



УДК 551.5(571.53)
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-4
EDN IOCHXB

Климатический фактор в динамике экзогенных процессов Юго-Западного Прибайкалья

Тюменцева Е.М., Труханов А.Э.

Иркутский государственный университет
Россия, 66403, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1
tumentzeva.liz@yandex.ru, antontr.meteo.97@gmail.com

Аннотация. Проведен анализ роли климата в современном экзогенном рельефообразовании на юго-западном побережье Байкала. Несмотря на многочисленные публикации в разные годы и в России, и за рубежом о взаимосвязи климата и экзогенных процессов, современные изменения климатических условий придали новый импульс к исследованиям в этой области. Целью нашей работы было оценить вклад климатического фактора в функционирование и динамику экзогенных процессов в островных степях Прибайкалья. Территория исследования представляет полидоминантный ландшафт, один из самых засушливых в тени Приморского хребта и экологически чувствительных регионов Прибайкалья. Многолетние исследования (с 2000 г. по настоящее время) геоморфологических систем с применением стационарных и маршрутных методов, а также полевых экспериментов, позволили накопить значительный объем данных. Эти данные позволили выявить региональные закономерности климатических и геоморфологических режимов, а также изучить сезонную и общую динамику процессов. За период с 2000 по 2025 гг. в Прибайкалье доминировали теплые и умеренно влажные климатические условия, хотя наблюдались и экстремальные отклонения в сторону влажности и засушливости. Анализ показал, что для объекта исследования характерны семигумидные состояния, способствующие эрозионным процессам (водной и эоловой). В периоды засухи активизируются эоловые процессы, что приводит к увеличению эоловой аккумуляции (более 100 г/м²) и повышению запыленности воздуха (от 8 мкг/м³ до 95 мкг/м³). Активные процессы рельефообразования, усугубляемые значительной деятельностью человека, вызывают увеличение объема поступающих в озеро рыхлых веществ и, как следствие, ухудшение экологической обстановки.

Ключевые слова: климат, экзогенный морфогенез, эоловые процессы, водная эрозия, сезонная и многолетняя динамика, Прибайкалье, дефляционный потенциал

Для цитирования: Тюменцева Е.М., Труханов А.Э. 2026. Климатический фактор в динамике экзогенных процессов Юго-Западного Прибайкалья. Региональные геосистемы, 50(1): 47–61. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-4 EDN: IOCHXB

The Climate Factor in the Dynamics of Exogenous Processes in the Southwestern Baikal Region

Elizaveta M. Tyumentseva, Anton E. Trukhanov

Irkutsk State University
1 Karl Marx St., Irkutsk, 664003, Russia
tumentzeva.liz@yandex.ru, antontr.meteo.97@gmail.com

Abstract. An analysis was conducted to investigate the role of climate in contemporary exogenous geomorphological processes along the southwestern coast of Lake Baikal. Despite numerous papers on the relationship between climate and exogenous processes published in Russia and internationally over the years, recent shifts in climatic conditions have spurred renewed interest in this research area. The objective of our study was to assess the contribution of the climatic factor to the functioning and dynamics of exogenous processes in the insular steppes of the Baikal region. The study area encompasses a polydominant landscape, representing one of the most arid and ecologically sensitive regions in the rain shadow of the Primorsky Range within the Baikal area. Through the application of rigorous methodologies, including stationary and transect-based monitoring, complemented by field experiments, long-term (2000 to present) investigations of geomorphological systems have yielded a significant dataset. This dataset has allowed for the elucidation of regional-scale regularities governing climatic and geomorphological regimes, and the analysis of both seasonal and long-term process dynamics. From 2000 to 2025, warm and moderately humid climatic conditions predominated in the Baikal region, although extreme deviations towards both wetter and drier conditions were also observed. Our findings show that the study site is characterized by semi-humid conditions, which favor erosional processes (fluvial and aeolian). During periods of drought, aeolian processes are intensified, leading to an increase in aeolian accumulation (exceeding 100 g/m^2) and elevated atmospheric dust concentrations (ranging from 8 mg/m^3 to 95 mg/m^3). The heightened intensity of geomorphological processes, driven by significant human activities, results in an elevated volume of unconsolidated material entering the lake, thereby causing a decline in the ecological status.

Keywords: climate, exogenous morphogenesis, aeolian processes, water erosion, seasonal and long-term dynamics, Baikal region, deflation potential

For citation: Tyumentseva E.M., Trukhanov A.E. 2026. The Climate Factor in the Dynamics of Exogenous Processes in the Southwestern Baikal Region. *Regional Geosystems*, 50(1): 47–61 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-4 EDN: IOCHXB

Введение

Климат является важнейшим фактором рельефообразования, поскольку он определяет характер экзогенных процессов (наиболее важными видами являются водная эрозия и эоловые процессы) и обуславливает их генерацию [Ивановский, 2011]. Установлено, что геоморфологические системы ориентированы на климатические и водные режимы, а взаимоотношения между климатом и рельефом разнообразны [Уфимцев, 2008; Симонов, Симонова, 2013; William, Kaufman, 2013; Bogdanov et al., 2024]. Однако геоморфологи считают, что к оценке роли климатического фактора на рельеф надо подходить осторожно [Горелов, 2001].

Климат обуславливает характер и скорость процессов выветривания, определяет в значительной мере особенности денудации, структуру и интенсивность экзогенных процессов, контролирует тип и эффективность выветривания коренных пород и закономерности движения литопотоков по склонам. Главные показатели в данном аспекте – это количество и сезонное распределение температуры и осадков, ветровой режим. Климатические особенности проявляются и отражаются в рельефе. Развитие климато-геоморфологических представлений в российской геоморфологии было детально исследовано А.П. Дедковым [1976]. Он выделил на суше семь основных климато-геоморфологических зон, каждой из которых соответствует свой тип геоморфогенеза, и отмечал, что морфогенез в ряде областей может носить смешанный характер. На пространственную и временную неоднородность и неравномерность морфогенеза, которые проявляются на разных уровнях (от глобального, регионального до уровня элементарных морфологических единиц) обращал внимание Д.А. Тимофеев [Лихачева, Тимофеев, 2010; Тимофеев, 2011]. На активность экзогенных процессов оказывает воздействие широкий спектр факторов, включая климатические – высокие

амплитуды температуры воздуха, количество и интенсивность осадков, ветровой режим [Невидимова, Янкович, 2016].

Современный геоморфологический режим и его экзогенная составляющая в Саяно-Байкальской области, в которой находится район исследования, отличается разнообразием благодаря именно климатическим особенностям [Буланов, Коржуев, 2006]. Колебания климата в последние годы оказывает влияние на ход многих природных процессов. В свете этого большой интерес представляет анализ последствий и реакций геоморфологических систем на изменения климата [Schoonover, Crim, 2015]. Заметных изменений морфогенеза по мнению О.И. Баженовой [2018] следует ожидать в субаридных районах (степях и лесостепях) юга Сибири, отличающихся неустойчивым природным равновесием, обусловленным резко континентальным климатом, горно-котловинным рельефом, положением у южной границы криолитозоны. Учитывая недостаток данных о взаимосвязанности климата и экзогенного рельефообразования, особенно в региональном отношении, Прибайкалье – это потенциальная область для глубоких междисциплинарных исследований.

Цель работы – оценить вклад климатического фактора в развитие экзогенных процессов в степях Прибайкалья. В рамках проводимого исследования решался ряд задач: выявление основных климатических параметров, оказывающих влияние на экзогенные процессы; определение пространственной изменчивости климатических параметров в регионе; оценка роли различных климатических факторов в активизации различных типов экзогенных процессов.

Объекты и методы исследования

Объект исследования: экзогенные процессы на территории Юго-Западного Прибайкалья. Предмет: влияние климатических параметров на экзогенный морфолитогенез.

На юго-западном побережье Байкала (в районе устьев рек Голоустная и Сарма, а также на острове Ольхон) с 2000 г. проводятся исследования климатических и геоморфологических систем. Нами использовался комплексный подход, включающий стационарные, полустационарные и маршрутные методы, а также полевые эксперименты [Баженова, Тюменцева, 2018]. В данной статье основное внимание будет уделено полигону в устье реки Голоустная (поселок Большое Голоустное).

Для оценки влияния климата на динамику экзогенных процессов использовались среднемесячные значения температуры воздуха и поверхности почвы, количество и интенсивность осадков, скорость и направление ветра, высота снежного покрова, а также информация о количестве пыльных бурь. Таким образом, на основе архива Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных [2025] и архива отдела фонда данных ФГБУ «Иркутское УГМС» были сформированы временные ряды за многолетний период с 1974 по 2024 гг. метеостанции Большое Голоустное, которая расположена на территории Иркутского района Иркутской области (52°02' с. ш., 105°25' в. д., 461 м над уровнем моря).

Геоморфологические наблюдения основывались на использовании различных методов и приборов. Склоновый сток, смыл и размыв на степных склонах изучали с помощью комплекса методов, включающего установку металлических реперов (шпилек), повторное нивелирование и фотосъемку. Использование шпилек позволило установить общее направление перемещения вещества по склонам и определить величину смыва и аккумуляции. Наблюдения за эоловыми процессами (дефляция, транзит вещества и эоловая аккумуляция) велись с использованием пылеуловителей разной конструкции и электронного датчика концентрации частиц в воздухе «НТ-НЗ516». Площадные

исследования динамики эоловых процессов выполнялись с помощью отбора проб эолового материала из снега и смыва пыли с травостоя. Отбор проб снега осуществлялся по системе ключевых площадок и маршрутов с учетом источников атмосферного загрязнения и розы ветров.

Для установления характера и активности перемещения вещества на склонах в Прибайкалье (Голоустненский участок) с 2006 г. проводится авторами следующий эксперимент. На крутом степном склоне южной экспозиции были выбраны площадки размером 0,5 x 0,5 м, с поверхности которых ежегодно удаляется обломочный материал. По массе вновь появившегося щебня можно судить об интенсивности преобразования поверхности. Картирование, фотографирование площадок, где изучается активность и скорость выноса материала, особенности изменения поверхности проводятся ежегодно в первой декаде июня. Методы исследования включали также обработку космических снимков, полученных при помощи *Google Earth Pro* [2025]. Таким образом, многолетние наблюдения за функционированием и динамикой климатических и геоморфологических систем позволили накопить надежный количественный материал для установления региональных закономерностей, ритмики процессов, выявления климатических и геоморфологических трендов.

Результаты и их обсуждение

В результате выполненного авторами исследования было установлено, что в степях Прибайкалья система экзогенных процессов, преобразующих геоморфологические поверхности, многофакторная. Уникальность природы Прибайкалья обусловлена сочетанием горно-котловинного рельефа и специфическими атмосферными процессами, протекающими внутри котловины. Склоны котловин демонстрируют выраженную ландшафтную контрастность, обусловленную соседством восточносибирских гольцовых, таежных светлохвойных и южносибирских таежных темнохвойных экосистем с центральноазиатскими степными сообществами. Имеются интразональные участки болотных, луговых и прирусловых геосистем. Южная часть озера Байкал находится на высоте 456 м над уровнем моря. Вдоль юго-западного берега располагается Приморский хребет, вершины которого достигают высоты 700–1500 м. Хребты восточного побережья, с высотой от 1300 до 2370 м, расположены дальше от берега и отделены от него пологими прибрежными равнинами.

Климат побережья Байкала формируется при непосредственном влиянии внутри котловинных процессов. Циркуляционные особенности и тепловой режим определяются не только приходом солнечной радиации, но и большой массой воды озера и рельефом прибрежных склонов. Температурный режим над Байкалом отличается от окружающих территорий: летом воздух над озером холоднее (на 6–8 °С), зимой теплее (на 5–15 °С). Годовые колебания температуры воздуха над Байкалом (30–38 °С) ниже, чем за его пределами (41–50 °С) [Tyumentseva, Orel, 2018]. Характерны также температурные инверсии (летом, поздней весной и ранней осенью) и низкая влажность воздуха. Активные процессы разрушения горных пород в Прибайкалье обусловлены резкими изменениями инсоляционного режима [Tyumentseva, Orel, 2018].

Разнообразие процессов, формирующих рельеф Прибайкалья, зависит от климатических условий. В засушливые периоды активно формируются эоловые формы рельефа под воздействием ветра, а при увлажнении на первый план выходят процессы площадного и линейного размыва [Ивановский, 2011]. По климатическим особенностям за период с 2000 по 2024 гг. наблюдений были разделены состояния геоморфологических систем (см. таблицу).

Формирование переменных состояний геоморфологических систем
при различных сочетаниях тепла и влаги (по данным метеостанции Большое Голоустное)
Development of dynamic states of geomorphic systems under varying heat
and moisture regimes (Bolshoye Goloustnoye weather station data)

Климатические условия (тепло, влажно)	Годы	Среднегодовая сумма осадков, мм	Среднегодовая скорость ветра, м/с	Климатический коэффициент эрозии (С)	Количество пыльных бурь
Очень теплый (+1,1 °С ...+2,4 °С)*					
Очень влажно	2019, 2020, 2024	400...483	3,7	2	0
Влажно	2004	343	3,9	6	3
Умеренно влажно	2002, 2007, 2016, 2017	267	4,0	12	1
Сухо	2014, 2015	228	4,1	18	1
Теплый (+0,6 °С ...+1,0 °С)*					
Очень влажно	2023	359	3,8	5	0
Влажно	2008, 2021	324	4,0	7	1
Сухо	2003	234	3,9	13	4
Очень сухо	2022	183	4,0	13	3
Умеренно теплый (0,0 °С ...+0,5 °С)*					
Умеренно влажно	2000, 2005, 2013	262	4,0	9	4
Сухо	2011	232	3,5	9	2
Умеренно холодный (–0,1 °С ...–0,5 °С)*					
Умеренно влажно	2001, 2009, 2012	282	3,8	10	3
Холодный (–0,6 °С ...–1,0 °С)*					
Сухо	2006	211	3,8	12	3
Очень сухо	2010	193	4,0	8	1

Примечание: *средняя годовая температура воздуха (°С); средняя годовая сумма осадков (мм): очень сухие – менее 200 мм, сухие – 200–250 мм, умеренно влажные – 250–300 мм, влажные – более 300 мм.

За весь рассмотренный период (2000–2024 гг.) наиболее часто повторяются годы: очень теплые (38 %), умеренно влажные (42 %), очень влажные и влажные (26 %), а также сухие разные по степени теплообеспеченности (25 %). Холодные сухие и очень сухие годы наблюдались два раза. Таким образом, в Прибайкалье в последние годы в пределах денудационного цикла преобладают семигумидные и гумидные состояния. Гумидные состояния наблюдались в 2019, 2020, 2023, 2024 гг., когда резко активизируются флювиальные процессы. Установлено, что интенсивность ливневых осадков оказывает большое влияние, чем общее количество осадков за год. Для влажных фаз характерна более высокая частота экстремальных явлений.

В Прибайкалье нашла отражение тенденция изменения климата в сторону потепления в соответствии с ходом роста глобальной температуры. Отмечается увеличение среднегодовой температуры со скоростью +0,50 °С/10 лет [Доклад об особенностях ..., 2025]. Изменение среднегодовой температуры на метеостанции Большое Голоустное с 1974 г. по 2024 г. показаны на рис. 1.

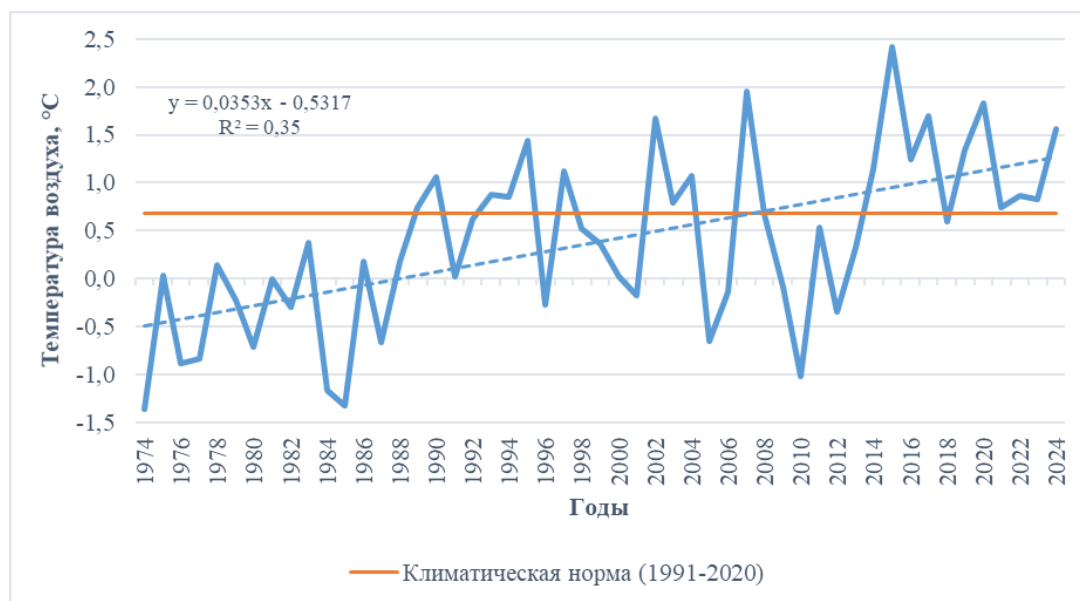


Рис. 1. Динамика температуры воздуха за период с 1974 по 2024 гг.
на метеостанции Большое Голоустное

Fig. 1. Air temperature dynamics for the period 1974–2024 at the Bolshoe Goloustnoe weather station

Погодные условия в районе исследования характеризуются высокой вероятностью заморозков на почве в начале июня и в конце августа. Период с отрицательной температурой почвы является продолжительным и может длиться до 230 дней в году. Средняя многолетняя температура поверхности почвы зимой составляет $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, минимальная $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$, а абсолютный минимум достигает $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Снежный покров оказывает влияние на температуру почвы, увеличивая ее примерно на $1\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на каждые 10 см толщины снежного слоя по сравнению с участками, лишенными снега. Однако снег с устьевой части дельты реки Голоустная зимой выдувается, и обнаженная почва растрескивается (рис. 2).

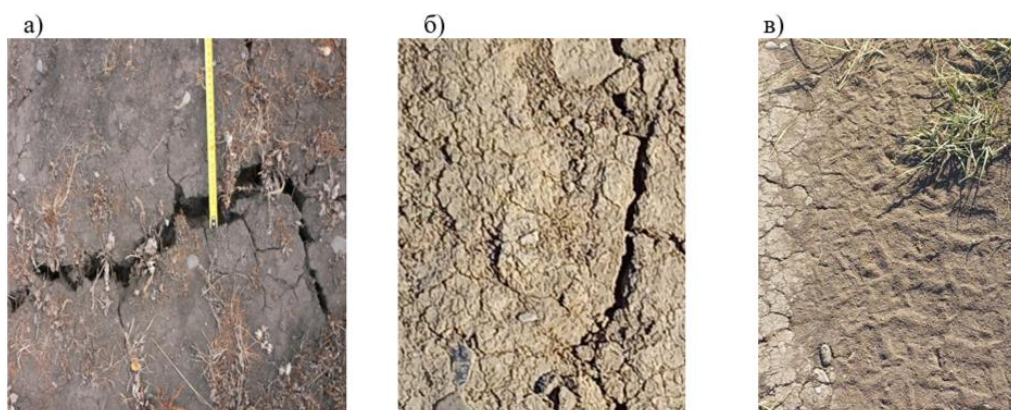


Рис. 2. Растрескивание и распыление почвогрунтов на пойме р. Голоустной
(а – 18 марта 2015 г., б – 18 марта 2023 г., в – 12 июня 2024 г.)

Fig. 2. Cracking and spraying of soil in the floodplain of the Goloustnaya River
(a – March 18, 2015, б – March 18, 2023, в – June 12, 2024)

Периоды с переходом температуры через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ осенью и весной длятся около 45 и 32 дней соответственно. При этом температура поверхности почвы испытывает значительные колебания (до $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$), что приводит к ее замерзанию и оттаиванию. Такие температурные условия способствуют растрескиванию почвы и коренных пород в котловине.

На остепненных склоновых участках побережья Байкала активно протекают процессы физического выветривания, что определяет активную миграцию вещества. В результате высокой скорости денудации поверхность степных склонов перекрывается обломочным материалом разных размеров, доминируют обломки размером 1–10 мм. Мелкозем, служащий заполнителем, в дальнейшем выдувается и вымывается, формируется щебнистая отмостка.

На склоне останца правого борта устьевого части р. Голоустной с 2006 г. проводится эксперимент. С площадки 50×50 см удаляется ежегодно обломочный материал, затем разбирается на фракции и взвешивается. Постоянное наблюдение за тем, как площадки вновь покрываются обломочным материалом, позволяет оценить активность экзогенных процессов (рис. 3).

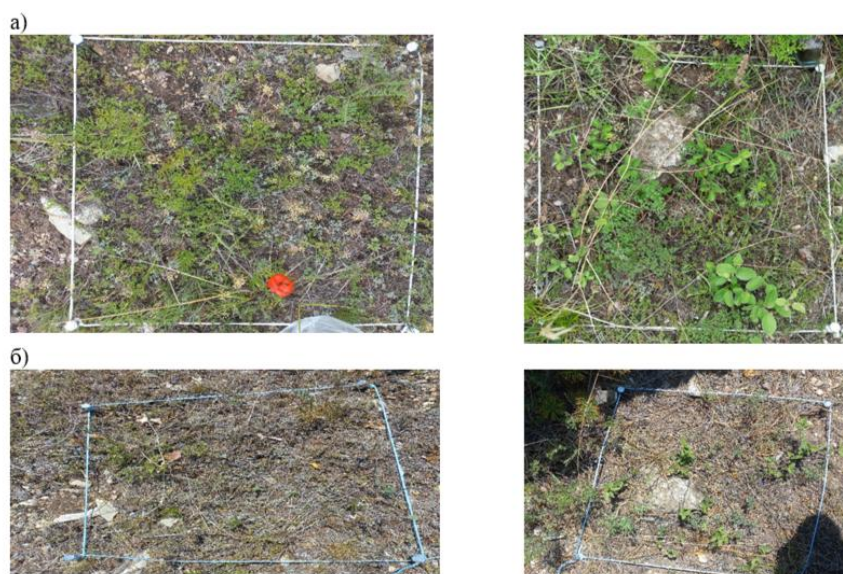


Рис. 3. Экспериментальные площадки

(а – верхние, 12 июня 2025 г., б – нижние, 19 июня 2025 г.)

Fig. 3. Experimental plots (a – upslope, June 12, 2025, б – downslope, June 19, 2025)

До начала эксперимента с площадки в верхней части склона было собрано 929 шт. обломков, с нижней – 2 424 шт. Дресва представлена преимущественно обломками известняков, песчаников, алевролитов карбонатных с примесью гальки и гранитов, кварца гранитогнейсов, эффузивов. Обломочный материал более чем на 50 % состоял из фракции до 5 мм, 30–35 % – 6–10 мм, 10–15 % – 21–50 мм, единственный обломок был более 50 мм.

В последующие годы максимальное количество обломков было собрано в 2008 г. с площадки в нижней части склона – 2 056 шт., а минимальное в 2013 г. – 642 шт. и в 2023 г. – 665 шт. При этом процентное соотношение сохранялось: до 80 % в образце составляли самые мелкие обломки, до 20–25 % фракция 6–10 мм, 12–16 % фракция 11–20 мм, 1–2 % фракция 21–50 мм, крупных менее 1 %, иногда их не было вовсе. Однако в мае 2019 г. изменилась в районе ключевого участка экологическая ситуация [Краснощеков, Чередникова, 2022]. Сильный пожар уничтожил растительность на вершине останца, а нижняя площадка оказалась среди подроста сосен. В результате активизировался вынос материала с верхней части склона и в 2024 г. с верхней площадки было собрано в 2 раза больше обломков, чем с нижней. В 2025 г. тенденция сохранилась: с верхней площадки было удалено 1 409 обломков (общей массой 901,5 г), а с нижней 701 обломок массой 202 г.

Основные процессы, формирующие литопотоки на степных склонах – это гравитационные, эоловые, водно-эрозионные.

Эоловые процессы. Байкальское звено среди других эоловых систем Южной Сибири характеризуется максимальной интенсивностью процессов, обусловленной, прежде всего, чрезвычайно высоким дефляционным потенциалом ветра [Баженова, Тюменцева, 2024]. Распространение и интенсивность эоловых процессов зависят от наличия рыхлого материала, наличия или отсутствия растительного покрова и ветрового режима (особенно ветра и атмосферной циркуляции) [Chen et al., 2022; Zhou et al., 2025]. В котловине Байкала наблюдается сложная система ветров (поперечные, продольные, горно-долинные, бризовые, фёны). Они связаны с глобальной и местной циркуляцией воздушных масс [Лут, 1980]. Наиболее сильные поперечные ветры северных румбов. Они характеризуются исключительной порывистостью, наибольшей продолжительностью и высокой энергией (в мае в зависимости от местоположения $150\text{--}900 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^2$).

В годовом цикле выделяются три пиковых периода нагрузок: ноябрь–январь, апрель–май и сентябрь [Баженова, Тюменцева, 2025]. Анализ эоловых процессов объекта исследования в 2022 г. (самый сухой) и 2024 г. (самый влажный) проводился с использованием расчетов дефляционного потенциала по методу Фрайберга [Fryberger, 1979; Маликова, Маликов, 2025]. Результирующий потенциал ветра (RDD) показывает интенсивность переноса песка и пыли, а соотношение R / DP , где DP – потенциал дрейфа наносов, отражает изменчивость направления ветра. На пылевых розах (рис. 4) синим цветом показан дефляционный потенциал ветров DP по 16 румбам, а красным – результирующий вектор RDD . Ветровые нагрузки (годовой дефляционный потенциал ветра) изменяются от 73 (2024 г.) до 145 (2008 г.), в мае варьируется от 6 до 11. В июле–августе доминируют ветры восточных румбов со слабой эродирующей способностью от 0,01–0,02 до 1–2.

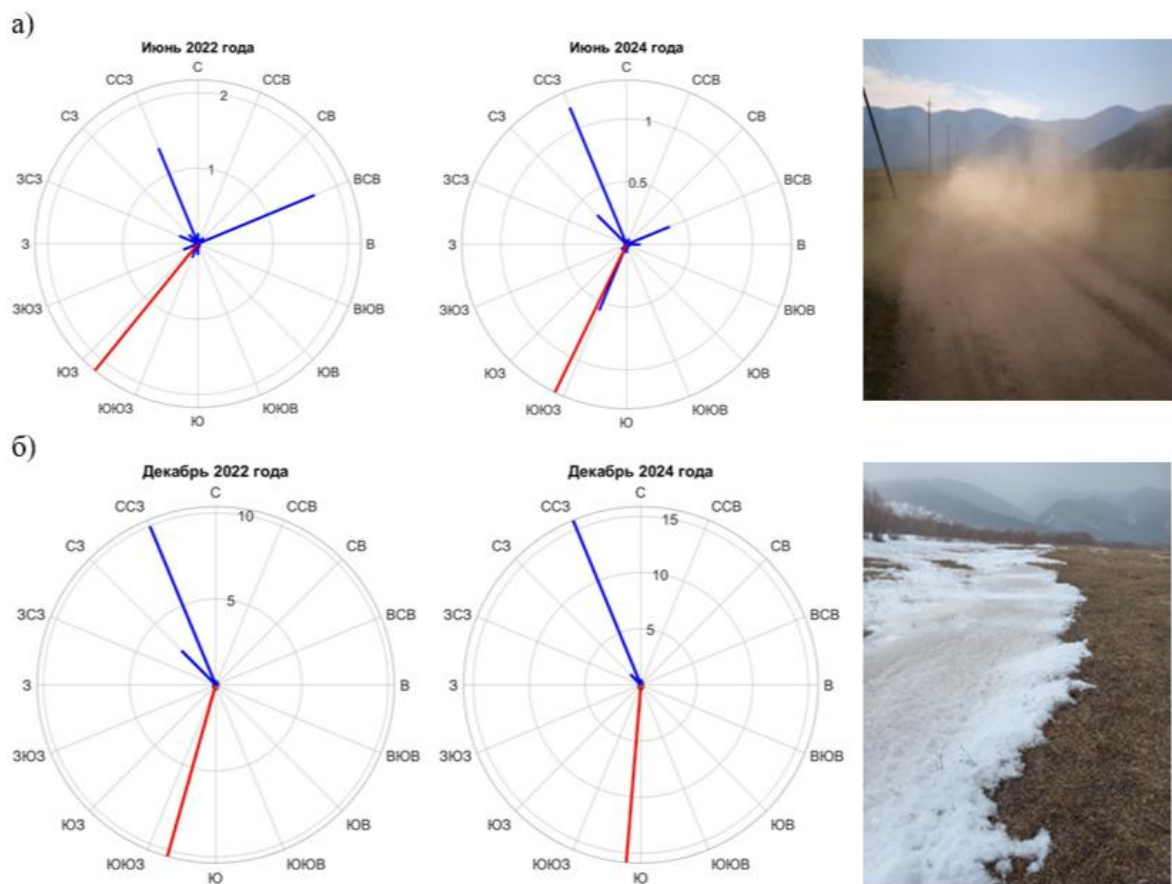


Рис. 4. Пылевые розы и перенос вещества на местности в пос. Большое Голоустное (а – теплый период, б – холодный период)

Fig. 4. Dust roses and sediment transport in the Bolshoe Goloustnoe area (a – warm period, б – cold period)

В апреле–мае в районе Большого Голоустного за период с 1974 по 2024 г. практически ежегодно фиксируются пыльные бури (от 1 до 7 в месяц) при средней скорости ветра 8–15 м/с, максимальной 20–28 м/с с продолжительностью от нескольких минут до нескольких часов. Так, в октябре–декабре 1981 года здесь наблюдалось 8 пылевых бурь при максимальной скорости ветра 24–28 м/с. В снегу накапливается 20–100 г/л мелкозема в форме ядер и слоя пыли на поверхности. Отметим, что ноябрь–декабрь и апрель–май является наиболее дефляционноопасными. Так, в декабре 2022 г. $DP = 13,68$, $RDD = 10,36$, $RDD/DP = 0,8$, а в декабре 2024 г. $DP = 17,78$, $RDD = 15,87$, $RDD/DP = 0,9$. В летние месяцы самый минимальный в годовом режиме дефляционный потенциал ветра: в июне 2022 г. $DP = 4,53$, $RDD = 2,17$, $RDD/DP = 0,5$, а в июне 2024 г. $DP = 2,87$, $RDD = 1,31$, $RDD/DP = 0,5$ (см. рис. 4).

Над Байкалом в этот период года устанавливаются местные байкальские антициклоны. С мая по август создаются благоприятные условия для бризовой циркуляции. Бризовые потоки усиливаются горно-долинными ветрами. Разный нагрев суши, воды и воздуха рождает легкие порывистые ветры, быстро и хаотически меняющие направления. Порывистость – одна из важнейших особенностей ветрового режима. Наличие на поверхности без растительного покрова (дороги) или с небольшим проективным покрытием растительностью 10–30 % (целинная степь пойменных грив из обломочного материала с маломощным супесчано-легкосуглинистым почвенным покровом) распыленного рыхлого материала природного, биогенного или антропогенного происхождения приводит к формированию пылевых поземок. Содержание пыли в воздухе 14 июня 2025 г. во время максимальной антропогенной нагрузки при прохождении транспорта достигало 95 мкг/м^3 , при штиле 8–10 мкг/м^3 .

В холодный период года с поверхности дельтовой равнины Голоустной снег выдувается, на центральной пойме имеются участки без снега, с незначительным снежным покровом 1–2 см, в понижениях рельефа 6–10 см, только в смешанном сосново-лиственничном лесу на теневых склонах до 20 см. Хорошо развитый травостой из дерновинных злаков и полыни приводят к формированию снежных косичек с максимальной высотой снега 15–20 см. В целом тенденция изменения высоты снежного покрова в сторону снижения отмечается в течение 50 лет (рис. 5), а отклонение от климатической нормы (2,4 см) в сторону понижения фиксируется в 31 году (из 50 лет наблюдений).

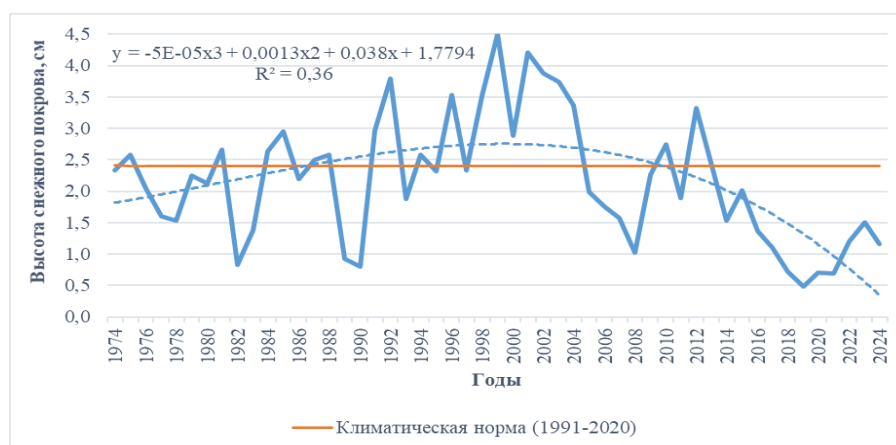


Рис. 5. Динамика снежного покрова за период с 1974 по 2024 гг. на метеостанции Большое Голоустное
Fig. 5. Snow cover dynamics for the period 1974–2024 at the Bolshoe Goloustnoe weather station

Ветровые потоки на побережье Байкала приводят к формированию разнообразных эоловых форм рельефа (дефляционных и аккумулятивных). На западном побережье преобладают процессы выдувания, в результате чего образуется щебнистая или песчаная отмостка [Вика и др., 2002; Агафонов, Акулов, 2006]. Поля подвижных песков площадью до

6 км² отмечены на острове Ольхон в заливах Семисосенский, Елгайский, Маломорский, Улан-Хушинский и др. [Касьянова, Азовский, 2009]. При направлении ветра с Байкала на сушу рыхлый материал перемещается вверх по уклону на склоны Приморского хребта [Агафонов, 2008]. При направлении ветра в сторону Байкала самые мелкие частицы уносятся и оседают на водную поверхность. Первые сведения о величине ветрового сноса в Байкальской котловине получены Б.П. Агафоновым [1990], когда им зафиксированы максимальные значения 758 г/год эоловой аккумуляции в 1969/1970 г. в пади Узур на о. Ольхон, минимальные за период с 1969 по 1975 гг. в районе Сармы 68 г/год. Величины эоловой аккумуляции по экспериментальным данным во влажные годы составляла менее 50 г/м², в умеренно влажные 50–100 г/м² и в засушливые 100–500 г/м² [Баженова, Тюменцева, 2025].

В результате ветрового сноса в оз. Байкал поступает около 180 тыс. т эолового материала в год [Вологина, Потемкин, 2001]. Таким образом, особенности ветрового режима определяют интенсивность и направленность эолового переноса.

Флювиальные процессы. Формирование обломочного материала на площадках происходит не только под воздействием эоловых процессов, но и в результате водной эрозии (мелкоручейковой). Анализ данных с плювиографа, функционирующего в теплый период года (май–сентябрь), показывает, что в среднем за летний сезон регистрируется 3–5 эрозионно опасных ливней. Критериями эрозионной опасности являются сумма осадков более 10 мм и интенсивность более 0,1 мм/мин. Наибольшую эрозионную опасность представляют ливни с суммой осадков более 30 мм и интенсивностью более 1 мм/мин, но такие в Большом Голоустном в 2000–2024 гг. не были зафиксированы. Во влажные годы, какими были последние 2023 и 2024 гг., увеличилась активность водной эрозии и ее вклад в латеральные потоки вещества. В 2024 г зафиксировано 7 случаев с ливневым характером выпадения осадков. Сумма осадков за один случай выпадения ливневого дождя составляет 20–25 мм со средней интенсивностью 0,13 мм/мин (максимальной за интервал 0,92). Средние величины смыва со склона составили 0,2–0,4 см. Рывтины на дорогах достигали глубины 54 см. По колеям полевых дорог чередовались промоины и конуса выноса (рис. 6).



Рис. 6. Ливневый сток на полевой дороге в пос. Большое Голоустное после дождя (12 июня 2024 г.)
Fig. 6. Storm runoff accumulating on a dirt road in Bolshoe Goloustnoe after the rain (June 12, 2024)

Во влажные годы количество обломочного материала на экспериментальных площадках значительно возросло – в 5–7 раз по сравнению с годами, когда увлажнение было в пределах нормы. Это увеличение было обусловлено смывом мелкозема. В эти годы на площадках 50 х 50 см появлялось более 1000–2500 обломков. Активное функционирование разных природных процессов наблюдается в береговой зоне. Интенсивные литопотоки способствуют увеличению привноса твердого вещества в оз. Байкал. Эти процессы воздействуют на озеро эпизодически, локально, на короткое время вызывают помутнение воды в некоторых районах.

Заключение

Результаты выполненного исследования показали, что климатические условия, режим температуры и осадков играют важнейшую роль в генезисе, функционировании и динамике экзогенных процессов. Полученные данные согласуются с основными тенденциями развития современного рельефа юго-западного Прибайкалья. Волновое колебание температуры и осадков по годам определяют основное направление и скорость перемещения рыхлого материала по поверхности склонов за счет водной эрозии (преимущественно в теплые сезоны влажных лет) и пыли в воздухе за счет эоловых процессов практически круглогодично, особенно активно в сухие годы.

Оценка интенсивности эолового переноса в Прибайкалье, которая была оценена на основе расчетов потенциала дрейфа пыли и песка, позволила выявить региональные особенности этого процесса. Корректность расчетов была подтверждена сопоставлением пылевых роз и полученных показателей с геоморфологической обстановкой и климатом. Было установлено, что для региона характерно стабильное распределение ветров, с преобладанием сильных ветров северного направления в весенний и зимний периоды. Результирующее направление дрейфа пыли и песка – южное и юго-западное, что согласуется с ориентацией эоловых форм рельефа. Активное влияние рельефообразующих процессов на поступление рыхлых веществ в озеро усугубляет экологическую обстановку.

Экологическое состояние Южного Прибайкалья вызывает опасения из-за подверженности региона экстремальным природным явлениям. Для поддержания благоприятной экологической обстановки в районе озера Байкал необходимы дальнейшие научные исследования, направленные на выявление взаимосвязей между климатическими и геоморфологическими процессами и разработку соответствующих мер адаптации к возникающим рискам.

Авторы статьи выражают глубокую признательность за помощь в подготовке статьи начальнику отдела фонда данных ФГБУ «Иркутское УГМС» Кузнецовой Н.А. и программисту Центра новых информационных технологий ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» Намаконову А.Ю.

Список источников

- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). Электронный ресурс. URL: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 11.06.2025).
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. 2025. М., Росгидромет, 104 с.
- Google Планета Земля (Google Earth Pro). Электронный ресурс. URL: <https://earth.google.com/intl/ru/index.html> (дата обращения: 11.06.2025)

Список литературы

- Агафонов Б.П. 1990. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, Наука, 175 с.
- Агафонов Б.П. 2008. Эколого-географическое районирование Байкала по степени загрязнения. Известия Российской академии наук. Серия Географическая, 6: 70–76.
- Агафонов Б.П., Акулов Н.И. 2006. О природе песчаных потоков на Ольхоне. Известия РАН. Серия географическая, 5: 101–108.
- Баженова О.И. 2018. Современная денудация предгорных степных равнин Сибири. Новосибирск, ГЕО, 259 с. <https://doi.org/10.21782/B978-5-6041445-2-7>.
- Баженова О.И., Тюменцева Е.М. 2024. Роль В.А. Снытко в исследовании эоловой миграции вещества на юге Сибири. География и природные ресурсы, 45(S5): 188–196. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240523>.
- Баженова О.И., Тюменцева Е.М. 2025. Мониторинг нисходящей ветви литодинамического кругооборота вещества в байкальской котловине. География и природные ресурсы, 46(2): 73–83. <https://doi.org/10.15372/GIPR20250207>.
- Баженова О.И., Тюменцева Е.М. 2018. Опыт применения полевых экспериментов при изучении геоморфологических систем. В кн.: Ландшафты в XXI веке: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований. М., Изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»: 152–156. <https://doi.org/10.25680/8602.2018.47.71.026>.
- Буланов С.А., Коржуев С.С. 2006. Горы Южной Сибири (Алтае-Саяно-Байкальская горная область). В кн.: Геоморфологические режимы Евразии. М., Изд-во Медиа-ПРЕСС: 212–227.
- Вика С., Овчинников Г.И., Снытко В.А., Щипек Т. 2002. Эоловые фации восточного побережья Байкала. Иркутск, ИГ СО РАН, ИЗК СО РАН, 56 с.
- Вологина Е.Г., Потемкин В.Л. 2001. Характеристика эолового переноса в зимний период в районе Академического хребта озера Байкал. Геология и геофизика, 42(1–2): 254–257.
- Горелов С.К. 2001. Древний рельеф и современные геоморфологические процессы. М., ЭНАС, 127 с.
- Дедков А.П. 1976. Теоретические аспекты современных климато-геоморфологических представлений. Геоморфология, 4: 3–11.
- Ивановский Л.Н. 2011. Рельеф и экзогенные процессы гор. Новосибирск, Наука, 293 с.
- Касьянова Л.Н., Азовский М.Г. 2009. Растительность современных эоловых образований на о. Ольхон (озеро Байкал). Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 11(1–4): 630–637.
- Краснощеков Ю.Н., Чередникова Ю.С. 2022. Постпирогенная изменчивость лесных почв в горном Прибайкалье. Новосибирск., Изд-во СО РАН, 164 с. <https://doi.org/10.53954/9785604782354>.
- Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. 2010. Организованность геоморфологических систем. В кн.: Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность. М., Медиа-ПРЕСС: 8–23.
- Лут Л.А. 1980. Результирующий ветровой поток над югом Восточной Сибири как основа для прогностических построений распространения взвесей. В кн.: Закономерности и прогнозирования природных явлений. Новосибирск, Наука: 228–232.
- Маликова Е.Л., Маликов Д.Г. 2025. Адаптация и использование «метода Фрайбергера» для оценки потенциала дрейфа песка (на примере Надымского Приобья), Геосферные исследования, 1: 109–123. <https://doi.org/10.17223/25421379/34/8>.
- Невидимова О.Г., Янкович Е.П. 2016. Климатические условия формирования быстропротекающих геоморфологических процессов на территории юга Западной Сибири. Успехи современного естествознания, 12–2: 433–438.
- Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. 2013. Фундаментальные проблемы антропогенной геоморфологии, Геоморфология, 3: 3–11.
- Тимофеев Д.А. 2011. Размышления о фундаментальных проблемах геоморфологии. Избранные труды. М., Медиа-ПРЕСС, 526 с.
- Уфимцев Г.Ф. 2008. Горы Земли (климатические типы и феномены новейшего орогенеза). М., Научный мир, 351 с.
- Bogdanov E.A., Nadbaatar S., Bazha S.N. 2024. Spatial–Temporal Analysis of the Air Temperature, Precipitation, and Aridity Index on the Territory of the Lake Baikal Basin. Arid Ecosystems, 14(4): 397–412. <https://doi.org/10.1134/S2079096124700367>.

- Chen J., Zhang D., Yang X., Lehmkuhl F., Jiang W. 2022. The Effects of Seasonal Wind Regimes on the Evolution of Reversing Barchanoid Dunes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 127(2): e2021JF006489. <https://doi.org/10.1029/2021JF006489>.
- Fryberger S.G. 1979. Dune Forms and Wind Regime. In: *A Study of Global Sand Seas*. Ed. by E.D. McKee. Washington, US Government Printing Office: 137–170. <https://doi.org/10.3133/pp1052>.
- Schoonover J.E.; Crim J.F. 2015. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 154(1): 21–47. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>.
- Tyumentseva E.M., Orel G.F. 2018. Atmospheric Processes in the South Baikal Basin and Their Role in Relief Formation. *Atmosphere*, 9(5): 1–18. <https://doi.org/10.3390/atmos9050176>.
- William M.M., Kaufman M.M. 2013. *Physical Geography: Great Systems and Global Environments*. New York, Cambridge University Press: 113–171.
- Zhou X., Sheng Z., Manevski K., Zhao R., Zhang Q., ... Yang Y. 2025. Can System Dynamics Explain Long-Term Hydrological Behaviors? The Role of Endogenous Linking Structure. *Hydrology and Earth System Sciences*, 29(1): 159–177. <https://doi.org/10.5194/hess-29-159-2025>.

References

- Agafonov B.P. 1990. *Ekzolitodinamika Baykalskoy riftovoy zony* [Exolithodynamics of the Baikal Rift Zone]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 175 p.
- Agafonov B.P. 2008. *Ekologo-geograficheskoye rayonirovaniye Baykala po stepeni zagryazneniya* [Ecological and Geographical Zoning of Lake Baikal on Contamination Grade]. *Izvestiia RAN. Seriya Geograficheskaya*, 6: 70–76.
- Agafonov B.P., Akulov N.I. 2006. About the Nature of Quick-Sand Streams on Olhone. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 5: 101–108 (in Russian).
- Bazhenova O.I. 2018. Actual Denudation of the Foothill Steppe Plains of Siberia. *Novosibirsk, Publ. GEO*, 259 p. (in Russian). <https://doi.org/10.21782/B978-5-6041445-2-7>.
- Bazhenova O.I., Tyumentseva E.M. 2024. The Role of V.A. Snytko in the Study of Aeolian Migration of Matter in the South of Siberia. *Geography and Natural Resources*, 45(S5): 188–196 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/GIPR20240523>.
- Bazhenova O.I., Tyumentseva E.M. 2025. Monitoring of the Descending Branch of the Lithodynamic Circulation of Matter in the Baikal Basin. *Geography and Natural Resources*, 46(2): 159–167 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1875372825700179>.
- Bazhenova O.I., Tyumenceva E.M. 2018. Opyt primeneniya polevyh eksperimentov pri izuchenii geomorfologicheskikh system [Experience in Using Field Experiments to Study Geomorphological Systems]. In: *Landshafty v XXI veke: analiz sostoyaniya, osnovnye processy i koncepcii issledovaniy* [Landscapes in the 21st Century: State Analysis, Main Research Processes, and Concepts]. Moscow, Publ. FGBNU «VNII agrohimii»: 152–156. <https://doi.org/10.25680/8602.2018.47.71.026>.
- Bulanov S.A., Korzhuev S.S. 2006. *Gory Yuzhnoj Sibiri (Altae-Sayano-Bajkal'skaya gornaya oblast')* [Mountains of Southern Siberia (Altai-Sayano-Baikal Mountain Region)]. *Geomorfologicheskie rezhimy Evrazii* [Geomorphological regimes of Eurasia]. Moscow, Publ. Media-PRESS: 212–227.
- Vika S., Ovchinnikov G.I. Snytko V.A., Shchipek T. 2002. Aeolan Landscapes of Eastern Shore of Lake Baikal. *Irkutsk, Publ. IG SO RAN, IZK SO RAN*, 56 p. (in Russian).
- Vologina E.G., Potemkin V.L. 2001. *Harakteristika eolovogo perenosa v zimnij period v rajone Akademicheskogo hrebta ozera Bajkal* [Characteristics of Aeolian Transport in the Winter Period in the Area of the Academic Range of Lake Baikal]. *Geologiya i geofizika*, 42(1–2): 254–257.
- Gorelov S.K. 2001. *Drevnij rel'ef i sovremennye geomorfologicheskie process* [Ancient Topography and Modern Geomorphological Processes]. Moscow, Publ. ENAS, 127 p.
- Dedkov A.P. 1976. Theoretical aspects of modern ideas on climatic geomorphology. *Geomorfologiya*, 4: 3–11 (in Russian).

- Ivanovskiy L.N. 2011. Relyef i ekzogennyye protsessy gor [Relief and Exogenous Processes of Mountains]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 293 p.
- Kasyanova L.N., Azovsky M.G. 2009. The Vegetation of Modern Eolian Formations on the Island of Olkhon (Lake Baikal). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 11(1–4): 630–637 (in Russian).
- Krasnoshchekov Yu.N., Cherednikova Yu.S. 2022. Postpyrogenic Variability of Forest Soils in the Mountainous Baikal Region. Novosibirsk, Publ. SO RAN, 164 p. (in Russian). <https://doi.org/10.53954/9785604782354>.
- Lihacheva E.A., Timofeev D.A. 2010. Organizovannost geomorfologicheskikh system [Organizedness of Geomorphological Systems]. In: *Geomorfologicheskiye sistemy: svoystva, iyerarkhiya, organizovannost* [Geomorphological Systems: Properties, Hierarchy, Organizedness]. Moscow, Publ. Media-PRESS: 8–23.
- Lut L.A. 1980. Rezultiruyushchiy vetrovoy potok nad yugom Vostochnoy Sibiri kak osnova dlya prognosticheskikh postroyeni rasprostraneniya vzvesey [The Resulting Wind Flow Over the South of Eastern Siberia as a Basis for Predictive Models of Suspended Matter Distribution]. In: *Zakonomernosti i prognoziro-vaniye prirodnykh yavleniy* [Regularities and Forecasting of Natural Phenomena]. Novosibirsk, Publ. Nauka: 228–232.
- Malikova E.L., Malikov D.G. 2025. Adaptation and Use of the "Fryberger Method" for Sand Drift Potential Assessment (on the Example of the Nadym Ob Area). *Geosphere Research*, 1: 109–123 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/25421379/34/8>.
- Nevidimova O.G., Yankovich E.P. 2016. Climatic Conditions of the Formation of Fast Geomorphological Processes in the South of West Siberia. *Advances in current natural sciences*, 12–2: 433–438 (in Russian).
- Simonov Yu.G., Simonova T.Yu. 2013. Fundamental Problems of Anthropogenic Geomorphology. *Geomorfologiya*, 3: 3–11 (in Russian).
- Timofeev D.A. 2011. Razmyshleniya o fundamentalnykh problemakh geomorfologii. *Izbrannyye trudy* [Reflections on the Fundamental Problems of Geomorphology. Selected Works]. Moscow, Publ. Media-PRESS, 526 p.
- Ufimcev G.F. 2008. Gory Zemli (klimaticheskiye tipy i fenomeny noveyshego orogeneza) [Earth's Mountains (Climatic Types and Phenomena of Recent Orogeny)]. Moscow, Publ. Nauchniy mir, 351 p.
- Bogdanov E.A., Hadbaatar S., Bazha S.N. 2024. Spatial–Temporal Analysis of the Air Temperature, Precipitation, and Aridity Index on the Territory of the Lake Baikal Basin. *Arid Ecosystems*, 14(4): 397–412. <https://doi.org/10.1134/S2079096124700367>
- Chen J., Zhang D., Yang X., Lehmkuhl F., Jiang W. 2022. The Effects of Seasonal Wind Regimes on the Evolution of Reversing Barchanoid Dunes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 127(2): e2021JF006489. <https://doi.org/10.1029/2021JF006489>.
- Fryberger S.G. 1979. Dune Forms and Wind Regime. In: *A Study of Global Sand Seas*. Ed. by E.D. McKee. Washington, US Government Printing Office: 137–170. <https://doi.org/10.3133/pp1052>.
- Schoonover J.E., Crim J.F. 2015. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 154(1): 21–47. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>
- Tyumentseva E.M., Orel G.F. 2018. Atmospheric Processes in the South Baikal Basin and Their Role in Relief Formation. *Atmosphere*, 9(5): 1–18. <https://doi.org/10.3390/atmos9050176>.
- William M.M., Kaufman M.M. 2013. *Physical Geography: Great Systems and Global Environments*. New York, Cambridge University Press: 113–171.
- Zhou X., Sheng Z., Manevski K., Zhao R., Zhang Q., ... Yang Y. 2025. Can System Dynamics Explain Long-Term Hydrological Behaviors? The Role of Endogenous Linking Structure. *Hydrology and Earth System Sciences*, 29(1): 159–177. <https://doi.org/10.5194/hess-29-159-2025>

*Поступила в редакцию 03.08.2025;
поступила после рецензирования 14.09.2025;
принята к публикации 18.10.2025*

*Received August 03, 2025;
Revised September 14, 2025;
Accepted October 18, 2025*



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тюменцева Елизавета Михайловна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, безопасности жизнедеятельности и методики Педагогического института, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Труханов Антон Эдуардович, преподаватель кафедры географии, безопасности жизнедеятельности и методики Педагогического института, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta M. Tyumentseva, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography, Life Safety, and Methodology at the Pedagogical Institute, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Anton E. Trukhanov, Lecturer of the Department of Geography, Life Safety, and Methodology at the Pedagogical Institute, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia