

КАСПИЙ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ:
ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ЧЕЛОВЕК

УДК 551.435.5(470.56)

РЕЛИКТОВЫЙ КРИОГЕННЫЙ МИКРОРЕЛЬЕФ
ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА[#]

© 2025 г. А. Г. Рябуха^{1,*} И. Д. Стрелецкая², Д. Г. Поляков¹, И. В. Ковда³

¹Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия

³Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия

*E-mail: annaryabukha@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2024 г.

После доработки 05.06.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

Статья посвящена изучению и анализу микрорельефа Заволжско-Уральского региона на возвышенных эрозионно-денудационных поверхностях Восточно-Европейской равнины (Бугульминско-Белебеевская возвышенность, Общий Сырт, Подуральское плато), денудационных цокольных равнинах Южного Зауралья (Урало-Тобольское плато) и низкогорья Южного Урала. Предполагается ведущая роль реликтовых криогенных процессов в его формировании. Описаны морфологические и морфометрические показатели реликтового мерзлотного рельефа (полигонально-блочного; продольно-полосного (делли); слитно-полигонального и редуцированного; западного и др.), а для Заволжско-Уральского региона впервые установлены и охарактеризованы новые типы реликтового криогенного микрорельефа (РКМ). Утверждается палеокриогенный генезис уникальных для степной зоны ландшафтных комплексов. На дренированных участках, сложенных верхнемеловыми породами, микрорельеф представлен меловыми полигонами; на участках, сложенных дисперсными породами – туфами; на зауральских пестроцветных корках выветривания суглинисто-глинистого состава – миграционными буграми пучения; на гипсовых гажках – бугристо-западинными формами. Впервые в степной зоне, как тип реликтового криогенного рельефа, выделены чётковидные русловые формы. Установлена связь участков с различными типами палеокриогенного микрорельефа с современным рельефом, геоморфологическим положением и составом поверхностных отложений. Результатом настоящего исследования стала карта-схема “Реликтовый криогенный микрорельеф Заволжско-Уральского региона” масштаба 1:2500 000.

Ключевые слова: поздний неоплейстоцен-голоцен; палеокриогенез; клиновидные структуры; палеомерзлота; полигональный рельеф

DOI: 10.31857/S2949178925010099, EDN: DNTBUX

ВВЕДЕНИЕ

В среднем и позднем неоплейстоцене в периоды крупных похолоданий (криохроны) территория Северной Евразии неоднократно становилась перигляциальной зоной, подвергалась многолетнему и глубокому сезонному промерзанию, которое сменялось этапами деградации мерзлоты. Максимальное расширение области многолетней мерзлоты произошло в последний криохрон

(20–15 тыс. л. н.), 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. (Величко, 1973; Vandenberghe et al., 2014; Таратунина и др., 2024). В Казахстане перигляциальная зона простиралась на западе до 47° с.ш., а на юго-востоке – до 43° с.ш., где смыкалась с горной криолитозоной Тянь-Шаня (Аубекеров, 1990; Горбунов, Северский, 2015). Исследования А.А. Величко доказывают, что это был период самых суровых климатических условий за весь кайнозой. В экстремальных и суровых условиях на большей части территории Евразии возникла обширная гиперзона (криогиперзона) перигляциальных, пре-

[#] Ссылка для цитирования: Рябуха А.Г., Стрелецкая И.Д., Поляков Д.Г., Ковда И.В. (2025). Реликтовый криогенный микрорельеф Заволжско-Уральского региона. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 1. С. 161–180. <https://doi.org/10.31857/S2949178925010099>. <https://elibrary.ru/DNTBUX>

имущественно тундровых, ландшафтов, где ведущими криогенными процессами были морозное выветривание, морозобойное растрескивание и рост полигонально-жильных льдов, формирование полигонального микрорельефа, сингенетическое промерзание дисперсных отложений, физическое разрушение коренных пород и криогенная сортировка обломков. Среднегодовая температура мерзлых толщ была $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, а мощность достигала 300 м и более. В периоды потеплений активизировались термоденудационные (склоновые) и термокарстовые процессы, формировались остаточные полигональные и термокарстовые формы микрорельефа (Величко, 1973).

Резкое потепление, произошедшее в северном полушарии на границе позднего неоплейстоцена и голоцена, привело к деградации мерзлоты, о чем свидетельствуют многочисленные и разнообразные криогенные реликты. Реликтовые мерзлотные образования на равнинных территориях представлены следующими основными типами: полигональным и западным микрорельефом, грунтовыми клиновидными структурами (псевдоморфозами по вытаявшим полигонально-жильным льдам и изначально-грунтовыми жилами), палеосолифлюкционными образованиями и пластическими деформациями пород (Попов, 1960; Величко, 1973). Особое палеогеографическое значение придается псевдоморфозам по вытаявшим полигонально-жильным льдам – вторичным образованиям, которые образовывались в оттаявших породах. Формы имеют двухъярусное строение: верхняя часть (более широкая с пологими краями) формировалась в сезонно-талом слое, а нижняя (узкая) – в многолетнемерзлых породах (Попов и др., 1985). Наличие в осадочных породах псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам надежно свидетельствует о существовании в прошлом многолетнемерзлых пород с температурами грунтов не выше $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Каплина, Романовский, 1960).

Криогенные клиновидные структуры детально исследованы в разрезах четвертичных отложений Северной Евразии (Городецкая, 1958; Москвитин, 1962; Федорович, 1962; Бердников, 1976; Величко, 1996; Алифанов и др., 2010; Макеев, 2012; Сычева, 2012; Аубекеров, 1990; Горбунова, 1998; Фотиев и др., 1974; Рыжов и др., 2018). В Заволжско-Уральском регионе исследование реликтовых криогенных структур, представленных псевдоморфозами, изначально-грунтовыми жилами и криотурбациями началось с 2015 г. Они выявлены на более чем 50 объектах и представлены разнообразными типами палеокриогенного микрорельефа, которые надежно свидетельствуют о существовании в регионе древней мерзлоты (Ryabukha et al., 2021; Рябуха и др., 2023).

Реликтовый криогенный микрорельеф встречается на поверхностях всех геоморфологических уровней неоплейстоценовой перигляциальной зоны (Величко, 1965; Бердников, 1976). На космоснимках он хорошо дешифрируется по характерному рисунку сети полигонов, размеры которых изменяются от нескольких до сотен метров и во многом определялись температурой пород, ландшафтными условиями и составом рыхлых отложений в прошлом.

Разнообразные типы РКМ прослежены на космоснимках Европейской части России от районов, расположенных южнее границы современной мерзлоты на севере, до широты $47-48^{\circ}$ на юге. По аэрофотоматериалам и полевым наблюдениям А.А. Величко (1965) была составлена карта-схема “Реликтовая криогенная морфоскульптура на Русской равнине” и установлено (Бердников, 1976), что комплекс палеомерзлотных образований относится к завершающей фазе валдайской эпохи.

В основе криогенного микрорельефа лежат процессы формирования системы полигональных морозобойных трещин, которые происходят при колебаниях температуры в верхних горизонтах мерзлых пород (Достовалов, 1960; Романовский, 1977). Суровый климат, большие амплитуды температур воздуха, отрицательные среднегодовые температуры пород и малоснежность зим – необходимые условия для морозобойного растрескивания отложений. Этот процесс универсален: он идет как в высокоарктических районах, так и вблизи южной границы вечной мерзлоты в районах с континентальным климатом, где он развивается и в области глубокого сезонного промерзания (Региональная криолитология..., 1989). В зависимости от литолого-фациальной обстановки и условий увлажнения морозобойные трещины в дальнейшем развиваются как ледяные или изначально-грунтовые жилы. При деградации мерзлоты основными элементами остаточного полигонального рельефа являются блоки (обособленные положительные формы рельефа) и разделяющие их межблочья (межблочные понижения), расположенные на месте вытаявших ледяных или ледогрунтовых клиньев. Рисунок микрорельефа наследует тетрагональную систему древних морозобойных трещин. Западины в местах пересечения ледяных клиньев, преобразованные термокарстовыми и экзогенными процессами, могут достигать в ширину от нескольких до десятков метров и иметь плоское или конусообразное дно (Попов, 1958). Различные сочетания блоков-полигонов, межблочных понижений и западин, а также степень развития и глубина межблочий, образуют различные типы РКМ.

Полный цикл развития реликтового криогенного микрорельефа включает несколько этапов: формирования или промерзания, стабильного существования (мерзлотный), деградации мерзлоты (термокарстовый) и постмерзлотный (существования морфоскульптуры в реликтовом состоянии) (Величко, 1965).

Региональная изученность РКМ не одинакова на территории Северной Евразии. В наибольшей степени он изучен на Восточно-Европейской равнине А.А. Величко (1965), А.Л. Богуцким и др. (1975, 1980), В.В. Бердниковым (1975, 1976, 1983), О.М. Порожняковой (1979), И.И. Молодых (1988), А.А. Величко и др. (1996), Г.П. Бутаковым и др. (1983, 1986), В.М. Алифановым и др. (2010), Е.А. Еременко и др. (2020), А.Е. Семочкиной и др. (2020), Е.В. Гаранькиной и др. (2023); на Южном Урале М.Н. Бойцовым (1959); в Северном и Центральном Казахстане Е.Д. Ермолиным (1985), И.А. Горбуновой (1998), А.П. Горбуновым и др. (2015); на юго-западе Западной Сибири С.П. Качуриным (1961), В.Д. Тарноградским (1966), С.И. Лариным и др. (2016, 2020). Для Заволжско-Уральского региона такие работы практически отсутствуют, и следы палеомерзлоты ранее не были известны.

Цель настоящего исследования – проанализировать основные закономерности распространения реликтового криогенного микрорельефа Заволжско-Уральского региона в пределах возвышенных эрозионно-денудационных поверхностей Восточно-Европейской равнины (Бугульминско-Белебеевская возвышенность, Общий Сырт, Подуральское плато), денудационных цокольных равнин южного Зауралья (Урало-Тобольское плато), низкогорий Южного Урала и составить карту-схему их распространения.

Основные задачи исследований: установить проявления реликтовой мерзлоты в рельефе степных ландшафтов и определить роль мерзлотных процессов прошлого в современной ландшафтной структуре; охарактеризовать основные типы палеокриогенного микрорельефа; провести картирование палеокриогенных форм исследуемой территории с использованием материалов космического зондирования земной поверхности; установить региональные особенности форм в зависимости от современного рельефа и состава поверхностных отложений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье использованы материалы, собранные в ходе камеральных и экспедиционных исследований в период с 2015 г. по 2023 г.

Для выявления и изучения основных типов реликтового криогенного микрорельефа использовались разновременные космоснимки высокого разрешения (2–8 м) картографических ресурсов Google Earth, Bing Maps, Yandex Maps. Дешифрировались полигональные и западинные формы рельефа как ведущие индикаторы палеомерзлоты. Пространственное разрешение снимков позволяет дешифрировать полигоны диаметром от 1–1.5 м. Совместно с дешифрированием космоснимков была проведена работа с различными картографическими источниками. На выделенные ареалы РКМ накладывались тематические отраслевые карты природы (геологическая, геоморфологическая, почвенная, геоботаническая, ландшафтная, карта четвертичных отложений и т.д.) и топографические карты средних масштабов.

Определены наиболее репрезентативные участки с РКМ. На ключевых участках выполнены детальные описания, заложены шурфы по профилям и выполнена нивелирная съемка объектов. Материалы детализированы с помощью анализа изображений, полученных с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Проведено более 70 рекогносцировочных маршрутов с целью подтверждения выявленных по космоснимкам ареалов РКМ. Описано более 20 разрезов и обнажений, заложено 25 почвенных шурфов, проведено ручное бурение.

Выполнен поиск аналогов свойств пород и характерных форм рельефа в районах современной криолитозоны. Для характеристики РКМ исследуемой территории использовали классификации, разработанные А.А. Величко, В.В. Бердниковым, А.И. Поповым, М.Н. Бойцовым, С.П. Качуриным. В основе выделенных типов РКМ лежат, прежде всего, морфология форм, состав поверхностных отложений и геоморфологическое положение объектов.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований располагается в пределах возвышенных эрозионно-денудационных поверхностей Восточно-Европейской равнины (Бугульминско-Белебеевская возвышенность, Общий Сырт, Подуральское плато), денудационных цокольных равнин южного Зауралья (Урало-Тобольское плато) и низкогорий Южного Урала. В административно-территориальном отношении район исследований занимает Оренбургскую область. Восточно-Европейская равнина на севере сложена глинистыми сланцами, мергелями, песчаниками, известняками, аргиллитами и алевролитами пермского и триасового возраста, на юге – юрскими и меловыми отложениями, состоящими из галеч-

ников, песчаников, песков, глин и мела. Равнины Зауралья сложены дислоцированными палеозойскими и протерозойскими осадочными и магматическими породами. Во впадинах палеозойские породы перекрыты мезозойскими и кайнозойскими отложениями, имеющими разнородный состав — от глин до конгломератов. На водораздельных пространствах залегает кора выветривания мезо-кайнозойского возраста мощностью 30–40 м, часто выходящая на дневную поверхность. Неровности и понижения на поверхности коренных пород выполнены лёссовидными суглинками четвертичного возраста. Мощности пачек четвертичных отложений меняются от 0.5–1.0 м на водоразделах и верхних частях склонов до 45 м в долинах рек и оврагах (Шкатова и др., 1998).

Климат региона резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет +4.2 °С. Среднегодовое количество осадков колеблется от 450 мм на северо-западе региона до 300 мм на юго-востоке и распределяется по сезонам года равномерно: до 40% всех осадков приходится на зимне-весенний период, а 60% — на летне-осенний. Продолжительность безморозного периода составляет около 140 дней. Глубина зимнего промерзания достигает 1–1.2 м, высота снежного покрова около 0.3 м.

Регион обладает густой и разветвленной речной сетью, которая в основном относится к бассейну р. Урал, куда входят его крупные притоки — реки Илек, Сакмара, Урта-Буртя, Орь, Суундук, Большой Кумак. Бассейны Самары (на северо-западе) и Тобола (на востоке) представлены верховьями этих водотоков. Реки относятся к типу равнинно-степных, в основном снегового и дождевого питания, с интенсивным весенним половодьем, небольшими паводками после сильных дождей летом и устойчивым меженным ординаром в остальное время. Большая часть малых рек летом пересыхает, и вода остается в виде отдельных небольших водоемов на наиболее глубоких местах.

Зональный почвенный покров представлен черноземами и каштановыми почвами, встречаются солонцы и солонцеватые почвы, характерна комплексность почвенного и растительного покрова (Мусихин, 1996). В ботанико-географическом отношении изучаемая территория относится к южно-лесостепной и степной зонам, которые в настоящее время практически полностью распаханы. Лесная растительность обильна по поймам рек, сыртам и балкам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основные характеристики типов РКМ Заволжско-Уральского региона представлены в табл. 1. Для эрозионно-денудационных равнин Бугульмин-

ско-Белебеевской возвышенности, Общего Сырта, Подуральского и Урало-Тобольского плато, перекрытых плащеобразно залегающими дисперсными осадками мощностью до 45 м и состоящих из широких плосковыпуклых увалов, характерно повсеместное распространение *полигонально-блочного микрорельефа*. Выровненные водораздельные поверхности и платообразные вершины увалов покрыты сетью округлых полигонов, которые хорошо дешифрируются на космоснимках по рисунку на распаханых полях (рис. 1а). Полигоны имеют светлую окраску, ложбины характеризуются более темными оттенками за счет неоднородности увлажнения почв и растительности. Размер полигонов изменяется в широких пределах — от 20 до 80 м в поперечнике, однако наиболее часто встречаются полигоны размером ~35–45 м. На местности микрорельеф представлен пологими изометрическими микроповышениями относительной высотой 0.2–0.3 м и разделяющей их регулярной сетью плоских ложбинообразных понижений шириной от 3 до 10 м. В районах распространения полигонально-блочного микрорельефа на склонах развита овражно-балочная сеть, заложенная и разработанная эрозионными процессами по понижениям микрорельефа (рис. 1б). В верхней части склонов возвышенностей полигоны объединяются в более крупные (до 80–120 м) удлиненные формы, направленные вниз по склону.

На склонах правильная полигональная решетка трансформируется в *продольно-полосный (эрозионно-термокарстовый, веерная бороздчатость, делли) микрорельеф*, представляющий собой регулярную серию пологих ложбин (рис. 1в). Он хорошо читается на вспаханных полях в виде темных полос, расположенных параллельно друг другу, и ориентированных вдоль склонов крутизной от 2 до 5°, сложенных лёссами и лёссовидными суглинками. Длина субпараллельных ложбин достигает 2–3 км, а ширина их днищ — первых десятков метров. Расстояние между соседними ложбинами коррелирует с размерами решетки полигонально-блочного микрорельефа водоразделов и составляет от 60 до 80 м, в нижней части склонов может увеличиваться до 100–120 м. Поперечный профиль ложбин полого-вогнутый, они прямолинейны или слабоизогнуты. На выпуклых склонах ложбины веерообразно расходятся, образуя “веерную бороздчатость”, по А.А. Величко (1965). Продольно-полосный микрорельеф широко распространен на склонах Общего Сырта и Бугульминско-Белебеевской возвышенности, где линейные формы покрывают практически все склоны увалов и междуречий. Существует множество пе-

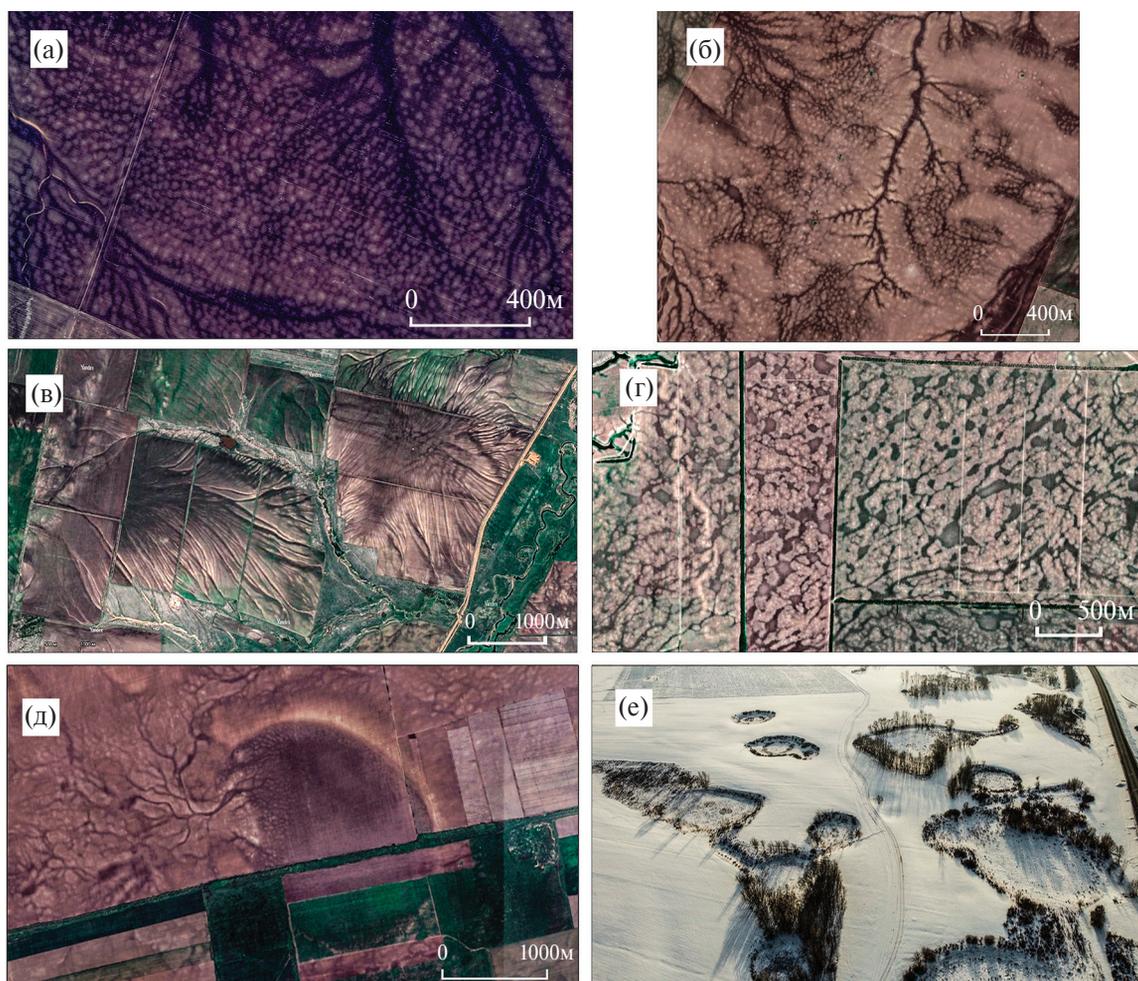


Рис. 1. Реликтовый криогенный микро рельеф Заволжско-Уральского региона. (а) – полигонально-блочный микро рельеф; (б) – овражно-балочная сеть, заложенная при вытаивании полигонально-жильных льдов; (в) – продольно-полосный микро рельеф; (г) – блочный и блочно-западинный микро рельеф; (д) – палеоалас с полигональной решеткой на дне озерной котловины в окружении полигонально-блочного микро рельефа; (е) – западинный микро рельеф.

Fig. 1. Relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region. (a) – polygonal-block microrelief; (б) – gully-beam network formed during the thawing of polygonal ice wedges; (в) – longitudinal-strip microrelief; (г) – block and block-depression microrelief; (д) – paleovalley with a polygonal lattice at the bottom of the lake basin surrounded by polygonal block microrelief; (е) – depression microrelief.

реходных палеокриогенных форм микро рельефа на водоразделах и склонах.

На плоских низменных аккумулятивных озерно-аллювиальных и аллювиальных равнинах региона, перекрытых полигенетическими суглинками и супесями, распространен *блочный и блочно-западинный микро рельеф*. Блокам свойственен менее правильный рисунок, они имеют неодинаковые размеры, нечеткие границы (рис. 1г). На космоснимках хорошо видны светлые центральные части блоков и межблочные понижения темного цвета. Размеры блоков составляют от 20–30 м до 200–250 м, ложбины хорошо разработаны эрозийными процессами. Ширина межблочий обычно более 10 м и может достигать 40–50 м. Ха-

рактерными элементами микро рельефа являются округлые или овальные западины, приуроченные к пересечениям полигональных трещин и выраженные на космоснимках в виде темных пятен, диаметром от 10–15 м до 50–80 м. Внутри крупных блоков фиксируется более мелкая полигональная сеть с размером решетки 15–20 м, которая на космоснимках выделяется за счет светлых центральных частей полигонов.

Для участков эрозионно-денудационных равнин, сложенных песчаными породами или опесчаненными суглинками (плоские водоразделы по левобережью р. Самары и ее правых притоков в пределах Общего Сырта) характерен *слитно-полигональный и редуцированный рельеф*. Слитно-полигональные

Таблица 1. Основные характеристики типов реликтового криогенного микрорельефа Заволжско-Уральского региона
Table 1. Main characteristics of the types of relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region

№	Микрорельеф	Размер форм (в скобках указано среднее значение), м	Генетические типы рельефа	Положение в рельефе	Состав покровных отложений
1	Полигонально-блочный	Полигоны: $\varnothing = 20-80$ (35-45), ложбины: $b = 3-10$ (5)	Эрозионно-денудационная и эрозионно-покольная равнины	Плоские выровненные поверхности, платообразные вершины сыртов	Лёссы и лёссовидные суглинки
2	Продольно-полосный	Продольные полигоны: $b = 40-80$, в нижней части склонов до 100-120, $l = 1-2$ км; ложбины: $b = 10-20$	Эрозионно-денудационная равнина	Склоны крутизной от 2 до 5°	Лёссы и лёссовидные суглинки
3	Блочный и блочно-западинный	Полигоны: $\varnothing = 20-250$ (80), ложбины: $b = 10-50$ (40), западины: $\varnothing = 10-80$	Аккумулятивная озерно-аллювиальная и аккумулятивная аллювиальная равнины	Днища долин, террасы рек	Суглинки, супеси
4	Слитно-полигональный и редуцированный	Полигоны: $\varnothing = 50-150$	Эрозионно-денудационная равнина	Плоские водоразделы	Пески, опесчаненные суглинки
5	5а – Мелкозападинный	Западины: $\varnothing = 2-50$, h до 1	Эрозионно-денудационная и денудационная цокольная равнины, аккумулятивная озерно-аллювиальная и аккумулятивная аллювиальная равнины	Надпойменные террасы, нижние части склонов, днища долин	Лёссы, лёссовидные суглинки
	5б – Палеоаласы	Западины: $\varnothing = 50-5000$, h до 5	Эрозионно-денудационная равнина, аккумулятивная озерно-аллювиальная и аккумулятивная аллювиальная равнины	Плоские водоразделы, высокие надпойменные террасы	Лёссы, лёссовидные суглинки

Таблица 1. Окончание
Table 1. End

№	Микрорельеф	Размер форм (в скобках указано среднее значение), м	Генетические типы рельефа	Положение в рельефе	Состав покровных отложений
6	ба – Бугристо-западинный на гипсоносных гажевых отложениях	Бугры: $\varnothing = 20-30$, $h = 0.3-0.5$; западины: $\varnothing = 2-2.5$, $h = 0.5-1.5$	Аккумулятивная аллювиальная равнина	Участки резкого расширения долины рек в пределах первой надпойменной террасы	Измельченный гипс (гажа)
	бб – Бугристо-западинный на морских глинах батского яруса юрской системы	Бугры, гряды: $l = 10-40$, $b = 5-9$; $h = 0.5-0.8$; западины: $\varnothing = 3-5$, $h = 0.5-1$	Эрозионно-денудационная равнина	Пологие склоны	Облёссованные глины
	бв – Бугристо-западинный на песчаных отложениях речных террас	Бугры, гряды: $l = 30-100$, $b = 20-40$; $h = 0.3-0.5$; западины: $\varnothing = 20-40$, $h = 0.5-0.8$	Аккумулятивная аллювиальная равнина	Первая и вторая надпойменные террасы	Пески и супеси
7	7а – Меловые полигоны	Бугры: $\varnothing = 3.5-7.2$ (5), $h = 0.3-0.5$; понижения: $b = 0.6-0.8$; меловое пятно: $\varnothing = 0.5-4$ (2), $h = 0.1-0.15$	Эрозионно-денудационная равнина	Пологие склоны речных долин	Мел, мергель
	7б – Туфуры	Бугры: $\varnothing = 1.5-3$ (2.5), $h = 0.2-0.4$; понижения: $b = 0.3-0.6$	Аккумулятивная аллювиальная равнина	Низкие речные террасы, днища долин, падей и котловин	Лёсы и лёссовидные суглинки
	7в – Миграционные бугры пучения	Бугры: $\varnothing = 2-8$ (5), $h = 0.3-0.6$; понижения: $b = 0.5-1.0$	Денудационная цокольная равнина	Пологие склоны сопок и небольших долин, днища плоскодонных неглубоких эрозионных ложбин и депрессий	Коры выветривания глинистого состава
8	Комплекс полигонального и полигонально-бугристого микрорельефа	Полигоны: $\varnothing = 2-5$, $h = 0.1-0.15$, понижения: $b = 0.2-0.3$; бугры: $\varnothing = 1.5-5$ (3), $h = \text{от } 0.2 \text{ до } 0.4$, понижения: $b = 0.30-0.4$	Мелкосопочник	Межсочные плоскодонные сухие долины	Суглинки, пески
9	Чётковидные русла	Чётки: $l = 10-80$ (25), $b = 10-40$ (20), $h = 2-5$ (3); сужения русла: $l = 10-70$ (35), $b = 1-3$, $h = 0.5-1$	Аккумулятивная озерно-аллювиальная и аккумулятивная аллювиальная равнины	Речные долины	Пески, суглинки, глины

и редуцированные формы на космоснимках имеют нечеткую выраженность, смазанность конфигураций и преимущественно неправильную овальную форму размером от 50 до 150 м в поперечнике. Полигональные системы здесь сильно трансформированы, и блоки теряют свои полигональные очертания. На местности слитно-полигональный и редуцированный микрорельеф не выражен.

К плоским междуречным пространствам и высоким надпойменным террасам рек, сложенным с поверхности лёссами и лёссовидными суглинками, приурочен *западинный микрорельеф*. Он представлен округлыми, овальными продолговатыми или лопастными плоскодонными западинами, расположенными изолированно друг от друга или группами, образуя определенные системы (рис. 1д, 1е). Особенно хорошо западинные формы выражены на практически горизонтально-ровных поверхностях. Западины не связаны с современной или древней речной сетью и находятся в окружении полигонально-блочного, блочного и блочно-западинного микрорельефа. Часто днища котловин разбиты сетью полигонов, с размером решетки в среднем ~30 м.

В зависимости от размера западины региона подразделяются на два подтипа: небольшие западины, имеющие диаметр от нескольких до 20–50 м, глубину до 1 м, расположенные обычно упорядоченно – по полигональной сети (*мелкозападинные*) и крупные западины (*палеоаласы*) диаметром от 50 м до 1–5 км, глубиной до 2–4 м. Самые крупные озера в Зауралье – Шалкар-Ега-Кара ($S = 96.0 \text{ км}^2$), Айке ($S = 65.0 \text{ км}^2$), Жетыколь ($S = 40.0 \text{ км}^2$); в Предуралье – озеро Курколь ($S = 6.5 \text{ км}^2$), на Общем Сырте – Новопокровское болото ($S = 1.4 \text{ км}^2$).

Бугристо-западинный микрорельеф представлен чередованием небольших бугров (гряд) и западин округлой или овальной формы, имеющих полигональный рисунок в плане, размеры которых различны и определяются мощностью и составом отложений. Диаметр бугров и западин составляет 5–20–30 м, превышение бугров над западинами от 0.5 до 1.5 м. Бугристо-западинный микрорельеф приурочен, в основном, к первым и вторым надпойменным террасам рек, к нижним частям склонов и к днищам долин.

Бугристо-западинный микрорельеф в Заволжско-Уральском регионе представлен несколькими подтипами в зависимости от литологического состава пород, на которых он получил развитие: микрорельеф, развитый на гипсоносных гажевых отложениях (гаже); микрорельеф на морских глинах батского яруса юрской системы; микрорельеф на песчаных отложениях речных террас.

В пределах Общего Сырта в бассейне р. Салмыш встречается бугристо-западинный микрорельеф, развитый на гипсоносных гажевых отложениях (гаже), представляющих собой рассыпчатую, мучнистую светло-серую массу, содержащую до 70% мучнистого гипса мощностью до 3.5 м (рис. 2а, 2б). Гажевые отложения также являются продуктом перигляциальных эпох, сформировавшихся в неоплейстоцене в слабопроточных озеровидных водоемах, в результате осаждения гипса из концентрированных растворов. Источником гипса послужили широко распространенные на водоразделах гипсоносные породы пермского возраста. Накоплению сульфатов на поверхности способствовала многолетняя мерзлота, активно участвующая в физическом разрушении коренных пород (гипса) и являющаяся водоупором, препятствующим просачиванию воды с растворенными в ней солями в нижележащие породы.

Микрорельеф представлен округлыми западинами конусовидной формы диаметром от нескольких до 25 м и глубиной от 0.5 до 1.5 м, расположенными между ними пологими микроповышениями диаметром до 20–30 м и слабо выраженными, линейно вытянутыми, узкими ложбинообразными понижениями, ограничивающими склоны микроповышений и соединяющими западины. Дно западин осложнено воронкообразными углублениями размером $0.3 \times 0.4 \text{ м}$ и глубиной до 0.15 м. Микроповышения часто осложнены полигонально-бугристым микрорельефом, состоящим из серии изометричных бугров размером от 2.5 до 3.5 м в поперечнике и высотой от 0.3 до 0.4 м, разделенных вытянутыми понижениями. Микрорельеф приурочен к участкам резкого расширения долины рек и образует обширные поля площадью до нескольких квадратных километров.

На морских глинах батского яруса юрской системы, представленных черными сланцевыми глинами с прослоями аргиллитов, перекрытых метровой пачкой облёссованных глин четвертичного возраста, встречен бугристо-западинный микрорельеф, состоящий из хорошо выраженных в рельефе бугров и вытянутых гряд (микроповышений), разделенных широкими ложбинообразными микропонижениями. Микрорельеф организован в сеть, в узлах которой развиты конусообразные западины (рис. 2в–д), и приурочен к пологим склонам. Форма и размеры микроповышений различны: округлые – диаметром 6–15 м; вытянутые слабоизогнутые длиной 10–25 м и шириной около 5–8 м; сильно вытянутые червеобразно изогнутые длиной 20–40 м и шириной 7–9 м, лопастные с несколькими вершинами. Микропонижения имеют вытянутую изгибающуюся форму шириной 5–7 м

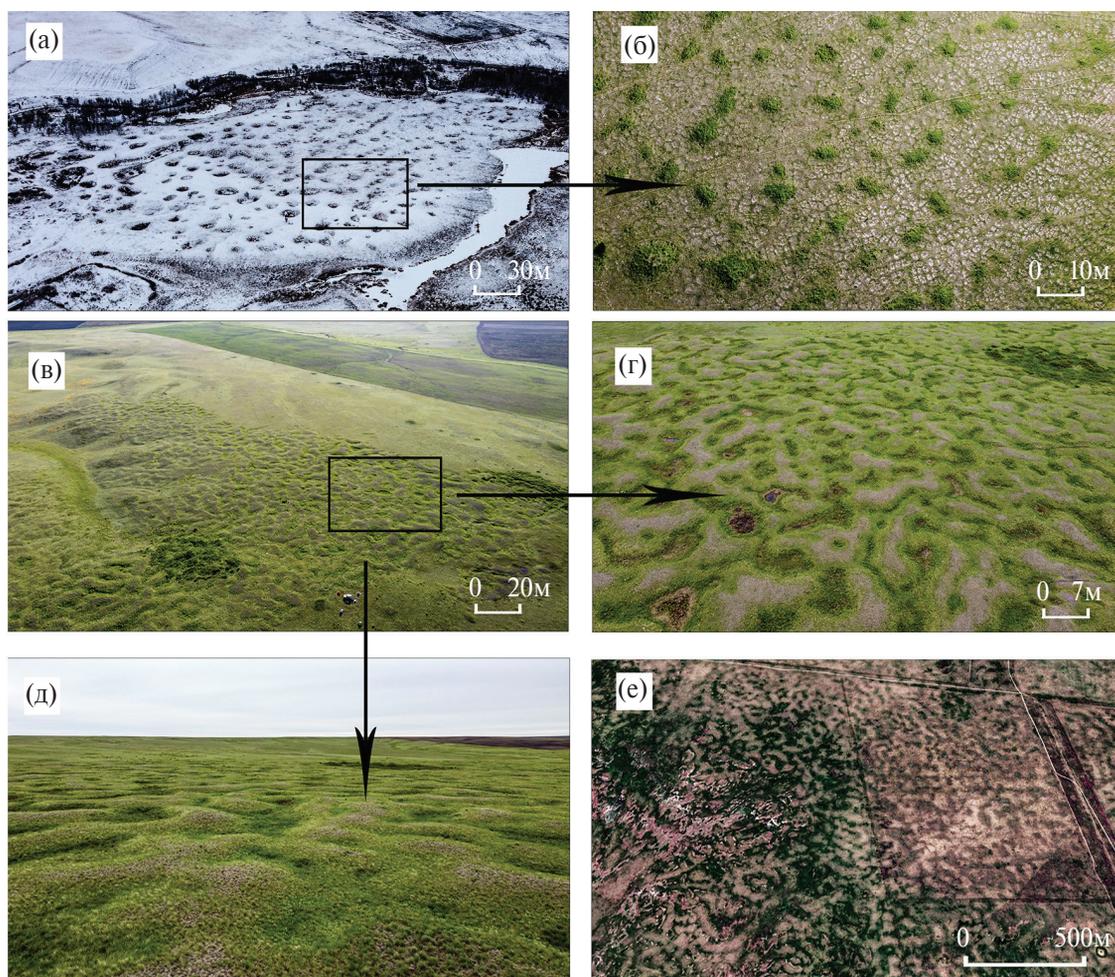


Рис. 2. Бугристо-западинный микро рельеф: (а, б) – на гипсоносных гажевых отложениях (гаже); (в–д) – на морских глинах батского яруса юрской системы, перекрытых облессованными глинами и суглинками; (е) – на песчаных отложениях речных террас.

Fig. 2. Hilly-depressions microrelief: (а, б) – on gypsisol; (в–д) – on marine clays of the Bathonian stage of the Jurassic system, overlain by baled clays and loams; (е) – on sandy deposits of river terraces.

с серией округлых западин в виде чёток диаметром 3–5 м. Превышение микро рельефа составляет до 1–1.5 м. Вершины микроповышений в виде микрогребней с бугорчатым микро рельефом, образованным бутанами сусликовин.

На Общем Сырте в долине р. Татарки (бассейн р. Иртек) встречены три разобщенных ареала такого микро рельефа. Самый крупный участок (52°1'25.69 с.ш.; 52°41'55.47 в.д.) имеет площадь 0.15 км² и приурочен к пологим склонам верховья балки, окружая ее амфитеатром.

На речных террасах, сложенных с поверхности песчаными и супесчаными отложениями, также развит *бугристо-западинный микро рельеф*, но представленный округлыми буграми и вытянутыми грядами длиной от 30 до 100 м, шириной 20–40 м, сочетающимися с котловинами и ложбинами, часто замкнутыми или полузамкнутыми, диаметром от 20

до 40–50 м и глубиной от 0.5 до 0.8 м (рис. 2е). Сочетание бугров с разделяющими их узкими извилистыми ложбинами и пологими котловинами придает рельефу ячеистый характер. Характерен для боровых надпойменных террас рек Самара, Большой и Малый Уран, Ток, Бузулук, Боровка, Урал, Илек, Малая Хобда, Иртек, Кинделя, Карабутак, Орь, Большой Кумак и др., а также Орской и Урало-Тобольской равнин с поверхности сложены песчаными и супесчаными отложениями.

Характерным элементом микро рельефа степных ландшафтов является специфический *полигонально-бугристый микро рельеф*, состоящий из серии изометрических микроповышений, имеющих форму выпуклых многоугольников, разделенных вытянутыми ложбинообразными понижениями, которые формируют в рельефе строго упорядоченные полигональные системы.

Данный микрорельеф распространен на породах различного литологического состава и в зависимости от этого имеет свои региональные названия (которые мы будем использовать при их описании). Выделяем следующие подтипы полигонально-бугристого микрорельефа: на участках, сложенных верхнемеловыми породами, микрорельеф представлен меловыми полигонами; на участках, сложенных дисперсными породами — туффурами; на зауральских пестроцветных корках выветривания — миграционными буграми пучения.

На верхнемеловых отложениях маастрихтского яруса (C_2m), представленных с поверхности белым пясчким мелом и мелоподобными мергелями, распространены *меловые полигоны* (рис. 3а–г). Микрорельеф представлен выпуклыми полигонами высотой 0.3–0.5 м и разделяющими их ложбинообразными понижениями. Диаметр полигонов изменяется от 3.5 м до 7.2 м и в среднем составляет 5.0 м. Повышения имеют асимметричный профиль с более крутыми и короткими северными склонами

и длинными пологими южными. Понижения глубиной 0.1–0.15 м и шириной 0.6–0.8 м в местах пересечения расширяются до 1.0–1.2 м. В центре меловых полигонов незадернованные пятна меловой “муки” диаметром от 0.5 до 4 м возвышаются над поверхностью на 0.1–0.15 м. Тонкодисперсный меловой материал насыщен щебнем и фрагментами белемнитов. Меловые пятна разделены на сегменты тонкими трещинами, занятыми растительностью под прямым углом или трехлопастными трещинами более мелкой генерации. На плоской поверхности пятен, сложенных меловой мукой, встречаются мелкие бугорки высотой до 0.05–0.1 м.

Поля меловых полигонов формируют локальные участки площадью от 5 до 30 га и приурочены к слабонаклонным ($2-3^\circ$) склонам речных долин южной и юго-западной экспозиции, где денудационными процессами близко к поверхности выведены меловые породы, а процессы физического выветривания измельчили породу до размерности глинистых частиц. На одном участке можно насчи-

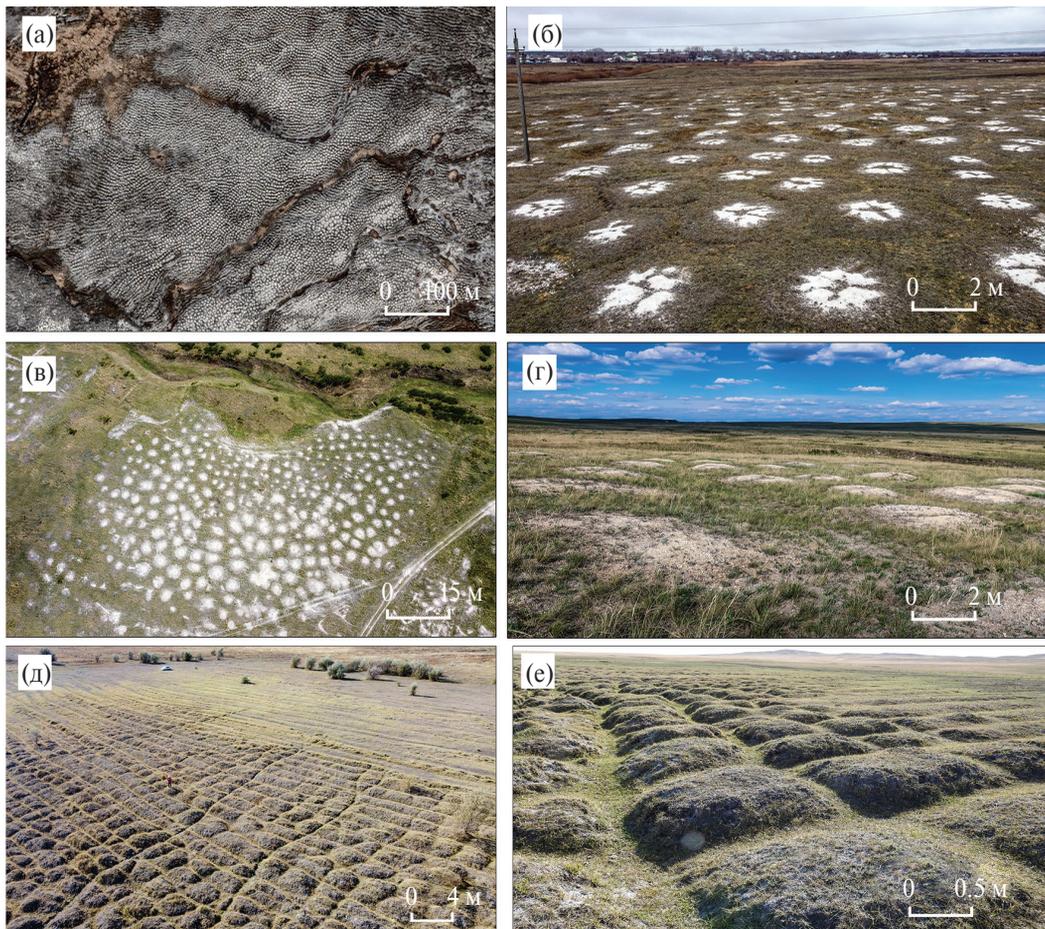


Рис. 3. Реликтовый криогенный микрорельеф Заволжско-Уральского региона: (а–г) — меловые полигоны; (д, е) — туффуры.

Fig. 3. Relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region: (а–г) — chalky polygons; (д, е) — tufurs.

тать в среднем около 300–350 меловых полигонов. Их поля широко распространены на юго-востоке Восточно-Европейской равнины в пределах Подуральского плато (в бассейнах рек Утва, Илек, Большая и Малая Хобды, Есенанката, Олента, Булдухта, Калдыгайта, Жаксыбай, Киил, Уил) и Общего Сырта (в бассейнах рек Чаган, Деркул, Большой Камышлак, Бузулук, Чиж-1, Чиж-2).

На участках, приуроченных к берегам озер, низким речным террасам, к днищам долин, падей и котловин, впервые в степной зоне описаны *туфурсы*, представленные серией невысоких заросших бугров или валообразными грядами, разделенных понижениями шириной от 0.3 до 0.6 м (рис. 3д, 3е). Размер бугров составляет в поперечнике от 1.5 до 3.0 м, высота – от 0.2 до 0.4 м. Форма бугров прямоугольная, округлая или куполообразная, с крутыми склонами и уплощенной вершиной. На склонах бугры трансформируются в параллельные друг другу заросшие валообразные гряды высотой около 0.2–0.3 м и длиной до 30 м. Микро рельеф имеет строго упорядоченное расположение и образует полигонально-сетчатый или полосчатый рисунок на пологих склонах, который хорошо читается на космоснимках. Выделено около 200 туфуровых полей в долинах рек Тузлукколь, Тарабутак, Илек, Большой Кумак, Салмыш, Шестимир, Мельник, Кызала, Башкирка, Неть, Губерля и др. Наиболее крупный ареал туфуров находится в Зауралье в долине р. Баузды (приток р. Большой Кумак).

На зауральских пестроцветных корках выветривания распространены *миграционные бугры пучения*, представленные изометричными незадернованными буграми с пологими склонами, плоскими вершинами и чашеобразными углублениями в центре. Их размеры составляют от 2 до 8 м, высота 0.3–0.6 м (рис. 4а–г). Расстояние между центрами соседних бугров составляет от 5 до 10 м. Бугры разделены ложбинами шириной ~0.5–1.0 м, заросшими растительностью. В центральной части ложбин между буграми находятся узкие воронкообразные трещины шириной 0.05–0.1 м и глубиной 0.1–0.2 м. В плане ложбинообразные понижения образуют сеть, состоящую из пяти-, шестиугольных полигонов с размером решетки 5–10 м, в ячейках которой расположены бугры. Они сложены глинистой породой, образующей на поверхности плотную крепкую корку, разбитую серией радиально-поперечных или концентрически-продольных трещин. Форма бугров различна – округлые, эллиптические, эллиптически-удлиненные, эллиптически-вытянутые, эллиптически-вытянутые изогнутые (в виде разорванного кольца), кольцевые, овально-треугольные, овально-полигональные

и сложно-лопастные. Цвет бугров зависит от цвета коры выветривания и может быть красным, малиновым, серым, желтым, розовато-коричневым, лиловым, оранжевым, палевым, темно-серым, фиолетовым и др. Часто в пределах одного участка выделяются несколько зон различного цвета.

Встречается полигональная сеть без микро рельефа, представленная четырех-, пяти- или шестиугольными полигонами, лишенными растительности и ограниченными ложбинообразными понижениями глубиной 0.1–0.15 м и шириной 0.2–0.4 м (рис. 4д). Размеры полигонов изменяются от 2 до 20 м. Внутри некоторых крупных полигонов фиксируется более мелкая полигональная сеть. Растительность отмечается только по полигональной сети различных генераций. Характерна морозная сортировка обломочного материала (рис. 4е).

Микро рельеф локально распространен в пределах Урало-Тобольского плато на выровненных площадях развития древней коры выветривания и продуктов ее переотложения, представленных практически однородной глинистой массой пестроокрашенных цветов. Формирует локальные участки площадью от 10 до 40 га и приурочен к пониженным частям рельефа: к пологим склонам сопок и небольших долин или располагается на дне плоскодонных неглубоких эрозионных ложбин и депрессий в рельефе, где эрозионными процессами снесен лёссовидный суглинок, и коры выветривания выходят непосредственно на поверхность. Так же, как и меловые полигоны, единичные участки с полигонально-бугристым микро рельефом на древних корках выветривания встречаются редко, обычно они образуют поля, состоящие из нескольких разобщенных участков, содержащих в среднем около 200–250 бугров-полигонов. Бугры пучения распространены в бассейнах рек Орь (балки Кудуксай и Сазды, реки Киембай, Тюлькубая, Мендыбай, Кугутык, Камсак, Ушкота), Большой Кумак (реки Акжарка, Жабыга, Верхняя Славянка, Алгабаз), Суундук (реки Солончанка, Безымянная) и др.

На территории Южного Урала в Губерлинских горах в межсопочных плоскодонных сухих долинах описан комплекс *полигонального и полигонально-бугристого микро рельефа* (рис. 5а, 5б). Полигональный микро рельеф представлен плоскими многоугольниками размером от 2 до 5 м в поперечнике. По форме преобладают пяти- и шестиугольники, встречаются также четырехугольные полигоны, которые на слабонаклонных склонах трансформируются в параллельные друг другу вытянутые полосы, ориентированные вдоль склона. Полигоны разделены ложбинообразными микропонижениями шириной ~0.3 м и глубиной 0.1–0.15 м. По-

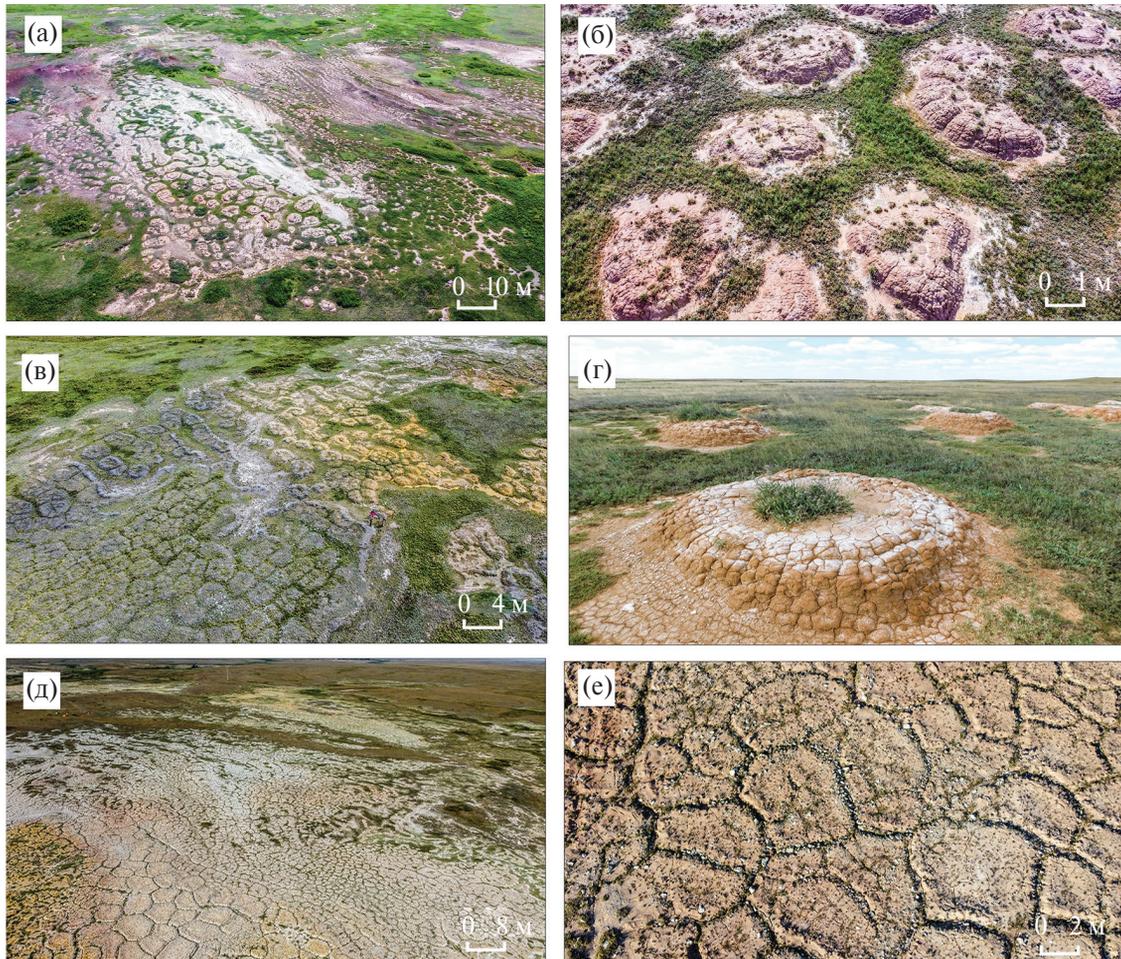


Рис. 4. Реликтовый криогенный микро рельеф Заволжско-Уральского региона: (а–г) – миграционные бугры пучения на корках выветривания; (д) – полигональный микро рельеф на корках выветривания; (е) – морозная сортировка крупного материала “каменные кольца”.

Fig. 4. Relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region: (a–г) – palsa on weathering crusts; (д) – polygonal microrelief on weathering crusts; (е) – frost sorting of large material “stone rings”.

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

Полигонально-бугристый микро рельеф состоит из серии заросших растительностью изометричных бугров, разделенных вытянутыми понижениями шириной до 0.3–0.4 м, густо заросшими растительностью. Диаметр бугров изменяется от 1.5 до 5 м с медианой ~3 м, высота от 0.2 до 0.4 м. Они имеют округлую или удлиненную форму с крутыми склонами и куполообразными вершинами. Участки с бугристым микро рельефом приурочены к ложбинообразным депрессиям, выработанным в дни-

ще долины, и по форме и конфигурации следуют границам микро долин. В плане депрессии имеют разветвленный рисунок, состоящий из магистральных микро долин шириной 7–10 м и расширенных участков шириной до 70 м. Таким образом, участки с бугристым микро рельефом соединены в закономерно построенную сеть. Заросшие растительностью бугры на космоснимках также имеют полигонально-сетчатый рисунок и состоят из темных полигонов, ограниченных светлыми линиями.

Для речных долин небольших водотоков характерны *чётковидные русла* (*чёткообразные долины рек, чёткообразные русловые формы, чёткообразный дренаж, бусовидный дренаж*), состоящие из ритмично чередующихся по длине глубоких озеровидных расширений и соединяющих их узких проток, напоминающих чётки или бусы (рис. 5в, 5г). Причем часто это не единичные формы или группы нескольких близких по размерам форм, а целые системы, со-

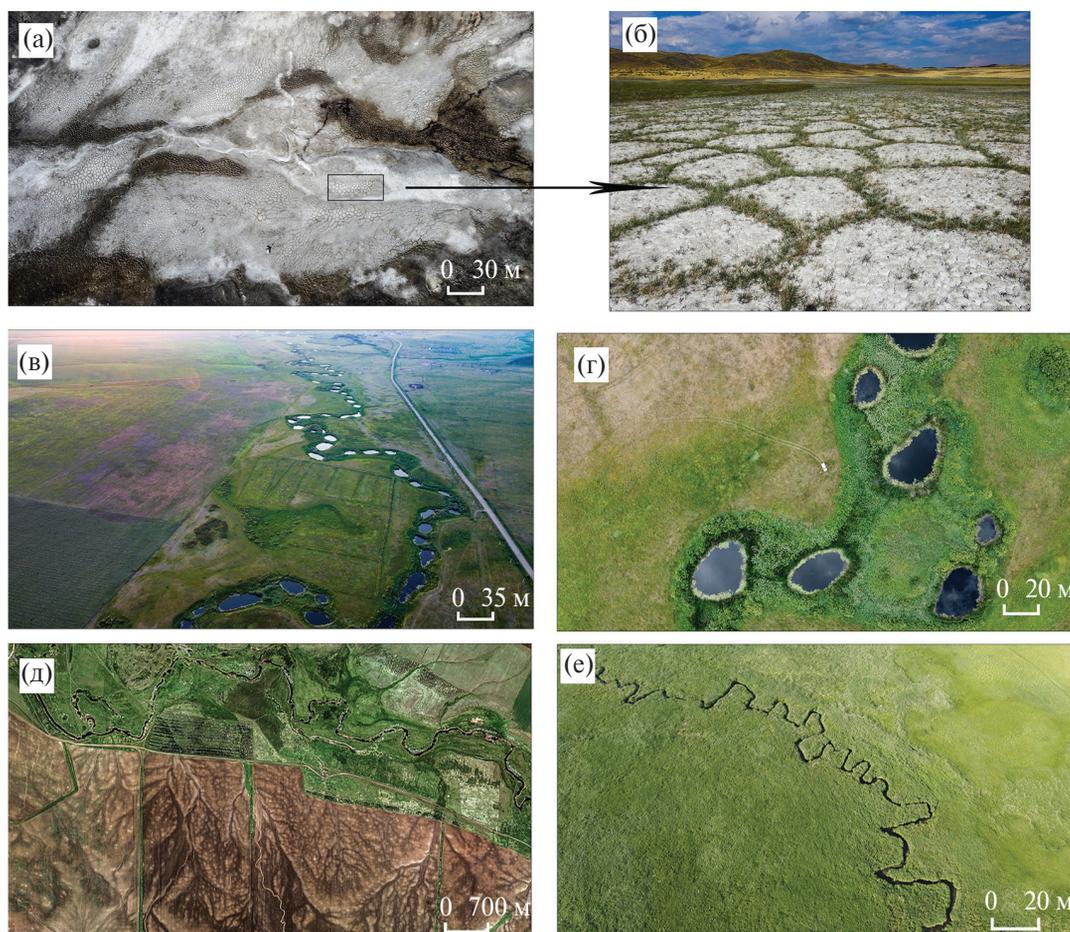


Рис. 5. Реликтовый криогенный микро рельеф Заволжско-Уральского региона: (а, б) – полигональный и полигонально-бугристый микро рельеф в межсочных долинах в Губерлинских горах; (в) – четковидные русла в долине р. Башкирки; (г) – четковидные русла в долине р. Киндельки; (д) – четковидные русла в долине р. Киндельки, в окружении полигонально-блочного микро рельефа; (е) – коленообразные изгибы русла в верхьях долины р. Салмыш.

Fig. 5. Relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region: (a, б) – polygonal and polygonal-hilly microrelief in the flat-bottomed dry interstitial valleys of the Huberlin mountains; (в) – beaded streams in the River valley Bashkirka; (г) – beaded streams in the River valley Kindelka; (д) – beaded streams in the River valley Kindelka, surrounded by polygonal block microrelief; (е) – knee-shaped bends of the channel in the upper reaches of the Salmys River.

стоящие их нескольких сотен озеровидных расширений, следующих друг за другом и вытянутых по уклону поверхности. Четки имеют округлую, овальную, каплевидную, серповидную или продолговатую формы, длину 10–80 м (средняя длина 25 м), ширину 10–40 м (средняя ширина 20 м), глубину от 2 до 5 м. Озеровидные расширения соединены между собой узкими мелководными участками длиной от 10 до 70 м (средняя длина 35 м), шириной 1–3 м и глубиной 0.5–1 м.

Четковидные русла широко распространены на территории Заволжско-Уральского региона и обнаружены на многих участках выположенных днищ долин малых рек в бассейнах рек Урал (реки Чаган, Башкирка, Кинделя, Кинделька, Иртек, Заживная, Большая Песчанка, Малая Песчанка, Большой Кумак, Малая Хобда, Кара-

бутак, Орь, Губерля), Самары (реки Малый Кинель, Бузулук, Енкала, Именинник, Съезжая, Кувай, Лебязка, Сорока, Сорочка), Сакмары (реки Неть, Салмыш, Янгиз, Ялонга, Чебенька, Бурунча) и мн. др. Они многочисленны также в пойменных протоках и старицах рек на широких пойменных участках. Вне зависимости от районов их распространения на территории региона реки с четковидными руслами объединяет ряд общих закономерностей. Прежде всего, они приурочены к участкам выполаживания продольного профиля речной долины – расширениям днищ долин и приустьевым областям рек, где затруднен поверхностный сток воды. Обычно это реки с малой мощностью водного потока, водотоки 1–3 порядка с очень небольшими (менее 0.2%) уклонами. Четковидные русловые формы получили развитие на участках,

сложенных рыхлыми породами (глинами, лёссами, суглинками, супесями). Реки с чётковидными руслами имеют узкие долины с врезанными или адаптированными прямолинейными руслами, которые часто образуют коленообразные изгибы (рис. 5г). Для бассейнов рек характерен полигонально-блочный и блочно-западинный микро-рельеф с размером решетки 60×60 и 80×80 м, что соответствует среднему значению расстояния между центрами соседних чётков, в расширенных участках долин распространен бугристо-западинный и полигонально-бугристый (туфуры) микро-рельеф (рис. 5д).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Заволжско-Уральский регион характеризуется разнообразными формами палеокриогенного микро-рельефа и их хорошей сохранностью. Микро-рельеф чаще всего представлен полигональными формами различного размера, которые приурочены к разным геоморфологическим уровням, составу поверхностных отложений, степени увлажненности территории. Всего выделено 9 основных типов РКМ (нумерация соответствует условным обозначениям на карте рис. 6): 1 – полигонально-блочный; 2 – продольно-полосный; 3 – блочный и блочно-западинный; 4 – слитно-полигональный и редуцированный; 5 – западинный; 6 – бугристо-западинный; 7 – полигонально-бугристый; 8 – комплекс полигонального и полигонально-бугристого микро-рельефа в межсочных долин Губерлинских гор; 9 – чётковидные русла. В пределах 3 типов РКМ выделяется несколько подтипов: для западинного – 5а (мелкозападинный) и 5б (палеоаласы), для бугристо-западинного – 6а (на гипсоносных гажевых отложениях), 6б (на морских глинах батского яруса юрской системы) и 6в (на песчаных отложениях речных террас); для полигонально-бугристого – 7а (меловые полигоны), 7б (туфуры) и 7в (миграционные бугры пучения).

Для хорошо дренированных субгоризонтальных водораздельных поверхностей, перекрытых лёссовидными суглинками, характерно повсеместное распространение имеющих практически одинаковую форму и размеры полигонально-блочных форм. Образование наиболее четкого и правильно-полигонального рельефа в покровных лёссовых породах, по мнению А.А. Величко (1996), связано с тем, что они обладают большой влагоемкостью за счет высокой пористости и имеют более или менее постоянные свойства на значительных пространствах и по глубине. Четкость сохранившейся полигональной решетки также свидетельствует о том, что здесь не было мощных жильных льдов, а вмещающие породы содержали мало льда. Скорее

всего, это могли быть или льды с очень большой примесью минеральных включений или просто изначально-грунтовые жилы, поскольку при высокой льдистости верхние части бортов структур разрушились бы и потеряли свою четкость (Величко, 1996). Полигонально-блочный микро-рельеф – самый распространенный тип палеомерзлотного рельефа региона, занимающий более 50% территории (рис. 6).

На пологих склонах лёссовых водоразделов сформировался продольно-полосный микро-рельеф (делли). Сеть морозобойных трещин на склонах преобразована в результате десерпции, термокарста, солифлюкции и других эрозионных и криогенных процессов. При этом под действием силы тяжести как криогенно обусловленные процессы, так и чисто гравитационные больше проявлялись по трещинам вдоль склона. Формировались системы наиболее разработанных “стволовых понижений” – межблочий, вытянутых параллельно друг другу по склону, а перпендикулярные “стволовым” поперечные полосы кольматировались и постепенно исчезали. Чем больше уклон поверхности, тем быстрее его осваивают и трансформируют эрозионные процессы, поэтому продольно-полосный микро-рельеф, как правило, лучше сохраняется на пологих склонах.

На плосковыпуклых увалах и междуречьях полигонально-блочный и продольно-полосный микро-рельеф формирует сопряженные системы. Плоские поверхности водоразделов заняты правильной решеткой полигонально-блочного микро-рельефа, который на склонах трансформируется в продольно-полосный.

На плоских низменных слабодренированных поверхностях в долинах рек в позднем неоплейстоцене накапливались и промерзали дисперсные отложения, формировались сильнольdistые породы. При деградации мерзлоты активные термокарстовые процессы привели к формированию блочного и блочно-западинного микро-рельефа с размером решетки до 200 м, термокарстовых котловин (палеоаласов) и чётковидных русел. Особенно широко крупные озерные котловины распространены в Зауралье, где они являются западным ареалом озерного пояса Западной Сибири, термокарстовый генезис которого объясняется многими учеными (Городецкая, 1957; Бойцов, 1959; Качурин, 1961; Ларин, 2020).

В образовании широко распространенных в долинах малых рек степной зоны чётковидных русловых форм в ряде работ предполагается участие карстово-суффозионных и криогенных процессов (Тарбеева и др., 2016; Камышев и др., 2024). По мнению авторов, они являются реликтовыми формами, наследием плейстоценовой криолитозо-

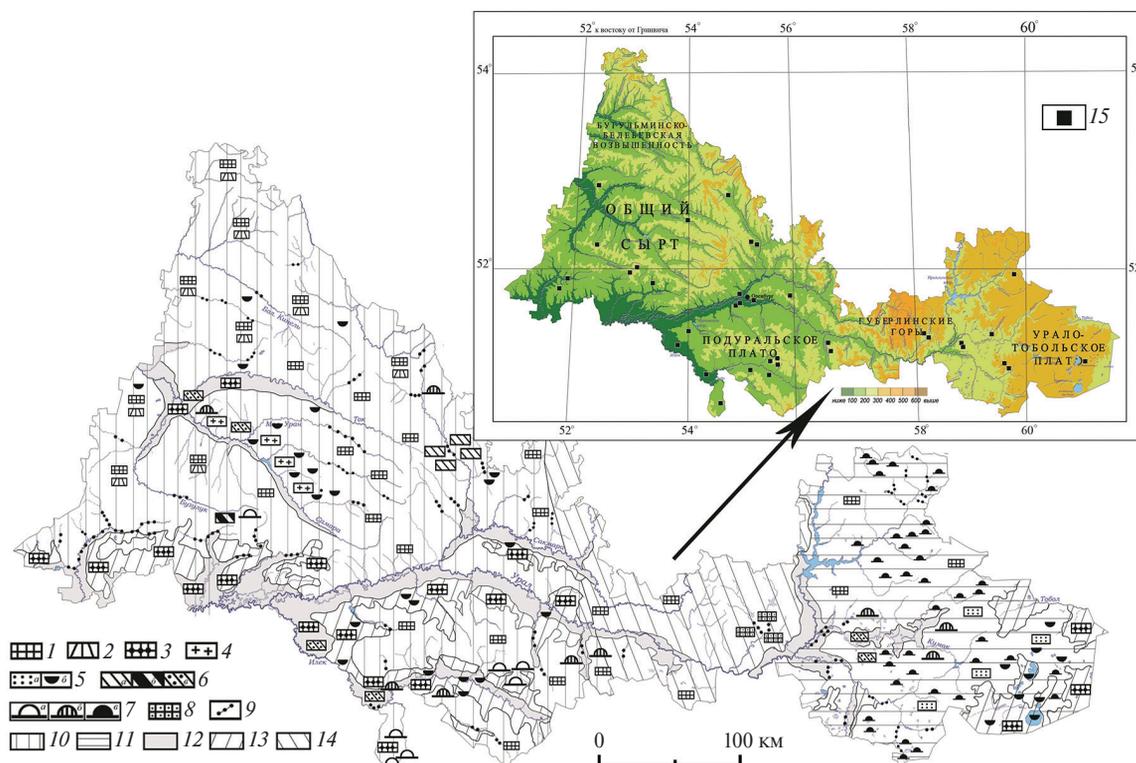


Рис. 6. Карта-схема “Реликтовый криогенный микро рельеф Заволжско-Уральского региона”.

Типы реликтового криогенного микро рельефа (1–9): 1 – полигонально-блочный; 2 – продольно-полосный; 3 – блочный и блочно-западинный; 4 – слитно-полигональный и редуцированный; 5 – западинный (а – мелкозападинный, б – палеоаласы); 6 – бугристо-западинный (а – на гипсоносных гажевых отложениях, б – на морских глинах батского яруса юрской системы, в – на песчаных отложениях речных террас); 7 – полигонально-бугристый (а – меловые полигоны, б – туфуры, в – миграционные бугры пучения); 8 – комплекс полигонального и полигонально-бугристого микро рельефа в межсочных долин Губерлинских гор; 9 – чётковидные русла; генетические типы рельефа (10–14): 10 – эрозионно-денудационная равнина; 11 – денудационная цокольная равнина; 12 – аккумулятивная аллювиальная равнина; 13 – аккумулятивная озерно-аллювиальная равнина; 14 – мелкосопочник; 15 – участки изучения реликтового криогенного микро рельефа (на врезке).

Fig. 6. Map “Relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region”.

Types of relict cryogenic microrelief (1–9): 1 – polygonal-block; 2 – longitudinal-strip; 3 – block and block-depression; 4 – merged-polygonal and reduced; 5 – depressions forms (a – shallow- depressions, б – paleoalas); 6 – hilly-depressions microrelief (a – on gypsisol, б – on marine clays of the Bathonian stage of the Jurassic system, overlain by baled clays and loams, в – on sandy deposits of river terraces); 7 – polygonal-hilly (a – chalk polygons, б – tufurs, в – palsa); 8 – complex of polygonal and polygonal-hilly microrelief in the flat-bottomed dry interstitial valleys of the Huberlin mountains; 9 – beaded streams; genetic types of relief (10–14): 10 – erosion-denudation plain; 11 – denudation basement plain; 12 – accumulative alluvial plain; 13 – accumulative lacustrine-alluvial plain; 14 – small hills; 15 – sites for studying the relict cryogenic microrelief (in the inset).

ны и в современных ландшафтно-климатических условиях не формируются. Озеровидные расширения образовались в конце позднего неоплейстоцена при вытаивании льда в узлах решетки полигонально-жильных льдов (в результате гидрологических и термокарстовых процессов) при освоении водотоками межблочий полигонального рельефа. Термокарстовое происхождение имеют чётковидные расширения русел и в современной криолитозоне (Тарбева, 2018; Беляев и др., 2021). Таким образом, в изучаемом регионе чётковидные русла можно выделить как еще один тип реликтово-

го мерзлотно-термокарстового рельефа, открытого и изученного А.А. Величко в 60-х гг. XX в.

Бугристо-западинный микро рельеф в регионе обладает значительным морфологическим разнообразием, связанным с литологией пород. Приурочены формы в основном к первым и вторым надпойменным террасам рек, к нижним частям склонов и к днищам долин, где в неоплейстоцене наиболее активно шли процессы трещинообразования на низменных, заболоченных и переувлажненных участках. В данном типе бугры представляют собой морфологическую разность блочных образований, сформировавшихся на менее устойчивых, возможно, с боль-

шей льдистостью грунта. Западины располагаются в замках полигональных трещин и сформировались за счет вытаивания жильного льда и заполнения образовавшихся полостей материалом, сползающим со стенок. Отложения в западинах характеризуются значительным увеличением мощности почвенного горизонта, представлены разрывами по трещинам с внедрением осадочного материала, тогда как отложения, слагающие полигоны, сохраняют первичную горизонтальную слоистость осадка.

Полигонально-бугристый микрорельеф встречается на участках близкого расположения к поверхности коренных пород мелового, юрского и триасового возрастов, а также на мезозойских пестроцветных корках выветривания и продуктах их переотложения. В результате процессов физического и криогенного выветривания в неоплейстоцене происходило измельчение (облессование) дочетвертичных отложений. Микрорельеф приурочен к нижним частям пологих склонов южной экспозиции или обширным эрозионным депрессиям в рельефе. Формирование данных форм связано с процессами морозобойного растрескивания и пучения дисперсных отложений в обособленных полигональных ячейках. Формы полигонально-бугристого микрорельефа (меловые полигоны, туфуры, миграционные бугры пучения) являются активными в настоящее время. Современное функционирование и их рост связаны с процессами морозного пучения (зимнего сегрегационного шпирообразования) по механизму образования миграционных бугров пучения в районах современной криолитозоны.

Составлена карта-схема “Реликтовый криогенный микрорельеф Заволжско-Уральского региона” масштаба 1:2500 000 и разработана легенда к ней (рис. 6). На карте внесмасштабными значками выделены ареалы основных типов РКМ.

ВЫВОДЫ

В позднем неоплейстоцене важную роль в формировании рельефа Заволжско-Уральского региона играли криогенные процессы. Разнообразные формы РКМ широко представлены в степных ландшафтах. Реликтовая полигональная сеть — результат процессов морозобойного растрескивания. Решетка размером от нескольких до сотен метров повсеместно дешифрируется на различных геоморфологических уровнях — водоразделах, склонах и речных террасах — и является свидетельством существования на территории региона многолетнемерзлых пород в неоплейстоцене.

Форма полигонов во многом определяется положением в рельефе: на субгоризонтальных поверхностях сформировалась правильная сетка, на склонах под действием экзогенных процессов полигоны

трансформировалась в продольно-полосный рисунок или валобразные гряды.

Региональные особенности форм в зависимости от современного рельефа и состава поверхностных отложений сводятся к следующему: состав поверхностных отложений и приуроченность к разным геоморфологическим элементам определили большую вариативность типов РКМ региона. Наряду с палеокриогенным микрорельефом, широко распространенным на лёссах и лёссовидных суглинках, в регионе встречен микрорельеф на коренных породах мелового, юрского, триасового периодов и дочетвертичных корках выветривания. Часть изученных форм рельефа (меловые полигоны, туфуры, миграционные бугры пучения) остаются активными, а остальные являются исключительно реликтовыми формами.

Основные типы палеокриогенного микрорельефа — полигонально-блочный, продольно-полосный, блочный и блочно-западинный, слитно-полигональный и редуцированный, западинный, бугристо-западинный, полигонально-бугристый, комплекс полигонального и полигонально-бугристого микрорельефа, чётковидные русла — генетически единая система, сформировавшаяся в заключительный этап образования верхнечетвертичных отложений и, вероятно, связана с поздневалдайской фазой криогенеза (ярославский криогенный горизонт), самый активный этап которой отвечает времени максимума похолодания 20—10 тыс. л. н. (Величко, 1973). С использованием материалов космического зондирования земной поверхности проведено картирование палеокриогенных форм исследуемой территории.

Перигляциальные условия неоплейстоцена оказали большое влияние на формирование современной ландшафтной структуры региона, и их наследие проявляется на всех уровнях организации ландшафта. Большинство современных форм мезо- и микрорельефа и ландшафтных комплексов являются “законсервированным” наследием перигляциальных эпох, сохранившимся в современных ландшафтах региона и обеспечивающим его разнообразие.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Фотографии репрезентативных разрезов и обнажений с реликтовыми криогенными структурами на территории Заволжско-Уральского региона доступны по адресу: <https://geomorphology.igras.ru/jour/pages/view/dopmat>

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено по темат: “Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем”

№ ГР АААА-А21-121011190016-1; “Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенных воздействий” № ГР 121051100164-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. (2010). Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС. 178 с.
- Аубекеров Б.Ж. (1990). Криогенные структуры и криолитозоны плейстоцена Казахстана. *Известия АН СССР. Серия географическая.* № 4. С. 102–110.
- Беляев Ю.Р., Панин А.В., Бронникова М.А. и др. (2021). История формирования рельефа западной части Турано-Уюкской котловины (Тувинское нагорье) в позднем плейстоцене. *Геоморфология.* Т. 52. № 4. С. 15–27. <https://doi.org/10.31857/S0435428121040040>
- Бердников В.В. (1976). Палеокриогенный микрорельеф Центра Русской равнины. М.: Наука. 124 с.
- Богущий А.Л., Величко А.А., Нечаев В.П. (1975). Палеокриогенные процессы на западе Украины в верхнем и среднем плейстоцене. В сб.: *Проблемы региональной и общей палеогеографии лёссовых и перигляциальных областей.* М.: Институт географии АН СССР. С. 80–90.
- Бойцов М.Н. (1959). О реликтах мерзлотного рельефа на восточном склоне Южного Урала. В сб.: *Информационный сборник.* Л.: ВСЕГЕИ. № 15. С. 55–66.
- Бойцов М.Н. (1961). Следы перигляциальных явлений на восточном склоне Южного Урала. В сб.: *Материалы по геологии Урала.* Л.: ВСЕГЕИ. С. 107–128.
- Бутаков Г.П. (1986). Плейстоценовый перигляциал Русской равнины. Казань: Изд-во Казанского ун-та. 144 с.
- Величко А.А. (1965). Криогенный рельеф позднеплейстоценовой перигляциальной зоны (криолитозоны) Восточной Европы. В сб.: *Четвертичный период и его история.* М.: Наука. С. 104–120.
- Величко А.А. (1973). Природный процесс в плейстоцене. М.: Наука. 256 с.
- Величко А.А., Морозова В.П., Нечаев О.М. и др. (1996). Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. М.: Наука. 150 с.
- Гаранкина Е.В., Лобков В.А., Шоркунов И.Г. и др. (2021). Реликтовая криогенная морфоскульптура в разрезах и рельефе Борисоглебской возвышенности. В сб.: *Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко “Пути эволюционной географии – 2021”.* Вып. 2. М.: ИГ РАН. 2021. С. 85–90.
- Горбунов А.П., Северский Э.В. (2015). Криогенные реликты плейстоцена в Казахстане. *Вопросы географии и геоэкологии.* № 2. С. 26–35.
- Горбунова И.А. (1998). Реликтовые криогенные структуры Северного и Центрального Казахстана и их влияние на современный почвенный покров. В сб.: *Региональные проблемы экологии, географии и картографии почв.* С. 176–188.
- Городецкая М.Е. (1958). Свидетели былой вечной мерзлоты в Павлодарской области. *Известия АН СССР. Серия географическая.* № 5. С. 65–72.
- Достовалов Б.Н. (1960). Закономерности развития тетрагональных систем ледяных и грунтовых жил в дисперсных породах. В сб.: *Перигляциальные явления на территории СССР.* М.: МГУ. С. 122–156.
- Еременко Е.А., Фузеина Ю.Н., Деркач А.А. и др. (2020). Реликтовый криогенный рельеф севера Калининградской области. В сб.: *Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием “Шукинские чтения: рельеф и природопользование”.* М.: МГУ. С. 306–313.
- Ермолин Е.Д. (1985). Мерзлотный рельеф Северного и Центрального Казахстана. В сб.: *Региональные и инженерные геокриологические исследования.* Якутск: ИМ СО РАН. С. 91–101.
- Камышев А.А., Куракова А.А., Тарбеева А.М. (2024) Распространение и морфометрические характеристики чётковидных русел северной части степной зоны Русской равнины. *Геоморфология и палеогеография.* Т. 55. №. 4. С. 129-143. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040089>
- Каплина Т.Н., Романовский П.Н. (1960). О псевдоморфозах по полигональному льду. В сб.: *Перигляциальные явления на территории СССР.* М.: Наука. С. 47–59.
- Качурин С.П. (1961). Термокарст на территории СССР. М.: Изд-во Акад. наук СССР. 291 с.
- Ларин С.И., Алексеева В.А., Лаухин С.А. и др. (2020). Особенности формирования состава реликтовых грунтовых жил в основании покровных отложений лесостепного Притоболья. *Криосфера Земли.* Т. 24. № 4. С. 5–18. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-4\(5-18\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-4(5-18))
- Макеев А.О. (2012). Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. М.: Молнет. 258 с.
- Молодых И.И. (1988). Грунты подов и степных блюдец субарального покрова Украины: гидрогеологические и инженерно-геологические особенности. Киев: Наукова думка. 159 с.
- Москвитин А.И. (1962). Плейстоцен Нижнего Поволжья. М.: АН СССР. 263 с.
- Мусихин Г.Д. (1996). Почвообразующие породы Оренбургской области. В сб.: *Проблемы степного природопользования (экология, плодородие и рациональное использование почв).* Оренбург: ДиМур. С. 70–78.
- Попов А.И. (1960). Перигляциальные образования Северной Евразии и их генетические типы. В сб.: *Перигляциальные явления на территории СССР.* М.: МГУ. С. 10–36.
- Попов А.И. (1962). Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры. В сб.: *Вопросы географического мерзлотоведения и перигляциальной морфологии.* М.: МГУ. С. 109–130.
- Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. (1985). Криолитология. М.: МГУ. 239 с.
- Порожнякова О.М. (1979). Реликтовый криогенный микрорельеф южной части Брянской области. *Геоморфология.* № 3. С. 86–93.
- Региональная криолитология. (1989). Под ред. А.И. Попова. М.: Изд-во МГУ. 256 с.

- Рогов В.В., Стрелецкая И.Д., Таратунина Н.А. и др. (2020). Позднеплейстоценовый криогенез в Нижнем Поволжье. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 6. С. 73–85.
- Романовский Н.Н. (1977). Формирование полигонально-жилных структур. Новосибирск: Наука. 213 с.
- Рыжов Ю.В., Голубцов В.А. (2018). Криогенез и развитие эрозионных форм рельефа в лесостепных ландшафтах Селенгинского среднегорья в позднеледниковье и голоцене. *Геоморфология*. № 2. С. 89–98. <https://doi.org/10.7868/S0435428118020074>
- Рябуха А.Г., Поляков Д.Г., Стрелецкая И.Д., Ковда И.В. (2023). Реликтовые криогенные структуры в ландшафтах Заволжско-Уральского региона. В сб.: *Материалы всероссийской конференции “Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек”*. М.: Перо. С. 159–163.
- Семочкина А.Е., Беляев В.Р., Гаранкина Е.В. и др. (2020). Реликтовый криогенный микрорельеф Курской и Ярославской областей. В сб.: *Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием “Шукинские чтения: рельеф и природопользование”*. М.: Изд-во МГУ. С. 363–368.
- Сычева С.А. (2012). Палеомерзлотные события в перигляциальной области Среднерусской возвышенности в конце среднего и позднем плейстоцене. *Криосфера Земли*. Т. XVI. № 4. С. 45–56.
- Таратунина Н.А., Рогов В.В., Лебедева М.П. и др. (2024). Стратиграфия, хронология и палеогеография криогенных явлений Прикаспийской низменности в позднем плейстоцене. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 3. С. 5–31. <https://doi.org/10.31857/S2949178924030018>
- Тарбеева А.М. (2018). О происхождении четковидной формы русел малых рек криолитозоны. *Геоморфология*. № 1. С. 88–95. <https://doi.org/10.7868/S043542811801008X>
- Тарбеева А.М., Крыленко И.В., Сурков В.В. (2016). Озеровидные расширения русел рек степной зоны и возможные причины их формирования (бассейн р. Урал в районе г. Орска). *Геоморфология*. № 1. С. 73–81. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-1-73-81>
- Федорович Б.А. (1962). Мерзлотные образования в степях и полупустыни Евразии. В сб.: *Вопросы стратиграфии и палеогеографии четвертичного периода (антропогена)*. М.: Изд-во АН СССР. С. 70–100.
- Фотиев С.М., Данилова Н.С., Шевелева Н.С. (1974). Геокриологические условия средней Сибири. М.: Наука. 148 с.
- Шкатова В.К., Никулин А.Г. (1998). Лёссово-почвенная стратиграфия Оренбургского Предуралья. В сб.: *Материалы всероссийского совещания “Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке”*. СПб.: ВСЕГЕИ. С. 57–58.
- Ryabukha A.G., Streletskaya I.D., Polyakov D.G. et al. (2021). Relict cryogenic structures in the Orenburg region landscapes. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci.* 817012093. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012093>
- Sharp R.P. (1942). Soils structures in the St. Elias Range, Yukon Territory. *J. Geomorphology*. Vol. 5. No. 4. P. 274–301.
- Vandenberghe J., French H.M., Gorbunov A. et al. (2014). The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. *Boreas*. Vol. 43. Iss. 3. P. 652–666. <https://doi.org/10.1111/bor.12070>

RELIC CRYOGENIC MICRORELIEF OF THE ZAVOLZHYE-URALS REGION¹

A. G. Ryabukha^{a,#}, I. D. Streletskaya^b, D. G. Polyakov^a, and I. V. Kovda^c

^a*Institute of Steppe of the Ural Branch of the RAS, Orenburg, Russia*

^b*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow Russia*

^c*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: annaryabukha@yandex.ru*

The article is devoted to the study and analysis of the microrelief of the Zavolzhye-Urals region on the elevated erosion-denudation surfaces of the East European Plain (Bugulminsko-Belebeevskaya Upland, Obshchy Syrt and the Subural plateau), denudation basement plains of the southern Trans-Urals (Uralo-Tobolsk plateau) and low mountains of the Southern Urals. The leading role of relict cryogenic processes in its formation is assumed. The morphological and morphometric indicators of the relict permafrost relief (polygonal-block; longitudinal-strip (delley); merged-polygonal and reduced; hilly-depressions microrelief, etc.) are described, and new types of relict cryogenic microrelief (RCM) for the Zavolzhye-Urals region are established and characterized for the first time. The uniqueness of the paleocryogenic genesis of landscape complexes to the steppe zone is confirmed. In drained areas composed of Upper Cretaceous rocks, the microrelief is represented by “chalk polygons”; in areas composed of dispersed rocks – “tufurs”; on Trans-Ural variegated weathering

¹ For citation: Ryabukha A.G., Streletskaya I.D., Polyakov D.G., and Kovda I.V. (2025). Relic cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals Region. *Геоморфология и Палеогеография*. Vol. 56. No. 1. P. 161–180. (in Russ). <https://doi.org/S2949178925010099>. <https://elibrary.ru/DNTBUX>

crusts of loamy-clayey composition – “palsa”, on gypsisol- hilly-depressions forms. For the first time in the steppe zone, beaded streams forms have been identified as a type of relict cryogenic relief. The connection has been established between areas with various types of paleocryogenic microrelief and modern relief, geomorphological position and composition of surface sediments. The result of this research was the map-scheme “Relict cryogenic microrelief of the Zavolzhye-Urals region” on a scale of 1:2 500 000.

Keywords: Late Neopleistocene–Holocene; paleocryogenesis; wedge-shaped structures; paleomefrost; polygonal relief

SUPPLEMENTARY MATERIALS

Photographs of representative sections and outcrops with relict cryogenic structures on the territory of the Zavolzhye-Urals region is available at: <https://geomorphology.igras.ru/jour/pages/view/dopmat>

ACKNOWLEDGMENTS

This report is prepared as part of “Problems of steppe environmental management in the context of modern challenges: optimization of the interaction of natural and socio-economic systems” No. AAAA-A21-121011190016-1; “Evolution of the cryosphere under climate change and anthropogenic influences” No. 121051100164-0.

REFERENCES

- Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A.Yu. (2010). Paleokriogenez i raznoobrazie pochv tsentra Vostochno-Evropeiskoi ravniny (Paleocryogenesis and soil diversity in the center of the East European Plain). Moscow: GEOS (Publ.). 178 p. (in Russ.)
- Aubekero B.Zh. (1990). Cryogenic structures and cryolithozones of the Pleistocene of Kazakhstan. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. No. 4. P. 10–110. (in Russ.)
- Belyaev Yu.R., Panin A.V., Bronnikova M.A. et al. (2021). Development of the western part of the Turan-Uyuk basin (Tuva highland) in the Late Quaternary. *Geomorfologiya*. Vol. 52. No. 4. P. 15–27. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0435428121040040>
- Berdnikov V.V. (1976). Paleokriogennyi mikrorel'ef Tsentra Russkoi ravniny (Paleocryogenic microrelief of the Center of the Russian Plain). Moscow: Nauka (Publ.). 124 p. (in Russ.)
- Boguckij A.L., Velichko A.A., Nechaev V.P. (1975). Paleocryogenic processes in western Ukraine in the Upper and Middle Pleistocene. In: *Problemy regional'noi i obshchei paleogeografii lessovykh i periglyatsial'nykh oblastei*. Moscow: Institut geografii AN SSSR (Publ.). P. 80–90. (in Russ.)
- Bojcov M.N. (1959). About relics of permafrost relief on the eastern slope of the Southern Urals. In: *Informatsionnyi sbornik*. Leningrad: VSEGEI (Publ.). No. 15. P. 55–66. (in Russ.)
- Bojcov M.N. (1961). Traces of periglacial phenomena on the eastern slope of the Southern Urals. In: *Materialy po geologii Urala*. Leningrad: VSEGEI (Publ.). P. 107–128. (in Russ.)
- Butakov G.P. (1986). Pleistotsenovyi periglyatsial Russkoi ravniny (Pleistocene periglacial of the Russian Plain). Kazan': Kazanskii un-t (Publ.). 144 p. (in Russ.)
- Dostovalov B.N. (1960). Patterns of development of tetragonal systems of ice and ground veins in dispersed rocks. In: *Periglyatsial'nye yavleniya na territorii SSSR*. Moscow: MGU (Publ.). P. 122–156. (in Russ.)
- Eremenko E.A., Fuzeina Yu.N., Derkach A.A. et al. (2020). Relict cryogenic relief of the north of the Kaliningrad region. In: *Materialy VIII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Shchukinskije chteniya: rel'ef i prirodopol'zovanie"*. Moscow: MGU (Publ.). P. 306–313. (in Russ.)
- Ermolin E.D. (1985). Permafrost relief of Northern and Central Kazakhstan. In: *Regional'nye i inzhenernye geokriologicheskie issledovaniya*. Yakutsk: IM SO RAN (Publ.). P. 91–101. (in Russ.)
- Fedorovich B.A. (1962). Permafrost formations in the steppes and semi-deserts of Eurasia. In: *Voprosy stratigrafii i paleogeografii chetvertichnogo perioda (antropogena)*. Moscow: AN SSSR (Publ.). P. 70–100.
- Fotiev S.M., Danilova N.S., Sheveleva N.S. (1974). Geokriologicheskie usloviya srednei Sibiri (Geocryological conditions of central Siberia). Moscow: Nauka (Publ.). 148 p. (in Russ.)
- Garankina E.V., Lobkov V.A., Shorkunov I.G. et al. (2021). Relict cryogenic morphosculpture in sections and relief of the Borisoglebskaya Upland. In: *Materialy II Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati professora A.A. Velichko "Puti evolyutsionnoi geografii – 2021"*. Vol. 2. Moscow: IG RAN (Publ.). 2021. P. 85–90. (in Russ.)
- Gorbunov A.P., Severskij E.V. (2015). Cryogenic relics of the Pleistocene in Kazakhstan. *Voprosy geografii i geologii*. No. 2. P. 26–35. (in Russ.)
- Gorbunova I.A. (1998). Relict cryogenic structures of Northern and Central Kazakhstan and their influence on modern soil cover. In: *Regional'nye problemy ekologii, geografii i kartografii pochv*. P. 176–188. (in Russ.)
- Gorodeckaya M.E. (1958). Witnesses of former permafrost in the Pavlodar region. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. No. 5. P. 65–72. (in Russ.)
- Kachurin S.P. (1961). Termokarst na territorii SSSR (Thermokarst on the territory of the USSR). Moscow: AN SSSR (Publ.). 291 p. (in Russ.)
- Kamyshev A.A., Kyrakova A.A., Tarbeeva A.M. (2024). Distribution and morphometric characteristics of beaded channels in the northern part of the steppe zone of the Russian Plain. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 55. No. 4. P. 129–143. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2949178924040089>
- Kaplina T.N., Romanovskij P.N. (1960). About pseudomorphoses on polygonal ice. In: *Periglyatsial'nye yavleniya na territorii SSSR*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 47–59. (in Russ.)

- Larin S.I., Alekseeva V.A., Lauhin S.A. et al. (2020). Features of the formation of the composition of relict soil veins at the base of cover deposits of the forest-steppe Tobol region. *Earth's Cryosphere*. Vol. XXIV. No. 4. P. 5–16. (in Russ.) [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-4\(5-18\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-4(5-18))
- Makeev A.O. (2012). Poverkhnostnye paleopochvy lessovykh vodorazdelov Russkoi ravniny (Surface paleosols of loess watersheds of the Russian Plain). Moscow: Molnet (Publ.). 258 p. (in Russ.)
- Molodyh I.I. (1988). Grunty podov i stepnykh blyudets subaeral'nogo pokrova Ukrainy: Hidrogeologicheskie i inzhenerno-geologicheskie osobennosti (Soils of hearths and steppe saucers of the subaerial cover of Ukraine: Hydrogeological and engineering-geological features). Kiev: Naukova dumka (Publ.). 159 p. (in Russ.)
- Moskvitin A.I. (1962). Pleistotsen Nizhnego Povolzh'ya (Pleistocene of the Lower Volga region). Moscow: Izd-vo AN SSSR (Publ.). 263 p. (in Russ.)
- Musihin G.D. (1996). Soil-forming rocks of the Orenburg region. In: *Problemy stepnogo prirodopol'zovaniya (ekologiya, plodorodie i ratsional'noe ispol'zovanie pochv)*. Orenburg: Dimur (Publ.). P. 70–78. (in Russ.)
- Popov A.I. (1960). Periglacial formations of Northern Eurasia and their genetic types In: *Periglyatsial'nye yavleniya na territorii SSSR*. Moscow: MGU (Publ.). P. 10–36. (in Russ.)
- Popov A.I. (1962). Cover loams and polygonal relief of the Bolshezemelskaya tundra. In: *Voprosy geograficheskogo merzlotovedeniya i periglyatsial'noi morfologii*. Moscow: MGU (Publ.). P. 109–130. (in Russ.)
- Popov A.I., Rozenbaum G.E., Tumul' N.V. (1985). Kriolitologiya (Cryolithology). Moscow: MGU (Publ.). 239 p. (in Russ.)
- Popov A.I. (Eds.). (1989). Regional'naya kriolitologiya (Regional cryolithology). Moscow: MGU (Publ.). 256 p. (in Russ.)
- Porozhnyakova O.M. (1979). Relict cryogenic microrelief of the southern part of the Bryansk region. *Geomorfologiya*. No. 3. P. 86–93. (in Russ.)
- Rogov V.V., Streleckaya I.D., Taratunina N.A. et al. (2020). Late Pleistocene cryogenesis in the Lower Volga region. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. No. 6. P. 73–85. (in Russ.)
- Romanovskij N.N. (1977). Formirovanie poligonal'nozhil'nykh struktur (Formation of polygonal vein structures). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 213 p. (in Russ.)
- Ryabukha A.G., Polyakov D.G., Streleckaya I.D., Kovda I.V. (2023). Relict cryogenic structures in the landscapes of the Zavolzhye-Urals region. In: *Materialy Vserossiiskoi konferentsii "Kaspii v plejstotsene i golotsene: evolyutsiya prirodnoi sredy i chelovek"*. Moscow: Pero (Publ.). P. 159–163. (in Russ.)
- Ryabukha A.G., Streletskaya I.D., Polyakov D.G. et al. (2021). Relict cryogenic structures in the Orenburg region landscapes. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci.* 817. 012093. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012093>
- Ryzhov Yu.V., Golubcov V.A. (2018). Cryogenesis and development of erosional landforms in the forest-steppe landscapes of the Selenga midlands in the Late Glacial and Holocene. *Geomorfologiya*. No. 2. P. 89–98. (in Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0435428118020074>
- Semochkina A.E., Belyaev V.R., Garankina E.V. et al. (2020). Relict cryogenic microrelief of the Kursk and Yaroslavl regions. In: *Materialy VIII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Shchukinskie chteniya: rel'ef i prirodopol'zovanie"*. Moscow: MGU (Publ.). P. 363–368.
- Sharp R.P. (1942). Soils structures in the St. Elias Range, Yukon Territory. *J. Geomorphology*. Vol. 5. No. 5. P. 274–301.
- Shkatova V.K., Nikulin A.G. (1998). Loess-soil stratigraphy of the Orenburg Cis-Urals. In: *Materialy Vserossiiskogo soveshchaniya "Glavneishie itogi v izuchenii chetvertichnogo perioda i osnovnye napravleniya issledovaniy v XXI veke"*. Sankt-Peterburg: VSEGEI (Publ.). P. 57–58.
- Sycheva S.A. (2012). Paleomefrost events in the periglacial region of the Central Russian Upland at the end of the Middle and Late Pleistocene. *Kriosfera Zemli*. Vol. XVI. No. 4. P. 45–56. (in Russ.)
- Taratunina N.A., Rogov V.V., Lebedeva M.P. et al. (2024). Stratigraphy, chronology and paleogeography of Late Quaternary cryogenesis in Northern Caspian Lowland. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 55. No. 3. P. 5–31. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2949178924030018>
- Tarbeeveva A.M. (2018). On the origin of beaded river channels shape in the permafrost zone. *Geomorfologiya*. No. 2. P. 88–95. (in Russ.) <https://doi.org/10.7868/S043542811801008X>
- Tarbeyeva A.M., Krylenko I.V., Surkov V.V. Lake-like extensions of the riverbeds in the steppe zone and possible causes of their formation (on the example of the Ural River basin near city of Orsk). *Geomorfologiya*. No. 1. P. 73–81. (in Russ.) <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-1-73-81>
- Vandenbergh J., French H.M., Gorbunov A. et al. (2014). The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. *Boreas*. Vol. 43. Iss. 3. P. 652–666. <https://doi.org/10.1111/bor.12070>
- Velichko A.A. (1965). Cryogenic relief of the Late Pleistocene periglacial zone (cryolithozone) of Eastern Europe. In: *Chetvertichnyi period i ego istoriya*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 104–120. (in Russ.)
- Velichko A.A. (1973). Prirodnyi protsess v Pleistotsene (Natural process in the Pleistocene). Moscow: Nauka (Publ.). 256 p. (in Russ.)
- Velichko A.A., Morozova V.P., Nechaev O.M. et al. (1996). Paleokriogenez, pochvennyi pokrov i zemledelie (Paleocryogenesis, soil cover and agriculture). Moscow: Nauka (Publ.). 150 p. (in Russ.)