

УДК 551.4.07

ГЕНЕЗИС ГРЯДОВО-ЛОЖБИННОГО РЕЛЬЕФА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

А.В. Поздняков^{1,2}, Ю.С. Пупышев¹, А.В. Пучкин^{1,2}, Т.Ш. Фузелла¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



Исследованы текстурные характеристики гряд – структура, гранулометрический и минералогический состав отложений; дана общая характеристика гряд. Установлено, что формирование грядово-ложбинных комплексов Западно-Сибирской равнины произошло в результате развития эоловых дефляционно-аккумулятивных процессов. Изоморфное (автомодельное) формирование парагенетически связанных эолово-аккумулятивных гряд и дефляционно-денудационных ложбин на всех континентах северного полушария явилось реакцией на соответствующие изменения геологических (и климатических) условий среды.

Ключевые слова: голоценовая история, грядово-ложбинный рельеф, текстура, структура, конвергентная слоистость, песчаная пустыня.

Введение

История развития геозкосистем континентальной части северного полушария в голоцене (13 тыс. л. н.) насыщена множеством пространственно разобщенных, но объединенных временем генетически разнородных событий. Главные из них: резкое похолодание климата, сопровождавшееся переформированием экотонных и гибелью мамонтовой фауны; переселение морских млекопитающих (тюленей рода *pusa*) из арктических морей в континентальные озера северной части Евразии (оз. Байкал, Каспийское, Ладожское и другие озера); формирование высоконапорных ледово-подпрудных озерных бассейнов – оз. Миссула (США), Чуйско-Курайское (Россия).

К той же категории природных событий относится и образование протяженных (до 100 км) лениаментоподобных гряд в Южной Сибири (Барабинская равнина и Казахстанское Приишимье), бэровских бугров в Прикаспийской низменности и Калмыкии, гряд Южной Каролины, ориентированных форм рельефа на Великих Равнинах и гряд *paha* – материковых дюн на юго-востоке США (рис. 1).

Можно полагать, что все они характеризуются пролонгированным действием, выразившимся в накоплении информации о направленных изменениях климатических и ландшафтных характеристик в течение 13 тыс. лет. В формировании грядово-ложбинного литогенетического комплекса сосредоточен значительный, до сих пор не полностью раскрытый объем разнообразной информации – не только о его динамике, но и об изменениях природных условий, включая и климатические, произошедших на границах плейстоцена и голоцена в северной части континентов. Научная и практическая

актуальность состоит в разрешении вопроса, действием каких сил было предопределено развитие перечисленных процессов на Земле.

В статье излагаются результаты, полученные при исследовании генезиса грядово-ложбинного геоморфолитогенетического комплекса Барабинской равнины. Его информационная суть позволяет значительно приблизиться к объективному отображению причин, инициировавших изменения климата, которые, предположительно [Волков, 1976, 1980; Величко, Тимирева, 2005; Казьмин, Волков 2010], начались в голоцене (ранний дриас, 13 тыс. л. н.) и продолжают в настоящее время, проявляясь в потеплении климата.

Цель исследования состоит в определении генезиса грядово-ложбинного литогенетического комплекса (ГЛПК). Приведены результаты изучения геологических разрезов слагающих гряды отложений; представлена общая характеристика текстуры, слоистости и структуры отложений; характеристика гранулометрического и минералогического состава. На основе их анализа делается вывод о формировании ГЛПК вследствие активного действия дефляционно-аккумулятивных процессов, по-видимому, начавшихся в раннем дриасе. Установлено, что в моделировке дефляционно-аккумулятивного грядово-ложбинного рельефа заметно влияние более позднего развития абразионно-аккумулятивных процессов. Определение генезиса гряд проведено на основе дешифрирования космических снимков, маршрутного геоморфологического обследования грядово-ложбинного комплекса Барабинско-Чановской территории и анализа результатов ранее проводившихся исследований.

Современное состояние изученности проблемы генезиса грядово-ложбинного литогенетического комплекса. Генезис, причины и условия образования про-

тяженных лениаментоподобных ленточных гряд в южной части Западно-Сибирской равнины (Барабинско-Чановский, Приишимский и другие грядовые ком-

плексы) до настоящего времени представляются и описываются в виде недостаточно обоснованных фактическим материалом постулируемых положений.

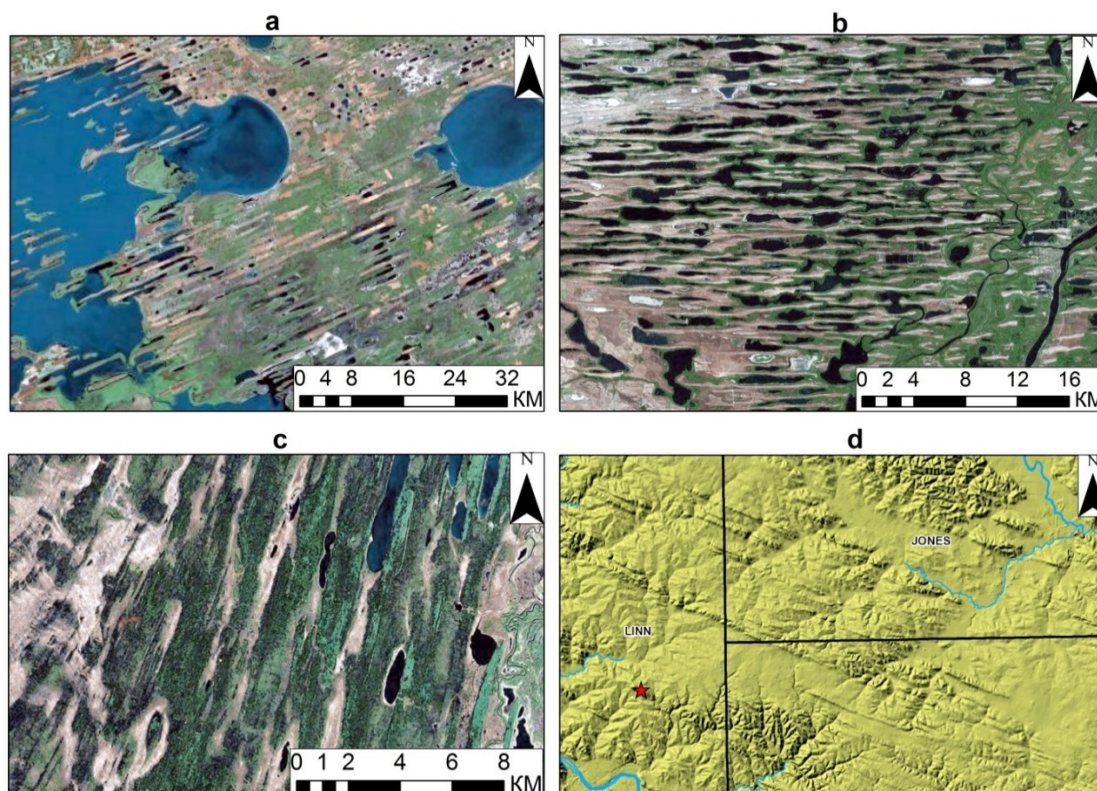


Рис. 1. Фрагменты грядово-ложбинного рельефа, сформировавшегося на территории континентальной части Северного полушария

a – грядово-ложбинный рельеф Чановско-Барабинской равнины (Западно-Сибирская низменность); *b* – Бэровские бугры в Прикаспийской низменности; *c* – грядово-ложбинный рельеф в провинции Саскачеван (Канада); *d* – грядово-ложбинный рельеф паха, штат Айова, США [Prior, 1991]

Fig. 1. Fragments of ridge-hollow relief formed on the territory of the continental part of the Northern hemisphere
a – ridge-hollow relief of the Chanovo-Barabinsk plain (West Siberian lowland); *b* – Baer knolls in the Caspian lowland; *c* – ridge-hollow relief in the province of Saskatchewan (Canada); *d* – ridge-hollow relief «paha», Iowa, USA [Prior, 1991]

Предложено пять гипотез: флювиально-гляциальная, аллювиально-аккумулятивная, эоловая, гравитационная и космогенная. В монографии «История развития речных долин и проблемы мелиорации земель» [Белецкая, 1979; Николаев и др., 1979] серия статей посвящена дискуссии по проблеме генезиса «гривного рельефа» Барабинской равнины и Петропавловского Приишмья (Казахстан). Мнения ученых разделились на две взаимно исключающие альтернативы. Одни исследователи категорически отвергали эоловый генезис долин, полагая, что они имеют эрозионно-аккумулятивное происхождение; другие же обосновывали образование грядово-ложбинного рельефа дефляционно-аккумулятивными процессами.

Определяющую роль в суждениях играла отмечаемая всеми исследователями исключительная выдержанность (ориентированность) простирания

гряд, почти геодезическая точность, с которой гривы уложены на поверхности Земли. Замечательный анализ закономерностей пространственного распределения гряд был проведен Д.Н. Фиалковым [Фиалков, 1964, 1970], установившим и количественно охарактеризовавшим со среднеквадратической ошибкой измерений $+1,6-2,3^\circ$ соотношения протяженности гряд и их азимутальной ориентировки. Кроме того, им была установлена разность площадей гряд и межгрядовых понижений. По результатам анализа Д.Н. Фиалков пришел к выводу, что «ни водные, ни эоловые процессы не могли создать механизм, способный с такой точностью моделировать рельеф по направлению длинных осей простирания гряд» [Фиалков, 1964, с. 12]. Автор убежден, что силы, создавшие Чановско-Барабинский ансамбль гряд, надо искать в геотектонических процессах.

Существует и иная точка зрения, согласно которой определяющее значение в формировании грядово-ложбинных комплексов имели процессы, непосредственно связанные с «трансконтинентальными системами катастрофических потоков» [Гросвальд, 1999]. По мнению М.Г. Гросвальда, «прямолинейные долинны формы создаются не только ветром и тектоникой, но также потоками высокой мощности», что связано с образованием и последующим прорывом ледово-подпрудных озер. Подводя итог практического применения своих идей для объяснения генезиса грядово-ложбинного рельефа, автор утверждает, что «грандиозность размеров грядово-ложбинных комплексов, их прямолинейность, слабая зависимость от топографии местности и принадлежность к непрерывной трансконтинентальной зоне позволяют предполагать их связь с катастрофическими потоками огромной мощности» [Гросвальд, 1999, с. 52].

В разные годы проводившие исследования генезиса глив И.А. Волков и С.П. Казьмин связывают их образование (так же, как и грядово-ложбинного рельефа в Прикаспии) с эоловыми процессами и лесовой аккумуляцией [Волков, 1976, 1980; Казьмин, Волков, 2010]. Утверждается, что ГЛГК формировался в эпохи аридизации (~21–14 тыс. л. н.), сопровождавшиеся развитием эоловых процессов, ареной деятельности которых была поверхность днища, освобожденная от затопления Мансийским морем. Отмечается, что грядово-ложбинный рельеф является наложенным на различные элементы древнего рельефа [Волков, 1976, с. 273].

Совсем недавно появились публикации коллектива авторов [Бейзель, 2018; Бейзель и др., 2019], в которых в постулированной и в предположительной формах высказаны две противоположные точки зрения. В одной, опирающейся на идеи М.Г. Гросвальда о флювиально-катастрофическом происхождении грядово-ложбинного рельефа во всех известных районах их распространения в пределах России, гипотеза об эоловом происхождении слагающих гряды отложений ставится под сомнение [Бейзель и др., 2019, с. 8] и отмечается, что только покровные лесовые суглинки, имеющие широкое распространение на рассматриваемой территории, являются эоловыми. Согласно другой [Бейзель, 2018], утверждается, что поскольку Казанцевская гряда, «как и все остальные, сложена эоловыми осадками», она сформировалась «под воздействием бокового ветра, направленного с север-северо-запада на юг-юго-восток», следовательно, «гряды являются поперечными формами эолового рельефа и созданы ветрами северных румбов; современными аналогами глив являются эоловые формы третьего порядка – драа, выделенные и детально описанные в Сахаре» [Бейзель, 2018, с. 95].

Изоморфным аналогом грядово-ложбинного рельефа Барабинской равнины являются параллельные друг другу, вытянутые в согласованном субширотном направлении гряды в Прикаспийской низменности, впервые охарактеризованные К.М. Бэром [1856] и названные им *буграми* (рис. 1, 2), формировавшиеся, по его мнению, в результате изменений уровня Каспийского моря. Характеристика Бэровских бугров, приведенная Б.А. Федоровичем [Федорович, 1941, 1964], до деталей совпадает с геоморфологической картиной причановской части грядово-ложбинного рельефа Западной Сибири. «Тысячи длинных, узких, вытянутых прямолинейно и параллельно друг другу озер... ильменей... правильными рядами разложенные на земле и слегка, лишь на четверть, выступающие из воды... Этот замечательный рельеф тянется до берега Каспия (читай оз. Чаны. – *Авт.*), постепенно все более заполняясь его водами... но не заканчивается даже на дне морском (читай озерном. – *Авт.*), где сквозь мелкие воды просвечиваются на дне такие же длинные, округлые и пологие увалы... Поражает какая-то искусственность этого рельефа, настолько он правилен, однообразен и геометричен в своих очертаниях» [Федорович, 1941, с. 98]. Б.А. Федорович считал генезис бэровских бугров эоловым. Этой же точки зрения придерживались О.К. Леонтьев и Н.Н. Фотеева [Леонтьев, Фотеева, 1965] и многие другие исследователи.

Известны и сторонники другой гипотезы генезиса бэровских бугров, как и К. Бэр, связывающие его с развитием абразионно-аккумулятивных процессов в условиях «мощных встречных нагонно-стоковых течений в прибрежной части Каспия в период регрессии» [Свиточ, Ключевиткина, 2004, 2007]. По их заключению, не являются они и генетическим аналогом *грядному рельефу* Западной Сибири и *эоловым грядам* в среднеазиатских пустынях.

Геоморфологическим аналогом грядовому рельефу Барабинской равнины являются ориентированные грядово-ложбинные комплексы, наблюдаемые и достаточно изученные в различных районах США. В некоторых публикациях [Baldauf et al., 2019] рассматриваются исторические аспекты формирования дюнного рельефа на Великих Равнинах США (дюны штата Небраска), где, как полагается авторами, было 12 периодов *реактивации* дюнного рельефа, с перерывами происходившей в позднем плейстоцене, среднем голоцене и в малый ледниковый период.

Вероятно, можно считать до сих пор не превзойденным монографический обзор по географическому распространению и геоморфологической характеристике материковых дюн, выполненный Н.В. Markewich [Markewich, Markewich, 1994; Markewich et al., 2015]. В обобщении приводятся морфометрические характеристики грядовых дюн

ных комплексов в Южной Каролине и Северной Каролине, где их высота не превышает 8–10 м, а многие достигают лишь 2 м. Отмечается, что тяжелые минералы повсюду составляют менее 1 % от всего дюнного объема песка. На поставленный авторами и важный для нас вопрос, являются ли эоловыми материковые дюны на юго-востоке США, дается утвердительный ответ: дюны образовались в результате ветровой эрозии большого количества песка из открытых полей, террас и бухт Каролины и накопления этого песка на соседних покрытых растительностью террасах и склонах долин. Говоря о времени формирования ГЛГК, авторы утверждают, что в течение позднего плейстоцена и раннего голоцена дюны формировались во многих различных регионах Соединенных Штатов (штаты Аризона, Колорадо, Техас и Нью-Мексико, Вайоминг, Канзас и Небраска и др.). Они свидетельствуют об интервалах палеоклимата, когда ветровая эрозия и осаждение песка были доминирующими процессами изменения ландшафта.

Представляется важным обобщающий вывод авторов о том, что на некоторых территориях юго-восточной, западной, центральной и северо-восточной частей Соединенных Штатов засуха и сильные однонаправленные ветры были распространены в течение от 10 до 12 тыс. лет. Таким образом, подтверждается предложенная ранее глобальная модель засушливости в северном полушарии в раннем голоцене [Волков, 1976; 1980; Величко, Тимирева, 2005].

По терминологии американских исследователей [Gaylord et al., 2002; Iannicelli, 2010], «парная эоловая активность» (дюна–лесс) характеризует покровные отложения на Колумбийском плато в восточной части Вашингтона. Рельеф формировался в условиях полуаридного климата за счет устойчивого действия направленных с юго-запада на северо-восток ветров. Установлено, что линейные песчаные гряды формировались в более засушливых частях территории, а холмы, сложенные богатого илом лессом с небольшой примесью песка, преобладают в более влажных частях территории.

Теоретический и научно-методологический интерес в аспекте определения генезиса *Барабинского типа* грядово-ложбинного рельефа представляют исследования, посвященные проблемам формирования так называемых *ориентированных гряд паха*, своеобразных линейных инлайеров (термин введен по названию района в южной части штата Айова) (рис. 1, *d*). Грядово-ложбинный рельеф типа *пах* распространен на территориях США с засушливым климатом: штаты Иллинойс, Канзас, Колумбийском плато и др. [Scholtes, 1951; Prior J.C., 1991; Iannicelli, 2003]. Он представляет собой сложенные песчаным материалом и покрытые лессом линейные гряды холмов высотой 10–30 м, ориентированные по простиранию с северо-запада на юго-восток.

Генезис грядово-ложбинного рельефа типа *пах* до сих пор дискутируется. В одной из последних гипотез [Iannicelli, 2003, 2010] полагается, что паха представляет собой реликтовые ориентированные гряды, образованные эрозионными процессами, развивавшимися в результате таяния снега в период холодной фазы плейстоцена. Пример образования ориентированных форм рельефа на о. Девон (остров в составе Канадского Арктического архипелага) свидетельствует, что начальной стадией развития гряд паха являлось формирование ориентированных речных долин, а затем их эолово-лессовое моделирование. Из данного суждения делается вывод, что грядово-ложбинный рельеф паха представляет собой реликты водоразделов, формировавшихся вследствие линейной эрозии и криогенных процессов [Iannicelli, 2003].

В качестве одного из дополнительных диагностических признаков существования аридных условий служат некоторые особенности образования берегов небольших по площади бессточных озерных бассейнов. К таковым относятся формы рельефа в виде серповидных валов и гряд высотой 6–9 м, сложенных суглинком и алевроитовым песком и окаймляющих блюдцеобразные понижения поверхности (например, солончаков и озер), названные *лунеттами* [Bowen et al., 2018]. Подобные образования в советской и российской научной литературе не называются таким термином, но часто встречаются, в частности на озерах Барабинской равнины. Валы образуются исключительно с подветренной стороны озерных ванн и понижений. Их образование, по нашим данным, связано с абразией берегов и эоловым выносом песчаного материала с подветренной стороны пляжей; развитие процесса начинается весной и продолжается в зимнее время.

Представленные нами суждения о генезисе ориентированного грядово-ложбинного рельефа имеют важное значение в исследовании причин изменения климата на Земле и в разработке прогноза дальнейшего развития событий. Они в общем совпадают с выводами, полученными российскими исследователями [Волков., 2003; Величко, Тимирева, 2005; Казьмин, Волков, 2010], и согласуются с выводами зарубежных ученых, полагающих, что ритмичность лессовой седиментации свидетельствует о глобальных экологических (и климатических) изменениях на континентах.

Фактологический материал и методы исследования

Наше исследование строится на основе методологии *системного критицизма*, направленного на раскрытие ошибочных или имеющих недостаточную изученность суждений, включающего их системный

анализ, позволяющий отличить ошибочные суждения от научно обоснованных. Этот метод предполагает рассматривать грядово-ложбинный комплекс как неординарный широко распространенный феномен в операционально-замкнутой природной геосистеме, представляющий собой выходную характеристику.

Методология системного критицизма, базируясь на глубоком научном знании процессов, создающих природный объект, и на применении процедур, позволяющих определять последовательность пространственно-временных событий, есть единственно возможный метод, приближающий исследование к объективному отображению природных явлений. Среди них могут быть и динамические геосистемы, находящиеся в стадиях самоорганизации и развития, в стадии динамического равновесия, в стадии деградации или возрождения и др.

Геосистемы характеризуются различной по длительности историей формирования и разнообразием накопленной информации. Дешифровка информа-

ции раскрывает не только происхождение геосистем, но и пространственно-временную последовательность изменения условий среды, которыми определялось их характерное время развития. Единственным из всех методов надежного дешифрирования информации служит исследование стратификации слагающих гряды отложений, фациального состава и его текстурно-структурных особенностей, характеризовавших условия окружающей среды, включая и климатические изменения.

Для определения генезиса гряд нами осуществлено дешифрирование космических снимков (геосервис Google Earth), маршрутное геоморфологическое обследование территории, анализ результатов ранее проводившихся исследований и изучение текстуры слоистости кореллятивных отложений гряд. В качестве наиболее представительной по распространению и геоморфологической выраженности гряд была выбрана территория Чановско-Барабинского грядово-ложбинного геоморфоскульптурного комплекса (рис. 2).

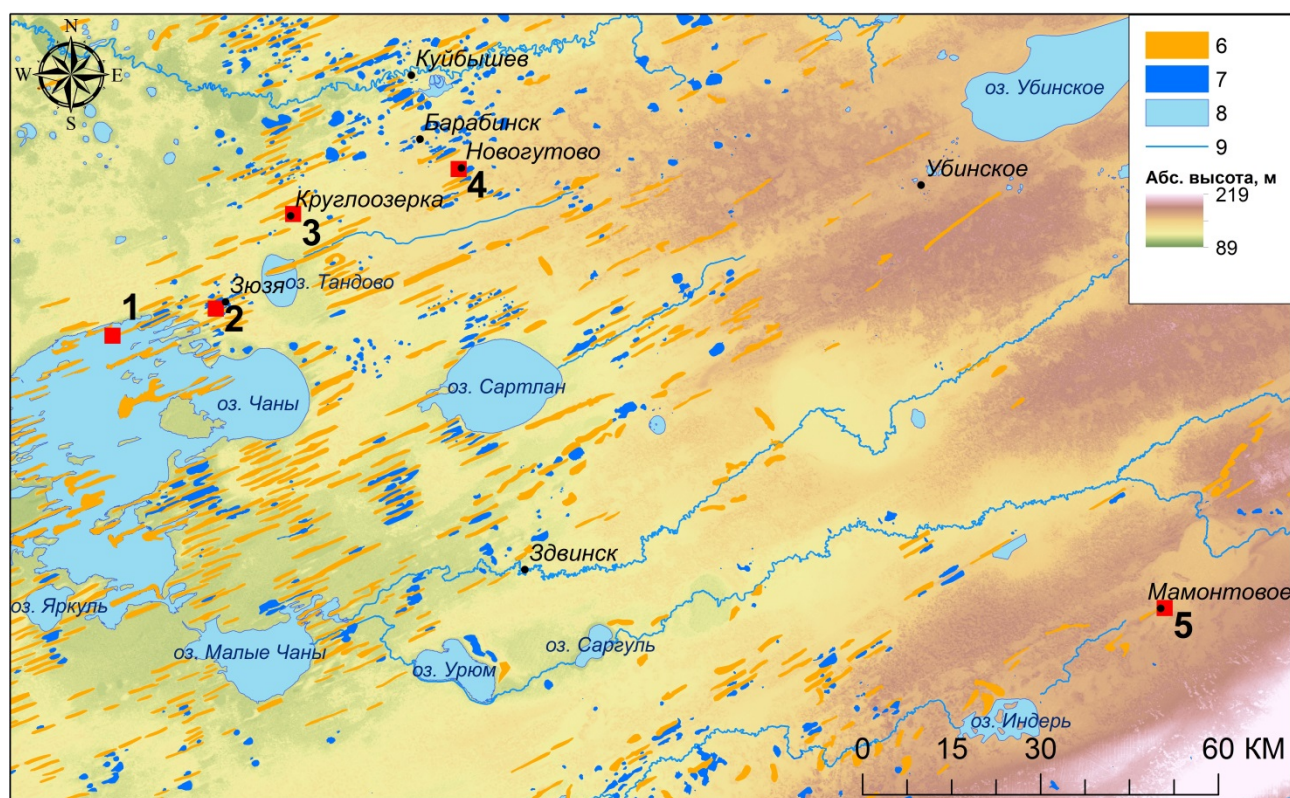


Рис. 2. Схема расположения участков исследования грядово-ложбинного рельефа на территории Барабинско-Чановского грядово-ложбинного комплекса

Участки геолого-геоморфологического исследования гряд: 1 – естественное обнажение абразионного клифа Казанцевской гряды; техногенные разрезы отложений на грядах: 2 – Зюзинская; 3 – Круглоозерская; 4 – Новогутовская; 5 – Волчья грива (с. Мамонтовое). Выраженные в масштабе: 6 – гряды (гивы); 7 – озера, заложенные в ложбинах (межгрядовых понижениях); 8 – озера; 9 – реки, протекающие по межгрядовым понижениям

Fig. 2. Layout of the study areas of ridge-hollow relief on the territory of Barabinsk-Chanovo ridge-hollow complex
Areas of geological and geomorphological research of ridges: 1 – a natural outcrop of the Kazantsevskaya ridge's abrasive cliff; man-made sections on the ridges: 2 – Zyuzinskaya ridge; 3 – Kruglozerskaya ridge; 4 – Novogutovsky ridge; 5 – Volch'ya ridge (village Mamontovoe). Expressed in scale: 6 – ridges; 7 – lakes embedded in hollows (inter-ridge depressions); 8 – lakes; 9 – rivers that flowing in depressions between ridges

На ней наблюдается множество линейных строго ориентированных на северо-восток (азимут $65\text{--}70^\circ$) гряд и разделяющих их ложбин протяженностью в несколько десятков километров. В межгрядовых ложбинах повсеместно располагаются зарастающие бессточные озера. Гряды пересекают самое большое в пределах Западно-Сибирской низменности оз. Чаны (площадь акватории, в зависимости от наполнения, составляет $1\,708\text{--}2\,269\text{ км}^2$). Для детального исследования были определены пять находящихся в транспортной доступности геоморфологически изоморфных участков гряд (см. рис. 2).

Территория *Казанцевской гряды* – это полуостров Казанцевский мыс протяженностью 12 км и прилегающая к нему акватория заливов оз. Чаны. Азимут простирания гряды, как и других подобных ей на окружающем пространстве их распространения, составляет 64° (северо-восток). Здесь обнаружено естественное обнажение внутреннего строения гряды, представляющее собой абразионный клиф высотой 5,5 м и протяженностью 300 м, секущий грядку вкrest ее простирания под углом с юго-востока на северо-запад (азимут 305°).

Зюзинская гряда (по названию с. Зюзя) – это четко выраженное в рельефе выположенное грядовое линейное возвышение с абсолютной высотой поверхности 115–117 м. Относительное превышение водораздельной выравненной поверхности над урезом воды располагающихся по обеим ее сторонам ложбинных (межгрядовых) озер составляет 10–12 м. Здесь исследовался техногенный разрез кирпичного завода (ныне закрытого) высотой до 4 м.

Круглоозерская гряда (по названию с. Круглоозерка) также характеризуется выровненной водораздельной поверхностью с увеличивающейся абсолютной высотой в северо-восточном направлении от 112 до 117 м. Относительные превышения поверхности составляют 5–7 м. По обеим сторонам грядовой возвышенности в разделяющих ее ложбинах сохраняются зарастающие озера, многие из которых имеют каплевидную форму, ориентированную по направлению ложбин и преобладающих ветров ($65\text{--}70^\circ$ СВ). Исследовался техногенный разрез отложений гряды на участке ее максимального возвышения – 117 м. Мощность вскрытой толщи отложений 3 м.

Новогутовская гряда (с. Новогутово) морфологически аналогична вышеописанным, за исключением того, что абсолютная высота ее поверхности на протяжении 5 км от наинизшей ее части (118 м) возрастает по направлению ЮЗ–СВ до 127 м. Затем так же убывает. По обеим сторонам гряды располагаются зарастающие бессточные ложбинные озера, с вытянутой их осью согласно простиранию гряды. Слагающие грядку отложения описаны в обнаруженном на окраине села техногенном обнажении с высотой стенки до 3 м.

Волчья грива (с. Мамонтовое) располагается в 60 км на юг от станции Каргат Транссибирской железнодорожной магистрали. Шоссейная трасса пересекает грядку на участке между селами Озерки 6-е и Мамонтовое. Морфологически выраженная часть гряды наблюдается на протяжении 12,5 км, начиная с абсолютной высоты 140 м юго-западнее с. Озерки 6-е до 147 м на ее окончании в с. Мамонтовое. По обе стороны от гряды располагаются заболоченные озера, как и во всех других случаях, вытянутые согласно простиранию гряды с юго-запада на северо-восток (азимут 58°). На окончании в северной части гряды описан техногенный разрез с высотой стенок до 3,5 м.

Методика описания разрезов. Руководящим принципом исследования слагающих гряды отложений является фациальный анализ, позволяющий объективно соотнести общегеографические условия осадконакопления с их синхронным отображением в формах рельефа. Поэтому при описании геологических разрезов особое внимание обращалось на выявление в отложениях гряд конвергентного типа текстуры слоистости, текстуры слоистости облегания и текстуры резких несогласий в стратификации отложений. Их описание сопровождалось отбором проб для гранулометрического анализа, проводившегося в камеральных условиях на почвенных ситах. Соотношение фракций определялось по их весу в процентах от общего веса пробы; а также шлиховым опробованием (16 проб) для полного минералогического анализа рыхлых отложений (анализ шлихов выполняла М.И. Липичук в лаборатории отделения геологии Томского политехнического университета).

Текстурно-структурная характеристика слагающих гряды отложений – результаты исследований

Текстуры конвергентной слоистости и стратиграфических несогласий. Наиболее представительным геологическим разрезом, в котором четко выражены конвергентные структуры слоистости (рис. 3, а), является Круглоозерская гряда (около с. Круглоозерка). Здесь техногенным разрезом глубиной 3 м вскрыты шесть залегающих с угловым несогласием пачек детритовых суглинков, преимущественно светло-коричневого цвета. Первая снизу пачка представлена алевроито-глинистыми конвергентными слоями (в клин сходящиеся слои), веером расходящимися к верхней части разреза отложений. Слоистость имеет четко выраженные границы, с возрастанием угла наклона от подошвы слоя к кровле от 10 до 20° ; данное обстоятельство, по видимому, характеризует начало формирования ядра гряды, установленного и в разрезах отложений других гряд.

Вторая снизу тонкослоистая алевроито-суглинистая пачка, согласно залегающая на первой, тоже представлена конвергентной совокупностью слоев алевроитового песка и суглинками желтовато-светлоричичевого цвета; слои сходятся к нижней части разреза; угол наклона 25° – 30° , толщина слоев 5 мм, с четко выраженными границами толщиной 1–2 мм.

Третья пачка параллельно-слоистых алевроитовых суглинков с детритом фораминифер с резким несогласием горизонтально залегают на первой и второй толщах (рис. 3, а). Наблюдается чередование слоев с карбонатными выцветами со слоями без них. Возможно, выцветы связаны с сезонными из-

менениями влажности (дождями или таянием снежного покрова).

Четвертая пачка характеризуется конвергентно-слоистой текстурой, представленной расходящимися к кровле слоями суглинков с многочисленными включениями бесформенных обломков фораминифер.

Пятая и шестая пачки представлены незакономерно переслаивающимися субгоризонтально залегающими покровного типа суглинками, чередующимися со слоями карбонатных выцветов. В целом структура осадков представлена глиной с примесью алевроита и мелкозернистого кварц-полевошпатового песка с мелкими детритовыми обломками фораминифер.

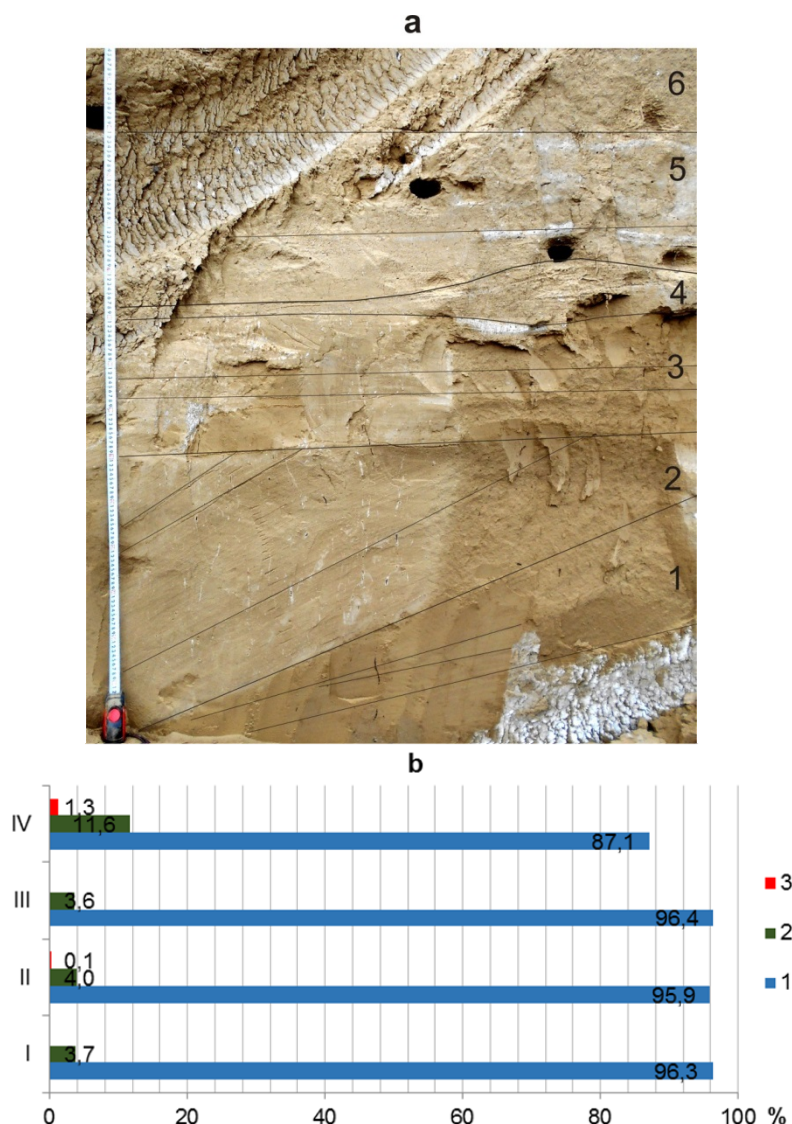


Рис. 3. Круглозерская гряда (азимут простирания гряды 65° СВ)

а – техногенный разрез общей мощностью 3 м, азимут стенки разреза – 355° С: 1–6 – номера пачек слоев. Вскрыты алевроитовые суглинки с карбонатным детритом фораминифер. Наблюдается характерная для эоловых отложений текстура конвергентной слоистости и стратиграфических несогласий; б – гранулометрический состав отложений гряды по фракциям: 1 – менее 0,25 мм; 2 – 0,25–0,5 мм; 3 – более 0,5 мм; I, II, III, IV – номера проб из 1–4 пачек слоев разреза соответственно

Fig. 3. Kruglozerskaya ridge (azimuth of the ridge course 65° NE)

а – man-made section with a total thickness of 3 m, azimuth of the section wall – 355° N: 1–6 – numbers of bands layers. It was uncovered aleurite loam with carbonate detritus of foraminifera. It is observed a texture of convergent stratification and stratigraphic displacements, characteristic of aeolian deposits; б – granulometric composition of ridge deposits by fractions: 1 – less than 0.25 mm; 2 – 0.25–0.5 mm; 3 – more than 0.5 mm; I, II, III, IV – sample numbers from 1–4 bands layers of section, respectively

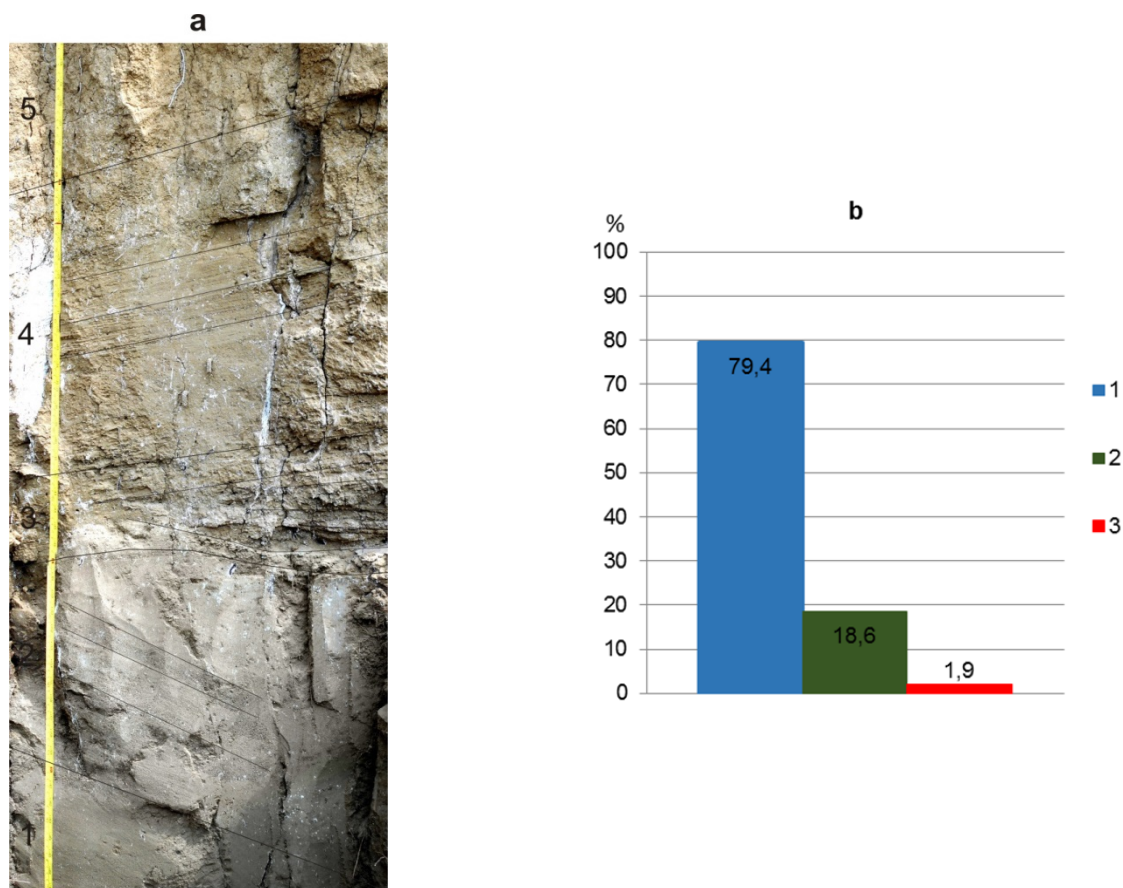


Рис. 4. Казанцевская гряда (азимут простирания гряды 64° СВ)

a – естественное обнажение абразивного клифа, азимут простирания стенки разреза 305° СЗ: 1–5 – номера пачек слоев. Отложения представлены алевроитовыми суглинками с большой примесью карбонатного детрита (различной размерности обломков фораминифер). Типичная (характерная) текстура конвергентной слоистости с меняющейся направленностью схождения: слои, сходящиеся к подошве с азимутом падения 110° ЮВ (пачка 2), сменяются слоями сходящимися к кровле с падением на север (пачки 3–5). Первая пачка – предполагаемое ядро гряды; *b* – гранулометрический состав отложений гряды по фракциям: 1 – менее 0,25 мм; 2 – 0,25–0,5 мм; 3 – более 0,5 мм

Fig. 4. Kazantsevskaya ridge (azimuth of the ridge course 64° NE)

a – natural outcrop of the abrasive cliff, azimuth of the outcrop wall 305° NW: 1–5 – numbers of bands layers. The deposits are represented by aleurite loams with a large admixture of carbonate detritus (of various sizes of fragments of foraminifera). It is typical (characteristic) texture of convergent stratification with a varying direction of convergence: layers converging to the foot with a dip azimuth of 110° SE (band 2) are replaced by layers converging to the roof with a fall to the north (bands 3-5). The first band is the estimated core of the ridge; *b* – granulometric composition of ridge deposits by fractions: 1 – less than 0.25 mm; 2 – 0.25–0.5 mm; 3 – more than 0.5 mm

Конвергентный характер слоистости (сходящиеся под острым углом слои) установлен во всех изучавшихся разрезах: Новоутовской (рис. 5), Казанцевской (рис. 4) и Зюзинской (рис. 6) гряд.

Облегающий тип текстуры с элементами слоистости самоуплотнения в начальной стадии эпигенеза. Установлена диагностически важная особенность слоистости отложений всех гряд – наблюдается облегающий (покровный) тип накопления осадков в заключительный период их формирования. К облегающему типу слоистости мы относим отложения с угловым несогласием, лежащие на осадках, составляющих «ядра» гряд. Облегающий тип текстуры слоистости повторяет форму подстилающего их базиса, т.е. согласно лежит на поверхности (автомодельно повторяет профиль рельефа), но резко несо-

гласно сечет слои нижележащих отложений в ядрах гряд. Все слои покровно-облегающего типа текстуры характеризуются высокой карбонатностью, наличием мелких обломков детрита фораминифер и морских лилий. Облегающий тип слоистости выражен в разрезах в разной мере, но в наибольшей он присутствует в разрезе отложений Волчьей гривы (с. Мамонтовое, см. рис. 7). Здесь ядро гряды не вскрыто техногенным разрезом.

Для рассматриваемого типа слоистости характерным является повсеместно наблюдаемое чередование слоев, отчетливо выраженное выцветами карбонатов. Возможно, карбонатизация связана с периодическим (сезонным) действием восходящих и нисходящих токов воды атмосферных осадков, растворявших раковинный детрит.

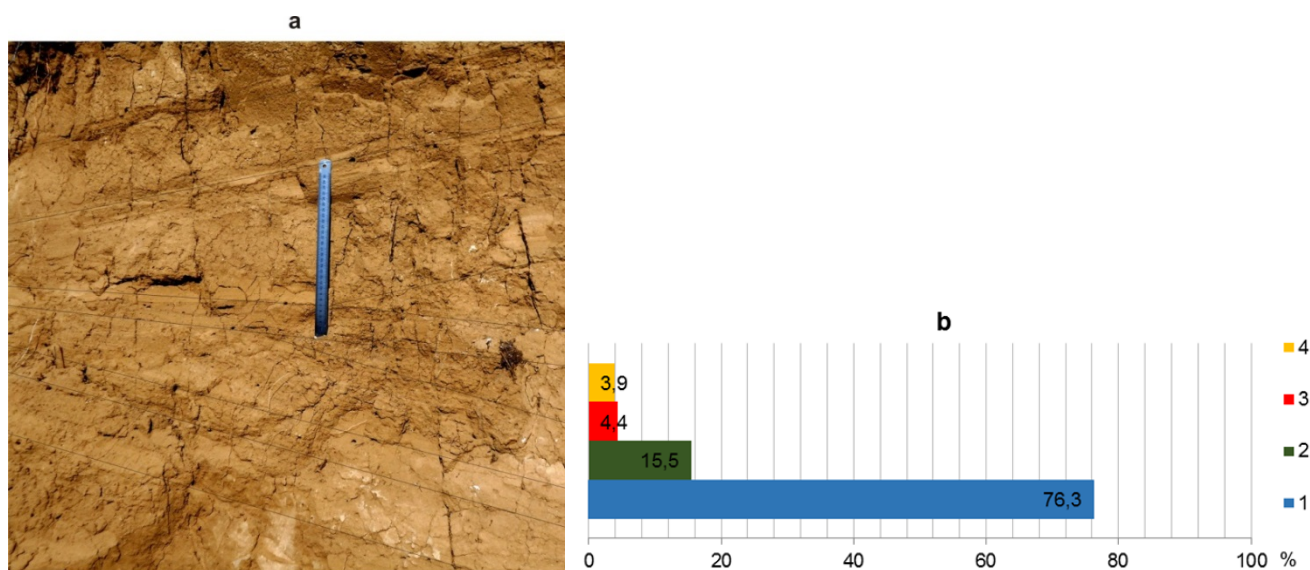


Рис. 5. Новогутовская гряда (азимут простирания гряды 64° СВ)

a – техногенный карьер, азимут простирания стенки разреза 110° ЮВ, глубина пачки слоев 1,5–2 м. Вскрыты пачки конвергентно-слоистых незакономерно переслаивающихся детритовых суглинков и супесей; *b* – гранулометрический состав отложений гряды по фракциям: 1 – менее 0,25 мм; 2 – 0,25–0,5 мм; 3 – 0,5–1 мм; 4 – более 1 мм

Fig. 5. Novogutovskaya ridge (azimuth of the ridge course 64° NE)

a – man-made quarry, the azimuth of the section wall course is 110° SE, the depth of the band layers is 1,5–2 m. It was uncovered packs of convergent-layered irregularly interbedded detrital loams and sandy loams; *b* – granulometric composition of ridge deposits by fractions: 1 – less than 0.25 mm; 2 – 0.25–0.5 mm; 3 – 0.5–1 mm; 4 – more than 1 mm

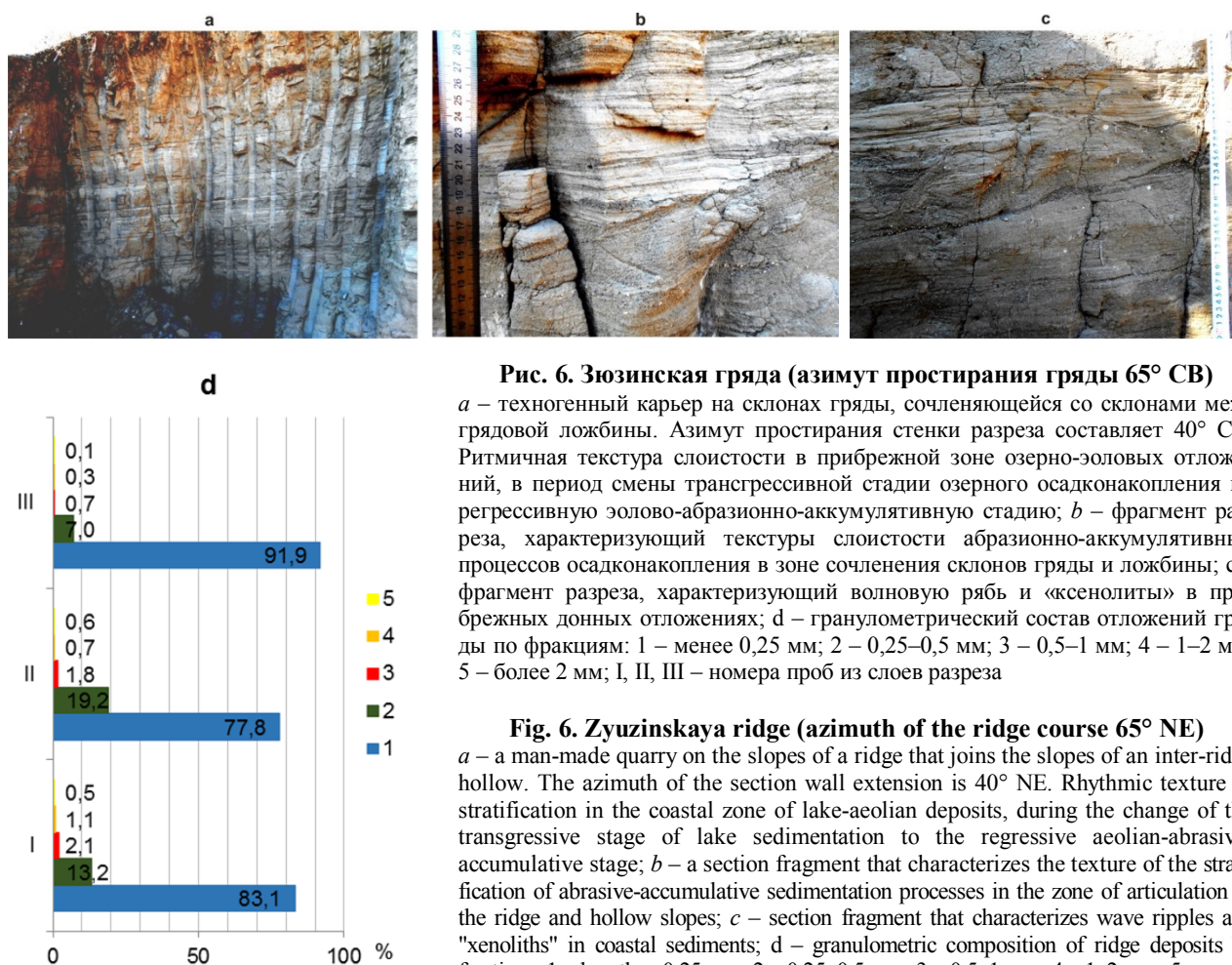


Рис. 6. Зюзинская гряда (азимут простирания гряды 65° СВ)

a – техногенный карьер на склонах гряды, сочленяющейся со склонами межгрядовой ложбины. Азимут простирания стенки разреза составляет 40° СВ. Ритмичная текстура слоистости в прибрежной зоне озерно-эоловых отложений, в период смены трансгрессивной стадии озерного осадконакопления на регрессивную эолово-абразионно-аккумулятивную стадию; *b* – фрагмент разреза, характеризующий текстуры слоистости абразионно-аккумулятивных процессов осадконакопления в зоне сочленения склонов гряды и ложбины; *c* – фрагмент разреза, характеризующий волновую рябь и «ксенолиты» в прибрежных донных отложениях; *d* – гранулометрический состав отложений гряды по фракциям: 1 – менее 0,25 мм; 2 – 0,25–0,5 мм; 3 – 0,5–1 мм; 4 – 1–2 мм; 5 – более 2 мм; I, II, III – номера проб из слоев разреза

Fig. 6. Zyuzinskaya ridge (azimuth of the ridge course 65° NE)

a – a man-made quarry on the slopes of a ridge that joins the slopes of an inter-ridge hollow. The azimuth of the section wall extension is 40° NE. Rhythmic texture of stratification in the coastal zone of lake-aeolian deposits, during the change of the transgressive stage of lake sedimentation to the regressive aeolian-abrasive-accumulative stage; *b* – a section fragment that characterizes the texture of the stratification of abrasive-accumulative sedimentation processes in the zone of articulation of the ridge and hollow slopes; *c* – section fragment that characterizes wave ripples and "xenoliths" in coastal sediments; *d* – granulometric composition of ridge deposits by fractions: 1 – less than 0.25 mm; 2 – 0.25–0.5 mm; 3 – 0.5–1 mm; 4 – 1–2 mm; 5 – more than 2 mm; I, II, III – sample numbers from the section layers

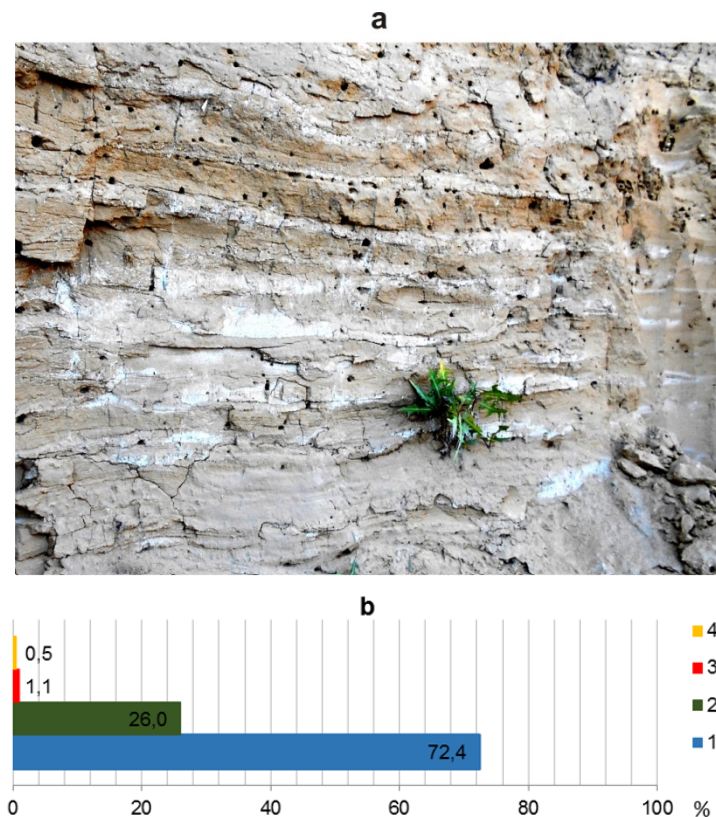


Рис. 7. Волчья гряда (с. Мамонтовое, азимут простирания гряды 58° СВ)

a – техногенный карьер, азимут простирания стенки разреза 75° СВ. Облегающий тип сезонно-ритмического (?) осадконакопления песчано-алевритовых карбонатно-детритовых отложений с элементами слоистости самоуплотнения. Отложения ядра гряды не вскрыты; *b* – гранулометрический состав отложений гряды по фракциям: 1 – менее 0,25 мм; 2 – 0,25–0,5 мм; 3 – 0,5–1 мм; 4 – более 1 мм.

Fig. 7. Volch'ya ridge (village Mamontovoe, azimuth of the ridge course 58° NE)

a – man-made quarry, azimuth of the section wall course 75° NE. Form-fitting type of seasonal-rhythmic (?) sedimentation of sand-aleurite carbonate-detritus deposits with self-sealing stratification elements. Deposits of the core of the ridge are not opened; *b* – granulometric composition of ridge deposits by fractions: 1 – less than 0.25 mm; 2 – 0.25–0.5 mm; 3 – 0.5–1 mm; 4 – more than 1 mm

Регрессивно-ритмичная текстура слоистости в зоне сочленения ложбинных озер со склонами гряд. Хорошо выраженная ритмичная слоистость установлена в разрезе отложений Зюзинской гряды (см. рис. 6). Важным диагностическим показателем является наклон ритмической абразионно-аккумулятивной толщи 5–7°, согласный с наклоном подножия гряды. Отчетливо выраженные песчаные валы ряби установлены на наклонной поверхности древней прибрежной отмели в разрезе отложений Зюзинской гряды. Данные обстоятельства (рябь, ксенолитоподобные включения и наклонная до 7° прибрежная отмель) свидетельствуют о том, что озерная трансгрессия осуществлялась в период после образования грядово-ложбинного рельефа.

Гранулометрический состав отложений. Согласно результатам гранулометрического анализа, в отложениях всех изучавшихся гряд алевритопелитовая фракция составляет 80–85 % (см. рис. 3–7). Такой размер частиц не характерен для отложе-

ний, формировавшихся в русловых потоках, как утверждалось в некоторых публикациях [Гроссвальд, 1999].

Минералогическая характеристика отложений. Результаты анализа согласуются с выводами американских ученых [Markewich et al., 2015] о крайне низком содержании в отложениях фракций тяжелых минералов: единичные зерна сидерита, турмалина, амфибола, пирита; очень редко ильменит, альмандин, пироксен. Преобладают хорошо окатанные зерна кварца, обломки карбонатов, пиритизированные обломки фораминифер из отложений морского генезиса и солоноватых водных бассейнов. Однако замечено увеличение тяжелых фракций в отложениях в краевых частях гряд, на границах сочленения их с озерными террасами, где существенно меняется и слоистость отложений – возникает ритмическая слоистость. Она обусловлена тем, что вследствие абразионного моделирования грядовых форм в период озерных (возможно, и Мансийского моря) транс-

грессий происходило удаление пелитово-алевритопесчаных фракций, обусловившее повышение концентрации тяжелых минералов. Особенно оно характерно для минералогического состава отложений Казанцевской гряды, где в отложениях, подвергшихся абразионной переработке, наблюдается повышенное содержание ильменита, граната, магнетита, циркона и пр.

Ксенолитоподобные вложения инородных отложений. В разрезах Казанцевской и Зюзинской гряд (см. рис. 4, 6) в прибрежных озерных осадках, в зоне сочленения их со склонами гряд, установлены замкнутые куски осадочных пород, поступавших из верхних приповерхностных горизонтов. Видимо, абразионный размыв сопровождался обваливанием подмываемых слоев грунта и последующим их замыванием (заилением), с характерным для этого процесса изменением слоистости перед инородным телом и за ним (см. рис. 6).

Генезис Чановско-Барабинского грядово-ложбинного геоморфолитогенетического комплекса – обсуждение

Механизм формирования грядово-ложбинного рельефа. По текстурно-структурным характеристикам гряд, их геоморфологическим особенностям («комплексные барханные гряды типа китовых спин» [Федорович, 1964, 1941]), по строгой выдержанности пространственной ориентировки с юго-запада на северо-восток (азимут 60–65°) и параллельности между собой, по значительной протяженности (от 5 до 100 км) гряды нами отнесены к категории линейных песчаных дюн, подобных *сейфовым* дюнным комплексам в Сахаре [Рединг и др., 1990].

Главной рельефообразующей силой выступали так называемые свободные турбулентные струйные потоки, в результате действия которых формировались ложбины выдувания; воздушными струями, направленными в стороны от оси ветровых потоков, где, как и следует из закономерностей динамики самоограничения свободных струй [Поздняков, 1986], скорость ветра убывала, происходила аккумуляция песка, дававшая начало образованию гряд. Поэтому формирование грядово-ложбинного морфолитогенетического комплекса нами характеризуется как самоорганизующийся автоматический процесс изоморфного развития парагенетически связанных эолово-аккумулятивных гряд и дефляционно-денудационных ложбин [Поздняков, 2020]. Это значит, что профиль в поперечном сечении гряд, изменяясь в пространственно-временных характеристиках, сохранял свои относительные морфометрические соотношения по форме (отношение приращения высоты $\Delta h(t)$ гряд к половине их ширины $\Delta x(t)/2$) и содержанию (по текстуре слоистости от-

ложений и их гранулометрической и минералогической дифференциации).

Коррелятные отложения гряд характеризуются конвергентно-слоистой текстурой, представленной сочетанием расходящихся к кровле и подошве слоев – текстурой слоистости, типичной для эоловой аккумуляции. По-видимому, грядово-ложбинный комплекс Западно-Сибирской равнины, так же как и бэровских бугров, создан дефляцией и эоловой аккумуляцией с последующей моделировкой абразионно-аккумулятивными процессами.

Вывод о том, что «накопление коррелятных осадков шло в постоянно меняющейся водной обстановке» [Свиточ, Ключиткина, 2004, 2007], противоречит как результатам нашего анализа, так и собственному фактическому материалу этих авторов. В описываемых ими разрезах коррелятных отложений гряд наблюдаются парагенетически связанные конвергентные текстуры – веером расходящиеся слои, направленные к кровле и к подошве толщи. Данный факт мы относим к числу важных диагностических признаков эоловой седиментации, характерной для эоловой аккумуляции на склонах автомобильно формирующихся гряд. Задокментированные (рис. 8) авторами поперечные разрезы с западной и восточной сторон гряды Дундук [Свиточ, Ключиткина, 2004] характеризуют симметричность текстуры и косую слоистость конвергентного типа.

Можно согласиться с тем, что слагающие гряды осадки не принадлежат к отложениям только одной генетической группы. Нами это обстоятельство подтверждается. Действительно, изначально заложившиеся дефляционно-аккумулятивными процессами ориентированные песчаные гряды неоднократно подвергались абразионному и, возможно, последующему дефляционному их моделированию (см. рис. 6).

Постулировавшие М.Г. Гросвальдом и его единомышленниками [Гросвальд, 1999] идеи о грандиозных катастрофических паводках, формировавшихся в результате прорыва ледниковых плотин в пределах северной части Западно-Сибирской равнины, являются необоснованными. Нельзя согласиться и с возрожденной А.А. Свиточем идеи К. Бэра, согласно которой формирование грядово-ложбинного рельефа обуславливалось быстро протекавшей регрессией Каспийского моря. Изменение границ моря были опосредованной причиной формирования этого геоморфологического феномена. Она состояла в расширении границ арены развития экзогенных сил рельефообразования на освобождавшейся от затопления поверхности, сложенной песчаным и алевритопелитовым материалом.

Формирование ориентированного грядово-ложбинного рельефа – наблюдаемый в настоящее время процесс в семиаридных условиях юго-

западных районов Калмыкии (например, в районе сел Утта, Чапчачи, Нарын Худуг и др., рис. 9). Здесь современный рельеф представлен вытянутыми в юго-восточном направлении дюнами в соответствии с преобладающим направлением ветра. Для завер-

шения процесса формирования грядового рельефа недостает только увеличения влажности климата или возвратной трансгрессии Каспийского моря до абсолютной высоты – 5–10 м ниже уровня мирового океана.

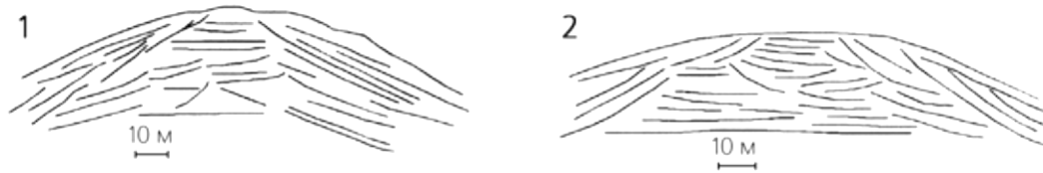


Рис. 8. Текстуры конвергентной слоистости в западной (1) и восточной (2) стенках поперечных разрезов бугра (гряды) Дундук по материалам [Свиточ, Ключевиткина, 2004, с. 35]
Fig. 8. Textures of convergent stratification in the Western (1) and Eastern (2) walls of the cross-section mounds (ridges) Dunduk based on materials [Svitoch, Klyuvitkina, 2004, p. 35]

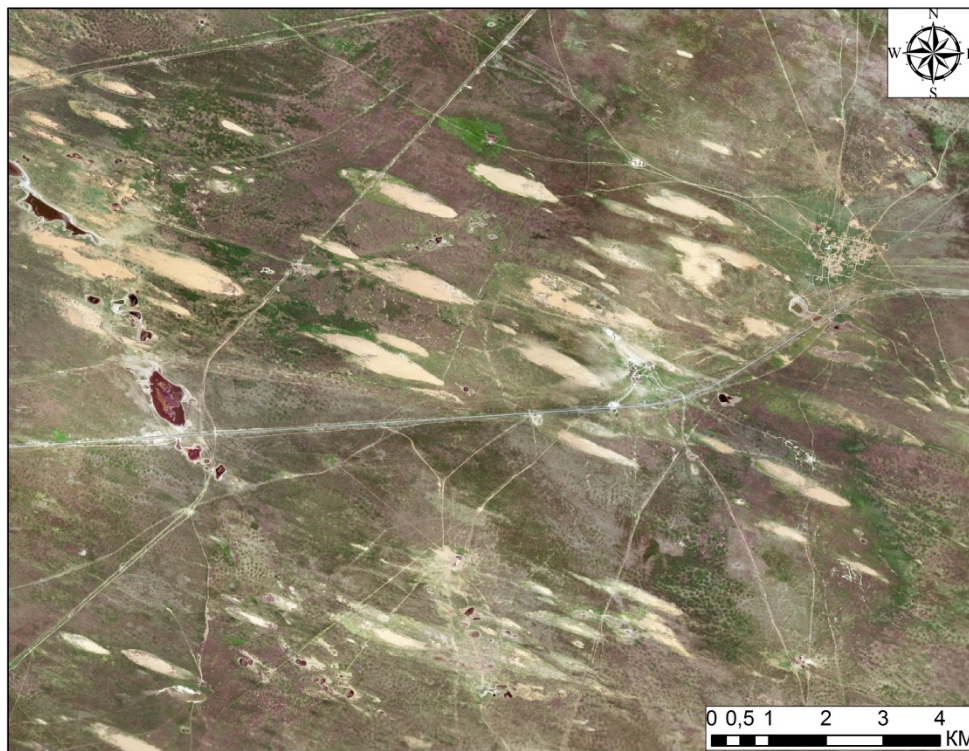


Рис. 9. Формирующиеся дюнные гряды в Калмыкии в южной зоне действия сильных ветров (будущие бэровские бугры, если влажность климата повысится и уровень Каспийского моря поднимется на 5–10 м). Протяженность дюнных гряд от нескольких сотен метров до 3 км

Fig. 9. Forming dune ridges in Kalmykia in the southern zone of strong winds (future Baer knolls, if the humidity of the climate increases and the level of the Caspian sea rises by 5–10 m). The length of the dune ridges ranges from several hundred meters to 3 km

На территории Западно-Сибирской низменности условия для формирования грядово-ложбинного рельефа появились 11–10 тыс. л. н., когда после регрессии моря началось [Величко, Тимирева, 2005] криоаридное опустынивание и развитие дефляционно-аккумулятивных процессов по прикаспийскому типу. Следы криоаридной эпохи недавно установле-

ны и в различных частях в Восточной Сибири [Галанин, 2018]. По мнению А.А. Галанина, эоловые формы рельефа различной морфоскульптурной модификации имеют распространение на более чем 60% территории центральной части Якутии (ориентированный грядово-ложбинный эоловый рельеф на водораздельных поверхностях рек Лены и Вилюя и

др.), где, по результатам исследования автора, процесс активной дефляционно-аккумулятивной деятельности закончился 10–12 тыс. лет назад.

Можно полагать, что образование протяженных лениаментноподобных ленточных гряд в Южной Сибири (Барабинская равнина и бэровские бугры в Прикаспийской низменности и Калмыкии) и в США (гряды Южной Каролины) и др., является следствием релаксации геосистем, интегрально характеризующей изменения климата в течение голоцена.

Согласно нашей гипотезе [Поздняков, 2015], причиной явился взрыв над акваторией Северного Ледовитого океана космического тела и образование сферически расходящихся волн. Алгоритм последующих событий укладывается в два динамических режима: 1) режим катастрофически быстрого изменения существовавшего ранее (14–13 тыс. л. н.) геоморфологического базиса и геоэкологического состояния, заложивших новые начальные условия формирования, трансформации экологических систем и составляющих их экотон; 2) режим релаксации, характеризующийся потеплением климата, формированием и развитием морфоскульптуры, направляющей геосистемы к асимптотически устойчивому состоянию. Он наблюдался в течение голоцена, продолжается в настоящее время и прогнозируется в будущем, если существенно не изменятся условия среды.

Процессы релаксации в природных явлениях относятся к числу самоорганизующихся и выражаются

в восстановлении нарушенных функциональных связей в новых условиях среды. В отличие от релаксации в контролируемых физических системах, в природе она является необратимой.

Тематически наше исследование согласуется с исследованиями ученых США, ведущими поиски связей в изменениях природной среды с космическим ударным воздействием, произошедшим около 13 тыс. л. н. на территории Северной Америки [Wolbach et al., 2018].

Краткий обзор мнений по определению генезиса широко распространенного на территории России и других регионах Земли грядово-ложбинного комплекса представляет убедительное доказательство несостоятельности применения для этих целей гомоморфологических методов. С позиций изоморфизма [Поздняков, 2020] полагается, что совершенно необходимо исследовать структуры причинно-следственных связей во взаимодействующих силах, организующих формы рельефа, и нельзя судить о генезисе рельефа лишь по внешнему выражению его форм, которые могут быть подобными (гомоморфными), но различными по генезису.

Работа выполнена согласно государственному заданию № 0369-2019-0005 – «Быстропротекающие природные процессы с насыщением, обусловленные климатическими изменениями и антропогенным воздействием (на примерах модельных районов Западной Сибири и Алтая)».

ЛИТЕРАТУРА

- Бейзель А.Л. Новые данные к разработке модели формирования гривного рельефа юга Западной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : XIV Междунар. науч. конгресса. 2018. Т. 2. С. 92–96. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-2-92-96
- Бейзель А.Л., Соболев Е.С., Ян П.А. Новые данные по проблеме происхождения гривного рельефа юга Западной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : XV Междунар. науч. конгресса. 2019. Т. 2, № 1. С. 3–9. DOI: 2618-981X-2019-2-1-3-9
- Белецкая Н.П. Морфология и морфометрия гривного рельефа // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. Западная Сибирь и Средняя Азия. Новосибирск : Наука, 1979. С. 148–156.
- Николаев В.А., Пилькевич И.В., Пучкова Д.В. Природа гривного рельефа южных равнин Западной Сибири // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. Западная Сибирь и Средняя Азия. Новосибирск : Наука, 1979. С. 166–178.
- Величко А.А., Тимирева С.Н. Западная Сибирь – великая позднеледниковая пустыня // Природа. 2005. № 5. С. 54–63.
- Волков И.А. Роль эолового фактора в эволюции рельефа // Проблемы экзогенного рельефообразования. М. : Наука, 1976. С. 264–288.
- Волков И.А. Позднелазарский (сарганский) покров лёссов, лёссовидных суглинков и эоловых песков // Палеогеография Западно-Сибирской равнины в максимум позднезаярянского оледенения. Новосибирск : Наука, 1980. С. 66–73.
- Волков И.А. Плейстоценовая субэрозивная толща и динамика природной среды (на примере Западной Сибири) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 4. С. 364–372.
- Галанин А.А. Эоловый рельеф холодных регионов Восточной Сибири: вопросы генезиса и классификации // XXXVI Пленум геоморфологической комиссии РАН. Барнаул : Изд-во Алт. госуниверситета, 2018. С. 95–102.
- Гросвальд М.Г. Евразийские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. М. : Научный мир, 1999. 120 с.
- Казьмин С.П., Волков И.А. Характер природных процессов в азиатской части России во время последней ледниковой стадии // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 5–10.
- Леонтьев О.К., Фотеева Н.Н. Происхождение и возраст бэровских бугров // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1965. № 2. С. 90–97.
- Поздняков А.В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М. : Наука, 1986. 207 с.
- Поздняков А.В. Возможные причины резкого изменения климата и деградации мамонтового фаунистического комплекса в неоплейстоцене // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов: Т. I: Естественные науки. Ховд; Томск, 2015. С. 121–126.

Поздняков А.В. Рельеф Западно-Сибирской равнины: взгляд через призму гомоморфизма и изоморфизма // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке». Томск : Изд-во Том. ун-та, 2020. С. 50–53.

Рединг Х.Г., Коллинсон Дж.Д., Аллен Ф.А. и др. Обстановки осадконакопления и фации. М. : Мир, 1990. 352 с.

Свиточ А.А., Клювиткина Т.С. Бэровские бугры – загадка Северного Прикаспия // Природа. 2004. № 2 (1062). С. 32–38.

Свиточ А.А., Клювиткина Т.С. К вопросу о происхождении Бэровских бугров Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2007. Т. 13, № 33–34. С. 24–39.

Федорович Б.А. Происхождение «бэровских бугров» Прикаспия // Известия АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1941. № 1. С. 95–116.

Федорович Б.А. Развитие и преобразование географической среды. М. : Наука, 1964. 238 с.

Фиалков Д.Н. Грядовые формы рельефа Западно-Сибирской низменности. Омск : Зап.-Сиб. книж. изд-во, 1964. 59 с.

Фиалков Д.Н. К вопросу о происхождении грядовых форм рельефа юга Западно-Сибирской низменности // Проблемы геоморфологии и неотектоники платформенных областей Сибири. Новосибирск : Наука, 1970. С. 112–117.

Baldauf P.E., Burkhardt P.A., Hanson P.R., Miles M., Larsen A. Chronology of dune development in the White River Badlands, northern Great Plains, USA // Aeolian Research. 2019. V. 37. P. 14–24.

Bowen M.W., Johnson W.C., King D.A. Spatial distribution and geomorphology of lunette dunes on the High Plains of Western Kansas: implications for geoarchaeological and paleoenvironmental research // Physical Geography. 2018. V. 39 (1). P. 21–37. DOI: 10.1080/02723646.2017.1319683

Gaylord D.R., Sweeney M.R., Busacca A.J. Geomorphic development of a late Quaternary paired eolian sequence, Columbia Plateau, Washington // Geological Society of America Abstracts with Programs. 2002. V. 34 (6). P. 245.

Iannicelli M. Devon island's oriented landforms as an analog to Illinois-type Paha // Polar Geography. 2003. V. 27 (4). P. 339–350. DOI: 10.1080/789610227

Iannicelli M. Evolution of the Driftless Area and Contiguous Regions of Midwestern USA Through Pleistocene Periglacial Processes // The Open Geology Journal. 2010. V. 4. P. 35–54. DOI: 10.2174/1874262901004010035

Markewich H.W., Markewich W. An overview of Pleistocene and Holocene inland dunes in Georgia and the Carolinas: morphology, distribution, age, and paleoclimate // U.S. Geological Survey Bulletin. 1994. V. 2069. 32 p. DOI: 10.3133/b2069

Markewich H.W., Litwin R.J., Wysocki D.A., Pavich M.J. Synthesis on Quaternary aeolian research in the unglaciated eastern United States // Aeolian Research. 2015. V. 17. P. 139–191.

Prior J.C. Landforms of Iowa. Iowa City : University of Iowa Press, 1991. 153 p. DOI: 10.17077/0003-4827.11051

Scholtes W.H. Properties and classification of the paha loess-derived soils in northeastern Iowa. Retrospective Theses and Dissertations. 1951. 171 p.

Wolbach W.S. et al. Extraordinary Biomass-Burning Episode and Impact Winter Triggered by the Younger Dryas Cosmic Impact ~12,800 Years Ago. 1. Ice Cores and Glaciers // The Journal of Geology. 2018. V. 126. P. 165–184. DOI: 10.1086/695703

Авторы:

Поздняков Александр Васильевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: synergeia.pol@gmail.com

Пучкин Алексей Васильевич, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: burabay@mail.ru

Пупышев Юрий Сергеевич, аспирант, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: pupyshev95@mail.ru

Фузелла Татьяна Шалвовна, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: fts10@yandex.ru

Geosphere Research, 2020, 4, 42–57. DOI: 10.17223/25421379/17/4

A.V. Pozdnyakov^{1,2}, A.V. Puchkin^{1,2}, Yu.S. Pupyshev¹, T.Sh. Fuzella¹

¹*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia*

²*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

GENESIS OF THE RIDGE-HOLLOW RELIEF OF THE WEST SIBERIAN PLAIN

To determine the genesis of the ridge-hollow complex, a study was made of the texture of the bedding and structure of sediments, the granulometric and mineralogical composition of five technogenic sections and one natural geological outcrop. The following types of texture of layering were distinguished: textures of convergent layering and stratigraphic disagreements; regressive-rhythmic texture of layering in the zone of articulation of the hollow lakes with the slopes of the ridges; a tight-fitting type of texture with elements of self-compaction layering in the initial stage of epigenesis.

In the sediments of ridges, the silt-pelite fraction is 80–85 %, and the mineralogical composition is characterized by an extremely low content of fractions of heavy minerals: single grains of siderite, tourmaline, amphibole, pyrite; very rarely ilmenite, almandine, pyroxene. Well rounded quartz grains, fragments of carbonates, and pyritized fragments of foraminifera predominate. Nevertheless, an increase in heavy fractions (pyrite, magnetite, ilmenite, almandine, zircon, etc.) was noted in the sediments of the ridges at the borders of their junction with lake terraces. Apparently, this is due to an increase in the concentration of heavy minerals due to abrasion modeling

of ridges during the period of lake transgressions, accompanied by the removal of pelitic-silty-sand fractions. In the texture of the stratification of coastal lake sediments, bottom ripples and xenolith-like inclusions are established, which indicate that lake transgression was carried out in the period after the formation of the ridge-valley relief.

According to the textural, structural and geomorphological features of the ridges, the strict consistency of their orientation and the regular increase in the height of the watershed surface of the ridges in the northeast (60–65 °) direction to their end; coordinated parallelism and length from 5 to 100 km, the ridges are classified as linear sand dunes, similar to the safe dunes of Central Asia and the Sahara. The main relief-forming force was free turbulent jet flows, which formed blowing troughs and wind gradients directed to the slopes of the trenches that bound them. At the edges of the hollows, where, according to the laws of dynamics of self-limitation of free jets, the wind speed decreased and sand accumulated, giving rise to the formation of ridges.

The formation of a ridge-hollow complex is presented as a self-organizing self-similar process of isomorphic development of paragenetically related aeolian-accumulative ridges and deflation-denudation hollows.

The idea posed by M.G. Grosvald and his like-minded people about the grand catastrophic floods resulting from the breakthrough of glacial dams within the northern part of the West Siberian Plain is unfounded. The formation of the ridge-hollow complex apparently occurred at the borders of the Pleistocene and Holocene and was predetermined by a sharp change in the ecological situation (and climate), which caused the total destruction of the vegetation cover (and wildlife) and the exposure of sea and lake sand and pelitic strata, which became the arena for the development of aeolian processes.

Keywords: *Holocene history, ridge-hollow relief, texture, structure, convergent stratification, sandy desert.*

References

- Beyzel' A.L. *Novye dannye k razrabotke modeli formirovaniya grivnogo rel'efa yuga Zapadnoy Sibiri* [New data for the development of a model for the formation of the ridge relief in the South of Western Siberia] // *Interespo GEO-Sibir': XIV Mezhdunar. nauch. kongr.* 2018. T.2. pp. 92–96. In Russian. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-2-92-96
- Beyzel' A.L., Sobolev E.S., Yan P.A. *Novye dannye po probleme proiskhozhdeniya grivnogo rel'efa yuga Zapadnoy Sibiri* [New data on the problem of the origin of the ridge relief in the South of Western Siberia] // *Interespo GEO-Sibir': XV Mezhdunar. nauch. kongr.* 2019. T.2. No 1. pp. 3–9. In Russian. DOI: 2618-981X-2019-2-1-3-9
- Beletskaya N.P. *Morfologiya i morfometriya grivnogo rel'efa* [Morphology and morphometry of the ridge relief] // *Istoriya razvitiya rechnykh dolin i problemy melioratsii zemel'. Zapadnaya Sibir' i Srednyaya Aziya.* Novosibirsk: Nauka. 1979. pp. 148–156. In Russian.
- Nikolaev V.A., Pil'kevich I.V., Puchkova D.V. *Priroda grivnogo rel'efa yuzhnykh ravnin Zapadnoy Sibiri* [Nature of the ridge relief of the southern plains of Western Siberia] // *Istoriya razvitiya rechnykh dolin i problemy melioratsii zemel'. Zapadnaya Sibir' i Srednyaya Aziya.* Novosibirsk: Nauka. 1979. pp. 166–178. In Russian.
- Velichko A.A., Timireva S.N. *Zapadnaya Sibir' – velikaya pozdnelednikovaya pustynya* [Western Siberia – the great late glacial desert] // *Priroda.* Moscow: Nauka. 2005. №5. pp. 54–63. In Russian.
- Volkov I.A. *Rol' eolovogo faktora v evolyutsii rel'efa* [The role of the aeolian factor in the evolution of the relief] // *Problemy ekzogenogo rel'efoobrazovaniya.* Moscow: Nauka. 1976. pp. 264–288. In Russian.
- Volkov I.A. *Pozdnezryanskiy (sartanskiy) pokrov lessov, lessovidnykh suglinkov i eolovykh peskov* [Later Zyryansky (Sartan) cover of loess, loess-like loam and aeolian sands] // *Paleogeografiya Zapadno-Sibirskoy ravniny v maksimum pozdnezryanskogo oledeneniya.* Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie. 1980. pp. 66–73. In Russian.
- Volkov I.A. *Pleistotsenovaya subaeral'naya tolshcha i dinamika prirodnoy sredy (na primere Zapadnoy Sibiri)* [Pleistocene subaerial strata and dynamics of the natural environment (on the example of Western Siberia)] // *Russian Geology and Geophysics.* 2003. T. 44. No 4. pp. 364–372. In Russian.
- Galanin A.A. *Eolovyy rel'ef kholodnykh regionov Vostochnoy Sibiri: voprosy genezisa i klassifikatsii* [Aeolian relief of cold regions of Eastern Siberia: questions of genesis and classification] // XXXVI Plenum geomorfologicheskoy komissii RAN. Barnaul: Izd-vo Altayskogo gosuniversiteta, 2018. pp. 95–102. In Russian.
- Grosval'd M. G. *Evrasiyskie gidrosfernye katastrofy i oledenenie Arktiki* [Eurasian hydrospheric catastrophes and the Arctic glaciation]. Moscow : Nauchnyy mir, 1999. 120 p. In Russian.
- Kaz'min S.P., Volkov I.A. *Kharakter prirodnnykh protsessov v aziatskoy chasti Rossii vo vremya posledney lednikovoy stadii* [The character of the natural processes in the Asian part of Russia during the last glacial stage] // *Geography and Natural Resources.* 2010. No 3. pp. 5–10. In Russian.
- Leont'ev O.K., Foteeva N.N. *Proiskhozhdenie i vozrast berovskikh bugrov* [The origin and age of the Baer knolls] // *Izvestiya AN SSSR. Ser. geogr.* 1965. No 2. pp. 90–97. In Russian.
- Pozdnyakov A.V. *Dinamicheskoe ravновесие v rel'efoobrazovanii* [Dynamic equilibrium in relief formation]. Moscow : Nauka. 1986. 207 p. In Russian.
- Pozdnyakov A.V. *Vozmozhnye prichiny rezkogo izmeneniya klimata i degradatsii mamontovogo faunisticheskogo kompleksa v neopleystotsene* [Possible causes of abrupt climate change and degradation of the mammoth faunal complex in the Neopleistocene] // *Prirodnye usloviya, istoriya i kul'tura Zapadnoy Mongolii i sopredel'nykh regionov: T.I: Estestv. nauki. Khovd, Tomsk.* 2015. pp. 121–126. In Russian.
- Pozdnyakov A.V. *Rel'ef Zapadno-Sibirskoy ravniny: vzglyad cherez prizmu gomomorfizma i izomorfizma* [The relief of the West Siberian Plain: a view through the prism of homomorphism and isomorphism] // *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geomorfologiya i fizicheskaya geografiya Sibiri v XXI veke.* Tomsk: Izd-vo TGU. 2020. pp. 50–53. In Russian.
- Reding X. G., Kollinson Dzh. D., Allen F. A. et al. *Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii* [Sedimentation conditions and facies]. Moscow : Mir, 1990. 352 p. In Russian.
- Svitoch A.A., Klyuvitkina T.S. *Berovskie bugry – zagadka Severnogo Prikaspiya* [Baie Hillocks: An Enigma of the Northern Peri-Caspian Area] // *Priroda.* 2004. No 2 (1062). pp. 32–38. In Russian.
- Svitoch A.A., Klyuvitkina T.S. *K voprosu o proiskhozhdenii Berovskikh bugrov Severnogo Prikaspiya* [To the question of the origin of Baer knolls from the Northern Caspian region] // *Aridnye ekosistemy.* 2007. T. 13. No 33–34. pp. 24–39. In Russian.
- Fedorovich B.A. *Proiskhozhdenie "berovskikh bugrov" Prikaspiya* [The origin of the Baer knolls of the Peri-Caspian Area] // *Izvestiya AN SSSR, Ser. geogr. i geofiz.* 1941. No 1. pp. 95–116. In Russian.

Fedorovich B.A. *Razvitie i preobrazovanie geograficheskoy sredy* [Development and transformation of the geographical environment]. M.: Nauka, 1964. 238 p. In Russian.

Fialkov D.N. *Gryadovye formy rel'efa Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Ridge landforms of the West Siberian lowland]. Omsk: Zapadnosibirskoe knizhnoe izd-vo. 1964. 59 p. In Russian.

Fialkov D.N. *K voprosu o proiskhozhdenii gryadovykh form rel'efa yuga Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [On the origin of ridge landforms in the South of the West Siberian lowland] // Problemy geomorfologii i neotektoniki platformnykh oblastey Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1970. pp. 112–117. In Russian.

Baldauf P.E., Burkhart P.A., Hanson P.R., Miles M., Larsen A. Chronology of dune development in the White River Badlands, northern Great Plains, USA // *Aeolian Research* 37. 2019. pp. 14–24.

Bowen M.W., Johnson W.C., King D.A. Spatial distribution and geomorphology of lunette dunes on the High Plains of Western Kansas: implications for geochronological and paleoenvironmental research // *Physical Geography*. 2018. V. 39(1). pp. 21–37. DOI: 10.1080/02723646.2017.1319683

Gaylord D.R., Sweeney M.R., Busacca A.J. Geomorphic development of a late Quaternary paired eolian sequence, Columbia Plateau, Washington // *Geological Society of America Abstracts with Programs*. 2002. V. 34(6). p. 245.

Iannicelli M. Devon island's oriented landforms as an analog to Illinois-type Paha // *Polar Geography*. 2003. V. 27(4). pp. 339–350. DOI:10.1080/789610227

Iannicelli M. Evolution of the Driftless Area and Contiguous Regions of Midwestern USA Through Pleistocene Periglacial Processes // *The Open Geology Journal*. 2010. V. 4. pp. 35–54. DOI:10.2174/1874262901004010035.

Markewich, H. W., Markewich W. An overview of Pleistocene and Holocene inland dunes in Georgia and the Carolinas: morphology, distribution, age, and paleoclimate // *U.S. Geological Survey Bulletin* 2069. 1994. 32 p. <https://doi.org/10.3133/b2069>

Markewich H. W., Litwin R. J., Wysocki D. A., Pavich M. J. Synthesis on Quaternary aeolian research in the unglaciated eastern United States. *Aeolian Research*. 2015. V. 17. pp. 139–191.

Prior J.C. Landforms of Iowa. Iowa City: University of Iowa Press, 1991. 153 p. doi.org/10.17077/0003-4827.11051

Scholtes W.H. Properties and classification of the paha loess-derived soils in northeastern Iowa. *Retrospective Theses and Dissertations*. 1951. 171 p.

Wolbach W.S., et al. Extraordinary Biomass-Burning Episode and Impact Winter Triggered by the Younger Dryas Cosmic Impact ~12,800 Years Ago. 1. Ice Cores and Glaciers // *The Journal of Geology* 126. 2018. V. 2. pp. 165–184. DOI: 10.1086/695703

Author's:

Pozdnyakov Alexander V., Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: synergeia.pol@gmail.com

Puchkin Alexey V., Cand. Sci. (Geography), Junior Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: burabay@mail.ru

Pupyshev Yury S., graduate student, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: pupyshev95@mail.ru

Fusella Tatiana Sh., Cand. Sci. (Geography), Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: fts10@yandex.ru