

УДК 502/504: 528.94

DOI: 10.46698/v6676-0090-5271-g

Оригинальная статья

Террасирование склонов Макажойской котловины: оценка влияния рельефа методами лазерного сканирования

Р.Х. Бекмурзаева¹, Л.Р. Бекмурзаева², В.В. Братков^{1,3}

¹ Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Россия, 364024, г. Грозный, ул. Шерипова, 32, e-mail: raya.bek@mail.ru;

² Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова, Россия, 364051, г. Грозный, пр. Х.А. Исаева, 100;

³ МИИГАиК, Россия, 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4

Статья поступила: 28.08.2025, доработана: 24.11.2025, принята к публикации: 27.11.2025

Резюме: Актуальность работы. В сентябре 2023 г. с помощью беспилотного летального аппарата проведено воздушное лазерное сканирование и аэрофотосъемка территории Макажойской котловины, где расположен карбоновый полигон Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова. В результате была составлена высокоточная цифровая модель рельефа (ЦМР) двух участков (площадь каждого около 170 га), расположенных на противоположных макросклонах котловины на сопоставимых абсолютных высотах (1700–2200 м). Последующая обработка ЦМР с применением ПО ArcGis позволила количественно охарактеризовать микрорельеф тестовых участков, а также выделить террасы в пределах естественных горных склонов. **Цель** – сравнительный анализ рельефа северного и южного макросклонов Макажойской котловины для оценки влияния морфометрических характеристик территории (высоты, крутизны, экспозиции) на террасирование склонов. **Материалы и методы.** Работа основана на материалах воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки, выполненных с БПЛА осенью 2023 г. Их последующая обработка позволила создать высокдетальную цифровую модель, анализ которой проводился в среде ГИС. Картографирование террас осуществлялось комбинированным методом, сочетающим ручную и полуавтоматическую векторизацию. **Результаты.** Сравнительный анализ позволил выявить количественные различия в рельефе макросклонов и соответственно потенциал освоения. Террасы на северном, более пологом и влажном макросклоне, занимают 46 % площади участка, тогда как на крутом и сухом южном лишь 26 %. **Выводы.** Полученные результаты создают научную основу для разработки практических мероприятий по рациональному природопользованию, включая нормирование пастбищных нагрузок и внедрение принципов регенеративного животноводства на территории карбонового полигона.

Ключевые слова: Макажойская котловина, карбоновый полигон, воздушное лазерное сканирование, беспилотные летательные аппараты, цифровая модель рельефа, террасы.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ЧГУ им. А.А. Кадырова FECS-2023-0008.

Для цитирования: Бекмурзаева Р.Х., Бекмурзаева Л.Р., Братков В.В. Террасирование склонов Макажойской котловины: оценка влияния рельефа методами лазерного сканирования. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(4): 169–183. DOI: 10.46698/v6676-0090-5271-g

DOI: 10.46698/v6676-0090-5271-g

Original paper

Terracing of the Makazhoy basin slopes: assessing the impact of relief using laser scanning methods

R.Kh. Bekmurzaeva¹, L.R. Bekmurzaeva², V.V. Bratkov^{1,3}¹ Kadyrov Chechen State University, 32 Sheripova Str., Grozny 364024,
Russian Federation, e-mail: raya.bek@mail.ru;² Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov,
100 H.A. Isaeva Ave., Grozny 364051, Russian Federation;³ Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Lane, Moscow
105064, Russian Federation

Received: 28.08.2025, revised: 24.11.2025, accepted: 27.11.2025

Abstract: Relevance. In September 2023, airborne laser scanning and aerial photography were carried out using an unmanned aerial vehicle on the territory of the Makazhoy basin, where the carbon landfill of the Kadyrov Chechen State University is located. As a result, a high-precision digital elevation model (DEM) was compiled for sites with an area of about 170 hectares located on opposite macro slopes of the basin at comparable absolute heights (1700–2200 m). Subsequent processing of the DEM using the ArcGIS software made it possible to quantify the microrelief of the test sites, as well as to identify terraces within the natural mountain slopes. **The aim** is a comparative analysis of the relief of the northern and southern macroslopes of the Makazhoy basin to assess the influence of morphometric characteristics of the territory (height, steepness, exposure) on the terracing of the slopes. **Materials and methods.** The work is based on aerial laser scanning and aerial photography performed by UAVs in the fall of 2023. Their subsequent processing made it possible to create a highly detailed digital model, which was analyzed in a GIS environment. The terraces were mapped using a combined method combining manual and semi-automatic vectorization. **Results.** The comparative analysis revealed quantitative differences in the relief of the macroslopes and, accordingly, their development potential. Terraces occupy 46 % of the northern macroslope, which is gentler and more humid, while on the steep and dry southern macroslope they cover only 26 %. **Conclusions.** The obtained results create a scientific basis for developing practical measures for rational nature management, including the regulation of pasture loads and the implementation of regenerative livestock farming principles within the carbon polygon.

Keywords: Makazhos basin, carbon landfill, airborne laser scanning, unmanned aerial vehicles, digital elevation model, terraces.

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Kadyrov Chechen State University FECS-2023-0008.

For citation: Bekmurzaeva R.Kh., Bekmurzaeva L.R., Bratkov V.V. Terracing of the Makazhoy basin slopes: assessing the impact of relief using laser scanning methods. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(4): 169–183. DOI: 10.46698/v6676-0090-5271-g

Введение

Горные регионы мира переживают ренессанс хозяйственного освоения, знаменуя собой новый этап взаимодействия человека и природы. После периода относительного забвения во второй половине XX века, когда высокогорные территории столкнулись с депопуляцией и сокращением экономической активности, сегодня мы наблюдаем возвращение интереса к их ресурсному и агрокультурному потен-

циалу. Этот интерес закономерен: горные экосистемы, сохранившие минимальный уровень антропогенного загрязнения, продуцируют сельскохозяйственную продукцию исключительного качества, востребованную на современных рынках.

Особую актуальность этот процесс приобретает в контексте Северного Кавказа, где горные территории исторически формировали основу традиционной системы отгонного животноводства [Рябогина и др., 2022]. В течение столетий здесь сложилась уникальная модель сезонного использования высокогорных пастбищ: в теплое время года скот перегонялся на альпийские луга, а зимой возвращался на равнинные территории. Однако существовали и исключения – горные котловины, природные условия которых позволяли организовывать круглогодичное содержание животных.

Эти котловины, сформированные тектоническими процессами и обрамленные горными хребтами, представляют собой уникальные природные комплексы. Их замкнутый характер обусловил формирование особого микроклимата с повышенными температурами и пониженной влажностью, что в сочетании с высотной зональностью создало исключительное разнообразие почвенно-растительных сообществ [Borisov et al., 2021]. Именно эти благоприятные условия сделали горные котловины центрами древнего освоения территории [Абдулаева и др., 2023; Аличаев и др., 2022; Грачева, Идрисов, 2021; Идрисов, Гусейнова, 2022; Мусаева, 2015; Пинской и др., 2022; Шаев и др., 2024], наиболее ярко выраженными в крупных тектонических депрессиях типа Северо-Юрской впадины.

Фокусом нашего исследования стала Макажойская котловина – уникальный природно-территориальный комплекс, расположенный в юго-восточной части Чеченской Республики. Её орографические границы образуют выразительные горные хребты: Кашекрлам на севере, отроги Гаготытлюры на востоке, и сложная система водоразделов с высотами до 2500–2600 метров на юго-востоке. Площадь котловины в этих естественных рубежах составляет 144 км², представляя собой замкнутую экосистему с выраженными микроклиматическими особенностями (рис. 1).

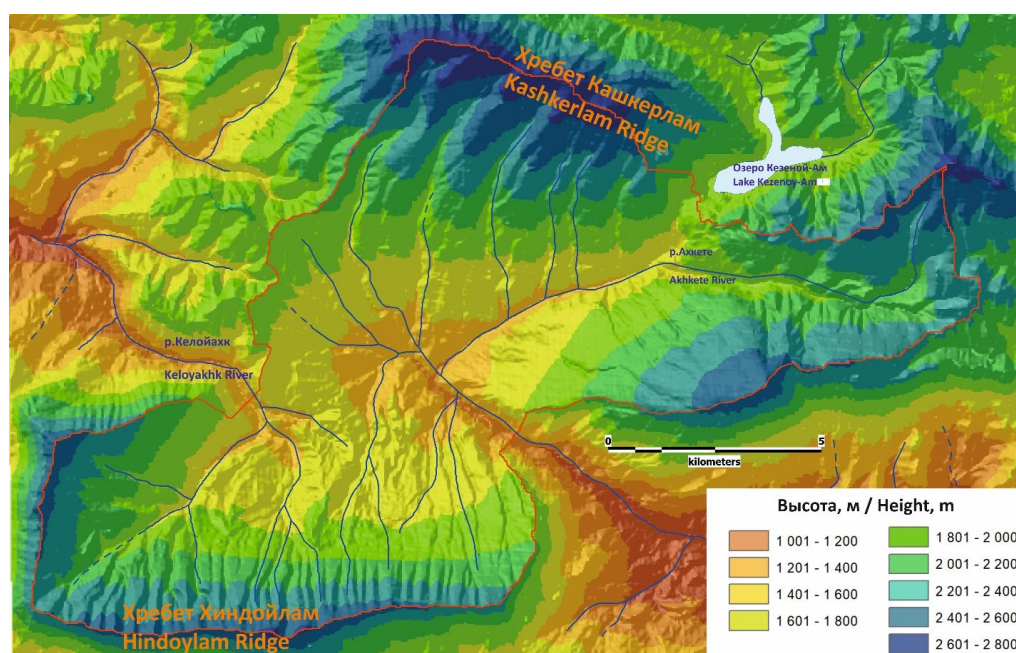


Рис. 1. Положение и особенности орографии Макажойской котловины /
Fig. 1. Position and orographic features of the Makazhoy basin

Современная значимость Макажойской котловины подчеркивается размещением здесь карбонового полигона Чеченского государственного университета – инновационной площадки для разработки и апробации методов регенеративного животноводства. Это обуславливает необходимость детального изучения территории, выходящего за рамки стандартных подходов.

Ранее был проведен анализ рельефа котловины на основе цифровой модели рельефа среднего пространственного разрешения Европейского Космического Агентства FABDEM V1-0 с разрешением в этой части около 27 м [Бекмурзаева и др., 2024а, 2024б] по стандартным методикам [Горбунов и др., 2015; Грачева, Идрисов, 2021; Нетребин, 2012; Погорелов, Думит, 2009; Симонов, 1998; Симонов, 1999]. Установлено, что в котловине преобладают высоты 1600–2000 м, на долю которых приходится 43,0 % территории, наиболее часто встречаются уклоны 10–15° (23,8 %), 20–30° (23,5 %) и 5–10° (19,7 %). Что касается экспозиции, то на наиболее широко представлены южные (16,6 %) и северо-западные (16,2 %) склоны. Террасирование склонов – многовековой пример адаптации хозяйственной деятельности к горным условиям – сформировало уникальный микрорельеф, хорошо читаемый при полевых исследованиях, но не фиксируемый средствами глобального картографирования. Это определяет необходимость применения высокоточных методов дистанционного зондирования, способных выявить и документировать элементы исторического землепользования для их интеграции в современные модели устойчивого развития горных территорий.

Использование технологий воздушного лазерного сканирования открывает новые возможности для изучения тонкой организации рельефа горных котловин, позволяя не только фиксировать современное состояние территории, но и реконструировать историю её хозяйственного освоения [Ляпишев и др., 2015]. Такой подход особенно важен для разработки научно обоснованных моделей землепользования, сочетающих традиционные практики с современными требованиями экологической устойчивости [Петров, 2023].

В настоящее время для получения детальной информации о микрорельефе территории активно применяются беспилотные воздушные суда (БВС), которые позволяют оперативно получать информацию на локальном уровне [Wei et al., 2023; White et al., 2022]. Для этих целей используются аэрофотосъемка (АФС) и воздушное лазерное сканирование (ВЛС). Эти высокотехнологичные методы сбора геопространственных данных позволяют получать подробные цифровые модели рельефа и местности, а также ортофотопланы, которые в дальнейшем используются для геопространственного анализа картографируемых территорий.

Методы исследования

Осенью 2023 г. в Макажойской котловине были проведены полевые исследования и аэрогеодезические работы, которые включали геодезические работы, аэрофотосъемку и воздушное лазерное сканирование [Бекмурзаева и др., 2024а; Скрыпичина и др., 2024].

Аэросъемочные работы были выполнены для двух тестовых участков в восточном секторе котловины в высотном диапазоне 1700–2200 метров над уровнем моря. Первый участок площадью 168,0 га расположен на северном макросклоне и совпадает с территорией карбонового полигона ЧГУ им. А.А. Кадырова, где проводятся эксперименты по регенеративному животноводству. Второй участок площадью

169,4 га находится на контрастном южном макросклоне котловины, что обеспечивает сравнительный анализ особенностей обоих склонов (рис. 2).

Для получения пространственных данных применялись методы аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования с использованием беспилотного воздушного судна Геоскан 401 Лидар. Съёмочные работы выполнялись сотрудниками и студентами Московского государственного университета геодезии и картографии и Чеченского государственного университета имени А.А. Кадырова. Фотограмметрическая обработка материалов аэрофотосъемки проводилась с применением программного обеспечения Agisoft Metashape. Обработка облаков точек, полученных методом воздушного лазерного сканирования, осуществлялась в специализированных программных комплексах «Terrascan» и «Кредо 3D СКАН».

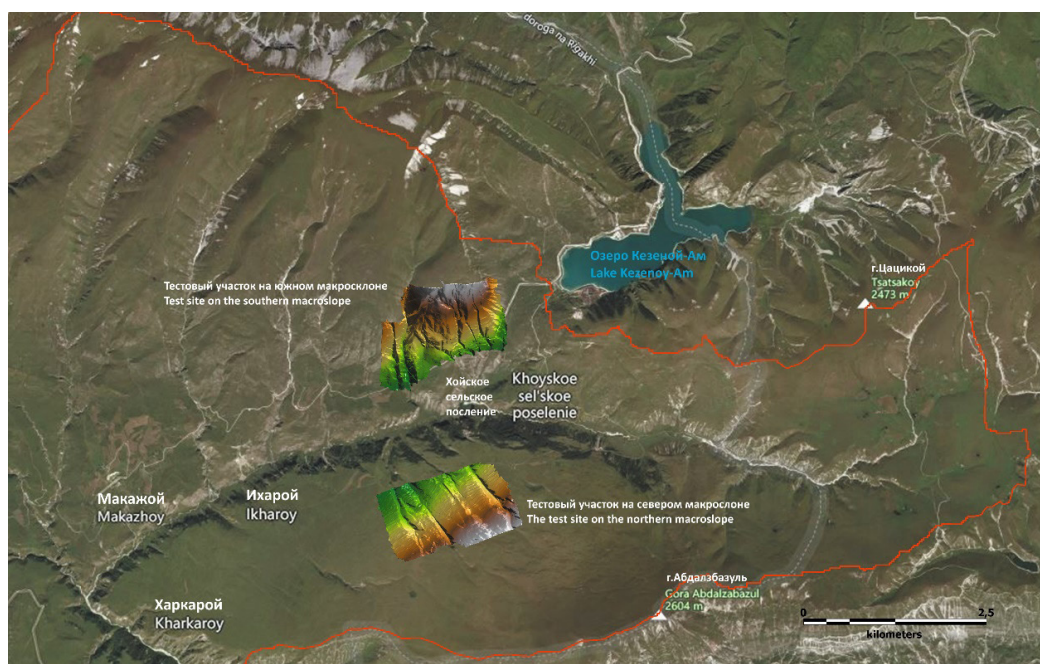


Рис. 2. Расположение тестовых полигонов в пределах Макажойской котловины /

Fig. 2. Location of test sites within the Makazhoy basin

В результате составлены высокоточные цифровые модели рельефа с разрешением 0,1 м, где стало возможным разделение точек на классы «земля» и «растительность» [Бекмурзаева и др., 2024а]. Для удаления информационного «шума», связанного с наличием разновысотной, преимущественно травянистой растительности, исходное разрешение было снижено до 0,5 м, что позволило более точно выявить особенности собственно микрорельефа.

Картографирование и анализ ЦМР осуществлялся с использованием ПО ArcGis. Карты на территорию участков создавались в стандартном масштабе (1:10 000). Для координатной сетки была выбрана индивидуальная проекция (PROJCRS [“ProjWiz_Custom_Lambert_Azimuthal”, BASEGEOGCRS [“WGS 84”, DATUM [“World Geodetic System 1984”, ELLIPSOID [“WGS 84”,6378137,298.257223563, LENGTHUNIT[“metre”,1]], ID [“EPSG”,6326]]) [Бекмурзаева и др., 2024а].

Для картографирования террас применен комплексный подход, сочетающий ручной, полуавтоматический и автоматический методы. Критериями для дешифрирования террас служили: наличие выраженных бровок и подошв, характерные

выполненные площадки, регулярность и повторяемость форм, а также контекст расположения в пределах склона. Сравнительный анализ показал, что максимальная точность достигается при комбинировании полуавтоматического метода с предварительной ручной трассировкой контуров террас. При этом признается, что в условиях сложного горного рельефа возможны переходные и сложно интерпретируемые формы, а также вероятность включения в контуры некоторых природных выположенных участков.

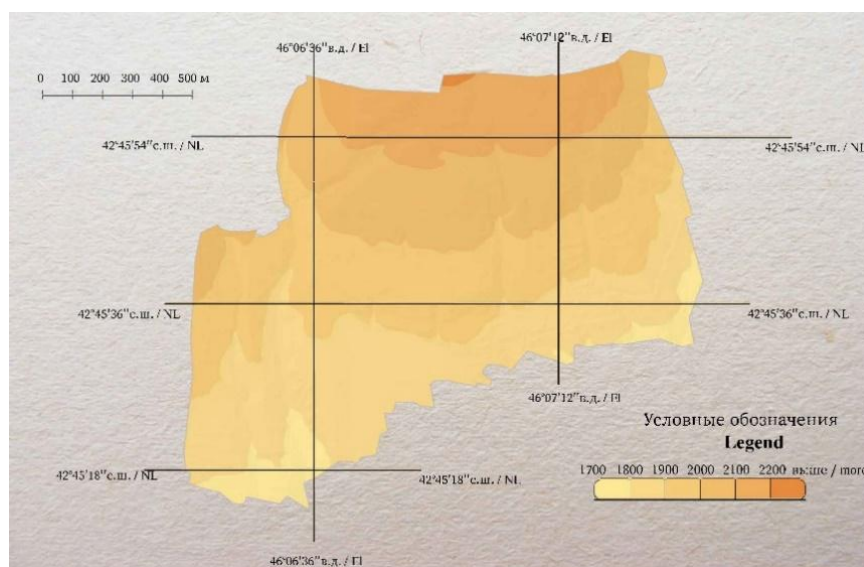
Результаты исследования

В результате проведенных исследований составлено распределение территории тестовых полигонов по высотным отметкам, что иллюстрируют таблица 1 и рисунок 3.

Таблица 1/ Table 1

**Распределение территории тестовых полигонов по высотным отметкам /
Distribution of test site territory by elevation marks**

Высота, метры/ Height, meters	Южный макросклон/ Southern macroslope		Северный макросклон/ Northern macroslope	
	га/ha	%	га/ha	%
1700-1750	0,7	0,4		
1750-1800	9,6	5,7		
1800-1850	22,1	13,1	0,4	0,2
1850-1900	27,2	16,0	17,0	10,1
1900-1950	22,8	13,5	35,3	21,0
1950-2000	24,4	14,4	37,5	22,3
2000-2050	20,7	12,2	36,9	22,0
2050-2100	18,5	10,9	25,8	15,4
2100-2150	14,3	8,4	14,7	8,8
2150-2200	9,2	5,4	0,3	0,2
Всего/ Total	169,4	100,0	168,0	100,0



а)

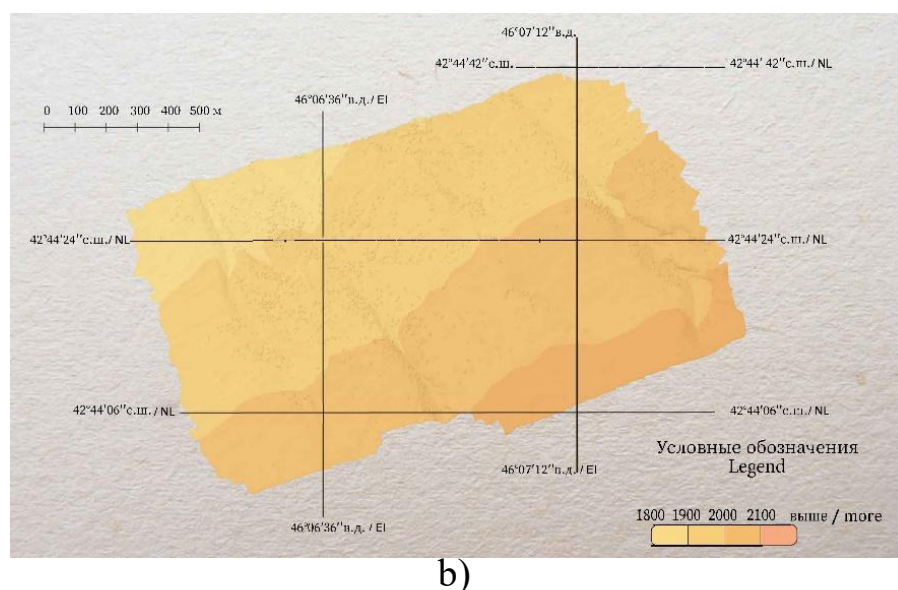


Рис. 3. Гипсометрическая карта южного (а) и северного (б) макросклонов
Макажойской котловины /

Fig. 3. Hypsometric map of the southern (a) and northern (b) macroslopes of the Makazhoy basin

Как видно из представленных данных, отмечается хорошо выраженная асимметрия с точки зрения распределения участков по высотным отметкам. Так, на южном макросклоне, где спектр высот почти на 100 м больше, чем на северном, основные территории приурочены к высотам 1800–2000 м. Что касается северного макросклона, то здесь на высоты 1900–2050 м приходится более 65 % территории, и при этом наиболее возвышенные участки получили более широкое распространение по сравнению с теми, которые занимают наиболее низкие гипсометрические уровни. Также хорошо заметно, что северный макросклон гораздо более пологий, чем южный, что хорошо иллюстрирует распределение территории по крутизне склонов.

Изменение крутизны на склонах тестовых полигонов Макажойской котловины иллюстрируют таблица 2 и рисунок 4.

Таблица 2/ Table 2

Распределение территории тестовых полигонов в зависимости от крутизны склонов
/ **Distribution of test site territory depending on slope steepness**

Уклон, градусы / Slope, degrees	Южный макросклон / Southern macroslope		Северный макросклон / Northern macroslope	
	км ² /km ²	%	км ² /km ²	%
0-5	4,2	2,5	8,0	4,7
5-10	11,2	6,6	34,1	20,3
10-15	17,0	10,0	49,0	29,2
15-20	23,3	13,8	35,7	21,3
20-30	46,5	27,4	31,5	18,8
30-45	56,4	33,3	8,6	5,1
45-66	10,3	6,1	0,9	0,5
66 и более/ and more	0,4	0,2	0,2	0,1
Всего/ Total	169,4	100,0	168,0	100,0

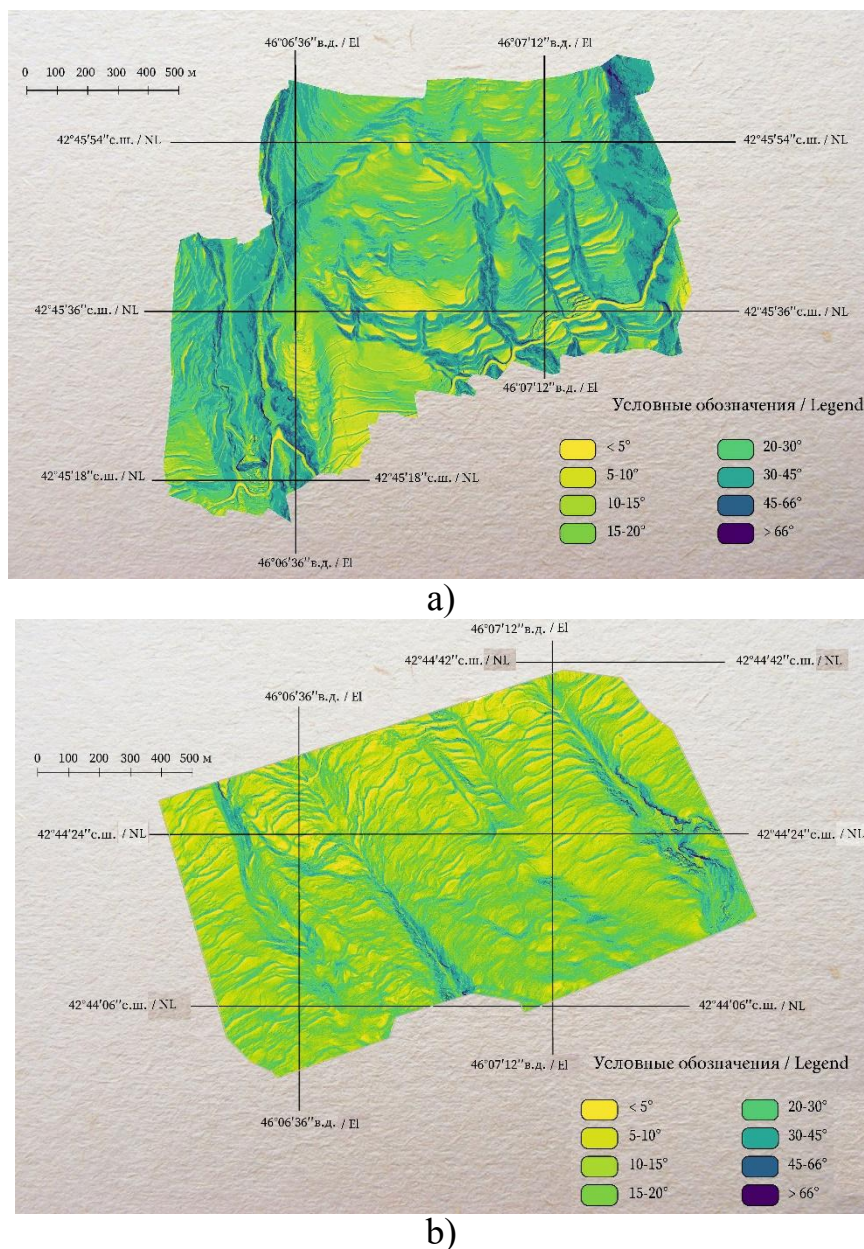


Рис. 4. Карта крутизны склонов южного и северного макросклонов Макажойской котловины:

а) участок южного макросклона, б) участок северного макросклона /

Fig. 4. Map of the steepness of the slopes of the southern and northern macroslopes of the Makazhoy basin: a) southern macroslope section, b) section of the northern macroslope

Проведенный анализ выявил существенные различия в распределении крутизны склонов на противоположных макросклонах котловины, что отражает их различную геоморфологическую историю и современную динамику. Для обоих склонов характерно минимальное распространение крайних значений крутизны: наиболее пологих (менее 5°) и наиболее крутых (более 45°) участков.

На северном макросклоне установлено доминирование склонов средней крутизны. Максимальные площади занимают участки с углами наклона $10\text{--}15^\circ$ (29,2 %), что свидетельствует о преобладании умеренно расчлененного рельефа. Значительное распространение имеют также склоны крутизной $15\text{--}20^\circ$ (21,3 %) и $5\text{--}10^\circ$ (20,3 %). Наблюдается четкая тенденция уменьшения площади склонов по мере увеличения

их крутизны, что характерно для территорий с относительно стабильными геоморфологическими процессами.

Напротив, южный макросклон характеризуется совершенно иным распределением крутизны. Здесь преобладают склоны значительной крутизны 30–45° (33,3 %), при этом отмечается положительная корреляция между величиной угла наклона и площадью распространения. Такое распределение указывает на активное протекание экзогенных процессов.

Установленные различия обусловлены аспектной дифференциацией инсоляционного режима. Интенсивная солнечная радиация на южном макросклоне активизирует процессы физического выветривания и денудации, что способствует формированию более крутых склонов. Здесь широко развиты эрозионные формы рельефа: овраги, промоины и абразионные врезы, которые характеризуются максимальными значениями крутизны. Кроме того, более активное протекание склоновых процессов способствует формированию осыпей и обвально-оползневых участков с большими углами наклона.

На северном макросклоне менее интенсивные инсоляционные процессы способствуют сохранению более пологих форм рельефа. Меньшая активность экзогенных процессов обеспечивает лучшую сохранность древних террасированных поверхностей, что имеет важное значение для организации регенеративного животноводства.

Выявленные особенности распределения крутизны склонов имеют фундаментальное значение для прогнозирования современных геоморфологических процессов и должны учитываться при планировании хозяйственного использования территории. Преобладание крутых склонов на южном макросклоне требует разработки специальных противоэрозионных мероприятий, в то время как северный макросклон более пригоден для организации пастбищного хозяйства.

Распределение склонов в зависимости от их экспозиции на тестовых полигонах Макажойской котловины иллюстрируют таблица 3 и рисунок 5.

Таблица 3 / Table 3

Распределение территории тестовых полигонов в зависимости от экспозиции склонов / Distribution of test site areas depending on slope exposure

Экспозиция / Exposition	Южный макросклон/ Southern macroslope		Северный макросклон/ Northern macroslope	
	га/ha	%	га/ha	%
Север	0,4	0,2	37,1	22,1
Северо-восток	2,6	1,5	10,2	6,1
Восток	24,1	14,2	2,2	1,3
Юго-восток	44,8	26,4	1,7	1,0
Юг	60	35,4	2,2	1,3
Юго-запад	25,3	14,9	5,7	3,4
Запад	11	6,5	24,7	14,7
Северо-запад	1,2	0,7	84,2	50,1
Всего/ Total	169,4	100,0	168,0	100,0

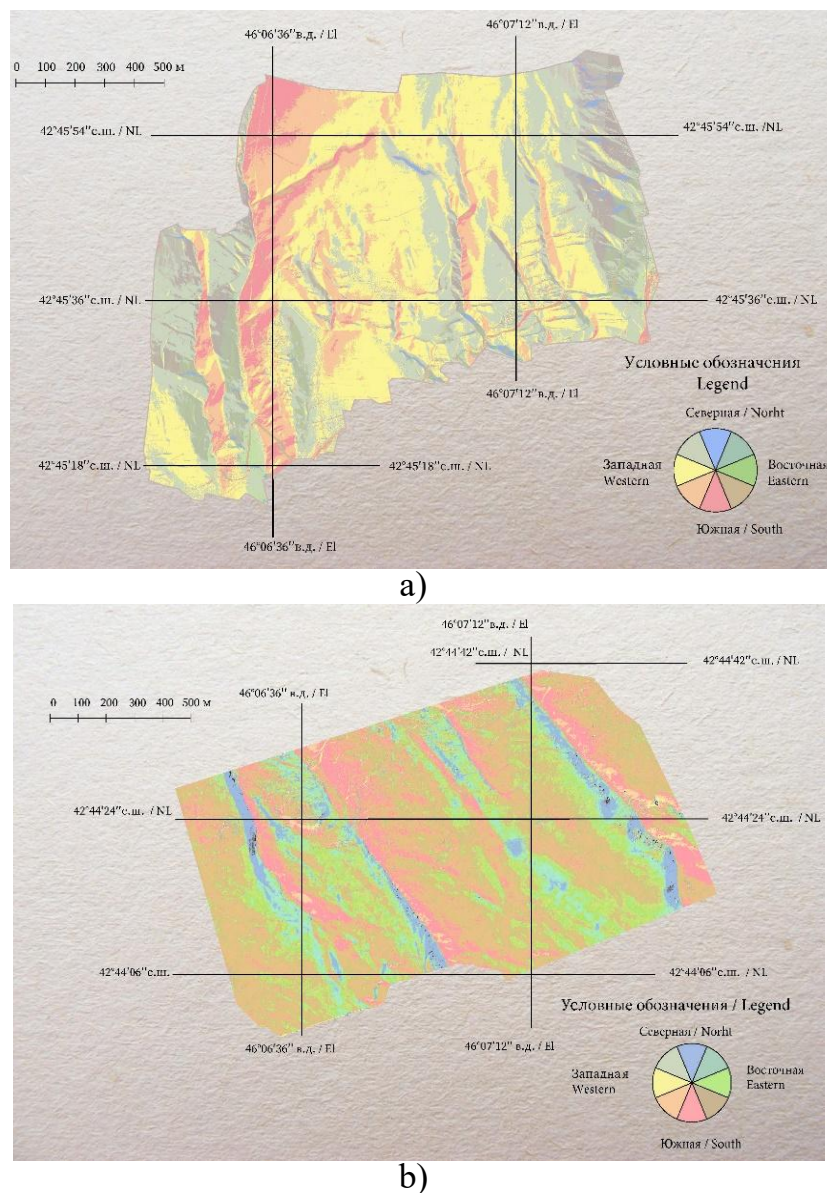


Рис. 5. Карта экспозиции склонов южного и северного макросклонов Макажойской котловины:
а) участок южного макросклона, б) участок северного макросклона /
Fig. 5. Map of the exposure of the slopes of the southern and northern macroslopes of the Makazhoy
basin: a) southern macroslope section, b) section of the northern macroslope

Анализ экспозиции склонов выявил контрастное распределение между тестовыми участками, аналогичное установленному для крутизны. На северном макросклоне, где расположен карбоновый полигон, абсолютно доминируют склоны северо-западной (50,1 %), северной (22,1 %) и западной (14,7 %) экспозиции, суммарно занимающие 86,9 % площади. В противоположность этому, на южном тестовом участке преобладают южная (35,4 %) и юго-восточная (26,4 %) экспозиции, составляющие в сумме более 60 % территории, при дополнительном вкладе юго-западных и восточных склонов (около 14 %). Таким образом, исследованные полигоны характеризуются противоположной ориентацией – северо-западной и юго-восточной соответственно.

На основе высокоточных цифровых моделей рельефа проведено картографирование исторических террасированных комплексов, созданных для интенсификации

сельскохозяйственного использования склонов. Террасы представляют собой антропогенно-модифицированные формы рельефа, где первоначальная крутизна склона была искусственно уменьшена путем сооружения подпорных стен, формирующих характерные выположенные участки, четко идентифицируемые по данным ЦМР.

Результаты выделения террас на основе ЦМР в пределах Макажойской котловины иллюстрирует рисунок 6.

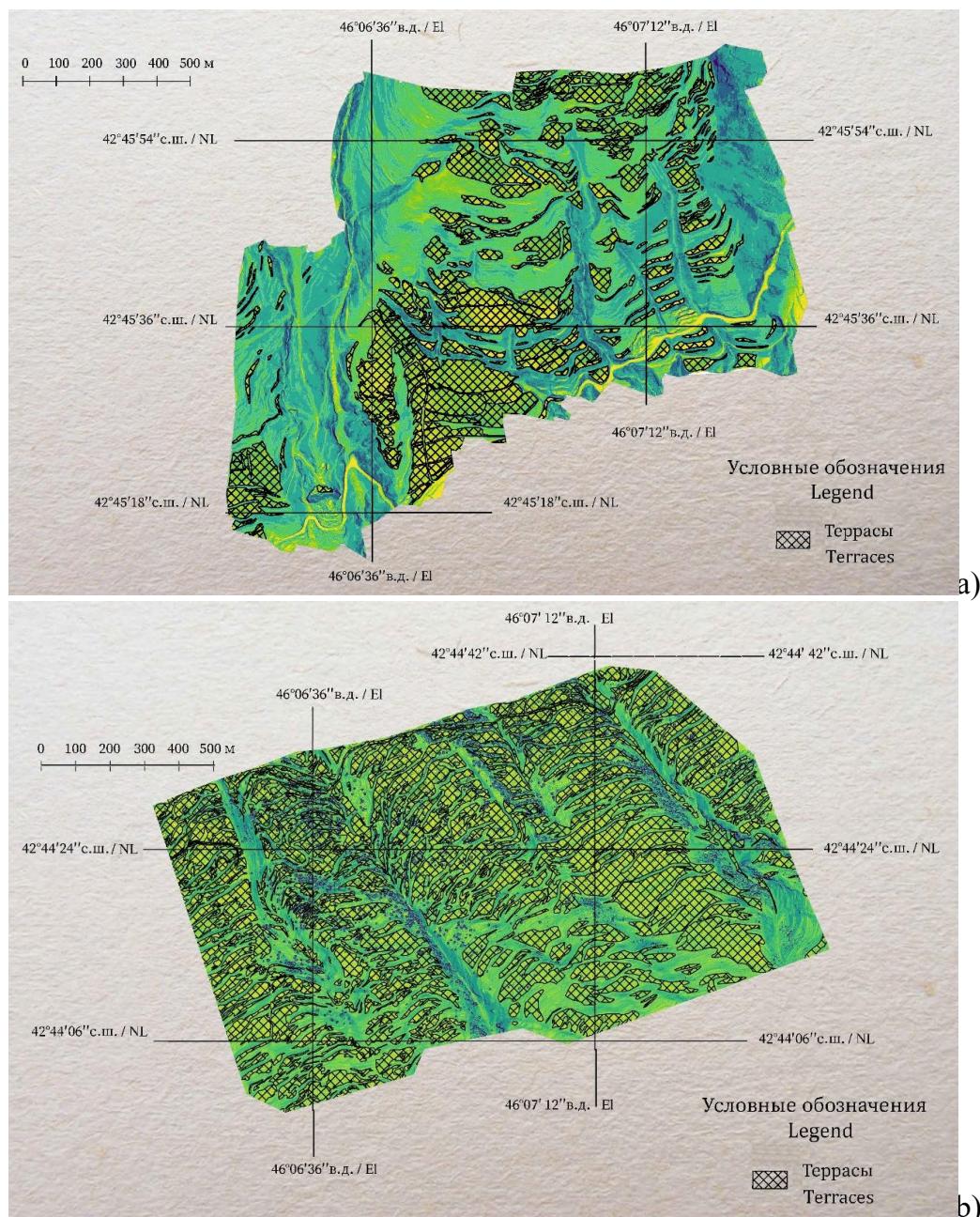


Рис. 6. Карта террас южного (а) и северного (б) макросклонов Макажойской котловины/
Fig. 6. Map of the terraces of the southern (a) and northern (b) macroslopes of the Makazhoy basin

Количественная оценка площадей террасирования выявила существенные различия между макросклонами. На южном макросклоне общей площадью 169,4 га террасированные участки занимают 44,1 га, что составляет 26 % территории. Напротив, на северном макросклоне, где расположен полигон регенеративного жи-

вотноводства ЧГУ им. А.А. Кадырова (общая площадь 168,0 га), террасы занимают 76,6 га или 46 % площади.

Пространственный анализ распределения террас показал их приуроченность к участкам с минимальными значениями крутизны. На северном макросклоне преобладают крупные целостные террасные массивы, сформированные для оптимизации сельскохозяйственного использования. На южном макросклоне наблюдается мозаичное распределение террас с преобладанием небольших фрагментированных участков, особенно в восточной части полигона. Такая пространственная организация свидетельствует о адаптивном характере террасирования, учитывающем локальные особенности рельефа.

Выводы

Проведенное исследование на основе высокодетальных ЦМР выявило существенные различия в морфометрии северного и южного макросклонов Макажойской котловины. Северный склон характеризуется как более пологий с доминированием участков крутизной 5–20°, в то время как для южного склона характерны большие углы наклона (преобладают участки крутизной 20–45°).

Установлено, что площадь террасированных участков на пологом северном макросклоне (46 %) почти в два раза превышает аналогичный показатель на крутом южном макросклоне (26 %). Это свидетельствует о том, что историческая практика террасирования была в значительной степени детерминирована морфометрическими параметрами склонов, прежде всего, их крутизной.

Пространственное распределение террасированных комплексов демонстрирует корреляцию с особенностями рельефа и, вероятно, с исторической антропогенной нагрузкой. Крупные террасные массивы на северном макросклоне могли способствовать его более интенсивному хозяйственному использованию, в то время как фрагментарность террас на южном макросклоне ограничивала такую возможность.

Полученные результаты подчеркивают высокую эффективность методов воздушного лазерного сканирования для изучения антропогенно-преобразованных горных ландшафтов и создают научную основу для планирования рационального природопользования с учетом исторического опыта и геоморфологических особенностей территории.

Литература

1. Абдулаева Х.А., Калимова А.Р., Синицына К.А. Земледельческие террасы в нагорном Дагестане. // Сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам». Вологда: Вологодская ГМХА, 2023. – С. 3–6.
2. Аличаев М.М., Казиев М.Р.А., Султанова М.Г. Террасное земледелие Дагестана – история и перспективы развития. // Горное сельское хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 25–28.
3. Бекмурзаева Р.Х., Баранов И.С., Скрыпицына Т.Н., Братков В.В., Булаева Н.М. Особенности микрорельефа карбонового полигона регенеративного животноводства ЧГУ им. А.А. Кадырова. // Мониторинг. Наука и технологии. – 2024а. – № 3(61). – С. 6–13.
4. Бекмурзаева Р.Х., Скрыпицына Т.Н., Братков В.В., Булаева Н.М. Морфометрические характеристики рельефа Макажойской котловины (Чеченская Республика). // Мониторинг. Наука и технологии. – 2024б. – № 1(59). – С. 47–54.
5. Горбунов А.С., Бевз В.Н., Быковская О.П. Использование геоморфометрического анализа цифровой модели рельефа для автоматизации ландшафтного картографирования. //

Материалы VII всероссийской научно-практической конференции «Геоинформационное картографирование в регионах России». Воронеж: Научная книга, 2015. – С. 15–20.

6. Грачева Р.Г., Идрисов И.А. Сельскохозяйственные террасные комплексы горных регионов: культурно-историческое наследие и неотъемлемый элемент ландшафта. // Вопросы географии. – 2021. – № 153. – С. 68–89.

7. Идрисов И.А., Гусейнова А.Ш. Геологическая роль земледельческих террас Восточного Кавказа. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2022. – № 3(90). – С. 39–46.

8. Ляпишев К.М., Погорелов А.В., Липилин Д.А. К вопросу дешифрирования оползней по данным спутниковых снимков. // Сборник научных трудов «Географические исследования Краснодарского края». Вып. 9. / Под общ. ред. А.В. Погорелова. – Краснодар: КГУ, 2015. – С. 329–333.

9. Мусаева А.Г. Развитие террасного земледелия в горах Дагестана в XIX–XX вв. // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2015. – № 3-1. – С. 183–185.

10. Нетребин П.Б. Морфометрический анализ рельефа Большого Кавказа: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.25 / Нетребин Петр Борисович. – Краснодар: КГУ, 2012. – 24 с.

11. Петров Л.А. Геологические и геоморфометрические факторы формирования ареалов земледельческих террас среднегорной Чечни. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 4. – С. 162–176. DOI: 10.46698/VNC.2023.72.33.013.

12. Пинской В.Н., Идрисов И.А., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Потапова А.В., Борисов А.В. Влияние экспозиции склона на химические и биологические свойства почв земледельческих террас Восточного Кавказа. // Аридные экосистемы. – 2022. – Т. 28. № 2(91). – С. 113–121.

13. Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани: Морфологический анализ. М.: ГЕОС, 2009. – 208 с.

14. Рябогина Н.Е., Идрисов И.А., Афонин А.С., Сергеев А.Ю., Борисов А.В. Первые данные о составе и возрасте карбонизированных макроостатков из древних земледельческих террас Северного Кавказа. // Сборник статей VI Всероссийской научной конференции «Динамика экосистем в голоцене». СПб.: РГПУ, 2022. – С. 461–465.

15. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. М.:–Смоленск: Изд-во Смоленского гуманитарного ун-та, 1998. – 272 с.

16. Симонов Ю.Г. Объяснительная морфометрия рельефа. М.: ГЕОС, 1999. – 251 с.

17. Скрыпицына Т.Н., Воротилов А.Г., Кочнева Д.А., Смирнов Е.А. Некоторые итоги комплексной экспедиции МИИГАиК в Чеченскую Республику. // ГЕОПРОФИ. – 2024. – № 2. – С. 10–17.

18. Шаев И.А., Пинской В.Н., Ельцов М.В., Борисов А.В. Земледельческие террасы в среднегорной зоне Большого Кавказа. // Региональные геосистемы. – 2024. – Т. 48. № 4. – С. 503–514.

19. Borisov A.V., Kashirskaya N.N., Eltsov M.V., Pinskoy V.N., Plekhanova L.N., Idrisov I.A. Soils of ancient agricultural terraces of the Eastern Caucasus. // Eurasian Soil Science. – 2021. – Vol. 54. No. 5. – pp. 665–679.

20. Wei Z., Wang M., Pham V.T. et al. Unmanned aerial vehicle and geospatial analysis in smart irrigation and crop monitoring on IoT platform. // Mobile Information Systems. – 2023. – Vol. 2023. – Art. No. 4213645. DOI: 10.1155/2023/42136454.

21. White C.T., Reckling W., Petrasova A. et al. Rapid-DEM: rapid topographic updates through satellite change detection and UAS data fusion. // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14. No. 7. – Art. No. 1718. DOI: 10.3390/rs14071718.

References

1. Abdulaeva H.A., Kalimova A.R., Sinitsyna K.A. Agricultural terraces in mountainous Dagestan. In: Proc. of the VIII All-Russian sc. conf. with international participation “Young

researchers in agriculture and forestry – to the regions.” Vologda. Vologda SDFA. 2023. pp. 3–6. (In Russ.)

2. Alichayev M.M., Kaziev M.R.A., Sultanova M.G. Terraced agriculture of Dagestan – history and prospects of development. *Mountain Agriculture*. 2022. No. 6. pp. 25–28. (In Russ.)

3. Bekmurzaeva R.Kh., Baranov I.S., Skrypitsyna T.N., Bratkov V.V., Bulaeva N.M. Features of the microrelief of the carbon landfill for regenerative animal husbandry of the Kadyrov Chechen State University. *Monitoring. Science and Technology*. 2024a. No. 3(61). pp. 6–13. (In Russ.)

4. Bekmurzaeva R.Kh., Skrypitsyna T.N., Bratkov V.V., Bulaeva N.M. Morphometric characteristics of the relief of the Makazhoy depression (Chechen Republic). *Monitoring. Science and Technology*. 2024b. No. 1(59). pp. 47–54. (In Russ.)

5. Gorbunov A.S., Bevz V.N., Bykovskaya O.P. Use of geomorphometric analysis of digital terrain models for automated landscape mapping. In: *Proc. of the VII All-Russian sc. conf. “Geoinformation Cartography in the Regions of Russia.” Voronezh. Scientific Book*. 2015. pp. 15–20. (In Russ.)

6. Gracheva R.G., Idrisov I.A. Agricultural terraces of mountain regions: cultural and historical heritage and an integral element of the landscape. *Problems of Geography*. 2021. No. 153. pp. 68–89. (In Russ.)

7. Idrisov I.A., Huseynova A.Sh. Geological role of agricultural terraces of the Eastern Caucasus. *Proceedings of the Institute of Geology of the DSC RAS*. 2022. No. 3(90). pp. 39–46. (In Russ.)

8. Lyapishev K.M., Pogorelov A.V., Lipilin D.A. On the issue of interpreting landslides based on satellite imagery. In: *Proc. Geographical studies of the Krasnodar Territory. Issue 9. Ed. A.V. Pogorelov. Krasnodar. KSU*, 2015. pp. 329–333. (In Russ.)

9. Musaeva A.G. The development of terrace farming in the mountains of Dagestan in the 19th and 20th centuries. *Humanities, Socio-Economic and Social Sciences*. 2015. No. 3-1. pp. 183–185.

10. Netrebin P.B. Morphometric analysis of the relief of the Greater Caucasus. The abstract of the dissertation of. Cand. geogr. sciences. 25.00.25. Krasnodar. KSU. 2012. 24 p. (In Russ.)

11. Petrov L.A. Geological and geomorphometric factors in the formation of agricultural terraced areas in mid-mountain Chechnya. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 4. pp. 162–176. DOI: 10.46698/VNC.2023.72.33.013. (In Russ.)

12. Pinskoy V.N., Kashirskaya N.N., Eltsov M.V., Potapova A.V., Borisov A.V., Idrisov I.A. Slope exposure and its effect on chemical and biological soil properties on agricultural terraces of the Eastern Caucasus. *Arid Ecosystems*. 2022. Vol. 12. No. 2. pp. 217–224. (In Russ.)

13. Pogorelov A.V., Dumit J.A. Relief of the Kuban River Basin: morphological analysis. Moscow. GEOS. 2009. 208 p. (In Russ.)

14. Ryabogina N.E., Idrisov I.A., Afonin A.S., Sergeev A.Yu., Borisov A.V. First data on the composition and age of carbonized macroremains from ancient agricultural terraces in the Northern Caucasus. In: *Proc. of VI All-Russian sc. conf. Ecosystem Dynamics in the Holocene. Saint Petersburg. RSPU*. 2022. pp. 461–465. (In Russ.)

15. Simonov Yu.G. Morphometric analysis of relief. Moscow–Smolensk. Smolensk Humanitarian University Press. 1998. 272 p. (In Russ.)

16. Simonov Yu.G. Explanatory morphometry of relief. Moscow. GEOS. 1999. 251 p. (In Russ.)

17. Skrypitsyna T.N., Vorotilov A.G., Kochneva D.A., Smirnov E.A. Some results of the comprehensive expedition of MIIGAiK to the Chechen Republic. *GEOPROFI*. 2024. No. 2. pp. 10–17. (In Russ.)

18. Shaev I.A., Pinskoy V.N., Eltsov M.V., Borisov A.V. Agricultural terraces in the mid-mountain zone of the Greater Caucasus. *Regional Geosystems*. 2024. Vol. 48. No. 4. pp. 503–514. (In Russ.)

19. Borisov A.V., Kashirskaya N.N., Eltsov M.V., Pinskoy V.N., Plekhanova L.N., Idrisov I.A. Soils of ancient agricultural terraces of the Eastern Caucasus. *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 5. pp. 665–679.

20. Wei Z., Wang M., Pham V.T. et al. Unmanned aerial vehicle and geospatial analysis in smart irrigation and crop monitoring on IoT platform. *Mobile Information Systems*. 2023. Vol. 2023. Art. No. 4213645. DOI: 10.1155/2023/42136454.

21. White C.T., Reckling W., Petrasova A. et al. Rapid-DEM: rapid topographic updates through satellite change detection and UAS data fusion. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. No. 7. Art. No. 1718. DOI: 10.3390/rs14071718.