наступанием зоны многолетнего или сезонного промерзания [6]. Наиболее древний уровень клиновидных структур (С), отличающийся большей шириной и иловатостью заполнения, соотносится с Владимирским палеокриогенным горизонтом, сформировавшимся либо на завершающих стадиях брянского интерстадиала, либо в начале последнего оледенения [3, 17]. В пользу этого говорит постшлировая текстура и деформации вмещающих толщ (III-IV) по контакту с этими предположительно допоздневалдайскими клиньями (С), подтверждая, что они были сформированы при участии жильного льда в более влажных условиях.

Красновато-бурые суглинки (VI) перекрывают наиболее молодую генерацию клиньев позднеледниковья (А) и выступают в качестве материнской породы для многократно датированных в исследуемом и соседних районах средним голоценом погребенных темноцветных ВГГ либо подстилают их педолитоседименты [10, 14]. Это позволяет трактовать их как позднеледниково-раннеголоценовые, а само образование небольших клиньев с угловатыми границами относить к одному из резких и суровых, но кратковременных событий позднеледниковья (раннего или позднего дриаса).

Механизм и причины возникновения структур (D) пока не установлены. В Польше для подобных луковицеобразных структур [15] предположили вторичное заполнения ледяных клиньев в мерзлоте при развитии глубокого сезонно-талого слоя. Однако, этот механизм не отвечает литологическому составу исследуемых нами структур. Он имеет явное сродство не к перекрывающим склоновым пачкам, а к подстилающим озерным осадкам, предполагая их внедрение в вышележащие слои. Поэтому диапироподобные структуры (D) следует рассматривать как наиболее молодые образования, несогласно прорывающие вышележащие толщи (включая клинья В и С), вплоть до относительно молодых позднеледниково-раннеголоценовых красно-бурых суглинков (VI). Подобный характер может свидетельствовать в пользу их внутригрунтового происхождения в условиях интенсивной деградации мерзлоты. Они могли быть ассоциированы с узловыми сочленениями криогенной

полигональной сети, где отмечается наиболее активное протекание термокарста [13]. Альтернативной гипотезой их возникновения может служить повторно-инъекционный механизм, предложенный для формирования ледяных диапиров в центральных частях полигонов зоны современной многолетней мерзлоты п-ова Ямал [7]. Однако оба эти варианта плохо согласуются с прослеженной линейной протяженностью структур (D) в днищах котлованов.

На Борисоглебской возвышенности связь между первичными мерзлотными формами и современным ландшафтом гораздо более сложная, нежели предполагается для более южных регионов центра Русской равнины [1, 3]. Во-первых, хорошая сохранность клиновидных структур не согласуется со сглаженной микротопографией. Отсутствуют значимые высотные амплитуды между блоками и межблочьями, отражаемыми в вариациях фототона почвенно-растительного покрова или соответствующими клиновидным структурам во вмещающих отложениях. Лишь единичны случаи проявления субметровых перепадов в пределах полигонов крупного порядка (диаметром 70-100 м). Выраженные в современной микротопографии ложбины на самом деле имеют очень молодой возраст (вероятно, несколько десятилетий или первые столетия), врезааясь в агроделювиальную толщу, начало накопления которой на близлежащих междуречьях определено по датировкам древесных углей в ее подошве не ранее VI-XI века н.э. [10]. Некоторые из них наследуют и более древние и крупные ложбины, часть из которых прослеживается в кровле озерных отложений и их дериватов. Однако, определенной зависимости этих ложбин от РКМ обнаружить не удалось, скорее можно говорить об обратной связи развития РКМ в условиях существующего ложбинного микрорельефа. Таким образом, длительная история склонового переотложения материала, как минимум, со средневалдайского времени привела к хорошей консервации РКМ в осадочном чехле, но практически стерла ее в современном рельефе, сохранив лишь унаследованность характеристик почвенно-растительного покрова от подстилающей полигональной литологической неоднородности, сформированной в максимум последнего оледенения и позднеледниковье.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект 19-77-10061).

Список литературы:

- [1] Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. – Пушино, ОНТИ ПНЦ РАН, – 1995. – 318 с.
- [2] Антонов С.И., Болысов С.И., Мысливец В.И. Криогенные реликты в рельефе и рыхлых отложениях бассейна Средней Протвы // Геоморфология. – 1992. – №1. – С. 41-49.
- [3] Величко А.А. и др. Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. – Москва, Наука, – 1996. – 150 с.
- [4] Гаранкина Е.В. Рельеф междуречий Борисоглебской возвышенности: ледниковое наследие vs постгляциальные метаморфозы // VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова Москва, 2020. – С. 286-292.
- [5] Коснырева М.В. Разработка комплекса геофизических методов для решения прикладных задач почвенного картирования. Дисс. к.г.-м.н., МГУ. – 2007.
- [6] Романовский Н.Н. Формирование полигонально-жильных структур. – Новосибирск, Наука, – 1977. – 212 с.
- [7] Слагода Е.А. и др. Строение и генезис подземных льдов в верхнеледниковых отложениях мыса Марре-Сале (Западный Ямал) // Криосфера Земли. – 2012. – Т.16. – №2. – С. 9-22.
- [8] Andrieux E. et al. Database of Pleistocene periglacial features in France: description of the online version // Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire. – 2016. – V.27. – №4. – С. 329-339., <https://doi.org/10.4000/quaternaire.7717>
- [9] Astakhov V. et al. Glaciomorphological map of the Russian Federation // Quaternary International. – 2016. – V.420. – P. 4-14. [doi:10.1016/j.quaint.2015.09.024](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024)
- [10] Belyaev V.R. et al. Holocene erosion and deposition within a small catchment of the northeastern Borisoglebsk Upland (Central European Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – V.438. – №1. – P. 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012002>

- [11] Czudek T. Pleistocene periglacial structures and landforms in Western Czechoslovakia // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 1993. – V.4. – №1. – С. 65-75.
- [12] Ewertowski M. W. et al. Low-altitude remote sensing and GIS-based analysis of cropmarks: classification of past thermal-contraction-crack polygons in central western Poland // *Geomorphology*. – 2017. – V.293. – P. 418-432. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.022>
- [13] French H. (ed). *The Periglacial Environment*, 3rd ed. – Wiley, – 2007. – 480 p.
- [14] Garankina E. V. et al. Lake sedimentation as an agent of postglacial transformation of interfluvies and fluvial landscapes of the Borisoglebsk Upland, Central European Russia // *Proceedings of the IAHS*. – 2019. – V.381. – P. 13-20. <https://doi.org/10.5194/piahs-381-13-2019>
- [15] Murton J., Worsley P., Gozdzik J. Sand veins and wedges in cold aeolian environments // *Quaternary Science Reviews*. – 2000. – V.19. – №9. – С. 899-922. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00045-1)
- [16] Shishkina Y.V. et al. Postglacial incision-infill cycles at the Borisoglebsk Upland: Correlations between interfluvial headwaters and fluvial network // *International Soil and Water Conservation Research*. – 2019. – V.7. – №2. – P. 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.001>
- [17] Velichko A.A. et al. *Glaciations of the East European Plain: distribution and chronology* // *Developments in Quaternary Sciences*. – Elsevier, 2011. – V.15. – P. 337-359. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00026-X>



Рис. 1. а) Обзорная схема расположения района исследования. б) Положение (космоснимок GeoEye-1, 10.05.2019) и топография (карта землеустройства, 1:10 000, горизонтали через 1 м) ключевого участка. в) Общий вид центральной части ключевого участка. г) Результаты дешифрирования РКМ на БПЛА-ортофотопланах днщ строительных котлованов

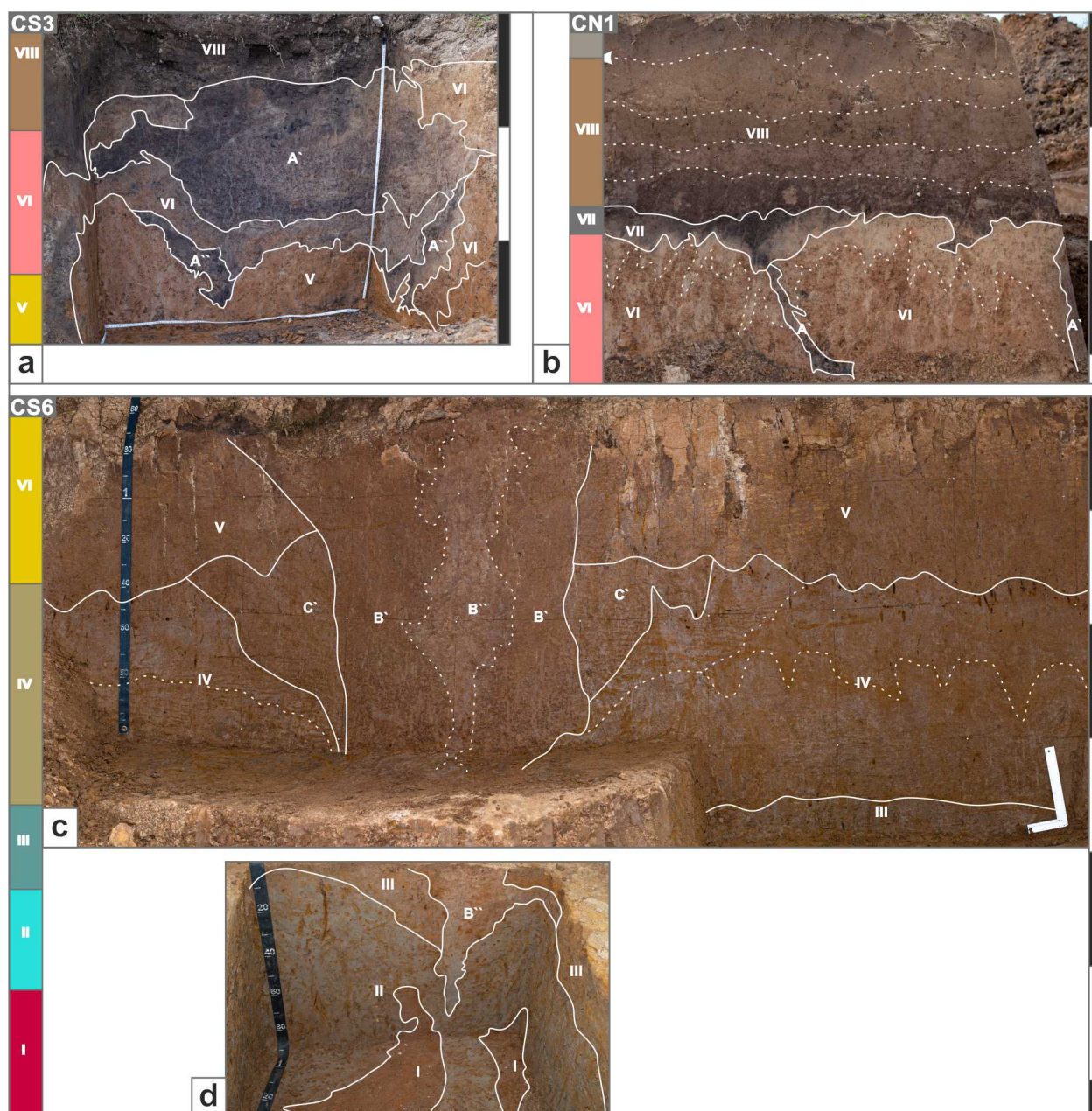


Рис. 2. Разрезы трех генераций клиновидных псевдоморфоз в осадочных пачках (см. текст для пояснений). а) Темноцветные клинья (А''), в верхней части переотложенные с включениями углей (А'). б) Агроделювий (VIII) и ВГТ (VII). в) Жильная структура (В) пронизывает желто-бурый делювий (V), наследуя более древнюю клиновидную структуру (С), которая развивается из-под пачки (V). д) Апофиз структуры (В) проникает в озерные осадки (II) и деформирует водно-ледниковый цоколь (I)