

Палеомерзлотные реликты в ландшафтной структуре межсочных долин Губерлинских гор на Южном Урале

А. Г. Рябуха✉, Д. Г. Поляков

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация
(460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11)

Аннотация. Цель исследования – поиск и изучение ландшафтных и почвенных признаков палеомерзлоты на Южном Урале в Губерлинских горах.

Материалы и методы. Дешифрирование космических снимков высокого разрешения картографических ресурсов Google Earth, Bing Maps, Yandex Maps с целью выявления полигональных образований как ведущих геоморфологических индикаторов палеомерзлоты. Полевые маршрутные и полустационарные исследования на ключевых участках.

Результаты и обсуждения. По материалам космической съемки и полевых исследований впервые на Южном Урале встречены микрорельеф и морфологические признаки, которые интерпретированы как следы реликтовых криогенных структур. Определены площади развития палеокриогенного микрорельефа в межсочных долинах Губерлинских гор, представленного полигональными и бугристыми образованиями. Морфологические особенности изученного микрорельефа указывают на его образование в результате процессов морозобойного растрескивания и формирования грунтовых жил в неоплейстоцене.

Выводы: Впервые для территории Губерлинских гор получены данные о существовании в этом регионе палеомерзлоты в неоплейстоцене и, возможно, в начальные холодные этапы голоцена.

Ключевые слова: реликтовый криогенный микрорельеф, криотурбации, грунтовые жилы, неоплейстоцен, Южный Урал.

Источник финансирования: Статья подготовлена в рамках темы государственного задания «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем», № АААА-А 21-121011190016-1.

Для цитирования: Рябуха А. Г., Поляков Д. Г. Палеомерзлотные реликты в ландшафтной структуре межсочных долин Губерлинских гор на Южном Урале // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 2, с. 20-28. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/20-28>

ВВЕДЕНИЕ

В среднем и позднем неоплейстоцене в криохроны территория Северной Евразии неоднократно испытывала развитие криогенных процессов и подвергалась многолетнему и глубокому сезонному промерзанию, которое сменялось этапами деградации мерзлоты [4, 12, 18]. Максимальное расширение области многолетней мерзлоты произошло в последний криохрон (20-15 тыс. лет назад), когда ее южная граница на Восточно-Европейской равнине доходила до 46° с.ш., а зона глубокого сезонного промерзания опускалась в современные субтропики, до 30-32° с.ш. По данным А. А. Величко, это было время самых суровых климатических условий за весь кайнозой [4].

Свидетелями этих событий являются многочисленные и разнообразные криогенные реликты, которые представлены широким комплексом мерзлотно-геологических явлений в разрезах и палеокриогенным полигональным рельефом. Реликтовые мерзлотные образования на равнинных территориях представлены тремя основными типам: полигональными клиновид-

ными структурами (псевдоморфозами по полигонально-жилным льдам, изначально-грунтовыми жилами, мелкополигональными трещинными образованиями), солифлюкционными образованиями и пластическими деформациями пород [13]. Псевдоморфозы – вторичные образования, возникшие на месте вытаявших ледяных или ледово-грунтовых жил, которые образовывались в многолетнемерзлых породах [13]. Одновременно с псевдоморфозами в отложениях широко распространены изначально-грунтовые жилы, образование которых связано с повторяющимся морозобойным растрескиванием пород в пределах деятельного слоя, когда вода, заполняющая элементарную трещину и замерзающая в ней весной, летом оттаивала и замещалась породой [6]. Формирование пластических деформаций (криотурбаций и инволюций), имеющих в разрезе вид завихрений, изгибов, колец связано с процессами промерзания и оттаивания деятельного слоя, которые приводили к перемешиванию и внедрению горизонтов друг в друга [9, 15].

© Рябуха А. Г., Поляков Д. Г., 2024.

✉ Рябуха Анна Геннадьевна, e-mail: annaryabukha@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Геоморфологическим проявлением древних мерзлотных процессов является реликтовый криогенный микро-рельеф, повсеместно распространенный на водоразделах, пологих склонах и речных террасах в пределах реликтовой позднеплейстоценовой криолитозоны [1, 10, 14]. Он хорошо дешифрируется на космических снимках по характерному рисунку сети полигонов, размеры которых изменяются от нескольких до сотен метров и во многом определяются мощностью и составом рыхлых отложений.

Реликтовые формы имеют современные аналоги, приуроченные к районам криолитозоны со свойственными температурами пород и характером распространения (сплошным, прерывистым, островным, спорадическим).

Детальность изучения реликтовых мерзлотных явлений и форм рельефа на территории Северной Евразии неодинакова. Они хорошо изучены на Восточно-Европейской равнине, юго-западе Западной Сибири, в Северном и Центральном Казахстане, однако практически неизвестны на территории соединяющего их Южного Урала. Известны единичные и разрозненные сведения, такие как палеокриогенные структуры в виде псевдоморфоз по «ледяным» клиньям близ Мугоджар [8]. На восточном склоне Южного Урала описаны криотурбации, грунтовые жилы и «котлы кипения» в разрезах рыхлых осадков, также к реликтам термокарстового рельефа отнесены широко распространенные замкнутые, бессточные округлые озерные котловины [2, 3]. В Зауралье при археологических изысканиях под каменными насыпями зафиксирована сеть почвенных полигонов размером до 2-3 м, которые маркируются серыми полосами шириной около 15 см на коричневатом светло-сером фоне археологического «материка» – горизонтов АВ современной почвы [11].

Исследования с целью поиска ландшафтных и почвенных признаков палеомерзлоты проводились в 2020-2022 годах на Южном Урале в Губерлинских горах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Губерлинские горы находятся на востоке Оренбургской области в бассейне реки Губерля (правый приток реки Урал) и представляют собой останцовый мелкосопочник, сложенный осадочно-вулканогенными породами силура и девона. Мелкосопочник простирается с севера на юг на 70 км и занимает площадь около 400 км². Он состоит из системы сближенных конических резко очерченных сопков высотой 30-50 м, расчленённых многочисленными балками, оврагами и плоскостонными сухими долинами [17].

Климат континентальный, среднегодовая температура ~4 °С. Средние значения температуры января – -16 °С, июля – +21 °С. Годовая сумма осадков составляет 350-400 мм, из которых большая часть (70 %) выпадает с мая по сентябрь. Продолжительность безморозного периода составляет около 140 дней. Глубина зимнего промерзания составляет 100-120 см, высота снежного покрова – около 30 см. Зональный почвенный покров представлен черноземами сегрегационными, встречаются солонцы и солонцеватые почвы. В ботанико-географическом отношении изучаемая территория относится к зоне типчаково-ковыльных разнотравных степей и их эдафических вариантов [5].

Для изучения древнего криогенеза были отдешифрированы космические снимки высокого разрешения (2-8 м) картографических ресурсов Google Earth, Bing Maps, Yandex Maps с целью выявления полигональных образований как ведущих геоморфологических индикаторов палеомерзлоты. Пространственное разрешение снимков позволяет дешифрировать полигоны диаметром от 0,5-1 м. Анализ космических изображений показал, что в Губерлинских горах полигональный микро-рельеф хорошо дешифрируется в межсопочных долинах, образуя частую сетку с размером отдельных ячеек ~1,5-6 м. Проведены маршрутные исследования

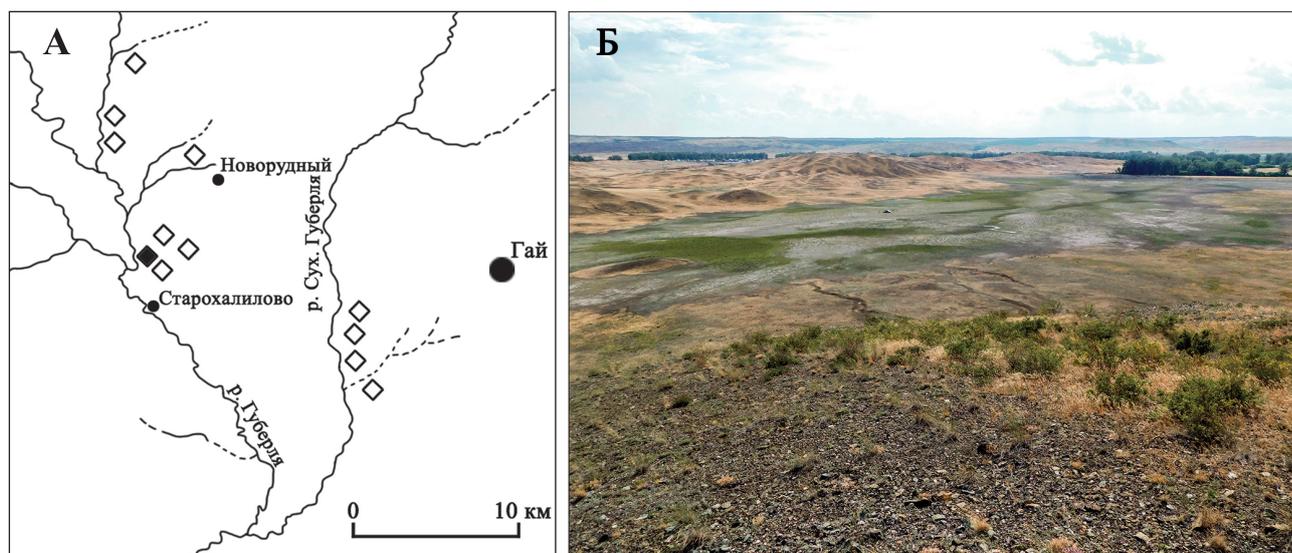


Рис. 1. А) Карта-схема района исследования с расположением межсопочных долин с палеокриогенным микро-рельефом (показаны ромбами, черный ромб – участок Старохаиливо); Б) Фотография участка Старохаиливо.

[Fig. 1. A) Map-diagram of the study area with the location of interlocking valleys with paleocryogenic microrelief (are shown in rhombuses, black rhombus is the Starokhalilovo site); Б) Photo of the Starokhalilovo site]

с целью подтверждения выявленных по космическим снимкам ареалов и изучению морфологии полигональных образований.

В результате проведенных исследований в Губерлинских горах выделено 12 межсопочных долин, сочетающих различные типы палеокриогенного рельефа – полигональный и бугристый. Восемь участков выявлено в бассейне р. Губерля, четыре – в бассейне р. Сухая Губерля (рис. 1. А, Б).

Для детального изучения был выбран ключевой участок, расположенный в 1,5 км северо-восточнее деревни Старохалилово Гайского района Оренбургской области (51°27'22.66"С, 58°7'26.85"В). Ключевой участок находится в межсопочной плоскодонной сухой долине, расположенной в среднем течении реки Губерля

на абсолютных высотах ~260-280 м над уровнем моря (рис. 2. А, Б). В рельефе долина выделяется как обрамленная с трех сторон склонами сопок и невысоких хребтов депрессия, открывающаяся в сторону долины реки. Долина вытянута субширотно в направлении с востока на запад. Длина долины ~ 1,4 км, площадь – 0,35 км². Перепад высот между вершинами сопок и днищем долины достигает ~ 25 м. Сопки, окружающие долину, сложены серпентинизированными, сильно выветрелыми разновидностями ультраосновных пород – гарцбургитами и дунитами. Склоны сопок перекрыты маломощным чехлом делювиальных суглинков. Дно долины выполнено делювиально-пролювиальными отложениями, представленными дресвой, щебенкой, песком и суглинками [7].

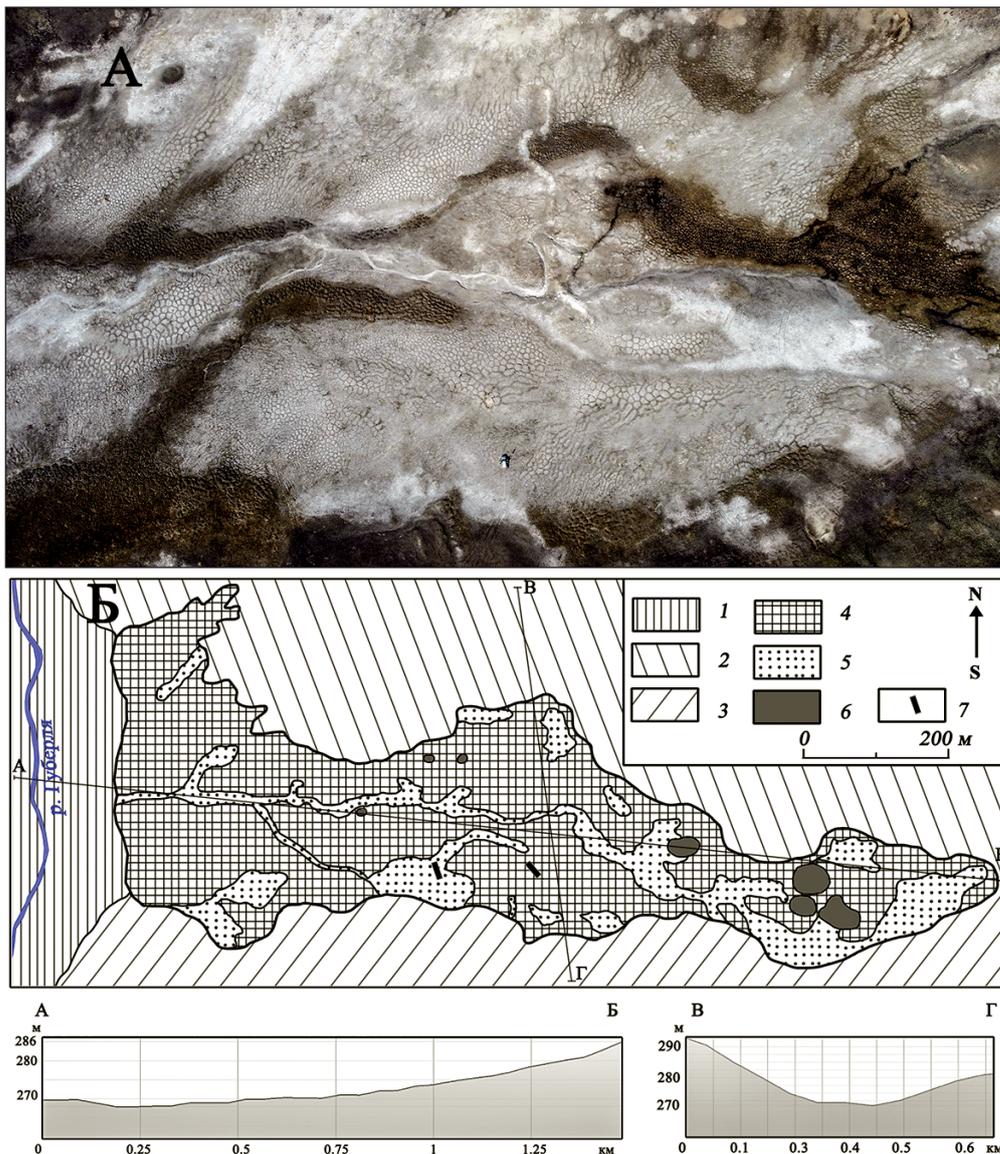


Рис. 2. А) Фотография участка Старохалилово. Б) Геоморфологическая схема участка Старохалилово и профили по линиям АВ, ВГ. Условные обозначения: 1) пойма р. Губерля; склоны сопок 2) южной экспозиции, 3) северной экспозиции; дно долины 4) с полигональным микрорельефом; 5) с бугристым микрорельефом; 6) останцы коренных пород; 7) почвенные траншеи [Fig.2. А) Photo of the Starokhalilovo site. Б) Geomorphological diagram of the Starokhalilovo section and profiles along АВ, ВГ lines. Conventions: 1) floodplain of the Gubera River; slopes of hills 2) southern exposure, 3) northern exposure; valley floor 4) with polygonal microrelief; 5) with bumpy microrelief; 6) remains of bedrock; 7) soil trenches]

Пологонаклонное плоское днище долины осложнено денудационными останцами-сопками коренных пород диаметром 50 м, высотой до 2 м. Ширина дна долины в верховье составляет 200 м, в средней части – 320 м, в нижней – расширяется до 500 м. Здесь можно выделить несколько террасовидных поверхностей и разветвленную сеть сухих микродолин, занятых влаголюбивой растительностью. Грунтовые воды в долине находятся на глубине ~1,8 м. На ключевом участке проведены ландшафтные, геоморфологические и почвенные исследования. Изучены морфометрические и морфографические параметры микрорельефа, особенности его положения в мезорельефе. Почвы изучались в траншеях длиной ~ 4 метров и глубиной ~ 2 м. До-

полнительно закладывались шурфы на различных элементах микрорельефа. Проведено детальное морфологическое изучение почв, составлены описания вмещающих пород, сделаны зарисовки и фотофиксация. Собрана коллекция образцов пород для аналитических исследований. В зимний период в почвенных шурфах определялись глубина промерзания, льдистость пород и фиксировались криотекстуры в отложениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В межсопочной долине участка Старохашилово изучено два типа реликтового криогенного микрорельефа: полигональный и бугристый, расположение которых в долине имеет строгую приуроченность (рис. 3. А, Б).



Рис. 3. А) Полигональный микрорельеф. Б) Бугристый микрорельеф
[Fig. 3. А) Polygonal microrelief; Б) Bumpy microrelief]

Полигональный микрорельеф представлен плоскими многоугольниками размером от 1,5 до 6 м в поперечнике, с медианой ~3 м (см. рис. 3. А). По форме преобладают пяти- и шестиугольники, встречаются также четырехугольные полигоны, которые на слабонаклонных склонах трансформируются в параллельные друг другу вытянутые полосы, ориентированные вдоль склона. Поверхность полигонов лишена растительности, от светло-серого до белого цвета, разбита сетью трещин усыхания, которые образуют микрополигоны со стороной 0,1-0,15 м. Полигоны разделены ложбинообразными микропонижениями шириной около 0,3 м и глубиной

0,1-0,15 м. Полигональная сеть хорошо подчеркивается растительностью, освоившей сеть микропонижений.

Полигональный микрорельеф занимает субгоризонтальные и слабонаклонные участки дна долины, сложенные тонкодисперсными отложениями. На космоснимках полигональная сеть отчетливо выражена тонкими черными линиями на светло-сером фоне. На местности полигональный рельеф также хорошо выражен.

В траншее, заложенной через элементы микрорельефа, вскрывается слоистое, турбированное строение толщи, представленное следующими горизонтами (рис. 4. А, табл. 1):

Таблица 1

Горизонты почв на участке полигонального микрорельефа
[Table 1. Soil horizons in the polygonal microrelief area]

№	Характеристика горизонта	Мощность, м
1	Суглинок светло-серый, до белого, разбитый до глубины 0,6-0,8 м вертикальными трещинами шириной 2-3 мм на крупные блоки-призмы. Структура плитчатая, толщина отдельных с глубиной постепенно увеличивается: от 1 мм до 2-3 мм. В пределах слоя наблюдается постепенное облегчение грансостава от легкосуглинистого до тяжелосуглинистого. По всему слою преобладает иловатая и песчаная фракция. Переход резкий, граница волнистая, с внедрениями из нижележащего горизонта.	0-0,7/0,9 м
2	Супесь светло-оливково-коричневая, опесчаненная, структура чешуйчатая, мощность неоднородная в связи с внедрениями нижележащего слоя, переход резкий, граница турбированная нижележащим слоем.	0,7/0,9-1,0/1,2

3	Песок желтовато-коричневый, структура чешуйчатая, встречаются тонкие буровато-коричневые прослои, граница ровная, переход постепенный.	1,0/1,2-1,6
4	Турбированный слой, сочетающий светло-коричневые и желтовато-коричневые пески с оглеенными пятнами и прослойками глин. На глубине 1,8 м из стенки сочится вода, на этой же глубине установлен уровень грунтовых вод.	1,6-2,0

В микропонижении между полигонами вскрыта грунтовая жила, которая имеет двухчленное строение: верхнюю расширенную часть шириной 0,3 м, которая на глубине 0,2 м сужается до 0,07 м, далее до глубины 0,8 м постепенно сужается до 0,05 м, ниже переходит в тонкую открытую трещину, прослеживающуюся до 1 м. Жила отличается от окружающей массы более рыхлым сложением и структурой. Она выполнена иловато-песчаными тяжелыми суглинками, в наиболее узкой нижней части отмечается утяжеление до иловато-песчаной легкой глины. В верхней расширенной части, структура комковатая, жила хорошо освоена корнями растений. В узкой части структура призмовидная, призмы состоят из тонких плиток, корни растений проходят преимущественно по граням призматических отдельностей.

Отличительной чертой разреза является горизонтальная зона, деформированная в виде отдельных волнообразных смятий, которой захвачены нижние слои светло-серого суглинистого горизонта, желтовато-светло-коричнева супесь и верха темно-коричневого песка. Зона образована внедрением нижележащих слоев в вышележащие и расположена на глубине 0,9-1,3 м (рис. 3. В, Г).

Бугристый микрорельеф состоит из серии заросших растительностью изометричных бугров, разделенных вытянутыми микропонижениями (см. рис. 3. Б).

Диаметр бугров изменяется от 0,5 до 5 м с медианой ~3 м, высота – от 0,2 до 0,4 м. Они имеют округлую или удлинённую форму с крутыми склонами и куполообразными вершинами. Бугры разделены между собой ложбинообразными вытянутыми понижениями шириной до 30-40 см, густо заросшими растительностью. В плане ложбинообразные понижения образуют сплошную сеть, в ячейках которой расположены бугры, вытянутые серией параллельных цепочек.

Участки с бугристым микрорельефом приурочены к ложбинообразным депрессиям, выработанным в днище долины, и по форме и конфигурации следуют границам микродолин. В плане депрессии имеют разветвленный рисунок, состоящий из магистральных микродолин шириной 7-10 м и расширенных участков шириной до 70 м. Таким образом, участки с бугристым микрорельефом соединены в закономерную построенную сеть. Заросшие растительностью бугры на космоснимках также имеют полигонально-сетчатый рисунок и состоят из темных полигонов, ограниченных светлыми линиями.

В траншее, заложенной через элементы бугристого микрорельефа, вскрываются следующие горизонты (рис. 4. Б, табл. 2):

Таблица 2

Горизонты почв на участке бугристого микрорельефа
[Table 2. Soil horizons in the area of bumpy microrelief]

№	Характеристика горизонта	Мощность, м
1	Темно-серый гумусированный песчано-пылеватый средний суглинок тонкоплитчатой структуры. Мощность слоя неоднородная, максимальная в центре микроповышения, где составляет около 0,6 м, к микропонижению она заметно снижается, верхняя часть активно освоена корнями растений, переход ясный, граница волнистая.	0-0,6 м
2	Желто-коричневая опесчаненная супесь чешуйчатой структуры. Граница ясная, переход постепенный, местами турбированный.	0,6-0,8
3	Желтовато-коричневый опесчаненный легкий суглинок чешуйчатой структуры, в некоторых местах имеет слои и внедрения нижележащего слоя, переход резкий, граница турбированная.	0,8-1,0
4	Желто-коричневая опесчаненная супесь с темно-коричневыми вкраплениями и слоями, а также серией тонких осветленных, гумусированных и ожелезненных параллельных прослоев.	1,0-2,0

В микропонижениях между буграми вскрываются двухъярусные грунтовые жилы шириной по верху 0,5 м, проникающие до глубины 0,6-0,8 м. Нижние части жил ветвятся. Грунтовые жилы заполнены гумусированным опесчаненным суглинком темно-серого цвета. С глубиной отмечается облегчение грансостава с тяжелого до легкого суглинка. В верхней части жилы структура почвы комковато-тонкоплитчатая, в нижней, суженной – комковато-пылеватая. Жила отличается от вмещающих отложений более темным цветом, структурой и рыхлым сложением.

Зимой участки с изученным микрорельефом испытывают процессы льдовыделения и серегационного шлюрообразования, вызванные миграцией воды к фронту промерзания. Шлиры льда формируются в пределах микроповышений и микропонижений, промерзшая почвенная масса очень прочная на всех элементах микрорельефа. Процесс промерзания начинается в середине ноября с установлением низких температур, когда земная поверхность обычно еще свободна от снега. Криогенная текстура пород верхних горизонтов на участках с полигональным микрорельефом слоистая и

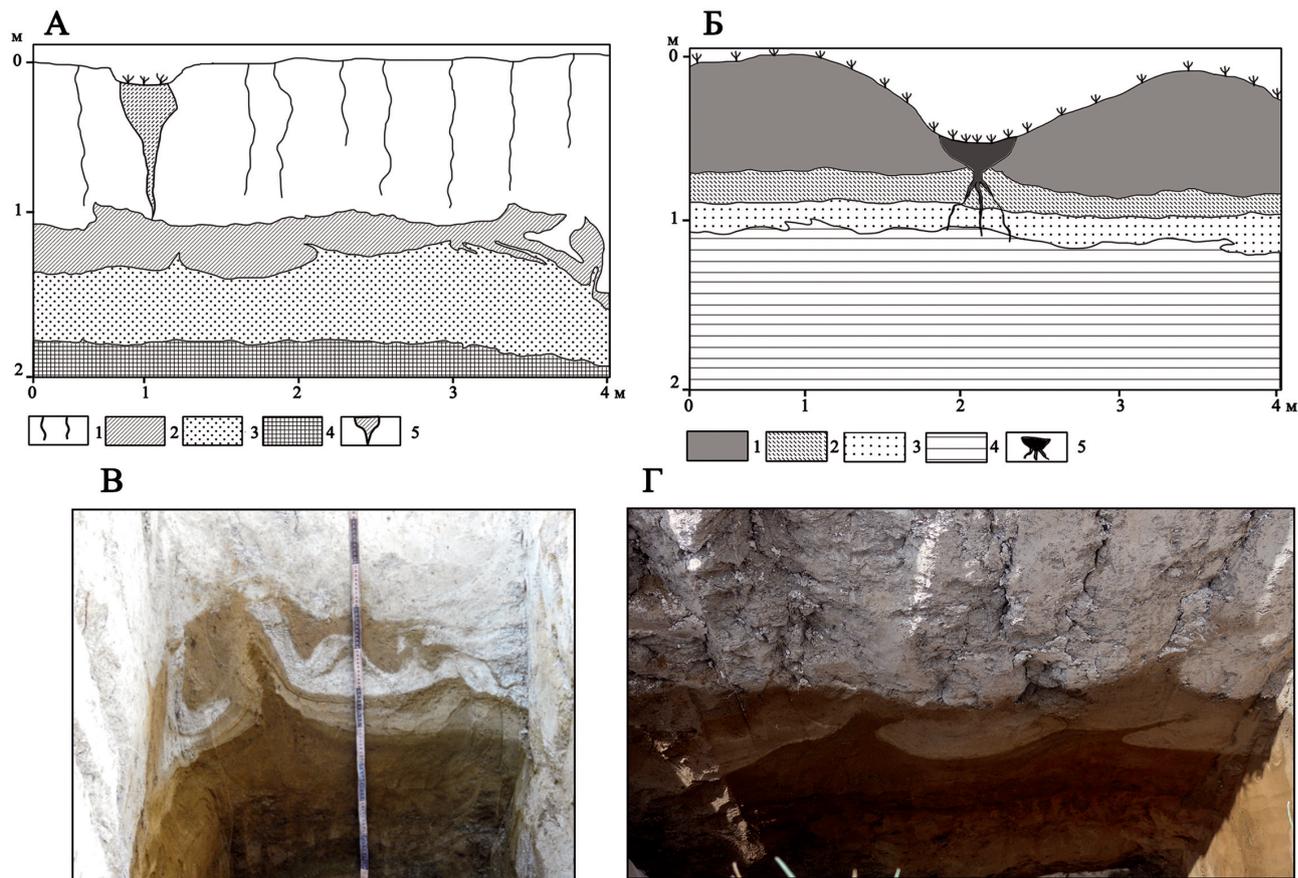


Рис. 4. А) Зарисовка стенки траншеи на участке полигонального микро рельефа. Условные обозначения: 1-4 – см в таблице 1; 5 – грунтовая жила. Б) зарисовка стенки траншеи на участке бугристого микро рельефа. Условные обозначения: 1-4 – см в таблице 2, 5 – грунтовая жила. В-Г) криотурбированные горизонты на участке полигонального микро рельефа
 [Fig. 4. А) Drawing of the trench wall in the polygonal microrelief section. Symbols: 1-5 – see Table 1; 6 – soil core. Б) drawing the wall of the trench in the area of the bumpy microrelief. Symbols: 1-4 – see Table 2, 5 – soil core. В-Г) cryoturbated horizons in the polygonal microrelief area]

слоисто-сетчатая, создаваемая повторяющимися через 1-2 мм шлирами льда толщиной 0,5-1,0 мм, с глубиной расстояние между шлирами увеличивается. На поверхности полигонов в результате процессов морозного пучения образуется бугорки высотой 0,02-0,03 м и диаметром около 0,01 м. Криогенная текстура на участке с бугристым микро рельефом – тонкошлировая, слоистая, создаваемая повторяющимися через 1-2 мм шлирами льда толщиной менее 0,5 мм. При вытаивании ледяных прослоев формируется характерная для почв участка плитчатая структура. Полевыми исследованиями установлено, что почва полностью протаивает в долине в последней декаде апреля.

Таким образом, в плоскостных межсочных долинах в Губерлинских горах встречен микро рельеф, различающийся морфологией, строением почвенных профилей и занимающий различное геоморфологическое положение. Для изученного микро рельефа характерна упорядоченность, которая заключается в регулярном чередовании полигонов/бугров и плоских вытянутых понижений, которые в плане образуют сеть. Полигональность является характерной чертой микро-

рельефа зоны многолетней мерзлоты, а за ее пределами является реликтовой [10].

В почвенном профиле обнаружены характерные для зоны многолетней мерзлоты признаки криотурбированности почв, которые выражаются в регулярно повторяющихся волнообразных смятиях, образование которых связано с более глубоким, по сравнению с современным, сезонным промерзанием и оттаиванием пород, приводившем к перемешиванию и внедрению горизонтов друг в друга. Исследования Поузера Г. доказывают, что при современном климате средней и восточной Европы «закрученные грунты» не образуются даже в суровые зимы, когда глубина промерзания достигает 1,2-1,6 м. Для возникновения таких грунтов, по его мнению, необходимо длительное мерзлое состояние грунтов, которые служат водупором и активной опорой для сил давления, развивающихся при промерзании сезонного талика [16]. Межполигональным понижениям соответствуют палеомерзлотные клиновидные деформации, имеющие двухчленное строение с расширенной верхней и суженной нижней частями, формирование которых в современных климатических условиях не представляется возможным.

Полученные данные свидетельствуют о формировании изученного микрорельефа в условиях более сурового климата в неоплейстоцене и, возможно, в начальные холодные этапы голоцена в период существования в регионе многолетней мерзлоты или глубокого сезонного промерзания почв.

Различия в морфологии и в строении почвенных профилей изученных типов микрорельефа связаны, вероятно, с различными мерзлотно-гидрологическими условиями, которые, в свою очередь, предопределены геоморфологическим положением участков. Даже незначительные перепады высот в условиях многолетней мерзлоты или глубокого сезонного промерзания почв привели к формированию различных гидрологических, геохимических и почвенных режимов и, как следствие, различного микрорельефа.

Ареалы бугристого микрорельефа, занимая разветвленную сеть локальных микропонижений, получали дополнительное увлажнение, которое в условиях близкого залегания к поверхности многолетней мерзлоты вело к заболачиванию и заторфованности почв. Обычно на заболоченных участках температура пород на 0,5-1 °С ниже, чем на сухих и хорошо дренируемых. Подобная зависимость наблюдается на Дальнем Востоке, в Забайкалье и в других районах с малой мощностью снежного покрова [9]. Таким образом, депрессии рельефа, занятые оторфованными породами, оттаивали неглубоко, и при наличии дополнительного увлажнения здесь формировались маломощные ледяные жилки. В дальнейшем эрозионные процессы привели к размыву депрессий вдоль трещин, при этом происходило оплывание стенок трещин и края полигонов приобрели выпуклый профиль. В результате изначально плоская поверхность трансформировалась в бугристую, сохранив при этом полигональный рисунок.

Полигональный микрорельеф сформировался на субгоризонтальных и слабонаклонных, более возвышенных и, как следствие, дренированных участках дна долины, не подверженных процессам заболачивания и торфообразования. Расположенные выше участки испытывали более глубокое сезонное оттаивание пород, и при отсутствии дополнительного грунтового увлажнения в слое сезонно-талых пород формировались изначально-грунтовые жилы.

Изученный микрорельеф сформировался в более суровых климатических условиях и является реликтовым, однако хорошо сохранился на местности. Возникает закономерный вопрос, почему полигоны и бугры сохранились до настоящего времени и не были сnivelированы эрозионными и денудационными процессами? По нашему мнению, сезонное промерзание пород и сегрегационное шширообразование в условиях дополнительного грунтового увлажнения является основным фактором, поддерживающим микрорельеф и препятствующим его нивелировке экзогенными процессами. Во-первых, промерзание пород в долине начинается с конца октября, а полное протаивание

– во второй декаде апреля. Поэтому большую часть года микрорельеф находится в законсервированном мерзлом состоянии. Во-вторых, микрорельеф обновляется в ежегодных циклах промерзания и протаивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В межсочных долинах Губерлинских гор встречаются микрорельеф и морфологические признаки, которые интерпретированы как следы реликтовых криогенных структур. В шурфах обнаружены признаки криотурбированности почв, грунтовые жилы и палеокриотекстуры. Это предполагает существование в этом регионе палеомерзлоты в неоплейстоцене и, возможно, в начальные холодные этапы голоцена. Мерзлые породы имели сплошное и/или массивно-островное распространение с температурами пород до -3 °С и ниже.

Морфологические особенности изученного микрорельефа указывают на его образование в результате морозобойного растрескивания и формирования изначально-грунтовых жил на участках с полигональным микрорельефом и маломощных полигонально-жилых льдов на участках с бугристым микрорельефом в неоплейстоцене. Криотурбации в почвенном слое связаны с нарушением слоев в момент первичного промерзания и неглубокого залегания мерзлых пород.

В настоящее время почвенная толща участков с полигональным и бугристым микрорельефом испытывает сезонное промерзание пород и сегрегационное шширообразование, вызванное миграцией воды к фронту промерзания. Сильнее процессы пучения испытывают участки с полигональным микрорельефом, где формируются небольшие бугорки, поверхность которых после таяния шширов льда нивелируется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берников В. В. *Палеокриогенный микрорельеф Центра Русской равнины*. Москва: Наука, 1976. 124 с.
2. Бойцов М. Н. О реликтах мерзлотного рельефа на восточном склоне Южного Урала // *Информационный сборник ВСЕГЕИ*, 1959, с. 55-56.
3. Бойцов М. Н. О следах многолетней мерзлоты в разрезах рыхлых осадков восточного склона Южного Урала // *Доклады Первичной организации научно-технического горного общества*, т.1, 1958. с. 55-65.
4. Величко А. А. *Природный процесс в плейстоцене*. Москва: Наука, 1973. 256 с.
5. *Географический атлас Оренбургской области* / А. А. Соколов, А. А. Чибилёв, О. С. Руднева и др. Оренбург: Институт степи УрО РАН; РГО, 2020. 160 с.
6. Данилова Н. С., Баулин В. В. Следы криогенных процессов и их использование при палеогеографических реконструкциях ландшафтов // *Палеокриология в четвертичной стратиграфии и палеогеографии*, 1973, с. 66-79.
7. Лисов А. С., Кваснюк Л. Н., Игошкина Н. Н. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист М-40-V (Гай). Объяснительная записка*. Москва: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. 128 с.
8. Москвитин А. И. «Ледяные клинья» – клиновидные трещины и их стратиграфическое значение // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*, 1940, т. 18 (2), с. 34-41.

9. *Общее мерзотоведение (геокриология)* / под ред. В. А. Кудрявцева. Москва: Издательство МГУ, 1978. 464 с.
10. *Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие* / А. А. Величко, Т. Д. Морозова, В. П. Нечаев, О. М. Порожнякова. Москва: Наука, 1996. 147 с.
11. Плеханова Л. Н., Демкин В. А. Палеопочвы комплекса «Солончанка IX» и климат степного Зауралья в IV в.н.э. // *Экология*, 2008, № 5, с. 357-365.
12. Попов А. И. Перигляциальные образования Северной Евразии и их генетические типы // *Перигляциальные явления на территории СССР*, 1960. с. 10-36.
13. Романовский Н. Н. *Формирование полигонально-жильных структур*. Новосибирск: Наука, 1977. 215 с.
14. Рябуха А. Г., Стрелцкая 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.
15. Тимофеев Е. А., Втюрина Е. А. *Терминология перигляциальной геоморфологии. Материалы по геоморфологии*. Москва: Наука, 1983. 233 с.
16. Уошборн А. Л. *Мир холода. Геокриологические исследования*. Москва: Прогресс, 1988. 384 с.
17. *Энциклопедия «Оренбургье». Природа. Т.1*. Калуга: Золотая аллея, 2000. 192 с.
18. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP / J. Vandenberghe, H. French, A. Gorbunov et al. // *Boreas*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 652-666.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 18.04.2023

Принята к публикации: 28.05.2024

UDC 551.89; 911.52

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/20-28>

Paleomerslot Relicts in the Landscape Structure of the Guberlinskiye Mountains Interhill Valleys in the South Urals

A. G. Ryabukha✉, D. G. Polyakov

*The Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy,
Russian Federation
(11, Pionerskaya Str., Orenburg, 460000)*

Abstract. The purpose of the research is to search for and study landscape and soil features of palaeofrost in the Southern Urals in the Guberlinskiye Mountains.

Materials and Methods. Interpretation of high-resolution space images from Google Earth, Bing Maps, and Yandex Maps to identify polygonal formations as leading geomorphologic indicators of palaeofrost. Field route and semi-stationary studies were conducted at key sites.

Results and discussions. Based on space imagery and field studies, microrelief and morphological features were found for the first time in the South Urals. They are interpreted as traces of relict cryogenic structures. The areas of paleocryogenic microrelief development in the interhill valleys of the Guberlinskiye Mountains were determined. It is represented by polygonal and bumpy formations. Morphological features of the studied microrelief indicate its formation as a result of the processes of frost cracking and formation of ground veins in the Neopleistocene.

Conclusions: For the first time for the territory of the Guberlinskiye Mountains we obtained data on the existence of palaeofrost in this region in the Neopleistocene and, possibly, in the initial cold stages of the Holocene.

Keywords: relict cryogenic microrelief, cryoturbation, ground veins, Neopleistocene, Southern Urals.

Funding: The article was prepared within the framework of the state assignment topic "Problems of steppe nature management in the context of modern challenges: optimisation of interaction between natural and socio-economic systems", No. AAAA-A 21-121011190016-1.

For citation: Ryabukha A. G., Polyakov D. G. Paleomerslot Relicts in the Landscape Structure of the Guberlinskiye Mountains Interhill Valleys in the South Urals. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 2, pp. 20-28. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/20-28>

REFERENCES

1. Bernikov V. V. *Paleokriogennyi mikrorel'ef Tsentra Russkoy ravniny* [Paleocryogenic microrelief of the Center of the Russian Plain]. Moscow: Nauka, 1976. 124 p. (In Russ.)
2. Boytsov M. N. O reliktakh merzlotnogo rel'efa na vostochnom sklone Yuzhnogo Urala [About the relics of the permafrost relief on the eastern slope of the Southern Urals]. *Informatsionnyy sbornik VSEGEI*, 1959, pp. 55-56. (In Russ.)

© Ryabukha A. G., Polyakov D. G., 2024

✉ Anna G. Ryabukha, e-mail: annaryabukha@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

3. Boytsov M.N. O sledakh mnogoletney merzloty v razrezakh rykhlykh osadkov vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [On the traces of permafrost in sections of loose sediments of the eastern slope of the Southern Urals]. *Doklady Pervichnoy organizatsii nauchno-tehnicheskogo gornogo obshchestva*, vol. 1, 1958. pp. 55-65. (In Russ.)
4. Velichko A.A. *Prirodnyy protsess v pleystotsene* [Natural process in the Pleistocene]. Moscow: Nauka, 1973. 256 p. (In Russ.)
5. *Geograficheskiy atlas Orenburgskoy oblasti* [Geographical atlas of the Orenburg region] / A.A. Sokolov, A.A. Chibilev, O.S. Rudneva i dr. Orenburg: Institut stepi UrO RAN; RGO, 2020. 160 p. (In Russ.)
6. Danilova N.S., Baulin V.V. Sledy kriogennykh protsessov i ikh ispol'zovanie pri paleogeograficheskikh rekonstruktsiyakh landshaftov [Traces of cryogenic processes and their use in paleogeographic reconstructions of landscapes]. *Paleokriologiya v chetvertichnoy stratigrafii i paleogeografii*, 1973, pp. 66-79. (In Russ.)
7. Lisov A.S., Kvasnyuk L.N., Igoshkina N.N. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Yuzhno-Ural'skaya. List M-40-V (Gay). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. The second edition. The South Ural series. Sheet M-40-V (Guy). Explanatory note]. Moscow: Moskovskiy filial FGBU «VSEGEI», 2017. 128 p. (In Russ.)
8. Moskvitin A.I. «Ledyanye klin'ya» – klinovidnye treshchiny i ikh stratigraficheskoe znachenie [«Ice wedges» – wedge-shaped cracks and their stratigraphic significance]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskoy*, 1940, vol. 18 (2), pp. 34-41. (In Russ.)
9. *Obshchee merzlotovedenie (geokriologiya)* [General permafrost science (geocryology)] / pod red. V.A. Kudryavtseva. Moscow: Izdatel'stvo MGU, 1978. 464 p. (In Russ.)
10. *Paleokriogenez, pochvennyy pokrov i zemledelie* / A.A. Velichko, T.D. Morozova, V.P. Nechaev, O.M. Porozhnyakova [Paleocryogenesis, soil cover and agriculture]. Moscow: Nauka, 1996. 147 p. (In Russ.)
11. Plekhanova L.N., Demkin V.A. Paleopochvy kompleksa «Solonchanka IX» i klimat stepnogo Zaural'ya v IV v.n.e. [Paleo-

soils of the Solonchanka IX complex and the climate of the steppe Trans-Urals in the IV century A.D.]. *Ekologiya*, 2008, no. 5, pp. 357-365. (In Russ.)

12. Popov A.I. Periglyatsial'nye obrazovaniya Severnoy Evrazii i ikh geneticheskie tipy [Periglacial formations of Northern Eurasia and their genetic types]. *Periglyatsial'nye yavleniya na territorii SSSR*, 1960. pp. 10-36. (In Russ.)

13. Romanovskiy N.N. *Formirovanie poligonal'no-zhil'nykh struktur* [Formation of polygonal-vein structures]. Novosibirsk: Nauka, 1977. 215 p. (In Russ.)

14. Ryabukha A.G., Streletskaya I.D., Polyakov D.G. Morfologiya, genezis i sovremennaya dinamika poligonal'nykh melovykh landshaftov v doline reki Itchashkan [Morphology, genesis and modern dynamics of polygonal Cretaceous landscapes in the Itchashkan River valley]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2022, no. 3, pp. 57-68. (In Russ.)

15. Timofeev E.A., Vtyurina E.A. *Terminologiya periglyatsial'noy geomorfologii Materialy po geomorfologii* [Terminology of periglacial geomorphology Materials on geomorphology]. Moscow: Nauka, 1983. 233 p. (In Russ.)

16. Uoshborn A.L. Mir kholoda. *Geokriologicheskie issledovaniya* [The world of cold. Geocryological research]. Moscow: Progress, 1988. 384 p. (In Russ.)

17. *Entsiklopediya «Orenburzhe». Priroda. T.1* [The encyclopedia «Orenburg region». Nature]. Kaluga: Zolotaya alleya, 2000. 192 p. (In Russ.)

18. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP / J. Vandenberghe, H. French, A. Gorbunov et al. *Boreas*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 652-666.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 18.04.2023

Accepted: 28.05.2024

Рябуха Анна Геннадьевна

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института степи Уральского отделения Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7659-0252, e-mail: annaryabukha@yandex.ru

Поляков Дмитрий Геннадьевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института степи Уральского отделения Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3344-7709, e-mail: electropismo@yandex.ru

Anna G. Ryabukha

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Researcher at the Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7659-0252, e-mail: annaryabukha@yandex.ru

Dmitry G. Polyakov

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher at the Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3344-7709, e-mail: electropismo@yandex.ru