

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.5

doi: 10.17223/25421379/37/10

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАСЕЙНЕ РЕКИ ТАЛДУРА (ЮЖНО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛТАЙ)



Галина Валентиновна Пряхина¹, Татьяна Николаевна Осипова²,
Валерия Алексеевна Распутина³, Дмитрий Вадимович Банцев⁴,
Маргарита Владимировна Сыромятина⁵, Мария Руслановна Кузнецова⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁶ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

¹ g65@mail.ru

² osipovat@mail.ru

³ lerasputina88@gmail.com

⁴ bancev-d@yandex.ru

⁵ margarita_soi@rambler.ru

⁶ rotefliege@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты расчёта вертикальных градиентов температуры воздуха и осадков для территорий долин реки Талдура и ледника Некрасова на основе суточных данных полевых и сетевых метеостанций (Республика Алтай, Южно-Чуйский хребет). Используются данные, полученные в ходе Комплексных экспедиций Института наук о Земле СПбГУ на Алтай в 2022 и 2023 гг., а также данные наиболее близко расположенных сетевых метеостанций: Кош-Агач, Усть-Кокса, Кара-Тюрек.

Ключевые слова: вертикальный градиент, температура воздуха, количество осадков, горные территории, экспедиционные метеорологические измерения

Благодарности: авторы благодарят Д.А. Ганюшкина за содействие в организации и проведении полевых работ.

Источник финансирования: грант РНФ № 23-27-00171 «Моделирование прорывов водоёмов, подпруженных дамбами естественного происхождения».

Для цитирования: Пряхина Г.В., Осипова Т.Н., Распутина В.А., Банцев Д.В., Сыромятина М.В., Кузнецова М.Р. Распределение метеорологических характеристик в бассейне реки Талдура (Южно-Чуйский хребет, Центральный Алтай) // Геосферные исследования. 2025. № 4. С. 142–154. doi: 10.17223/25421379/37/10

Original article

doi: 10.17223/25421379/37/10

DISTRIBUTION OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE TALDURA RIVER BASIN (SOUTH-CHUYA RIDGE, CENTRAL ALTAI)

Galina V. Pryakhina¹, Tatyana N. Osipova², Valeria A. Rasputina³, Dmitry V. Bantsev⁴,
Margarita V. Syromyatina⁵, Mariia R. Kuznetsova⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

⁶ Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

¹ g65@mail.ru

² osipovat@mail.ru

³ lerasputina88@gmail.com

⁴ bancev-d@yandex.ru

⁵ margarita_soi@rambler.ru

⁶ rotefliege@mail.ru

Abstract. Meteorological data are needed for hydrological purposes, but their task of extrapolating and interpolating in mountains is still relevant due to the low density of the existing network of weather stations and posts located mainly in valleys, and the low representativity of data with significant omissions in the observation series. The article presents the results of calculation of vertical gradients of air temperature and precipitation for the territories of the valleys of the Taldura River and the Nekrasov Glacier based on daily data of field and network weather stations (Altai Republic, the South-Chuya Ridge). The data obtained during the complex expeditions of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University to the Altai in 2022 and 2023 were used. As well as data of the most closely located network weather stations: Kosh-Agach, Ust-Koksa, Kara-Turek. For air temperature recording EClerk-M-RHT automatic sensors were used, installed at a height of 2 m above the ground (measurement recording discrete – 15 minutes) in a purged white plastic lattice design to protect against direct sunlight, overheating and distortion of measurement results. To measure the precipitation layer (mm) portable precipitation meters were installed on the ground near the installation point of the air temperature sensor (precipitation sum accuracy 0,5 mm). Also 4 times a day (on the Nekrasov glacier - 1 time a day) was observed the general and lower clouds. Since the observations were made in different weather, the analysis divided all days by type of weather based on observations of general cloud cover: 0–2 points - clear, 3–7 points - variable cloud cover, more than 8 points – cloudy. The calculated vertical temperature gradients for the study periods for station pairs ranged from 1,6 to –0,7 °C/100 m for clear weather, from 0,0 to 1,3 °C/100 m for cloudy and from 0,0 to 1,8 m for variable cloudiness on average for all pairs of stations 0,62, 0,77 and 0,72 °C/100 m for different cloud types, respectively. The corrected gradient of air temperature when crossing the boundary of the moraine-glacier is proposed, by means of which it is possible to estimate more precisely the size of ablation. The pluviometric gradients (mm by 100 m height) were calculated relative to the base stations. On average, the gradient values range from 0,1 to 0,3 mm/100 m except for the estimated pair of Kosh-Agach-Lower Taldura stations (0,6 mm/100 m), but over the years gradients for the same pair of stations vary not only in size but also in sign. This variation in gradient values is due to the spatial heterogeneity of precipitation, as weather stations are located in different orographic conditions, on slopes of different exposures, which implies uncertainty about the magnitude of the pluviometric gradient.

Keywords: vertical gradient, air temperature, precipitation, mountain areas, expeditionary meteorological measurements

Acknowledgments: the authors are grateful to D.A. Ganyushkin for assistance in the organization and carry out of field works.

Source of financing: Russian Science Foundation, grant number 23-27-00171 “Modelling of outbursts of reservoirs dammed by natural dams”.

For citation: Pryakhina G.V., Osipova T.N., Rasputina V.A., Bantsev D.V., Syromyatina M.V., Kuznetsova M.R. (2025) Distribution of meteorological characteristics in the Taldura River basin (South-Chuya Ridge, Central Altai). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 4. pp. 142–154. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/37/10

Введение

Метеорологические данные необходимы для решения как теоретических, так и прикладных гидрологических задач: моделирования стока горных рек, оценки прорывов моренных озёр, рисков развития селевых процессов и др. В горных районах осадки и температура воздуха имеют значительную дифференциацию по территории.

Несмотря на многочисленные исследования по выявлению закономерностей распределения метеорологических характеристик с высотой [Русанов, 1955; Пономаренко, 1976; Тареева, 1976; Галахов и др., 1987; Котляков и др., 1993; Кондрашов, 1995; Севастьянов, 1998, 2008; Галахов, Мухаметов, 1999; Гордеев, 2011, 2012; Подрезов, 2014; Пряхина и др., 2019; Горичев, 2020], проводимые для различных горных стран, задача экстра- и интерполяции метеорологических характеристик актуальна до сих пор по причине низкой плотности существующей сети метеостанций и постов, расположенных преимущественно в долинах, и невысокой репрезентативности данных, имеющих значительные пропуски в рядах наблюдений. Влияние орографического фактора на пространственную изменчивость полей метеорологических характеристик, выраженное в неодинаковой

освещенности склонов разной экспозиции и особенностях циркуляции воздушных масс, а также локальные отличия подстилающих поверхностей создают микроклиматические различия горных водосборов. Подобная неоднородность осложняет экстраполяцию/интерполяцию метеорологических характеристик относительно сетевых станций. В этой связи использование данных фактических полевых измерений при решении вопроса о распределении метеорологических характеристик в горах позволяет получить (либо уточнить) локальные особенности более корректно.

Целью настоящей работы стал расчёт вертикальных градиентов основных метеорологических характеристик – температуры воздуха и осадков – в долине реки Талдура и ледника Некрасова на основе суточных данных полевых и сетевых метеостанций (Республика Алтай, Южно-Чуйский хребет). Выбор рассматриваемых характеристик обусловлен, с одной стороны, наличием собственных данных полевых измерений, а с другой – востребованностью для гидрологического моделирования.

Описание района исследования

Бассейн реки Талдура расположен на северном макросклоне Южно-Чуйского и частично на южных склонах Северо-Чуйского хребтов в Центральном

Алтае с высотами, достигающими 3700–3900 м. После слияния с р. Чаган образует р. Чаган-Узун – приток Чуи (рис. 1). В рельефе широко распространены ледниковые формы: цирки, кары, моренные гряды и трог; выше 2500 м формируются мерзлотные формы рельефа (бугры пучения, полигоны) [Каталог..., 1977]. Общая площадь оледенения территории Южно-Чуйского хребта составляет порядка 118 км² [Ganyushkin et al, 2023]. По результатам анализа данных дистанционного зондирования Земли определено, что площадь бассейна р. Талдура равна 500 км²

[Банцев и др., 2023]. Тип питания реки преимущественно ледниковый: исток реки расположен у края системы ледников Большая Талдура. Всего в рассматриваемой части бассейна насчитывается около 70 ледников, одним из них является ледник Некрасова.

Режим рек рассматриваемой территории характеризуется растянутым многоступенчатым половодьем, пик которого наблюдается в середине лета [Ресурсы..., 1969]. Большинство озёр рассматриваемого района представляют собой небольшие моренно-подпрудные и каровые водоёмы, площадь которых не превышает 1 км².

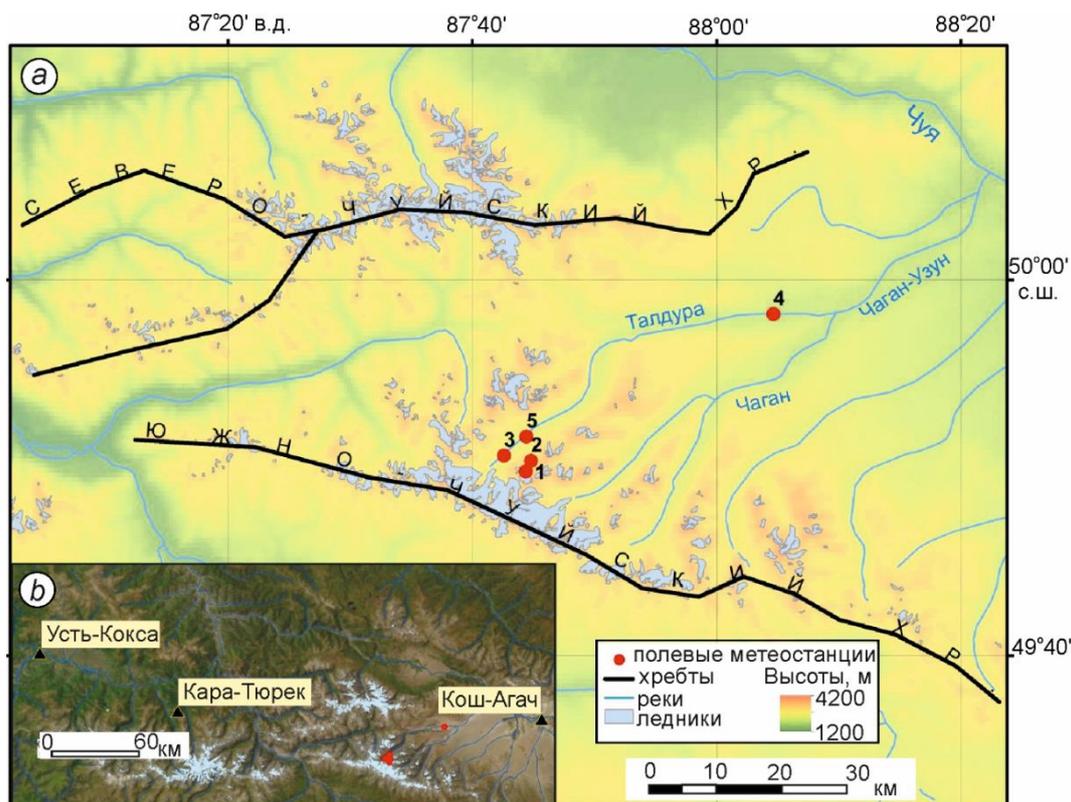


Рис. 1. Схема расположения сетевых и полевых метеостанций

Полевые метеостанции (а): 1 – Ледник Некрасова, 2 – Лагерь Некрасова, 3 – Верхняя Талдура – 2023, 4 – Нижняя Талдура, 5 – Верхняя Талдура – 2022. Сетевые метеостанции (б)

Fig. 1. Scheme of location of network and field weather stations

Field weather station (a): 1 – Nekrasov Glacier, 2 – Nekrasov field camp, 3 – Upper Taldura – 2023, 4 – Lower Taldura, 5 – Upper Taldura – 2022. Network weather stations (b).

Многие из них сосредоточены в верхних частях речных долин, в приледниковых областях и на территориях развития многолетней мерзлоты. Район исследования расположен в пределах нескольких высотных растительных поясов – тундрово-степном (субальпийском), альпийско-тундровом и гляциально-нивальном [Огуреева, 1980].

Для территории характерен криоаридный климат с отрицательной среднегодовой температурой воздуха (–6/–7 °С). Средняя температура самого тёплого месяца (июля) в высокогорных районах составляет 6–

10 °С. Самым холодным месяцем является январь. Переход температуры через 0 °С в высокогорье весной в среднем происходит в конце мая, а осенью – в сентябре. Годовое количество осадков в Центральном Алтае составляет 400–600 мм. Однако на передовых хребтах склона может достигать 800–1000 мм. Месячный максимум осадков наблюдается обычно в июне-июле [Ресурсы..., 1969].

Оценка климатических характеристик района исследования за период 1991–2020 гг. (климатическая норма) по данным близлежащих станций показала,

что средняя годовая температура воздуха отрицательная или близка к нулю: $-4,8^{\circ}\text{C}$ по данным станции Кара-Тюрек; $-3,7^{\circ}\text{C}$ по станции Кош-Агач; $+0,3^{\circ}\text{C}$ по станции Усть-Кокса. Период положительных средних месячных температур: апрель – сентябрь/октябрь. Суммарное за год количество осадков: 123 мм на станции Кош-Агач, 475 мм на станции Усть-Кокса, 582 мм на самой высокогорной станции Кара-Тюрек. Максимум осадков выпадает с мая по сентябрь, наибольшие месячные суммы фиксируются в июле (77 мм Усть-Кокса, 35 мм Кош-Агач). На станциях Усть-Кокса и Кош-Агач преобладают ветры западных направлений. При этом средние годовые скорости менее 2 м/с (наибольшая среднемесячная величина характерна для апреля на станции Кош-Агач – 2,8 м/с). Средняя высота снежного покрова, фиксируемая по снегомерным рейкам, до 63 см за месяц. Величина общей облачности за год составляет 5,7–6,0 баллов, нижней облачности – 2,5–2,9 баллов.

Наибольшие величины средней за месяц облачности приходится на летний период, июнь/июль (6,2–7,1 баллов), наименьшие в январе и марте (около 5 баллов).

Материалы и методы

В работе были использованы данные, полученные в ходе Комплексных экспедиций Института наук о Земле СПбГУ на Алтай в 2022 и 2023 гг., а также данные наиболее близко расположенных сетевых метеостанций: Кош-Агач, Усть-Кокса, Кара-Тюрек (рис. 1, табл. 1).

Климатические данные по сетевым станциям взяты из архива ВНИИГМИ-МЦД [Всероссийский..., 2024]. Полевые станции устанавливались в центральных частях долин, на субгоризонтальных поверхностях, за исключением метеостанции на леднике Некрасова с уклоном – 160%. Природные условия, в которых располагались площадки, различались (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Характеристика метеостанций

Table 1

Characteristics of weather stations

Станция	Координаты (X, Y)	Период наблюдений	Высота абс. отм., м	Расположение
Ледник Некрасова	49°49'48" с.ш. 87°44'23" в.д.	Температура: 12–28.07.2022, 13.07–04.08.2023 Осадки: 16–27.07.2022, 13.07–04.08.2023 Солнечная радиация: 17.07.2023, 24.07.2023	2995	Долина ледника Некрасова, зона абляции, средняя ширина около 300–400 м, ориентация с юга на восток. Превышение бортов долины над метеостанцией 500 м
Лагерь Некрасова	49°50'22" с.ш. 87°44'48" в.д.	Температура: 13–28.07.2022, 11.07–03.08.2023 Осадки: 16–28.07.2022, 11.07–03.08.2023 Солнечная радиация: 14–15.07.2023, 17–27.07.2023	2770	Долина ледника Некрасова, 20 м к юго-востоку от уреза озера Таможенное; ширина долины 2 км, ориентация с юга на север. Превышение бортов долины над метеостанцией 350–500 м
Верхняя Талдура – 2023	49°50'38" с.ш. 87°42'37" в.д.	Температура: 08.07–04.08.2023 Осадки: 08.07–04.08.2023	2456	Верхнее течение, 1,6 км от края ледника Большая Талдура, пойма, правый берег, 30 м от уреза, ширина долины 5–6 км. Ориентация долины с юго-запада на северо-восток. Превышение бортов долины над метеостанцией 900 м
Верхняя Талдура – 2022	49°58'10" с.ш. 88°04'40" в.д.	Температура: 11–30.07.2022 Осадки: 12–30.07.2022	2360	Верхнее течение, 4,5 км от края ледника Большая Талдура, правый берег, 180 м от уреза. Ориентация долины с юго-запада на северо-восток. Превышение бортов долины над метеостанцией 900 м
Нижняя Талдура	49°51'41" с.ш. 87°44'26" в.д.	Температура: 06–23.07.2023 Осадки: 06–23.07.2023	1908	Нижнее течение, 34 км от края ледника Большая Талдура, правый берег, первая терраса над речной поймой, 30 м от уреза. Ширина долины 5 км. Ориентация долины с запада на северо-восток. Превышение бортов долины над метеостанцией 500–700 м
Усть-Кокса	50°15'36" с.ш. 85°36'36" в.д.	Температура: 11–30.07.2022, 06.07–04.08.2023	978	Индекс: 36229. Уймонская межгорная котловина, место слияния рек Кокса и Катунь, в 160 км к северо-западу от района экспедиций

Станция	Координаты (X, Y)	Период наблюдений	Высота абс. отм., м	Расположение
Кош-Агач	50°0'0" с.ш. 88°40'12" в.д.	Осадки: 12–30.07.2022, 06.07–04.08.2023	1758	Индекс: 36259. Широкая открытая долина реки Чуя, Чуйская котловина, в 70 км к востоку-северо-востоку от района экспедиции
Кара-Тюрек	50° 1'48" с.ш. 86° 27'0" в.д.		2600	Индекс: 36442. Горный хребет между реками Кучерла и Аккем, в 90 км к запад-северо-запад от района экспедиций



Рис. 2. Характерный ландшафт в точках установки полевых метеостанций

a – Ледник Некрасова, b – Лагерь Некрасова, c – Верхняя Талдура – 2023, d – Верхняя Талдура – 2022, e – Нижняя Талдура

Fig. 2. Typical landscape in locations of field weather stations

a – Nekrasov Glacier, b – Nekrasov field camp, c – Upper Taldura – 2023, d – Upper Taldura – 2022, e – Lower Taldura

Так, например, долина реки Талдура в месте установки метеостанций в несколько раз шире, чем долина ледника Некрасова; наименьшие уклоны бортов среди рассматриваемых участков имеет район расположения метеостанции «Нижняя Талдура» (нижнее течение реки). Метеостанция на леднике Некрасова располагалась в зоне абляции на переувлажненном тальми водами ледниковом склоне, а метеостанции «Лагерь Некрасова» и «Верхняя Талдура – 2023» на морене с редкой травянистой растительностью; «Нижняя Талдура» и «Верхняя Талдура-2022» на морене с преобладающей травянистой растительностью.

Для регистрации температуры воздуха использовались автоматические датчики EClark-M-RHT, установленные на высоте 2 м над поверхностью земли, в

продуваемой решетчатой конструкции из белого пластика для защиты от попадания прямых солнечных лучей, перегрева и искажения результатов измерений. Дискретность записи измерений – 15 мин.

Для измерения слоя выпавших осадков (мм) на поверхности земли вблизи точки установки датчика температуры воздуха были установлены портативные осадкомеры. Точность определения суммы осадков $\pm 0,5$ мм. Проверку осадкомера проводили 4 раза в сутки: в 08:00, 12:00, 16:00, 20:00; при обработке данных результаты измерений за сутки суммировались. Указанные сроки наблюдений были приурочены к срокам наблюдений за уровнем воды.

Исключение составляет осадкомер на леднике Некрасова: измерения приурочены к наблюдениям за

абляцией и производились 1 раз в сутки в 12:00. Также 4 раза в сутки (на леднике Некрасова – 1 раз в сутки) велись наблюдения за общей и нижней облачностью.

Поскольку наблюдения проводились в разную погоду, то при проведении анализа все дни были разделены по типам погоды на основании наблюдений за общей облачностью: 0–2 балла – ясно, 3–7 баллов – переменная облачность, более 8 баллов – пасмурно. Для дней, когда на всех станциях, где производились наблюдения, был один и тот же тип погоды, рассчитывались вертикальные градиенты температуры (табл. 2). Так как на метеостанциях Ледник Некрасова и Верхняя Талдура – 2022 наблюдения за облачностью не производились, типы погоды принимались по данным наблюдений на станции Лагерь Некрасова. Авторы полагают, что такой подход допустим, поскольку в соответствии с данными 2023 г. в большинстве случаев на полевых станциях в верховьях р. Талдура фиксировались одни и те же типы погоды.

Так как горные районы отличаются неравномерным распределением осадков по территории, которое в свою очередь, определяется синоптической ситуацией и орографией, локальный характер выпадения осадков приводит к тому, что в один и тот же срок наблюдений они фиксируются не на всех соседних станциях. Недочет этого обстоятельства при расчете плювиометрических градиентов может привести к последующему завышению сумм осадков на высотах. Поскольку рассматриваемые метеостанции располо-

жены вне одного склона и на значительном расстоянии друг от друга, были определены дни, когда осадки фиксировались на всех метеостанциях: и в экспедиционном районе, и на сетевых станциях. Именно для этих суток были рассчитаны плювиометрические градиенты. Дополнительно (для 2023 г.) к рассмотрению были взяты дни, когда осадки фиксировались везде, кроме как на одной из метеостанций. Это не противоречит общей идее о различии в количестве осадков между станциями на разных высотах и было сделано для того, чтобы увеличить количество рассматриваемых при расчёте случаев.

Результаты и обсуждение

На основании данных фактических измерений были рассмотрены особенности распределения суточных температур воздуха и сумм осадков с высотой в долине реки Талдура относительно станций сети.

Температура воздуха. Анализ хода средней суточной температуры воздуха показал, её синхронный ход как в 2022, так и в 2023 гг. по всем метеостанциям, включая сетевые (рис. 3). При этом наблюдалось и закономерное понижение температуры воздуха с высотой.

Сравнение суточной амплитуды температуры воздуха при одинаковом типе погоды показало её уменьшение с высотой (табл. 2). На метеостанции Лагерь Некрасова уменьшение амплитуды связано также и с влиянием озера, на берегу которого находилась станция. Было отмечено, что закономерно в дни с ясной погодой амплитуда больше, а в дни с пасмурной – меньше.

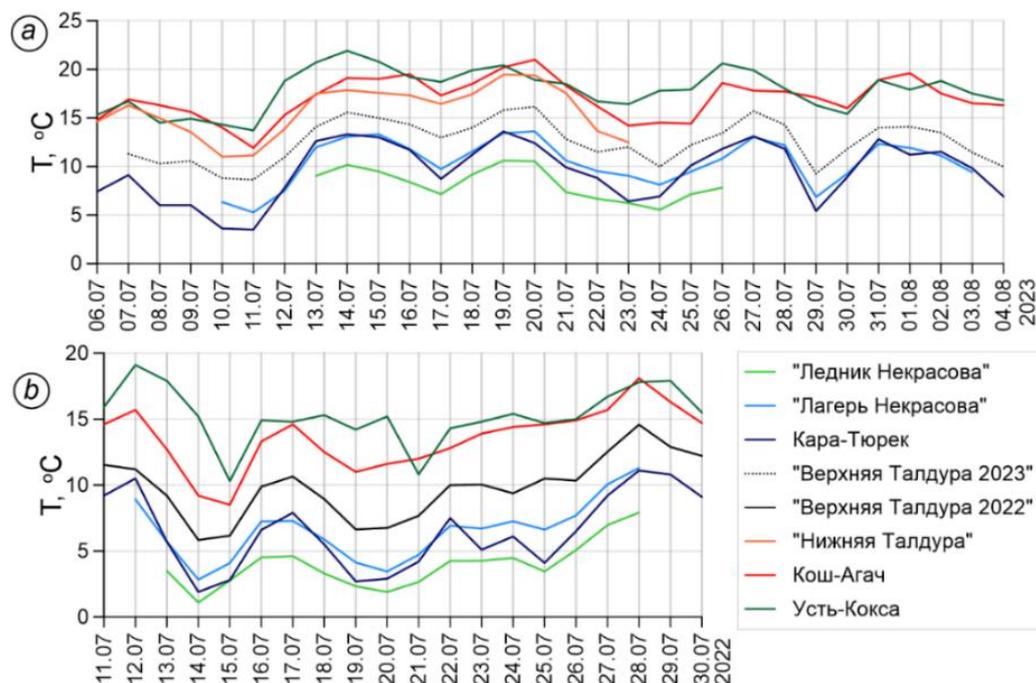


Рис. 3. Ход средних суточных температур воздуха на метеостанциях в 2023 г. (а) и 2022 г. (б)

Fig. 3. Average daily air temperature according to weather stations in 2023 (a) and 2022 (b)

Фрагмент таблицы: амплитуды температуры воздуха (01.07.2023–04.08.2023)

Table 2

Table fragment: air temperature amplitude (01.07.2023–04.08.2023)

Дата	Лагерь Некрасова	Верхняя Талдура – 2023	Нижняя Талдура
13.07.2023	17,3	14,2	20,1
14.07.2023	10,9	13,2	18,1
15.07.2023	9,9	13,1	20,9
16.07.2023	7,1	7,0	14,0
17.07.2023	10,9	11,2	13,6
18.07.2023	12,1	15,6	20,6
19.07.2023	12,8	14,6	22,0
20.07.2023	12,1	14,8	18,1
21.07.2023	7,8	9,0	12,4
22.07.2023	6,4	7,6	9,6
23.07.2023	10,3	10,5	17,1
Средняя	10,6	11,3	15,1
Наибольшая	17,3	15,6	22,0
Наименьшая	5,4	4,9	9,1

Примечание. Цветом выделены дни с различной общей облачностью: синим – 0–2 балла, красным – 3–7 баллов, зелёным – более 8 баллов.

Note: Days with different total cloudiness are indicated by colors: blue – 0–2 points, red – 3–7 points, green – more than 8 points.

Рассчитанные вертикальные градиенты температуры воздуха за исследуемые периоды для пар станций (табл. 3) изменялись в интервале от 1,6 до $-0,7$ °C/100 м для ясной погоды, от 0,0 до 1,3 °C/100 м для пасмурной и от 0,0 до 1,8; для переменной облачности, составив в среднем по всем парам станций 0,62 °C/100 м – 0,77 и 0,72 °C/100 м для разных типов облачности соответственно.

Наибольший разброс величин получен для полевых метеостанций в парах с сетевой станцией Кара-Тюрек, наименьшие – со станциями Усть-Кокса и Кош-Агач. Кроме того, сравнение градиентов для пасмурной погоды за два разных года показало, что их величины для пар со станцией Лагерь Некрасова изменяются практически в 2 раза. В остальном различия градиентов при разных типах погоды или отсутствуют, или составляют 0,1–0,2 °C/100 м.

Средняя величина градиента за исследуемый период по всем парам станций составила 0,72 °C/100 м. Для сравнения: в долине реки Актру температурный градиент в июле по опубликованным данным составил 0,58 °C/100 м. В целом для горных районов Средней Азии в летние месяцы величина градиента изменяется от 0,61 до 1,00 °C/100 м, а для высокогорного Алтая равняется 0,56 °C/100 м [Кондрашов, 1995; Севастьянов, 1998]. Таким образом, полученное среднее значение сопоставимо с литературными данными.

Наиболее значимые отличия в градиентах, рассчитанных для разных типов погоды оказались для пар со станцией Кара-Тюрек. Так, например, со станцией Верхняя Талдура градиенты изменялись от 1,3 до

1,8 °C/100 м. Возможно, это связано с тем, что в отличие от остальных станций, расположенных в долинах, станция Кара-Тюрек находится на горном хребте. В то же время величина градиента со станцией Лагерь Некрасова в пасмурную погоду оказалась около 0, а в ясную погоду градиент отрицательный $-0,7$ °C/100 м. Такое изменение температуры с высотой можно объяснить местоположением станций. Станции расположены примерно на одних высотах (2770 м метеостанция Лагерь Некрасова и 2600 м Кара-Тюрек), но Кара-Тюрек находится на склоне хребта, а станция Лагерь Некрасова – в понижении на берегу озера, что оказывает влияние на термический режим. При этом отметим, что для пары станций Ледник Некрасова – Лагерь Некрасова, находящихся также на близких высотах (2995 и 2770 м соответственно), градиент существенно больше как в разные периоды наблюдений, так и при разных типах погоды. Это может быть объяснено изменением характера подстилающей поверхности и, как следствие, большой разницей между температурой поверхности на двух станциях. Подобная ситуация выявлена для пар станций Ледник Некрасова – Верхняя Талдура – 2022 и Ледник Некрасова – Верхняя Талдура – 2023, где величины градиентов больше (от 0,8 до 1 °C/100 м) по сравнению со средним расчётным значением градиента температуры (0,72 °C/100 м). Данная особенность связана с выхолаживающим влиянием ледника на приземные слои воздуха, что было выявлено ранее как для Алтая, так и для других районов [Галахов, Мухаметов, 1999; Адаменко и др., 2017].

Практический смысл расчёта градиентов – возможность восстановления рядов температуры на разных высотах при отсутствии непосредственных измерений. Сравнение измеренных и рассчитанных с использованием градиентов величин среднесуточных температур воздуха на разных высотах за период 11–30.07.2022 показало, что наименьшая погрешность, как в случае градиента 0,58 °C/100 м (среднего по литературным данным), так и рассчитанного нами среднего за исследуемый период 0,72 °C/100 м, имеет место при восстановлении рядов относительно станции Кош-Агач – наиболее близко расположенной к долине реки Талдура (рис. 4). Как видно из графиков для полевой метеостанции Верхняя Талдура (2456 м), хорошую сходимость с измеренными значениями температуры воздуха показывают рассчитанные значения по градиенту 0,72 °C/100 м.

Количество осадков. Анализ сумм осадков за общие периоды наблюдений на рассматриваемых станциях (табл. 4) показал, что характер распределения осадков с высотой отличается от года к году (рис. 5, 6). Так, в 2023 г. в Усть-Коксе зафиксировано наименьшее количество осадков из всех рассматриваемых пунктов наблюдений (9,9 мм), а в 2022 г. –

наибольшее (60,3 мм). Подобная изменчивость подразумевает, что плювиометрические градиенты, рассчитанные по суточным суммам осадков, будут различаться.

Плювиометрические градиенты (миллиметров на 100 м высоты) рассчитывались относительно базовых станций (табл. 5). Сопоставление результатов показало, что в разные сутки для одной и той же пары станций величина градиента зависит от количества осадков и может изменяться в несколько раз (рис. 5, 6). Отметим, что за разные годы градиенты для одной и той же пары станций меняются не только по величине, но и по знаку. Исключив из рассмотрения расчёт относительно станции Кара-Тюрек, получим, что в среднем величины градиентов составляют от 0,1 до 0,3 мм/100 м, кроме расчётной пары станций Кош-Агач – Нижняя Талдура (0,6 мм/100 м).

Плювиометрический градиент крайне важен для гидрологических расчётов, но сложен и трудно определяем из-за неоднородного распределения количества осадков в горах. Даже с учётом того, что в табл. 5 градиенты рассчитывались в дни, когда на всех станциях фиксировались осадки, величины градиентов различаются как по знаку, так и по модулю.

Таблица 3

Вертикальные градиенты температур воздуха, °C/100 м

Table 3

Vertical air temperature gradients, °C/100 m

Станция	Характеристика облачности			
	Ясно, 0–2 балла	Пасмурно, более 8 баллов		Переменная, 3–7 баллов
	2022 г.	2022 г.	2023 г.	2023 г.
Кара-Тюрек – Ледник Некрасова	0,4	0,7	Данный тип погоды не наблюдался	0,7
Кара-Тюрек – Лагерь Некрасова	–0,7	0,0	0,1	0,0
Кара-Тюрек – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	Нет данных	1,6	1,8
Кара-Тюрек – Верхняя Талдура – 2022	1,6	1,3	Нет данных	Нет данных
Кара-Тюрек – Нижняя Талдура	Нет данных	Нет данных	Данный тип погоды не наблюдался	0,8
Усть-Кокса – Ледник Некрасова	0,5	0,5	Данный тип погоды не наблюдался	0,6
Усть-Кокса – Лагерь Некрасова	0,4	0,4	0,7	0,5
Усть-Кокса – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	Нет данных	0,4	0,4
Усть-Кокса – Верхняя Талдура – 2022	0,3	0,3	Нет данных	Нет данных
Усть-Кокса – Нижняя Талдура	Нет данных	Нет данных	Данный тип погоды не наблюдался	0,3
Кош-Агач – Ледник Некрасова	0,8	0,7	Данный тип погоды не наблюдался	0,8
Кош-Агач – Лагерь Некрасова	0,7	0,7	1,2	0,7
Кош-Агач – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	Нет данных	0,8	0,6
Кош-Агач – Верхняя Талдура – 2022	0,8	0,6	Нет данных	Данный тип погоды не наблюдался

Станция	Характеристика облачности			
	Ясно, 0–2 балла	Пасмурно, более 8 баллов		Переменная, 3–7 баллов
	2022 г.	2022 г.	2023 г.	2023 г.
Кош-Агач – Нижняя Талдура	Нет данных	Нет данных	Данный тип погоды не наблюдался	0,8
Ледник Некрасова – Лагерь Некрасова	1,2	1,1	1,3	Данный тип погоды не наблюдался
Ледник Некрасова – Верхняя Талдура – 2022	0,8	0,9	Нет данных	Нет данных
Лагерь Некрасова – Верхняя Талдура – 2022	0,6	0,8	Нет данных	Нет данных
Ледник Некрасова – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	Нет данных	1,0	Данный тип погоды не наблюдался
Ледник Некрасова – Нижняя Талдура	Нет данных	Нет данных	0,8	Данный тип погоды не наблюдался
Лагерь Некрасова – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	Нет данных	0,8	Данный тип погоды не наблюдался
Лагерь Некрасова – Нижняя Талдура	Нет данных	Нет данных	0,6	Данный тип погоды не наблюдался
Нижняя Талдура – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	Нет данных	0,5	Данный тип погоды не наблюдался

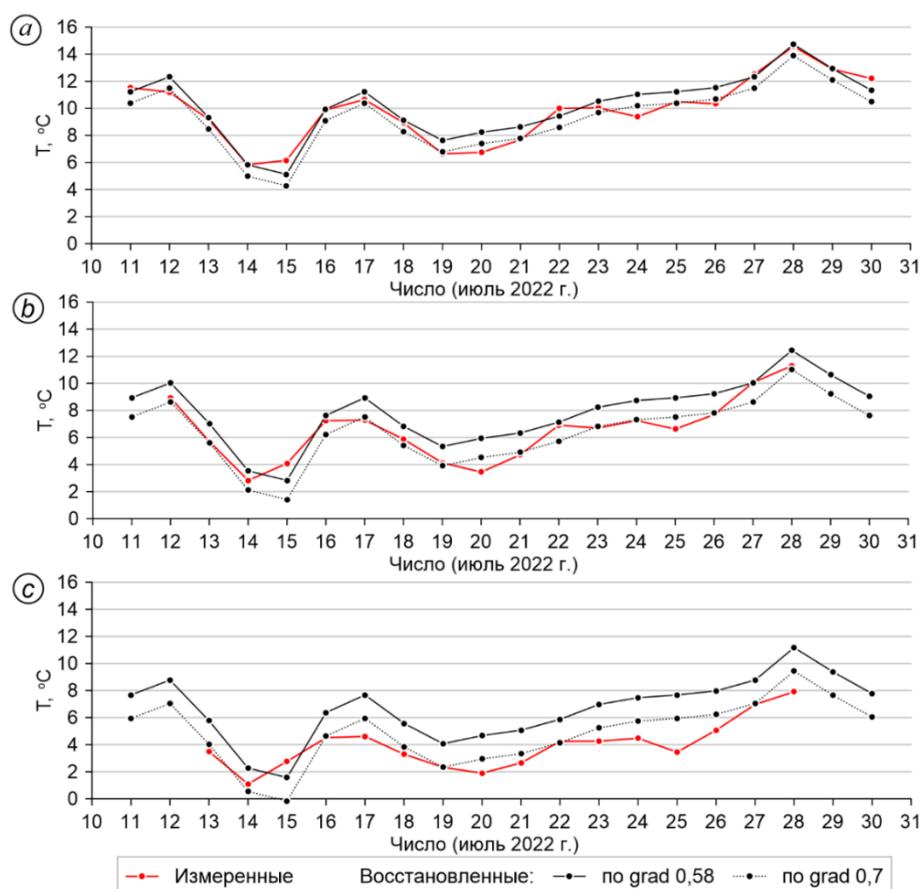


Рис. 4. Ряды температуры воздуха, восстановленные по данным метеостанции Кош-Агач
 Для станции: а – Верхняя Талдура, б – Лагерь Некрасова, с – Ледник Некрасова

Fig. 4. Air temperature series restored according to Kosh-Agach weather station
 For station: а – Upper Taldura, б – Nekrasov field camp, с – Nekrasov Glacier

Таблица 4

Суммы осадков за общие периоды наблюдений

Table 4

Total precipitation for the observation periods

Показатель	Станция							
	Усть-Кокса	Кош-Агач	Нижняя Талдура	Верхняя Талдура – 2022	Верхняя Талдура – 2023	Кара-Тюрек	Лагерь Некрасова	Ледник Некрасова
Высота, м	978	1758	1908	2360	2456	2600	2770	2995
13–23.07.2023	9,9	8,5	6,25	–	14,5	8,1	16,9	16,3
17–28.07.2022	60,3	6,7	–	15	–	28,9	31,4	33

Таблица 5

Вертикальные градиенты осадков, мм/100 м

Table 5

Vertical precipitation gradients, mm/100 m

Станции	2022 г.	2023 г.
	Градиент	Градиент
Кара-Тюрек – Ледник Некрасова	-0,1	0,8
Кара-Тюрек – Лагерь Некрасова	-0,8	0,6
Кара-Тюрек – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	-0,5
Кара-Тюрек – Верхняя Талдура – 2022	0,1	Нет данных
Кара-Тюрек – Нижняя Талдура	Нет данных	-0,2
Усть-Кокса – Ледник Некрасова	0,3	0,1
Усть-Кокса – Лагерь Некрасова	0,2	0,0
Усть-Кокса – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	-0,1
Усть-Кокса – Верхняя Талдура – 2022	0,3	Нет данных
Усть-Кокса – Нижняя Талдура	Нет данных	0,0
Кош-Агач – Ледник Некрасова	-0,3	0,1
Кош-Агач – Лагерь Некрасова	-0,4	-0,1
Кош-Агач – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	-0,2
Кош-Агач – Верхняя Талдура – 2022	-0,2	Нет данных
Кош-Агач – Нижняя Талдура	Нет данных	-0,6
Ледник Некрасова – Лагерь Некрасова	0,1	2,6
Ледник Некрасова – Верхняя Талдура – 2022	-0,6	Нет данных
Лагерь Некрасова – Верхняя Талдура – 2022	-0,7	Нет данных
Ледник Некрасова – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	3,9
Ледник Некрасова – Нижняя Талдура	Нет данных	0,4
Лагерь Некрасова – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	0,5
Лагерь Некрасова – Нижняя Талдура	Нет данных	-2,1
Нижняя Талдура – Верхняя Талдура – 2023	Нет данных	-0,8

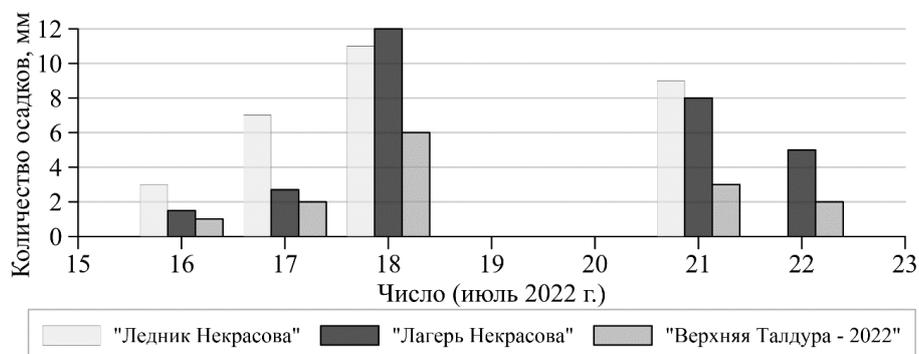


Рис. 5. Количество осадков, зафиксированных на станциях в июле 2022 г.

Fig. 5. Precipitation recorded at stations in July 2022

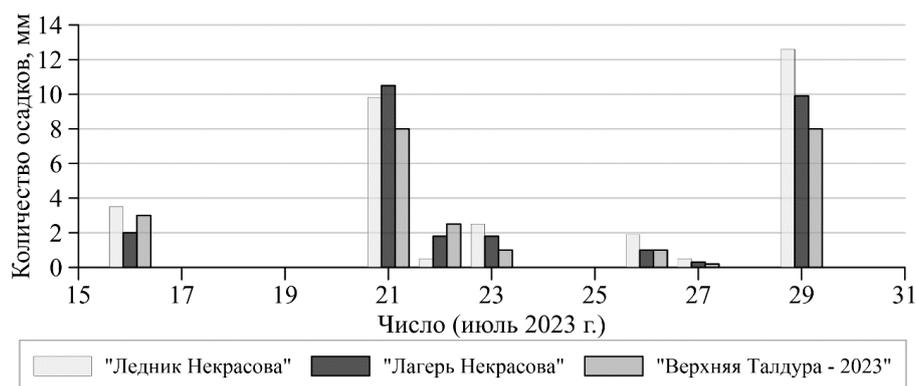


Рис. 6. Количество осадков, зафиксированных на станциях в июле 2023 г.

Fig. 6. Precipitation recorded at stations in July 2023

Заключение

Проведенные расчеты вертикальных градиентов температуры воздуха показали, что их абсолютные значения могут различаться в зависимости от местоположения станций, по данным которых проводятся расчеты. Термическая неоднородность склонов разной экспозиции, изменяющийся характер подстилающей поверхности, а также наличие водоемов обуславливают различия между градиентами. Поскольку в настоящее время на Алтае нет сетевых метеостанций, расположенных на территории ледников, а для математического моделирования таяния необходимо иметь информацию о температуре воздуха на леднике, то возникает необходимость в расчёте корректных градиентов температур между не ледниковой поверхностью и ледником. В настоящей статье авторами был предложен скорректированный градиент

температуры воздуха при переходе границы морена-ледник, с помощью которого представляется возможным более точно оценить величину абляции.

Анализ сумм осадков за общие периоды наблюдений на рассматриваемых станциях показал, что с высотой они могут как увеличиваться, так и уменьшаться, при этом абсолютные значения градиентов могут различаться значительно. Подобный разброс значений градиентов обусловлен пространственной неоднородностью выпадения осадков, поскольку метеостанции расположены в разных орографических условиях, на склонах различных экспозиций. Всё это влечёт за собой неопределённость величины плювиометрического градиента. Поэтому для учета частных особенностей в распределении осадков с высотой необходимо выполнение полевых измерений и их сравнение с данными сетевых станций на основе анализа конкретной синоптической ситуации.

Список источников

- Адаменко М.М., Гутак Я.М., Антонова В.А. Изменение климата и размеров ледников в горах Кузнецкого Алатау в 1975–2015 гг. // Лёд и Снег. 2017. Т. 57, № 3. С. 334–342. doi: 10.15356/2076-6734-2017-3-334-342
- Банцев Д.В., Овсепян А.А., Распутина В.А., Козачек А.В., Чихачев К.Б., Ганюшкин Д.А. Изотопно-гидрологические исследования в бассейне р. Талдура (Южно-Чуйский хребет, Центральный Алтай) // Лёд и Снег. 2023. Т. 63, № 4. С. 513–524. doi: 10.31857/S2076673423040038
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://mete.ru> (дата обращения: 10.06.2024).
- Галахов В.П., Мухаметов Р.М. Ледники Алтая. Новосибирск : Наука, 1999. 136 с.
- Галахов В.П., Нарожный Ю.К., Никитин С.А., Окишев П.А., Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М., Шантыкова Л.Н., Шуруп В.И. Ледники Актру. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 119 с.
- Гордеев И.Н. Вертикальные градиенты температуры воздуха в бассейне Саяно-Шушенского водохранилища // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 346. С. 181–184.
- Гордеев И.Н. Расчет весенних осадков в горной части бассейна р. Енисей // Вестник КрасГАУ. 2012. № 3 (66). С. 106–109.
- Горичев Ю.П. О некоторых параметрах мезоклиматов, определяющих высотную дифференциацию лесных формаций на хребте Белягуш (Южно-Уральский заповедник) // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 4. С. 49–52. doi: 10.17816/snv202094107
- Каталог ледников СССР. Т. 15: Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1: Горный Алтай и верхний Иртыш. Ч. 5: Бассейн р. Аргута. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 8.
- Кондрашов И.В. О вертикальных градиентах температуры воздуха в Горном Алтае и Кузнецком Алатау в летний период // Русский Алтай : тез. докл. Барнаул, 1995. С. 31–32.

- Котляков В.М., Ротогаева О.В., Лебедева И.М. и др. Оледенение Памиро-Алая. М. : Наука, 1993. 256 с.
- Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. 313 с.
- Огуреева Г.Н. Ботаническая география Алтая. М. : Наука, 1980. 186 с.
- Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. Бишкек : Изд-во КРСУ, 2014. 170 с.
- Пonomarenko П.Н. Атмосферные осадки Киргизии. Л. : Гидрометеиздат, 1976. 135 с.
- Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Осипова Т.Н., Гаврилкина С.А., Соловьев В.А., Виноградова Т.А. Сезонные закономерности распределения осадков на территории Западного Саяна и их учет при моделировании стока // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64, № 3. С. 466–476. doi: 10.21638/spbu07.2019.306
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1: Верхний Иртыш и Горный Алтай. Ч. 1. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1969. 316 с.
- Русанов В.И. Климат Центрального Алтая : дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 1955. 349 с.
- Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1998. 199 с.
- Севастьянов В.В. Эколого-климатические ресурсы Алтае-Саянской горной страны. Томск, 2008. 307 с.
- Тареева А.М. Температура воздуха в высокогорной зоне Кавказа в летний период // Материалы гляциол. исслед.: Хроника. Обсуждения. 1976. Вып. 28. С. 59–65.
- Ganyushkin D., Bantsev D., Derkach E., Agatova A., Nepop R., Griga S., Rasputina V., Ostanin O., Dyakova G., Pryakhina G., Chistyakov K., Kurochkin Y., Gorbunova Y. Post-Little-Ice Age Glacier Recession in the North-Chuya Ridge and Dynamics of the Bolshoi Maashei Glacier, Altai // Remote Sens. 2023. V. 15 (8). P. 2186.

References

- Adamenko M.M., Gutak Y.M., Antonova V.A. *Izmenenie klimata i razmerov lednikov v gorakh Kuznetskogo Alatau v 1975-2015 gg.* [Climate change and the size of glaciers in the Kuznetsky Alatau Mountains between 1975 and 2015] // Ice and Snow. 2017. V. 57, No. 3. pp. 334–342. In Russian. doi: 10.15356/2076-6734-2017-3-334-342
- Bantsev D.V., Ovsepyan A.A., Rasputina V.A., Kozachek A.V., Tchikhatchev K.B., Ganyushkin D.A. *Izotopno-gidrologicheskie issledovaniya v bassejne r. Taldura (Yuzhno-Chuyskiy khrebet, Tsentral'nyy Altay)* [The Use of Isotope Indicators in Hydrological Studies in the Taldura River Basin, Central Altai] // [Ice and Snow]. 2023. V. 63, No. 4. pp. 513–524. In Russian. doi: 10.31857/S2076673423040038
- Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii – Mirovoy tsentr dannykh (VNIIGMI-MTSD) [All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (VNIIGMI-WDC)]. URL: <http://meteo.ru>. (Date of accessed: 10.06.2024). In Russian
- Galakhov V.P., Mukhametov R.M. *Ledniki Altaya* [Glaciers of Altai]. Novosibirsk: Science. Sib. Enterprise RAS, 1999. 136 p. In Russian
- Galakhov V.P., Narozhnyy Yu.K., Nikitin S.A., Okishev P.A., Sevast'yanov V.V., Sevast'yanova L.M., Shantyukova L.N., Shurov V.I. *Ledniki Aktru* [Aktru Glaciers]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 119 p. In Russian
- Gordeev I.N. *Vertikal'nye gradienty temperatury vozdukh v bassejne Sayano-Shushenskogo vodokhranilishcha* [Vertical gradients of air temperature in the basin of the Sayano-Shushenskoye reservoir] // Tomsk State University Journal. 2011. No. 346. pp. 181–184. In Russian
- Gordeev I.N. *Raschet vesennikh osadkov v gornoy chasti basseyna r. Enisey* [Spring rainfall calculation in the Yenisei river basin mountainous part] // The Bulletin of KrasGAU. 2012. No. 3(66). pp. 106–109. In Russian
- Gorichev Yu.P. *O nekotorykh parametrah mezoklimatov, opredelyayushchikh vysotnyuyu differentsiatsiyu lesnykh formatsiy na khrebe Belyagush (Yuzhno-Ural'skiy zapovednik)* [Some parameters of mesoclimates that determine altitude differentiation of forest formations on the Belyagush ridge (South Ural reserve)] // Samara journal of science. 2020. V. 9, No. 4. pp. 49–52. In Russian. doi: 10.17816/snv202094107
- Katalog lednikov SSSR* [Catalog of glaciers of the USSR. V. 15. Altai and Western Siberia. Is. 1. Mountain Altai and Upper Irtysh. Pt. 5. Argut river basin]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977. pp. 8. In Russian
- Kotlyakov V.M., Rotogaeva O.V., Lebedeva I.M. et al. *Oledeniye Pamiro-Alaya* [Glaciation of the Pamir-Alai]. Moscow: Nauka. 1993. 256 p. In Russian
- Novikov I.S. *Morfotektonika Altaya* [Morphotectonics of Altai]. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, branch “Geo”, 2004. 313 p. In Russian
- Ogureeva G.N. *Botanicheskaya geografiya Altaya* [Botanical geography of Altai]. Moscow: Nauka, 1980. 186 p. In Russian
- Podrezov O.A. *Gornaya klimatologiya i vysotnaya klimaticheskaya zonal'nost' Kirgystana* [Mountain climatology and altitudinal climatic zonation of Kyrgyzstan]. Bishkek: KRSU Publishing House, 2014. 170 p. In Russian
- Ponomarenko P.N. *Atmosfernye osadki Kirgizii* [Atmospheric precipitation in Kyrgyzstan]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 135 p. In Russian
- Pryakhina G.V., Zelepukina E. S., Osipova T.N., Gavrilkina S.A., Solov'yev V.A., Vinogradova T.A. *Sezonnnyye zakonomernosti raspredeleniya osadkov na territorii Zapadnogo Sayana i ikh uchet pri modelirovanii stoka* [Seasonal distribution patterns of precipitation on the territory of West Sayan Ridge and their consideration in runoff modeling] // Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences. 2019. V. 64, No. 3. pp. 466–476. doi: 10.21638/spbu07.2019.306. In Russian
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR*. [Resources of surface waters of the USSR. V. 15. Is. 1. Pt 1.] Leningrad: Hydrometeoizdat, 1969. 316 p. In Russian
- Rusanov V.I. *Klimat Tsentral'nogo Altaya: dissertatsiya...kand. geogr. nauk.* [Climate of Central Altai: dissertation...candidate. geogr. Sci.]. Tomsk, 1955. 349 p. In Russian
- Sevast'yanov V.V. *Klimat vysokogornyykh rayonov Altaya i Sayan* [Climate of the high mountain regions of Altai and Sayan]. Tomsk: Tomsk University Publishing House, 1998. 199 p. In Russian

Sevast'yanov V.V. *Ekologo-klimaticheskie resursy Altae-Sayanskoy gornoj strany* [Ecological and climatic resources of the Altai-Sayan mountainous country]. Tomsk, 2008. 307 p. In Russian.

Tareeva A.M. *Temperatura vozdukhа v vysokogornoj zone Kavkaza v letniy period* [Air temperature in the high-mountain zone of the Caucasus in summer] // Materials of glaciol. research: Chronicle. Discussions. 1976. Iss. 28. pp. 59–65. In Russian

Ganyushkin D., Bantsev D., Derkach E., Agatova A., Nepop R., Griga S., Rasputina V., Ostanin O., Dyakova G., Pryakhina G., Chistyakov K., Kurochkin Y., Gorbunova Y. Post-Little-Ice Age Glacier Recession in the North-Chuya Ridge and Dynamics of the Bolshoi Maashei Glacier, Altai // Remote Sens. 2023. V. 15 (8). 2186.

Информация об авторах:

Пряхина Г.В., кандидат географических наук, доцент, заведующая кафедрой гидрологии суши, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: g65@mail.ru

Осипова Т.Н., кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра климатологии и мониторинга окружающей среды, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: osipovat@mail.ru

Распутина В.А., инженер-исследователь, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: lerasputina88@gmail.com

Банцев Д.В., кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра гидрологии суши, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: bancev-d@yandex.ru

Сыромятина М.В., кандидат географических наук, доцент, кафедра гидрологии суши, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: margarita_soi@rambler.ru

Кузнецова М.Р., ведущий инженер, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия; инженер-исследователь, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: rotelfliege@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Pryakhina G.V., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Head of Department of Land Hydrology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

E-mail: g65@mail.ru

Osipova T.N., Cand. Sci. (Geography), Senior Lecturer, Department of Climatology & Environmental Monitoring, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

E-mail: osipovat@mail.ru

Rasputina V.A., Research Engineer, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

E-mail: lerasputina88@gmail.com

Bantsev D.V., Cand. Sci. (Geography), Senior Lecturer, Department of Land Hydrology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

E-mail: bancev-d@yandex.ru

Syromyatina M.V., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Land Hydrology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

E-mail: margarita_soi@rambler.ru

Kuznetsova M.R., Lead Engineer, Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia; Research Engineer, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

E-mail: rotelfliege@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 26.06.2024; одобрена после рецензирования 27.09.2024; принята к публикации 20.11.2025

The article was submitted 26.06.2024; approved after reviewing 27.09.2024; accepted for publication 20.11.2025