

Оригинальная статья / Original article

УДК 551.4:551.506

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-2-14



Возможности ГИС-технологий для оценки и мониторинга климатических условий Макажойской котловины (Чеченская Республика)

Виталий В. Братков^{1,2}, Рашия Х. Бекмурзаева², Луиза Р. Бекмурзаева³¹Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия²Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия³Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия**Контактное лицо**

Рашия Х. Бекмурзаева, кандидат экономических наук, доцент, кафедра экологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»; 364024, г. Грозный, ул. А. Шерипова, 32.

Тел. +79290005504

Email raya.bek@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-5936-7235>**Формат цитирования**

Братков В.В., Бекмурзаева Р.Х., Бекмурзаева Л.Р. Возможности ГИС-технологий для оценки и мониторинга климатических условий Макажойской котловины (Чеченская Республика) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 2. С. 160-169. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-2-14

Получена 12 февраля 2024 г.

Прошла рецензирование 22 марта 2024 г.

Принята 26 апреля 2024 г.

Резюме

Моделирование на основе цифровой модели рельефа пространственно-временного изменения величины суммарной солнечной радиации и оценки вклада местоположений в распределение метеорологических элементов.

Анализ ЦМР в среде ГИС для оценки пространственного временного распределения суммарной солнечной радиации. Статистический анализ ретроспективных климатических и актуальных (2023 г.) метеорологических данных.

На основе цифровой модели рельефа среднего пространственного разрешения в среде ГИС оценены изменения пространственно-временной величины солнечной радиации. Ретроспективный анализ климатических условий позволил оценить общие черты климата Макажойской котловины. Полевые наблюдения позволили охарактеризовать современные климатические условия, а также рассчитать градиенты.

В зависимости от местоположений величина суммарной солнечной радиации по территории Макажойской котловины изменяется почти в 3 раза. В пределах одинаковых высотных интервалов разница между склонами южной и северной экспозиции достигает до 50 %. Наименьшие различия в величина радиации отмечаются в дни летнего солнцестояния, а наибольшие – в дни зимнего. Средняя годовая температура воздуха в интервале высот 1960–2264 м в 2023 г. изменялась от 8,6 до 5,8°, а количество осадков – от 481 до 525 мм соответственно. Выявлен внутригодовой ход метеорологических параметров (температуры воздуха и листовой поверхности, количества осадков и относительной влажности воздуха) в пределах метеорологической трансекты. Полученные данные позволяют перейти к формированию ГИС для мониторинга климатических условий карбонового полигона ЧГУ им. А.А. Кадырова.

Ключевые слова

Карбоновый полигон, цифровая модель рельефа, солнечная радиация, ГИС-технологии, мониторинг климатических условий.

The possibilities of GIS technologies for assessing and monitoring the climatic conditions of the Makazhoy Fepression (Chechen Republic, Russia)

Vitaly V. Bratkov^{1,2}, Rashia H. Bekmurzaeva² and Luiza R. Bekmurzaeva³

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography

²A.A. Kadyrov Chechen State University

³Academician M.D. Millionshchikov Grozny State Petroleum Technical University

Principal contact

Rashia H. Bekmurzaeva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Nature Management, A.A. Kadyrov Chechen State University; 32a Sheripova St, Grozny, Russia 364024.

Tel. +79290005504

Email rava.bek@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5936-7235>

How to cite this article

Bratkov V.V., Bekmurzaeva R.H., Bekmurzaeva L.R.

The possibilities of GIS technologies for assessing

and monitoring the climatic conditions of the

Makazhoy Fepression (Chechen Republic, Russia).

South of Russia: ecology, development. 2024;

19(2):160-169. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-

2024-2-14

Received 12 February 2024

Revised 22 March 2024

Accepted 26 April 2024

Abstract

Modeling based on a digital relief model of the spatiotemporal change in the amount of total solar radiation and the assessment of the contribution of locations to the distribution of meteorological elements.

DEM analysis was conducted in a GIS environment to assess the spatial and temporal distribution of total solar radiation, and statistical analysis of retrospective climatic and actual (2023) meteorological data was conducted.

Based on a digital model of the relief of average spatial resolution in a GIS environment, changes in the spatial and temporal magnitude of solar radiation were estimated. A prospective analysis of climatic conditions made it possible to assess the general features of the climate of the Makazhoy basin. Field observations made it possible to characterise modern climatic conditions, as well as to calculate gradients.

Depending on the locations, it was determined that the amount of total solar radiation in the Makazhoy basin varies by almost 3 times. Within the same altitude intervals, the difference between the slopes of the southern and northern exposures reaches up to 50 %. The smallest differences in the amount of radiation were observed on the days of the summer solstice, and the largest on the days of the winter solstice. The average annual air temperature in the altitude range of 1960–2264 m in 2023 varied from 8.6 to 5.8°, and the amount of precipitation – from 481 to 525 mm, respectively. The intra-annual course of meteorological parameters (air temperature and leaf surface, precipitation and relative humidity) within the meteorological transect has been revealed. The data obtained make it possible to proceed to the formation of a GIS system for monitoring the climatic conditions of the carbon landfill of the Kadyrov Chechen State University.

Key Words

Carbon landfill, digital terrain model, solar radiation, GIS technologies, monitoring of climatic conditions.

ВВЕДЕНИЕ

Климат, как известно, формируется под влиянием климатообразующих факторов и процессов. В результате их взаимодействия в пределах той или иной территории складываются территориальные сочетания климатических условий, которые принято называть типами климата. Помимо самостоятельной значимости, связанной со значением атмосферы, климат прямо или косвенно оказывает огромное влияние на формирование, динамику и функционирование природных компонентов (прежде всего гидросферы) и комплексов. Что касается последних, то для их наиболее низкого иерархического уровня, ландшафтов, Н.А. Солнцев [1] ранжировал их по силе. Гидроклиматические факторы (климат, воды) занимают

второе после литогенной основы место с точки зрения силы влияния на формирование ландшафтов.

На формирование климата наиболее сильное воздействие оказывает географическое положение (географическая широта), от которого зависит величина приходящей солнечной энергии и особенности общей циркуляции атмосферы. Территориальное распределение приходящей энергии обусловлено рельефом. Последнее наиболее актуально для горных территорий со сложным и контрастным рельефом. Оценка влияния рельефа на местное распределение инсоляции ранее опиралась на полевые исследования с применением соответствующей приборной базы. Для 42° с.ш. рассчитали относительные значения суточных сумм солнечной радиации поверхностей склонов различной ориентации и крутизны [2] (табл. 1).

Таблица 1. Относительные значения суточных сумм солнечной радиации поверхностей склонов различной ориентации и крутизны для 42° с.ш. при безоблачном небе

Table 1. Relative values of the daily sums of sunshine of surfaces of slopes of various orientation and the steepness for 42° north latitude during a clear sky

Уклон, экспозиция / Slope, exposure										
	10°		20°		30°		40°		50°	
	Ю / S	С / N	Ю / S	С / N	Ю / S	С / N	Ю / S	С / N	Ю / S	С / N
I	1,27	0,71	1,49	0,44	1,72	0,20	1,81	0,17	1,92	0,17
II	1,19	0,77	1,35	0,56	1,46	0,30	1,56	0,20	1,61	0,18
III	1,13	0,82	1,23	0,67	1,30	0,49	1,34	0,29	1,34	0,22
IV	1,08	0,86	1,13	0,75	1,14	0,66	1,14	0,46	1,10	0,32
V	1,05	0,89	1,08	0,82	1,05	0,73	1,03	0,57	0,98	0,42
VI	1,03	0,91	1,04	0,86	0,99	0,78	0,98	0,64	0,91	0,48
VII	1,04	0,90	1,05	0,82	1,02	0,73	0,98	0,59	0,95	0,43
VIII	1,07	0,88	1,10	0,79	1,10	0,67	1,07	0,49	1,03	0,34
IX	1,11	0,84	1,19	0,72	1,22	0,57	1,25	0,36	1,23	0,22
X	1,18	0,78	1,30	0,60	1,41	0,40	1,49	0,24	1,50	0,18
XI	1,25	0,71	1,46	0,45	1,63	0,24	1,76	0,18	1,83	0,17
XII	1,31	0,66	1,57	0,34	1,80	0,17	1,98	0,16	2,09	0,15

Примечание: значения приведены для 15 числа каждого месяца
Note: The values are given for the 15th of each month

Различия в облученности склонов северной и южной экспозиции возрастают по мере увеличения их крутизны. Эти различия максимальны в зимние месяцы и минимальны летом. Для склонов крутизной 20–40° отмечается 5–10-кратное превышение южного склона над северным по приходу солнечной радиации зимой и 1,2–1,5 раза летом. В месяцы, составляющие вегетационный период, южные склоны получают солнечной радиации в 1,2–1,3 раза больше, чем северные.

Аналогичные данные приводит Г.И. Юренков [3] для более высоких широт (56° с.ш.). Им предлагается следующая ранжировка склонов по величине приходящей радиации (прямой и суммарной) в сравнении с горизонтальной поверхностью: северные — северо-восточные и северо-западные — восточные и западные — юго-восточные и юго-западные — южные. Данные различия объясняют причины, по которым на разных склонах даже в пределах одной высоты формируются отличные друг от друга природные комплексы.

Инсоляционные факторы играют ведущую роль в формировании термического режим местоположений. Еще одним довольно существенным фактором в горных условиях является стекание холодного воздуха

по склонам и его застаивание в локальных понижениях, особенно в холодное время года.

Что касается пространственного распределения атмосферных осадков, то на него также оказывает влияние рельеф. Оно обусловлено положением территории по отношению к основным глобальным атмосферным переносам воздушных масс, а также к наличию ветров, связанных с местной циркуляцией атмосферы. В умеренных широтах, где в течение всего года господствует западный перенос большее количество осадков будут получать склоны западных румбов. Стеkanie атмосферных осадков по склонам является причиной разнообразия увлажнения различных местообитаний. Величина склонового стока и ее соотношение с той частью атмосферных осадков, которая впитывается в почву, зависит от многих причин: крутизна, форма (вогнутая, выпуклая, прямая) и протяженность склона, интенсивность осадков, механического состава, фильтрационной способности и влагосодержания почво-грунтов [4].

Режим увлажнения территории, как интегральный показатель, складывается в результате взаимодействия и взаимовлияния пространственно-временного распределения соляных факторов, температуры воздуха и выпадающих осадков. Опять же, в горных условиях есть некоторые общие сочетания

условий, детерминированные рельефом. Например, западные склоны являются относительно теплыми и наиболее влажными; южные – максимально теплыми и наиболее сухими в результате большой величины испарения и т.п.

Итог локальных гидротермических условий находят четкое отражение в растительном покрове. У сообществ одного и того же зонального типа при достаточном увлажнении на южных склонах, как правило, выше продуктивность, у лесной растительности выше прирост и запасы древесины. Наибольшие локальные контрасты растительного покрова связаны с пестротой условий увлажнения; соседство сообществ, относящихся к разным типам растительности (например, лесных и луговых) на смежных местоположениях обычно. Помимо качественных различий видового состава растительности, на южных склонах все фазы развития растений начинаются раньше, чем на северных, и весь годовой цикл развития происходит в более короткие сроки.

Отмеченные факторы и процессы довольно удобно спроецировать на Макажойскую котловину, которая располагается на юго-востоке Чеченской Республики, на границе с Республикой Дагестан. Природа котловины представляет интерес также в связи с тем, что здесь располагается карбоновый полигон Чеченского государственного университета им.А.А.Кадырова, на котором отрабатываются технологии регенеративного животноводства. В этой связи необходим анализ природных условий, в

результате которых формируются природные комплексы с характерным для них ресурсным потенциалом.

Макажойская котловина приурочена к тектонической депрессии, которая имеет несколько больших размеров. С орографической точки зрения котловина ограничена рядом хребтов. На севере границе протягивается хребет Кашекрлам, одноименная вершина которого (2805 м), является высшей точкой котловины. На северо-востоке этот хребет упирается в озеро Кезеной-Ам. Далее на восток граница проходит по отрогам хребта Гаготытлюры, заходя на территорию Республики Дагестан. Часть южной границы совпадает с границей между ЧР и РД, поскольку последняя проходит практически по водоразделу, на котором находится г. Абдалзабизуль (2604 м). В районе каньона р.Ансалта граница уходит строго на юг по хребту Хиндой-лам, который протягивается практически широтно и является крайней южной границей котловины и одновременно границей между ЧР и РД. Здесь отметки высот достигают 2342 м. В крайней западной части этого хребта, от безымянной вершины с отметкой в 2658 м водораздел поворачивает на север, северо-восток и северо-запад, по которому. Именно здесь проходит водораздел между бассейном р.Ахкте, которая является притоком Ансалты за пределами котловины, и Келой-ахк, являющейся притоком Шаро-Аргун. Здесь водораздел выражен не столь отчетливо, а преобладающие высоты хребта не достигают 2000 м. площадь котловины в указанных границах составляет 144 км² (рис. 1).

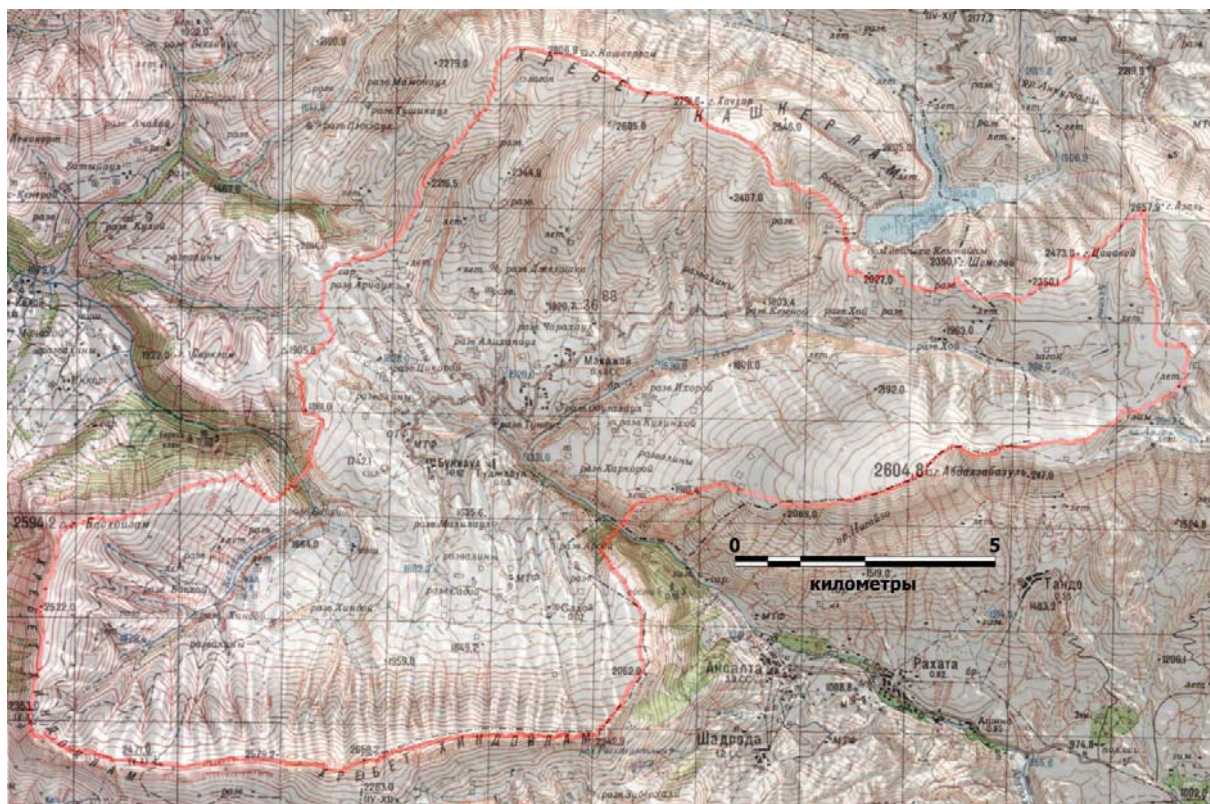


Рисунок 1. Географическое положение и границы Макажойской котловины

Figure 1. Geographical location and borders of the Makazhoy'sky basin

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время для количественной оценки влияния рельефа на климат удобно применять цифровые модели рельефа (ЦМР), для обработки

которых в среде ГИС имеется соответствующий инструментарий.

В открытом доступе имеются разнообразные цифровые модели рельефа. Они отличаются

разрешением, но в целом для умеренных широт оно составляет около 30 м. Второе отличие связано с траекторией полета и особенностями съемочной аппаратуры, в результате чего имеются отличия в горизонтальной и вертикальной точности. Наконец, они отличаются временем съемки. В этой связи была выбрана последняя по времени съемки из имеющихся в открытом доступе моделей, которая имеется на сайте Европейского Космического Агентства [5]. В частности, использовалась цифровая модель рельефа FABDEM V1-0 с разрешением в этой части около 27 м, с которой удалены древесная растительность и застройка [6]. Для изучаемой территории была создана мозаика. Для перевода угловых единиц в линейные исходная ЦМР была перепроецирована в систему координат WGS 84 UTM38N с разрешением 30 м.

Обработка цифровой модели рельефа на указанную территорию осуществлялась с применением ПО ArcGis, где имеется инструмент Spatial Analyst Tools с большим количеством возможностей для обработки исходных данных и получения необходимых изображений. В части, для оценки величины солнечного излучения использовался инструмент Solar Radiation, который извлекает поступающее солнечное излучение с растровой поверхности в ватт-часах на квадратный метр (ВтЧ/м²). Как отмечается в руководстве пользователя данной программой, анализ предназначен только для локальных (ландшафтных) масштабов, поэтому допустимо использовать одно значение широты для всей ЦМР. При использовании больших наборов данных, характеризующих значительные по площади территории, результаты измерения инсоляции будут значительно отличаться на разных широтах. В этой связи для получения корректных данных рекомендуется анализировать территории, не превышающую более чем на 1 градус. С учетом того, что максимальная протяженность котловины с севера на юг не превышает 14 км, полученные результаты удовлетворяют оговоренным условиям.

Климат Макажойской котловины складывается под влиянием глобальных, региональных и местных факторов и процессов. Основным фактором является географическое положение в южной части умеренного климатического пояса, с чем связаны значительные величины поступающей суммарной солнечной радиации. Вторым фактором является рельеф: основным климаторазделом является Главный Кавказский хребет, который препятствует проникновению холодного воздуха с севера и теплого с юга. Климаторазделом второго порядка является Ставропольская возвышенность, которая препятствует проникновению влажного воздуха со стороны Черного моря и способствует его трансформации из морского в континентальный. Наконец, влияние рельефа обусловлено еще и тем, что он влияет не только на пространственное распределение метеорологических параметров, но также и формирует вертикальную зональность.

Влияние морей проявляется неодинаково. Так, по мере удаления от Черного моря происходит трансформация воздушных масс, переносимых с его акватории западным переносом, особенно при пересечении Ставропольской возвышенности. Каспийское море не оказывает никакого воздействия на режим увлажнения региона и изучаемой территории: в

теплое время года господствует западный перенос, а в холодное, при формировании восточного переноса, воздух, проходя над холодной поверхностью моря, не насыщается влагой.

Что касается климатообразующих процессов, то они также отражают их глобальные и региональные особенности. Годовой ход температуры воздуха связан с зенитальным положением Солнца, а также с особенностями хода температур в пределах континентального сектора. В этой связи наиболее холодным месяцем является январь, а наиболее теплым – июль. В связи с географическим положением в течение года господствующим направлением ветра западный перенос. В холодное время года над Азией формируется крупный максимум, в результате чего формируются выносы холодного континентального воздуха, достигающие Кавказа, которые приводят к резкому снижению температуры воздуха. В весеннее время восточный перенос приводит к формированию суховеев. Особенности горной местности является то, что здесь на фоне ветров, обусловленных общей циркуляцией атмосферы, представлены также местные ветры, такие как фён и горно-долинный. Первый типичен преимущественно в переходные сезоны года, когда происходит перестройка глобальных полей давления, но может наблюдаться также и зимой. Что касается горно-долинных ветров, то они связаны преимущественно с теплым временем года.

Под влиянием циркуляции атмосферы формируется пространственно-временное распределение осадков. В связи с зональными условиями основная часть осадков выпадает в теплое время года, при этом их максимум отмечается в конце весны – начале лета. В середине лета и второй половине лета количество осадков сокращается как в связи с ростом температуры воздуха, так и в связи с тем, что район находится под защитой Андийского хребта, перехватывающего основной западный перенос. На пространственное распределение осадков основное влияние оказывает рельеф местности. В этой связи в пределах горных котловин принято выделять две категории склонов: южных румбов (соларные), и западных румбов (циркуляционные). Первые характеризуются наибольшими величинами солнечной радиации, и, соответственно, наиболее теплые; на вторых величина радиации существенно ниже, но зато здесь выпадает большое количество осадков.

Пространственное распределение годовой величины солнечного излучения по территории Макажойской котловины иллюстрирует рис.2. В целом хорошо заметен рост величины радиации по мере увеличения высоты над уровнем моря. Минимальные величины излучения отмечаются в наиболее низких и затененных частях котловины и приурочены к ущельям основных водотоков, которые получают 750–900 тыс. ВтЧ/м². Сопоставимые величины солнечной радиации получают также северные макросклоны котловины, приуроченные к склонам хребта Хиндойлам. По мере роста высоты увеличивается и солнечная радиация. Средние ее количества (1050–1500 тыс. ВтЧ/м²) получают относительно пологие склоны на высотах до 1800 м. Также хорошо выражены макрокоспозиционные различия: на сопоставимых абсолютных высотах величина солнечной радиации выше на южном макросклоне по сравнению с северным. Что касается максимальных величин

солнечной радиации, то они типичны для наиболее высоких частей котловины, приуроченных к южным склонам хребта Кошкерлам и его отрогам. Здесь величина радиации доходит до 1800 тыс. ВтЧ/м². То есть, наибольшее количество радиации получает юго-восточный макросклон (правый борт котловины), тогда

как северо-западный склон получает ее существенно меньше. На южном макросклоне ее величина нарастает от наименьших высотных отметок к наибольшим, то есть к наиболее высоким частям хребтов, к водоразделам. Аналогичная закономерность отмечается и на северном макросклоне.

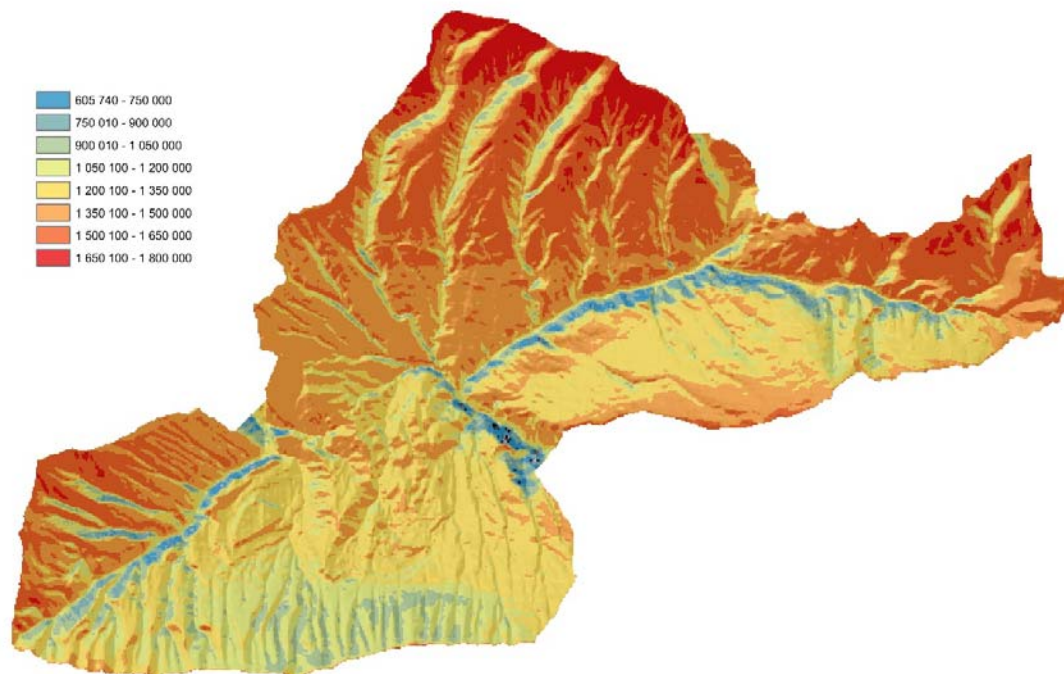
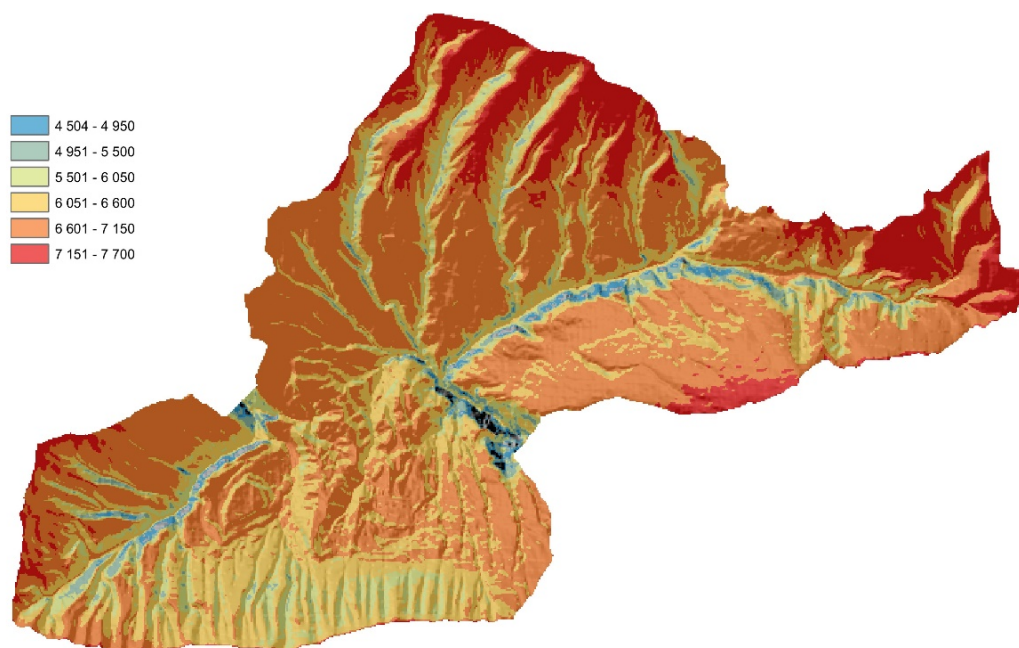


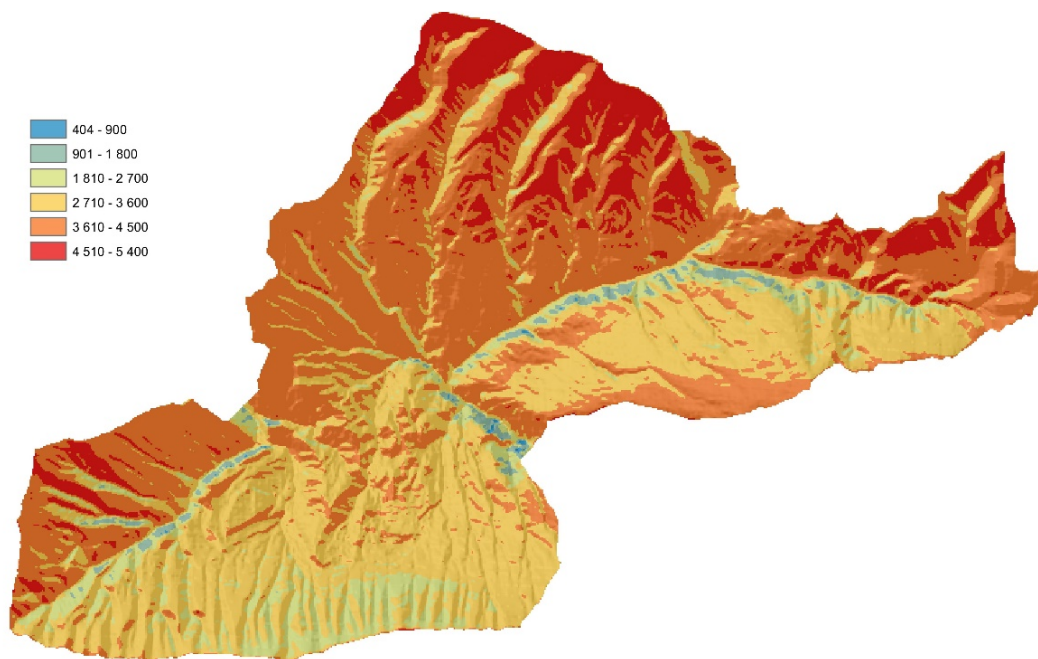
Рисунок 2. Пространственное распределение годовой солнечной радиации по территории Макажойской котловины
Figure 2. Spatial distribution of annual solar radiation over the Makazhoysky basin

Помимо распределения годовой величины суммарной радиации, из ЦМР были извлечены величины радиации в дни летнего и зимнего солнцестояний, а также в дни равноденствий (рис. 3). В целом описанная выше картина существенно не меняется, однако хорошо выражена поляризация местоположений. Так, в день зимнего солнцестояния даже территории, имеющие

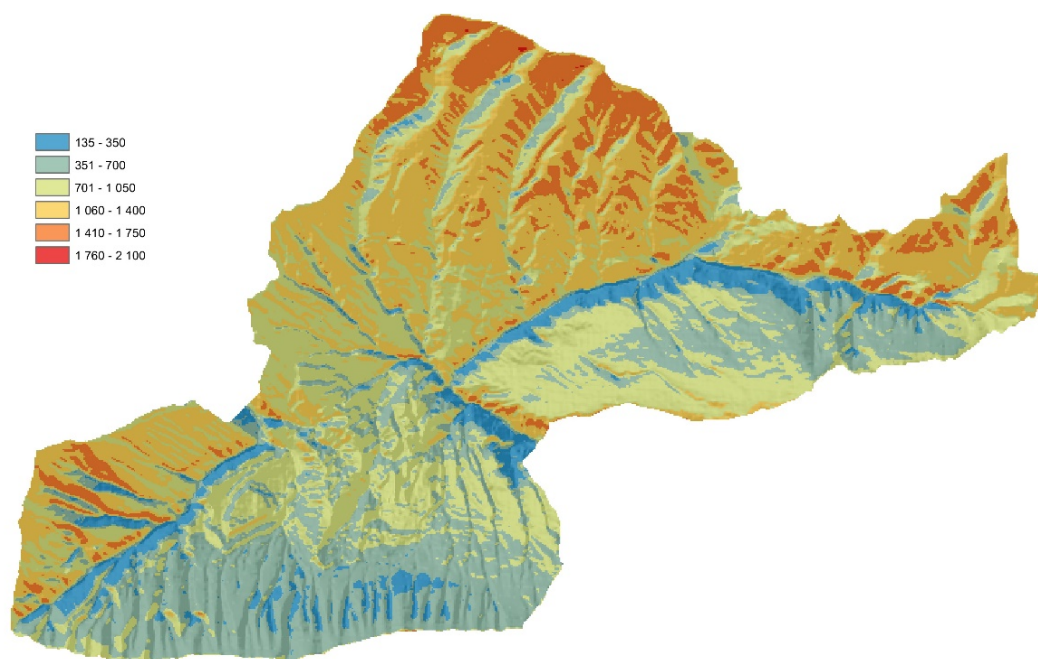
довольно значительную высоту (северные склоны хребта Хиндойлам), получают примерно столько же солнечной радиации, сколько и наиболее затененные глубокие ущелья, где протекают постоянные водотоки. На противоположном, южном макросклоне, низкие значения радиации связаны с глубокими эрозионными врезками.



a/a



б/б



в/с

Рисунок 3. Пространственное распределение солнечной радиации в день летнего солнцестояния (а), равноденствий (б) и зимнего солнцестояния (в)

Figure 3. Spatial distribution of solar radiation on the days of the summer solstice (a), equinoxes (b) and winter solstice (c)

На территории котловины и в непосредственной близости от нее метеостанции отсутствуют. Ближайшей является метеостанция «Ботлих», расположенная во Внутригорном Дагестане. Несколько дальше располагается метеостанция «Шатой». Обе эти метеостанции располагаются в котловинах, но между ними есть отличия. Во-первых, днище Шатойской котловины располагается ниже, на высотах около 500 м, тогда как Ботлихская котловина располагается на высотах около 1000 м. Во-вторых, Шатой закрывают

наиболее низкие Лесистый и Пастбищный хребты, тогда как Ботлих находится под прикрытием более высокого Скалистого хребта и его отрогов. И, наконец, третье отличие связано с тем, что Шатойская котловина хорошо вентилируется за счет потока по ущелью р.Аргун, тогда как котловинность Ботлиха выражена гораздо лучше. С точки зрения географического положения данные метеостанции «Ботлих» ближе к Макажойской котловине, поскольку обе располагаются в дождевой тени Андийского хребта (табл. 2).

Таблица 2. Метеорологические параметры окрестностей Макажойской котловины на 1961–1990 гг.**Table 2.** Meteorological parameters of the surroundings of the Makazhoysky basin for 1961–1990

Метеостанция Weather station	Высота (м) Height (m)	Температура воздуха Air temperature			Осадки Precipitation	Коеф. увл. Moisture coefficient
		Январь January	Июль July	Год Year		
Ботлих / Botlich	979	-1,9	20,6	9,8	389	0,42
Шатой / Shatoy	528	-2,5	20,5	8,6	603	0,71
Сулак, в/г / Sulak	2923	-9,9	8,5	-0,8	1092	-

Как видно из представленные в таблице данных, температура января в Ботлихе выше, чем в Шатой даже несмотря на то, что она располагается почти на 450 м выше, то есть наблюдается хорошо выраженная термическая инверсия. Июльские температуры практически одинаковы, хотя в Шатое она должна быть выше в связи с более низким высотным положением. Что касается годовой температуры воздуха, то в Ботлихе она также выше, чем в Шатое. Годовое количество осадков в Ботлих составляло 389 мм, а в Шатое – 603 мм, то есть котловинность выражена гораздо сильнее.

Сравнение данных указанных метеостанций позволяет сделать предположение о том, что средняя годовая температура воздуха в Макажойской котловине, нижняя часть которой приурочена к высотным отметкам 1400–1600 м, на период 1961–1990 гг. могла составлять 7–8°, а количество выпадающих осадков 400–500 мм. Однако метеостанция «Ботлих» была закрыта в 1990-е годы, поэтому для определения современных климатических условий мы будем опираться на данные метеостанции «Шатой». За 2008–2012 гг. средняя годовая температура воздуха составила 9,7°, при этом в январе она достигает -2,3°, а в июле – 21,6° [7]. Годовое количество осадков 668 мм, с минимумом в январе (21 мм) и максимум в июне (109 мм). По сравнению с данными таблицы 2, средняя годовая температура воздуха возросла на 1,1° за счет ее роста во все месяцы и сезоны года. Прирост осадков составил 65 мм, но при этом коэффициент увлажнения снизился до 0,50.

Таким образом, современная средняя годовая температура воздуха в Макажойской котловине может составлять на нижних высотных отметках (1400–1600 м) 7,5–8,6°, достигая зимой величин немногим менее 0°, а летние температуры могут подниматься до +20° и выше за счет высокой инсоляции. Количество осадков может составлять 450–550 мм в год с зимним минимумом и летним максимумом.

Что касается наиболее высокогорной части котловины, то, как известно, с высоты 2000 м начинается «свободная атмосфера», где на воздушные течения подстилающая поверхность оказывает минимальное значение. В результате высокогорные части разных районов Кавказа гораздо более однородны, чем средне- и низкогорные. Наиболее близкой является метеостанция «Сулак, высокогорная» (2923 м). С учетом тенденций, охарактеризованными для метеостанции «Шатой», здесь также отмечается повышение температуры воздуха в сочетании с разнонаправленными изменением количества выпадающих осадков. В этой связи можно

предположить, что температуры в наиболее возвышенной части Макажойской котловины также возросли, однако характер увлажнения не претерпел существенных изменений.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как отмечалось выше, в Макажойской котловине располагается один из участков карбонового полигона Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, где отрабатываются технологии регенеративного животноводства. Основой животноводства является кормовая база, которая зависит от фитомассы и продуктивности природных комплексов. Запасы фитомассы связаны с местоположением природных комплексов и обусловлены локальными топографическими и микроклиматическими факторами, которые в горных условиях детерминированы рельефом и его составляющими (абсолютная высота, крутизна и экспозиция склонов). Что касается продуктивности, то она обусловлена метеорологическими условиями конкретных лет. В этой связи для оценки влияния метеорологических условий на продуктивность пастбищ в 2022 г. на карбоновом полигоне, который располагается на северном макросклоне хребта Хиндой в Макажойской котловине были размещены агрометеостанции (рис. 4), которые в автоматическом режиме снимали такие параметры, как, температура воздуха и почвы (Т), количество осадков (R), атмосферное давление (Р), влажность воздуха и почвы (W) и др. Они охватывали период со второй декады января до второй декады декабря 2023 г. Результаты наблюдений приведены в таблице 3.

Как видно из приведенных данных, разница абсолютных высот составляет 304 м, что позволяет рассчитать градиенты изменения метеорологических параметров. Так, для температуры воздуха в этих высотных интервалах он составляет 0,93°, что близко к сухоадиабатическому градиенту. Данный показатель к тому же позволяет подтвердить тот факт, что климат котловины характеризуется сухостью. Количество осадков сокращается на 14 мм на каждые 100 м абсолютной высоты. Увеличение скорости ветра в 2 раза способствует иссушению почвы и охлаждения лиственной поверхности.

Наряду с годовыми величинами представляет интерес также ход метеорологических параметров в течение года и сезонов (рис.5). Он позволяет оценить синхронность хода метеопараметров, а также рассчитать не только годовые, но и месячные градиенты для них.

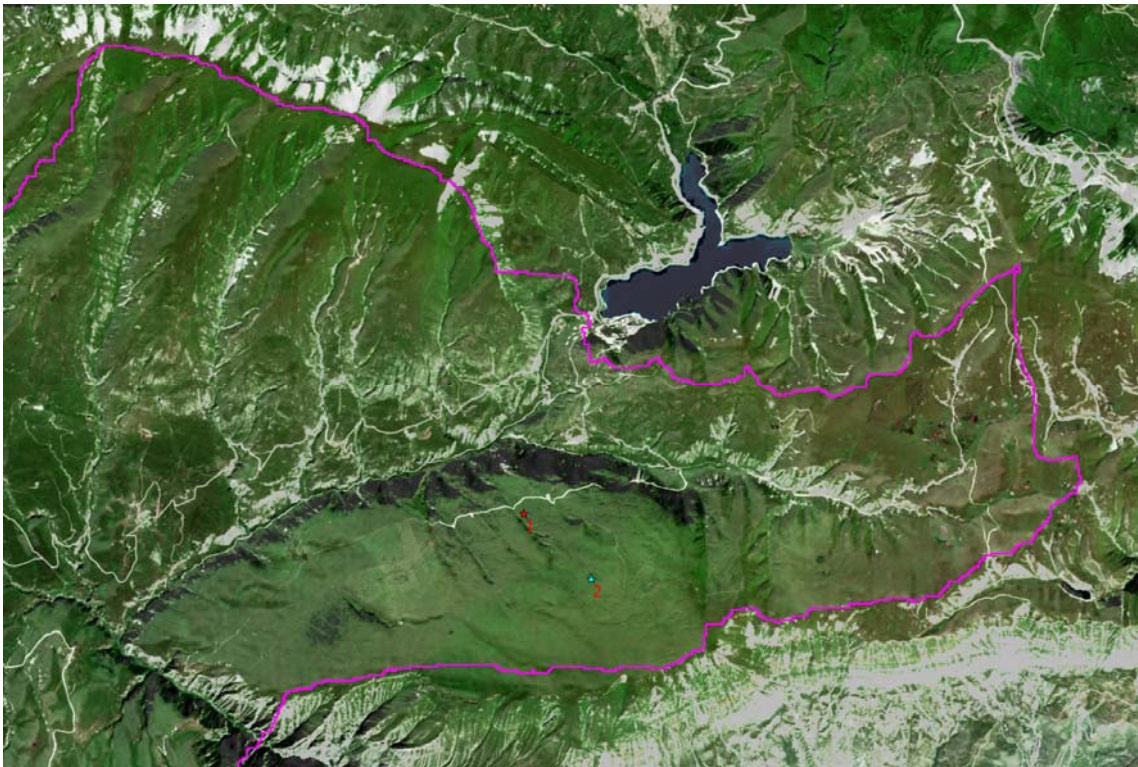


Рисунок 4. Расположение агрометеостанций карбонового полигона ЧГУ им. А.А. Кадырова
Figure 4. Location of agrometeorostations of the carbon landfill of the A.A. Kadyrov ChSU

Таблица 3. Основные метеорологические параметры по агрометеостанциям карбонового полигона ЧГУ им. А.А. Кадырова за 2023 г.

Table 3. Main meteorological parameters for the agrometeorological station of the carbon landfill of the A.A. Kadyrov ChSU for 2023

Площадка Place	Высота, м Height, m	Тгод Annual air temperature	Ргод Annual precipitation	Р Atmospheric pressure	Ввозд. Air humidity	Впочв Soil moisture	V Wind speed	Тлиста Tlist
1	1960	8,6	481	821	69	45,7	1,9	10,9
2	2264	5,8	525	773	71	33,8	3,8	6,2

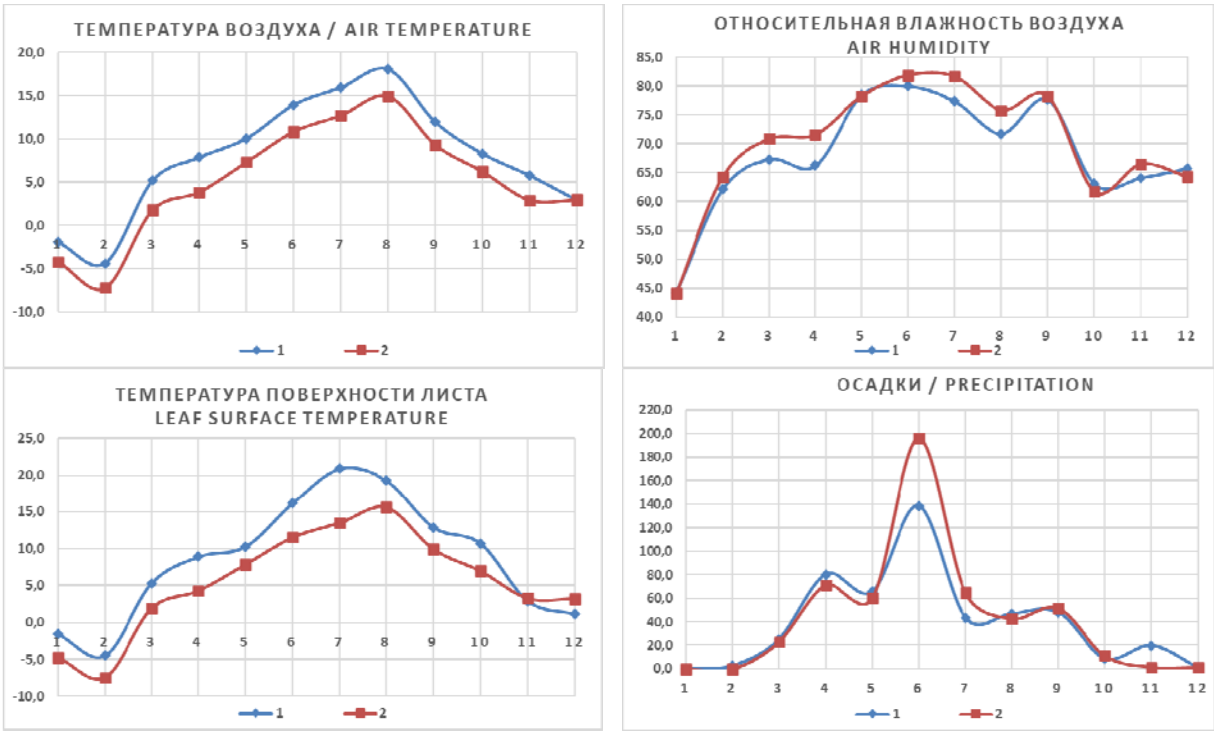


Рисунок 5. Ход метеорологических элементов в 2023 г.
Figure 5. Course of meteorological elements in 2023

ВЫВОДЫ

1. Применение цифровой модели рельефа среднего пространственного разрешения с использованием ГИС-технологий позволяет количественно оценить вклад рельефа в формирование климатического фона на локальном уровне. Для Макажойской котловины выявлены различия в величине солнечной радиации, обусловленные горным рельефом. Для годовой величины они различаются в 3 раза в зависимости от местоположений при увеличении солнечной радиации с увеличением абсолютной высоты. На сопоставимых высотах величина радиации больше на южных склонах по сравнению с северными, а разница может достигать 50%. Наименьшие различия в величине радиации отмечаются в дни летнего солнцестояния, а наибольшие – в дни зимнего.

2. Проведен ретроспективный анализ климатических условий Макажойской котловины по данным наиболее близко расположенных метеорологических станций (Ботлих, Шатой, Сулак высокогорная). Он позволил оценить климатические условия в пределах котловины как за период 1960–1991 гг., а также на основе имеющихся трендов оценить современные климатические условия на изучаемой территории.

3. Собранные за 2023 г. метеорологические параметры суточного разрешения позволяют оценить современные климатические условия в пределах средне- и высокогорной части котловины и вычислить градиенты изменения параметров. Последние являются основой для создания ГИС, которая позволит проводить оперативный мониторинг пространственно-временного распределения метеорологических параметров на основе ЦМР высокого разрешения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках госзадания ЧГУ им. А.А. Кадырова FEGS-2023-0008

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state tasks A.A. Kadyrov ChSU FEGS-2023-0008

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солнцев Н.А. О взаимоотношении «живой» и «мертвой» природы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. 1960. № 6. С. 7–11.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Виталий В. Братков осуществил поиск и обработку данных и литературный обзор, принимал участие в обработке ЦМР. Рашия Х. Бекмурзаева провела все полевые исследования, подготовила рукопись. Луиза Р. Бекмурзаева провела статистическую обработку данных и интерпретировала результаты исследований. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

2. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федоров М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Л.: Гидрометиздат, 1978. 215 с.
3. Юренков Г.И. Основные проблемы физической географии и ландшафтоведения: Учеб. пособие для географ. спец. пед. ин-тов. М.: Высшая школа, 1982. 216 с.
4. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометиздат, 1977.
5. AIRBUS 2020. Copernicus DEM: Copernicus digital elevation model product handbook Report AO/1-9422/18/I-LG (European Space Agency) (дата обращения: 25.06.2020)
6. Neal J., Hawker L. FABDEM V1-2. 2023 <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>
7. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 28.01.2024)

REFERENCES

1. Solntsev N.A. Relationships between “living” and “dead” nature. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya [Bulletin of Moscow University. Geography Series]. 1960, no. 6, pp. 7–11. (In Russian)
2. Kondrat'ev K.Ya., Pivovarova Z.I., Fedorov M.P. *Radiatsionnyi rezhim naklonnykh poverkhnostei* [Radiation regime of inclined surfaces]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1978, 215 p. (In Russian)
3. Yurenkov G.I. *Osnovnye problemy fizicheskoi geografii i landshaftovedeniya: Uchebnoe posobie dlya geograficheskikh spetsial'nostei pedagogicheskikh institutov* [Basic problems of physical geography and landscape science: Proc. manual for geographical specialties of pedagogical institutes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982, 216 p. (In Russian)
4. Romanova E.N. *Mikroklimatechskaya izmenchivost' osnovnykh elementov klimata* [Microclimatic variability of the main climate elements]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1977. (In Russian)
5. AIRBUS 2020. Copernicus DEM: Copernicus digital elevation model product handbook Report AO/1-9422/18/I-LG (European Space Agency) (accessed 25.06.2020)
6. Neal J., Hawker L. 2023 FABDEM V1-2. <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>
7. *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (accessed 28.01.2024)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vitaly V. Bratkov carried out the searching and processing of data and a literary review and took part in the processing of the DEM. Rashia H. Bekmurzaeva completed all the field research and prepared the manuscript.

Luiza R. Bekmurzaeva conducted statistical data processing and interpreted the research results. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Виталий В. Братков / Vitaly V. Bratkov <https://orcid.org/0000-0001-5072-1859>

Рашия Х. Бекмурзаева / Rashia H. Bekmurzaeva <https://orcid.org/0000-0001-5936-7235>

Луиза Р. Бекмурзаева / Luiza R. Bekmurzaeva <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>