

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОРНЫХ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТВЕТ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

УДК 911.52(470.6)

ДИНАМИКА ГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА И УСИЛЕНИИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2023 г. М. Н. Петрушина^{a, *}, А. Н. Гуня^{b, **}, Е. Ю. Колбовский^{a, b}, А. Ж. Пуреховский^b

^aМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^bИнститут географии РАН, Москва, Россия

*e-mail: mnpetrushina@mail.ru

**e-mail: a.n.gunya@igras.ru

Поступила в редакцию 19.02.2023 г.

После доработки 15.05.2023 г.

Принята к публикации 25.08.2023 г.

Представлены результаты анализа многолетних полевых исследований и разновременных данных дистанционного зондирования динамики ландшафтов в высокогорных районах Северного Кавказа. На основе обработки данных Landsat Analysis Ready Data за 2000–2020 гг. и геоинформационного моделирования установлены площадные изменения нивально-гляциальных и горно-лесных ландшафтов. Отмечено сокращение площади снежно-ледниковых комплексов (в среднем на 20.6%) с наибольшим уменьшением на Восточном Кавказе (75.2%) и наименьшим на Центральном Кавказе (13.4%). Повторные комплексные описания на ключевых участках подтвердили установленные изменения, а также подъем границы горно-луговых ландшафтов и усложнение их пространственной структуры в перигляциальной зоне в результате климатических флуктуаций. Разнонаправленные тенденции динамики горно-лесных ландшафтов проявляются в ухудшении состояния, в том числе усыхании темнохвойных лесов и сокращении их площади на Западном Кавказе (бассейн р. Теберды), в подъеме границы и увеличении ареала светлохвойных лесов на Восточном Кавказе (Макажойская котловина), преимущественно за счет ослабления антропогенного воздействия. На Центральном Кавказе (Приэльбрусье) отмечено некоторое расширение лесов у верхней границы лесной зоны вдоль днщ речных долин и эрозионных форм, местами на склонах южных румбов, сокращение — в районах схода крупных лавин и селевых потоков, в том числе в результате прорыва приледниковых озер. Метахронность проявления экзогенных процессов и их пространственная неоднородность обусловили усложнение ландшафтной структуры зон их воздействия за счет сочетания элементарных ландшафтов, находящихся на разных стадиях своего развития. Усиление рекреационного воздействия на среднегорные и высокогорные ландшафты Западного и Центрального Кавказа привели к изменению пространственной структуры ландшафтов, особенно горно-лесных и субальпийских луговых, увеличению в них доли антропогенных комплексов, снижению биоразнообразия в наиболее ценных ландшафтах на территориях с охранным статусом.

Ключевые слова: Северный Кавказ, нивально-гляциальные ландшафты, горно-лесные ландшафты, пространственная структура ландшафтов, динамика ландшафтов, климатические изменения, восстановительные сукцессии, рекреационное воздействие

DOI: 10.31857/S2587556623070130, EDN: HEIVJL

ВВЕДЕНИЕ

Горные территории представляют особый интерес для исследования динамики ландшафтов и их компонентов в условиях современных климатических и антропогенных изменений, так как отличаются высокой гравитационной энергией, повышенными гидротермическими градиентами, значительной расчлененностью рельефа и активностью процессов экзогенной геодинамики, в том числе катастрофических. В целом общепринято, что горным ландшафтам свойственна пони-

женная устойчивость к внешним воздействиям (Global ..., 2005; Mountains ..., 2009).

Горы Северного Кавказа (несмотря на относительно небольшую занимаемую ими долю от площади горных территорий России) характеризуются широким спектром природных ресурсов, высоким биологическим и ландшафтным разнообразием, богатым историческим и культурным наследием и относятся к одному из наиболее популярных рекреационных регионов страны. Следствием социально-экономических преобразований в Рос-

сии в 1990-е годы в регионе стали структурные изменения в землепользовании, проявившиеся в тенденциях трансформации пространственного распределения воздействия человека на горные ландшафты и их компоненты (Баденков и др., 2012; Виноградова и др., 2015; Гуня и др., 2014).

В одних местах, связанных главным образом с заброшенными горными селениями и примыкающими к ним ландшафтно-хозяйственными ареалами, наблюдается снятие антропогенной нагрузки и преобладание экореабилитационных процессов. В других — наиболее интенсивно в последние годы развивается туристский сектор; целый ряд привлекательных горных районов, в том числе в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ), получили статус туристско-рекреационных кластеров и всесезонных курортов. Это относится как к традиционно популярным курортам, так и вновь создаваемым. В Приэльбрусье в настоящее время на ограниченной площади построены гостиницы и другие средства размещения общей (единовременной) емкостью до 25 тыс. человек и планируется создание новых объектов, что уже создает и будет создавать в ближайшем будущем высокую нагрузку на ландшафты. В 2022 г. Приэльбрусье посетили 560 тыс. туристов и в соответствии с планами развития к 2025 г. их количество должно возрасти до 1 млн человек. В Домбае одновременное число отдыхающих в гостиницах составит 4.5 тыс., что почти в 4 раза больше, чем было в конце 1980-х годов. Для снятия законодательно установленных природоохранных ограничений проводится политика снижения статуса ООПТ, в частности в 2021 г. Тебердинский биосферный заповедник был преобразован в национальный парк (НП), а НП “Алания” в “заповедное место” с “сохранением среды обитания и традиционного образа жизни коренных малочисленных народов” в качестве предмета охраны.

Рост рекреационной нагрузки происходит на фоне глобальных климатических изменений, сказывающихся в первую очередь на активности стихийных природных процессов (снежных лавин, селей, обвалов и осыпей), которые, с одной стороны, провоцируются новыми процессами освоения (в том числе рекреационного), а с другой — увеличивают риск попадания существующих населенных пунктов и объектов инфраструктуры (дорог, газопроводов, электромагистралей и др.) в зоны их воздействия.

Одним из результатов и индикаторов сложной совокупности взаимосвязанных природных и антропогенных процессов является динамика ландшафтов, которая достаточно редко выступает предметом специального изучения.

Цель данного исследования — охарактеризовать особенности современной динамики горных

ландшафтов Северного Кавказа в условиях климатических и антропогенных изменений за последние два десятилетия нового века. Достижение данной цели предполагало решение следующих задач:

- 1) интерпретация и обобщение результатов повторных полевых описаний, проведенных на ключевых участках за последние 25 лет;
- 2) выявление направленности и масштабов изменений нивально-гляциальных и горно-лесных ландшафтов;
- 3) оценка размеров сокращения площади снежно-ледниковых комплексов;
- 4) определение влияния современных экзогенных процессов на изменение структуры и динамики ландшафтов;
- 5) характеристика состояния и динамики верхней границы леса;
- 6) характеристика последствий усиливающегося рекреационного воздействия на среднегорные и высокогорные ландшафты Западного и Центрального Кавказа.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сложность горных ландшафтов как объекта исследования обусловлена их полиструктурной организацией, метасинхронностью проявления различных оказывающих на них влияние природных процессов, а также неоднозначностью ответной реакции. Все эти обстоятельства в совокупности затрудняют применение к ним единых подходов и универсальных методов (Resler et al., 2020; Turner et al., 2021). Большинство публикаций по Северному Кавказу и горам в целом посвящено изучению отдельных процессов и компонентов природной среды (ледников, растительного покрова, отдельных стихийных процессов и др.). Прогресс в области изучения динамики отдельных процессов тесно связан с развитием технологий, приводящих к появлению и накоплению данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе так называемых “покрытий”, отражающих виды землепользования, характер сохранившихся природных и культурных ландшафтов, а также их трансформацию — LandUse LandCover Change (LULCC) (Remote ..., 2012). Сравнение карт динамики земельного покрова за разные годы дает возможность определять типы и локализацию переходов от одних видов землепользования к другим (например, от пашен к пастбищам), а также выявлять трансформацию природных ландшафтов (например, смену высокогорных лугов березовым криволесьем). Данные земельно-ландшафтного покрова представляют собой классифицированные растры глобального масштаба, верификация которых требует локализации и проверки в границах конкретного региона, как с помощью тематических, спе-

циальных карт (лесоустроительных, землеустроительных) и других данных дистанционного зондирования (как правило, более высокого пространственного разрешения), так и в результате полевых исследований. При этом особый интерес представляет возможность привязки классов пикселей к операционно-территориальным единицам ландшафтной структуры, что в итоге повышает эффективность и надежность оценки выявляемых по снимкам изменений. Таким образом, накопление данных по динамике земельно-ландшафтного покрова в горах способствовало оценке интегрального “отклика” на внешние воздействия и изменившиеся условия среды в рамках ландшафтных систем.

Динамике ландшафтов традиционно уделялось большое внимание в классическом варианте советского (а затем — российского) ландшафтоведения (Беручашвили, 1986; Дьяконов, Пузаченко, 2004; Исаченко, 1991; Крауклис, 1979; Сочава, 1978), тем не менее, до сих пор нет единого подхода к трактовке этого понятия. В данном исследовании динамика ландшафтов понимается как совокупность изменений, лежащих в основе воспроизводства инвариантов морфологической плановой и вертикальной структуры ландшафта, и как отражение направленных (в том числе сукцессионных, восстановительных и реабилитационных) смен природных комплексов (Авессаломова и др., 2004; Мамай, 1992). Изучение динамики горных ландшафтов с этих позиций предполагает:

а) выявление и интерпретацию изменений границ между различными ландшафтами и их морфологическими единицами;

б) определение трансформации вертикальной структуры ландшафтов;

в) фиксацию изменений в хроноорганизации, прежде всего во внутригодовом и среднемноголетнем режиме функционирования ландшафтов.

При этом необходимо учитывать, что многие динамичные изменения — сход лавин и селей, развитие обвально-осыпных склонов, уничтожение и возобновление леса в лавинных прочесах и осыпных лотках, трансформация биоты вдоль экотона верхней границы леса — в целом характерны для горных ландшафтов, и их можно воспринимать как “нормальные”.

Большинство публикаций по Северному Кавказу посвящено ландшафтам и динамике их компонентов отдельных районов, часто — конкретных бассейнов, горных котловин и ущелий, при этом отмечается недостаток обобщающих работ по региону (Братков и др., 2014; Гуня и др., 2014; Заурбеков, 2012; Пуреховский и др., 2022). Мало исследований, в которых изучаются межкомпонентные связи, определяющие устойчивость и динамику горных ландшафтов (Коломыц, 1985; Хорошев, 1997). Интересны в этом отношении

труды по моделированию высокогорных экосистем и составлению прогнозов их изменения до 2100 г. в соответствии с глобальными климатическими сценариями (Залиханов и др., 2010).

Изучение LULCC в горах добавляет к этой картине характеристику трансформации всей мозаики земельно-ландшафтного покрова как интегрального покрытия, поскольку дает возможность фиксировать появление и исчезновение, изменение размеров и конфигурации различных видов землепользования, а также фрагментов культурных и природных ландшафтов (Ewane, 2020; Ewane and Lee, 2020).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными материалами для выявления динамики ландшафтов разного иерархического уровня стали результаты многолетних полевых исследований авторов, в том числе составленные на выбранные районы ландшафтные карты и схемы разного масштаба (1 : 100000, 1 : 25000, 1 : 10000), характеризующие исходную ландшафтную структуру. На основе использования разновременных данных ДДЗ — фотопланов (для бассейна р. Баксан) и космических снимков (LANDSAT, World View-1) — были выбраны ключевые участки для проведения повторных комплексных описаний. Дополнительным материалом для анализа послужили разновременные наземные фотографии, охватывающие одну и ту же визуальную сцену и позволяющие наглядно отображать различные изменения в активности склоновых процессов, землепользовании и состоянии биоты горных ландшафтов (Шиятов и др., 2014).

Основной акцент в полевых описаниях делался на структуре и состоянии растительности, как наиболее физиономичного природного компонента с наименьшим характерным временем развития. Исследовались ландшафты ареалов влияния стихийных природных процессов (снежных лавин и селей, осыпей и оползней) и антропогенного воздействия (в первую очередь рекреационного и пасторального), а также соседние фоновые ландшафты. Периодически наблюдения велись в пределах неустойчивых ландшафтных экотонов — у верхней границы лесной зоны (в переходной полосе к субальпийским лугам и кустарникам), в перигляциальной зоне вблизи ледников, а также на границах горно-степной, субальпийской и альпийской горно-луговых зон. Перечисленные экотональные рубежи являются индикаторами общей динамики ландшафтов на фоне меняющегося климата, трансформации земле- и ресурсопользования, однако разделить проявления климатогенной (флуктуации режима тепла и влаги) и антропогенной (снятие, возобновление и изменение характера хозяйственного пресса) динамики сложно.

Основными показателями динамики выбраны характеристики морфологической и вертикальной структуры природных комплексов. Первая определяется сочетанием элементарных ландшафтов и микроландшафтов в пределах ландшафтов, характером их границ и занимаемой площадью, вторая — составом компонентов ландшафтов и связями между ними. Известно, что изменение структуры горных ландшафтов может проявляться как в изменении их конфигурации (границ и размеров), так и в трансформации структуры (главным образом биоты) без существенных изменений их формы.

При этом ответ на климатические изменения и направленность трансформации ландшафтов может диаметрально отличаться на микро- и мезомасштабном уровнях. Для природных комплексов низкого иерархического уровня (элементарных ландшафтов, микроландшафтов) многие изменения, особенно вызванные антропогенным воздействием, часто приобретают необратимый характер.

Для анализа изменения конфигурации нивально-гляциальных и лесных ландшафтов использовались тематические продукты, созданные на основе последовательно обработанных данных Landsat Analysis Ready Data лаборатории Global Land Analysis and Discovery Университета Мэриленда за период с 2000 по 2020 г. и алгоритмы геоинформационного моделирования выявления границ основных типов ландшафтов (Potapov et al., 2020; Пуреховский и др., 2022).

Региональные исследования были дополнены данными по ключевым участкам, в качестве которых выбраны типичные среднегорные и высокогорные ландшафты на Западном, Центральном и Восточном Кавказе: верховья р. Теберда (Западный Кавказ) и р. Баксан (Центральный Кавказ), Макажойская котловина (Восточный Кавказ). Ключевые участки находятся в границах ООПТ: национальные парки Тебердинский и Приэльбрусье, Аргунский историко-архитектурный природный музей-заповедник. Они характеризуются высоким уровнем востребованности в туристско-рекреационной сфере: первые два — популярнейшие в России горнолыжные курорты, третий начинает активно осваиваться туристами и соседствует с горным курортом Ведучи.

Верхние части бассейнов рр. Теберда и Баксан расположены в пределах высокогорных Главного и Бокового хребтов Большого Кавказа, сложенных древними кристаллическими породами (за исключением вулканического массива Эльбрус). Для них характерны крутые склоны, сильная расчлененность, развитие современных нивальных и наличие палеогляциальных форм рельефа, а также — выраженная высотная поясность с преобладанием нивально-гляциальных, горно-луговых и горно-лесных ландшафтов.

Особенность бассейна р. Баксан — большая контрастность ландшафтной структуры за счет развития субальпийских остепненных луговых, лугово-степных кустарниковых ландшафтов на склонах южной экспозиции, сосновых и сосново-березовых лесных ландшафтов на склонах северной экспозиции в отличие от пихтово-еловых и буково-еловых лесных ландшафтов Западного Кавказа.

Ключевой район Макажойской среднегорной котловины и окружающих ее хребтов, сложенных верхнемеловыми и палеогеновыми осадочными породами, приурочен к склону северной экспозиции на высотах от 1900 до 2600 м, где распространены лесные мелколиственно-хвойные и субальпийские луговые, частично остепненные ландшафты. При этом часть луговых ландшафтов сформировалась на месте лесных в результате длительного (до 40-х годов XX в.) использования под террасное земледелие, а впоследствии — под выпас скота и частично под сенокосы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климатогенные изменения высокогорных ландшафтов

На основе анализа данных ДДЗ и полевых исследований выявлено, что современные изменения климата проявляются наиболее наглядно в деградации оледенения, активизации экзогенных процессов и изменении состояния растительного покрова, прежде всего вдоль верхней границы леса, что отражается на динамике горных ландшафтов.

С середины 1980-х годов, и особенно в последние годы, на Большом Кавказе отмечается значимый тренд роста среднегодовых температур, преимущественно за счет летних: повышение летней температуры воздуха в высокогорных районах в период 1980–2015 гг. составляло 0.3–0.4°C/10 лет, в среднегорьях 0.5–0.6°C/10 лет (Тогоров et al., 2019), однако с флуктуациями в разные периоды. В высокогорной зоне на Центральном Кавказе период с 1985 по 2005 г. характеризовался некоторым снижением температуры, но начиная с 2006 г. все сезонные аномалии температуры стали положительными (Корчагина, 2020), и этот тренд сохраняется по настоящее время. На Западном Кавказе отмечен рост средней и экстремальной температуры воздуха с мая по август, а также увеличение суточной и месячной амплитуды. На Восточном Кавказе наблюдается статистически значимый рост температуры воздуха.

При незначительном увеличении количества осадков весной и осенью летние осадки уменьшаются на большей части Северного Кавказа, за исключением некоторых метеостанций Восточного Кавказа, где зафиксирован значимый рост месяч-

Таблица 1. Изменение площади снежников и ледников в нивально-гляциальных ландшафтах в регионах Северного Кавказа (сравнение разновременных снимков в ГИС)

Регион	Снежники и ледники, км ²		Сокращение за 20 лет, км ² /%
	2000 г.	2020 г.	
Кабардино-Балкарская Республика	508.22	440.42	67.8/13.36
Карачаево-Черкесская Республика	246.60	191.79	54.81/22.23
Краснодарский край	15.23	6.87	8.36/54.89
Республика Адыгея	6.17	3.07	3.1/49.75
Республика Дагестан	31.88	10.19	21.69/68.04
Республика Ингушетия	4.51	1.12	3.39/75.17
Республика Северная Осетия-Алания	187.06	145.35	41.71/25.5
Чеченская Республика	17.42	8.77	8.65/49.65
Все	1017.09	807.58	209.51/20.6

ных сумм осадков и среднесуточной интенсивности в июле (Корчагина, 2020).

В распределении осадков наблюдается неравномерность в их межгодовом, межсезонном и внутримесячном режимах, что приводит к появлению отдельных “влажных” сезонов и экстремальных декад с ливневыми осадками и снегопадами, которые являются предпосылками для активизации процессов экзогенной геодинамики: лавин и селей, обвалов и осыпей, ротационных оползней и оползней отседания. Например, с 30 августа по 1 сентября 2017 г. в долине Адылсу выпало 145 мм осадков, что стало причиной прорыва оз. Башкара и формирования мощного селевого паводка с общим объемом выноса около 500 тыс. м³ (Черноморец и др., 2018). Отмечается также смещение максимума твердых осадков с декабря–января на март–апрель, с чем связан сход в этот период лавин из влажного и мокрого снега (Олейников, Володичева, 2019), а также установление неблагоприятного тепло-влажного режима для прикорневых частей и корней деревьев на залесенных склонах, что способствует поражению древостоя прикорневой губкой и ржавчинным раком хвойных.

Наиболее заметны изменения в гляциально-нивальных и перигляциальных луговых ландшафтах, связанные с отступанием фронтальных выводных частей ледников, происходящие на Северном Кавказе практически повсеместно, хотя и с разной скоростью. Так, анализ космических снимков показывает, что за два десятилетия (с 2000 по 2020 г.) площадь ледников и снежников в нивально-гляциальных ландшафтах Северного Кавказа сократилось на 209.51 км² или в 1.26 раза (табл. 1).

При этом минимально площадь ледников и снежников уменьшилась на Центральном Кавказе с их наибольшим развитием (Кабардино-Балкария —

13.36%, Северная Осетия-Алания — 25.5%), больше — на Западном Кавказе (Карачаево-Черкесия — 22.23%, Адыгея — 49.75%) и максимально на Восточном Кавказе (Дагестан — 68.04%, Ингушетия — 75.17%).

Тенденции сокращения ледников в целом согласуются с данными гляциологических исследований (Лурье и др., 2019; Tielidze and Wheate, 2018). При этом темпы сокращения возрастают у большинства ледников в последнее десятилетие, например, на массиве Эльбрус за период с 2015 по 2020 г. в 5 раз (Ледники ..., 2020). Заметно ускорилось и отступление выводной части ледника Алибек, дающего начало одноименному притоку р. Теберда (рис. 1); с 2000 по 2015 г. он отступал в среднем на 14.5 м в год, что в 6 раз выше, чем в 1966–2000 гг. (Онищенко и др., 2016).

Экзогенные процессы и перестройка морфолитогенной основы и структуры высокогорных ландшафтов

С деградацией ледников связана активизация экзогенных процессов и значительная перестройка морфолитогенной основы ландшафтов перигляциальной зоны: идет формирование новых моренных гряд и флювиогляциальных полей, которые, в свою очередь, служат местообитаниями для развития пионерных группировок на примитивных почвах с участием отдельных видов трав (*Senecio sosnovskyi* Sov., *Cerastium undulatifolium* Somm. et Levier, *Veronica minuta* C.A. Mey и др.). Наблюдается также продвижение вверх по днищу долин и увеличение густоты типичных для субальпийского пояса кустарников (*Juniperus communis* L., *Salix* sp.), подроста березы (*Betula* sp.), и даже появление среди луговой растительности вблизи ледников единичных экземпляров пихты (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach) (ледник Алибек) и сосны (*Pinus hamata* (Steven)) (ледник Джанкуат).



Рис. 1. Ледник Алибек в 2012 г. (а) и 2022 г. (б) (фотографии А.Н. Гуни), ледник Джанкуат в 1985 г. (фото-теодолитный снимок Е.А. Золотарева) (в) и в июле 2016 г. (г), заросли ивы и подрост березы в перигляциальной зоне ледника Джанкуат (2016 г.) (д) (все фотографии — М.Н. Петрушиной).

Соответственно отмечается постепенное повышение границ субнивальных ландшафтов: со скоростью до 10–15 м за 10 лет в долине р. Адылсу, Б. Азау (бассейн р. Баксан) и даже более активно — в долине р. Алибек (бассейн р. Теберды). За счет продвижения вверх кустарников и березы вблизи ледников сужаются субнивный и альпийский пояса.

На отложениях поверхностной морены некоторых ледников формируются редкие “надледниковые” природные комплексы, (например, с сосново-березовым подростом на леднике Шхельда в бассейне р. Адылсу) (Алейникова, Петрушина, 2011), которые в последние годы местами разрушаются в результате быстрой деградации концевой части ледника. В результате активности экзогенных процессов меняется также конфигурация элементарных ландшафтов флювиогляциальных полей и разновозрастных моренных гряд.

Сокращение оледенения сопровождается возникновением, ростом и периодическими прорывами приледниковых озер, с чем связан сход крупных гляциальных селей (Черноморец и др., 2018).

Образование мощного селевого паводка в результате прорыва оз. Башкара в верховьях р. Адылсу в 2017 г. привело к изменению структуры и размера ландшафтов долины во всех высотных поясах — от субнивного до лугово-степного. В долине реки сформировалось несколько зон, различающихся направленностью трансформации ландшафтов, обусловленной преобладанием либо процессов накопления отложений (шириной до 150–200 м), либо, напротив, — эрозионных и склоновых процессов (рис. 2).

Наибольшие изменения были отмечены в микроландшафтах пойм и террас, в том числе и р. Баксан, с разновозрастными сосновыми, березовыми и облепихово-ивово-березовыми лесами. Часть из них была уничтожена полностью, у других сократилась площадь, у третьих изменилась вертикальная структура за счет перекрытия травостоя и почв новыми отложениями. В зоне воздействия оказались также нижние части осыпных и лавинных конусов выноса до высоты 12–15 м над руслом реки, на которых произрастали березовые и березово-сосновые леса, кустарниковые луговые степи (см. рис. 2). Было уничтожено более 300 стволов берез и сосен (возраст отдельных из них достигал 250 лет), основная часть которых оказалась вынесенной потоком в приустьевую часть и на пойму р. Баксан (см. рис. 2). В результате размыва основания склонов, сложенных отложениями разного генезиса, в русло реки попали значительные объемы дополнительного обломочного материала, что привело к перестройке микроландшафтов поймы ниже по течению. В следующем 2018 г. изменилась конфигурация и сократилась площадь долинных лесных ланд-



Рис. 2. Изменение ландшафтов в долине р. Адылсу после прорыва оз. Башкара: оз. Башкара в 2016 г. (а) и 2018 г. (б); лесные ландшафты в долине в 2016 г. (в) и 2018 г. (г) (все фото сделаны в июле); конусы выноса с кустарниковыми степями в зоне денудации, разрушаемые размывом и возникновением фстончатых осыпей (д), стволы сосен на скелетной пойме в долине р. Баксан (е). Фотографии М.Н. Петрушиной.

шафтов вдоль русла р. Баксан вследствие воздействия мощного паводка, сформировавшегося после сильных ливней в начале июля. В том же году в результате схода небольших селей по притокам р. Баксан (ниже поляны Иткол, пос. Эльбрус) отмечена перестройка ландшафтной структуры их конусов выноса.

В бассейне р. Баксан активность экзогенных процессов выше по сравнению с бассейном р. Те-

берда. За последние два десятилетия крупные селевые потоки здесь отмечались в 1998, 2002, 2006, 2008, 2011, 2012, 2017, 2021 гг., снежные лавины — в 2001/02, 2002/03, 2004/05, 2006/07, 2010, 2018, 2021 гг. Это обусловило динамичность пространственной структуры ландшафтов долин и конусов. Селевые потоки чаще изменяют морфолито-генную основу ландшафтов, что ведет к смене природных комплексов локального уровня, их



Рис. 3. Изменение ландшафтов после схода мокрых лавин в 2018 г. с южного склона в районе поляны Иткол (а) и северного склона напротив пос. Тегенекли (б) в бассейне р. Баксан. Фотографии М.Н. Петрушиной.

вертикальной структуры и границ. Селевые конусы обычно представляют систему разновозрастных микроландшафтов и элементарных ландшафтов, находящихся на разных стадиях своего развития (Петрушина, 2013). Сход лавин в большей степени сказывается в нарушении растительного покрова, но в местах с частым воздействием может наблюдаться смена микроландшафтов и элементарных ландшафтов на зональном уровне, например, появление субальпийских луговых в лесных ландшафтах.

В начале XXI в. в бассейнах рр. Баксан и Теберда сходили сели и снежные лавины в местах, где их не было в течение 50–60 лет или они не наблюдались никогда. В результате воздействия только одной лавины с массива Чегет-Кара в 2004/05 г. в долине р. Адылсу на площади 12,4 га был уничтожен средневозрастной березово-сосновый лес, в котором сохранялись отдельные перестойные (250 лет) экземпляры (Петрушина и др., 2007). Также отмечался сход селей и лавин в один год по единым руслам, что усложняло пространственную структуру ландшафтов конусов выноса и нарушало некоторые закономерности, присущие типично селевым и лавинным комплексам.

Изменение климатических условий на всем Северном Кавказе в сторону смещения максимума твердых осадков на март–апрель вызывает сход лавин в этот период (что было не совсем типично для предыдущих десятилетий) и залеживание отдельных снежников до июля–августа – феномен, запускающий целую цепочку изменений в структуре и функционировании природных комплексов. Так, в августе 2018 г. снежники сохранились даже вдоль южного склона массива Иткол на высоте 1800 м, соседствуя с луговым травостоем, находящимся в разных фазах вегетации (рис. 3). В результате схода в том же году мартовской лавины

с северного склона напротив пос. Тегенекли были уничтожены участки березовых и сосновых лесов с экземплярами сосны возрастом около 100 лет (см. рис. 3). Также были отмечены нарушения в функционировании всех микроландшафтов зоны ее воздействия.

Наибольшие изменения пространственной структуры ландшафтов в результате действия лавин разного объема и типа зафиксированы в верхней части бассейна р. Баксан (между пос. Терскол и поляной Азау), где крупные разновозрастные лавинные и селево-лавинные конусы протянулись вдоль северного склона массива Чегет и небольшие вдоль южного склона массива Терскол (рис. 4). Периодически воздействию лавин подвергается и днище долины.

Основные изменения ландшафтов в этом районе были отмечены в 60–80-е годы прошлого века, когда из-за схода катастрофических лавин площадь сосновых и сосново-березовых лесов в пределах днища долины и частично на конусах сократилась в 6 раз. После лавин начала XXI в. ареал леса уменьшился еще на 9 га (включая ценный сосновый древостой возрастом 200–330 лет). В 2021 г. здесь была уничтожена часть оставшегося между конусами старого березового леса и отдельные сосны, сохранявшиеся на дне долины после предыдущих воздействий.

В лесных долинных ландшафтах с остатками старых сосняков отмечено ухудшение их состояния за счет фрагментации, уменьшения сомкнутости крон, сокращения в напочвенном покрове доли лесных видов и увеличения числа вторичных и сорных видов. Возобновление надежного соснового подроста наблюдается в краевых частях зон воздействия лавин, в том числе после схода крупной лавины зимы 2001/2002 гг. Массово подрост в днище долины стал появляться с



Рис. 4. Изменение ландшафтов в бассейне р. Баксан между пос. Терскोल и поляной Азау: 2007 г. (а) и 2021 г. (б). Красным обозначена территория стоянки. Фотографии М.Н. Петрушиной.

2010-х годов, что вероятно связано не только с уменьшением схода крупных лавин, но и с сокращением выпаса скота.

В целом под влиянием схода лавин морфологическая структура ландшафтов дна долины стала более мозаичной за счет сочетания находящихся на разных стадиях восстановительных сукцессий элементарных ландшафтов (субальпийских луговых, березово-криволесных, березовых, сосновых), тогда как на лавинных конусах структура упростилась.

Ландшафтные сукцессии в настоящее время идут также и в других частях долины р. Баксан, которые находятся под периодическим воздействием снежных лавин и селевых потоков, что определяет постоянную динамичность их структуры (Петрушина, 2013). Скорость сукцессий варьирует в зависимости от различных факторов, в том числе антропогенного воздействия.

Состояние верхней границы леса как критического экотона между лесной и горно-луговой зонами

Верхняя граница леса, как своеобразный экотон, в исследуемой части бассейна р. Баксан относительно стабильна. Увеличение площади лесов, их подъем на южных склонах и в пределах дна долины выше поляны Азау стали отмечаться в 30–50-х годах XX в. на фоне потепления и, главное, вследствие ослабления антропогенного воздействия. В дальнейшем заметного подъема пояса хвойных лесов не наблюдалось за исключением появления отдельных экземпляров сосны. Некоторое расширение хвойного подроста было типично внутри лесной зоны, особенно в последние десятилетия. При этом особую роль в пионерном зарастании склонов играет их микро-рельеф, так как в разные по погодным условиям и

в контрастные по снежности годы, подрост появляется то на выпуклых, то на вогнутых участках, около каменистых россыпей. Неоднородность рельефа способствует внутренней устойчивости лесного пояса, что отмечается и в других горных районах (Albrich et al., 2020; Senf and Seidl, 2018). Захватывающие некоторые пологие участки южных склонов осинники реагируют на изменение условий увеличением или сокращением площади своих ареалов.

Выявлено продолжение разрастания березовых и сосновых лесов на вулканической гряде выше поляны Азау на высотах 2380–2500 м. Хорошие условия для подроста сосны здесь были в 90-е годы XX в. и сохранялись в первом десятилетии текущего века, в настоящее время отдельные молодые сосны встречаются здесь на высоте до 2600 м.

На северных склонах массива Чегет верхняя граница хвойного леса контролируется не столько климатическими показателями, сколько воздействием снежных масс, что подтверждено дендрохронологическими исследованиями (Бочкарев, Дьяконов, 2009). Разновозрастный подрост здесь отмечен в микроландшафтах гряд под пологом старых деревьев. На массиве продолжается зарастание преимущественно березняками не использующихся подъездных дорог к станциям канатных дорог и мест с ослаблением воздействия лавин. В первые годы XXI в., которые отличались повышенной снежностью, в нижней части склона массива Чегет по ложбинам появилась и разрослась волжанка (*Aruncus vulgaris* Rafin.), типичная для более влажного Западного Кавказа.

На южных склонах в субальпийском поясе отмечено расширение площади куртин *Juniperus communis* L. и его подъем почти до 3000 м, а также появление в нижней части *Juniperus sabina* L., более типичного для лугово-степного пояса. Инте-

ресно, что экземпляр угнетенной сосны (возраст 6 лет, высота 38 см) был встречен на южном склоне массива Гарабаши в альпийском поясе на высоте 3080 м, несколько других — на восточном склоне массива Чегет на высоте 2810 м в краевой части днища нивальной ниши на каменистом субстрате, а также сосен в лучшем состоянии (возраст 5–7 лет) ниже 2700 м в поясе кустарников.

Наблюдаемые изменения в ландшафтах, особенно у верхней границы леса в настоящее время не так масштабны, как это прогнозировалось (Залиханов и др., 2010). Отмечен сложный характер влияния климатических флуктуаций на верхний предел распространения древостоя, что наблюдается и в других районах (Акатов и др., 2013).

*Антропогенная динамика высокогорных ландшафтов Центрального Кавказа
(на примере Приэльбрусья)*

В последние десятилетия туристско-рекреационная деятельность, а также развитие отраслевой инфраструктуры стали наиболее сильными факторами динамики чувствительных к антропогенному воздействию ландшафтов во всех высотных зонах, включая нивально-гляциальную и горно-луговую. Возведение отелей и приютов, строительство новых канатных дорог и расширение горнолыжных трасс, появление дополнительной сети подъездных путей сопровождаются ростом количества отдыхающих в зимний и летний периоды, что в свою очередь приводит к увеличению парка транспортных средств и возрастанию объема транспортных выбросов. Все это в совокупности вызывает ухудшение состояния нивально-гляциальных и горно-луговых ландшафтов и определяет активизацию мерзлотных, селевых, осыпных, эрозионных процессов, эффекты которых можно наблюдать на массивах Эльбрус и Чегет (Приэльбрусье), Мусат-Чери (бассейн р. Теберда). В этих районах отмечено техногенное загрязнение речных вод и снежного покрова (Дега и др., 2019; Cherkasova et al., 2022).

В ландшафтах с сильным антропогенным воздействием вблизи объектов рекреационной инфраструктуры полностью уничтожен или сильно фрагментирован почвенно-растительный покров. На месте разнотравно-злаковых альпийских лугов, наземная сухая фитомасса которых составляла 4–7 ц/га, появились куртины разнотравья, типичного для субнивального пояса (*Veronica minuta* С.А. Мей, *Minuartia* sp.). Таким образом, можно констатировать локальное снижение верхней границы альпийских ландшафтов на 100–150 м.

Наибольшие изменения типичны для лесных ландшафтов днищ долин рр. Баксан и Теберда,

где сосредоточены основные рекреационные объекты, населенные пункты, научные базы, частично — сельскохозяйственные угодья. Начало XXI в. в этих долинах характеризовалось активным бессистемным строительством частных объектов рекреации, в том числе непосредственно в пределах ООПТ. Плотная и хаотичная (без разработки каких-либо генеральных планов) застройка поселков, продолжающаяся и в настоящее время, привела к ухудшению их эстетического облика и утрате элементов традиционных культурных ландшафтов и экологического каркаса. Часть объектов остаются незавершенными, что еще больше снижает эстетическую ценность некогда уникальных природных ландшафтов. Верховья р. Баксан и район поселка Домбай превратились в урбанизированные центры со всеми присущими им в настоящее время проблемами. За последние 30 лет площадь селитебных ландшафтов в районе пос. Терскол и поляны Азау увеличилась в 2.5 раза.

Крайне неравномерное распределение рекреантов по сезонам с пиками зимой и летом и “мертвыми” периодами в апреле–мае и сентябре–декабре, характерное для исследуемых районов, обуславливает сезонное превышение рекреационной емкости и ухудшение состояния ландшафтов. Появление летом организованных и стихийных кемпингов, автомобильных стоянок значительно увеличивает антропогенную нагрузку. Исследования показали, что природные комплексы с сосновыми лесами вблизи рекреационных объектов находятся на критической (четвертой и пятой) стадиях рекреационной дигрессии, проявления которых — наличие сети троп, разреженный древостой, обилие деревьев с механическими повреждениями, слабое развитие или отсутствие подроста, кустарников и напочвенного покрова, нередко — замусоренность. Отмечено также сокращение эпифитных лишайников (*Usnea barbata*).

Расширение поселков, а также строительство новых рекреационных объектов в потенциально опасных районах увеличило риск их разрушения под воздействием лавин, селевых потоков и наводнений, что было отмечено в последние десятилетия. Так, в 2018 г. снежная лавина сошла на стоянку возле канатной дороги на Эльбрус, а микросель в 2015 г. на рынок у канатной дороги и т.д. К сожалению, недостаточно технически обоснованное сооружение противолавинных сооружений на прилегающих субальпийских склонах не обеспечивает полной защиты от больших снежных масс.

Пространственная структура ландшафтов на участке между пос. Терскол и поляной Азау изменилась не только в результате периодического воздействия снежных лавин, но и строительства в 2009–2014 гг. противолавинных сооружений вдоль северного склона массива Чегет. На площади почти

32 га в пределах крупных лавинных конусов и на прилегающих террасах были уничтожены высокоствольные красочные субальпийские луга, заросли кустарников, преимущественно ивняков (*Salix* sp.), березовых криволесий. Естественная растительность, сохранившаяся в незатронутых верхних частях конусов и по их периферии, на менее каменистых участках, в настоящее время испытывает сильное влияние выпаса скота, кормовые угодья которого значительно сократились в результате строительства. Это проявляется в вытаптывании травостоя, увеличении в нем сорных и непоедаемых видов (*Aconitum orientale* Miller, *Alchemilla vulgaris* L., *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *Ranunculus repens* L., *Thesium alpinum* L., *Trifolium repens* L. и др.), уменьшении высоты трав и кустарников, снижении запасов сухой фитомассы с 20–46 до 6–12 ц/га.

Исследования в 2021 г. выявили, что поверхность противолавинных дамб пока еще слабо зарастает, проективное покрытие травостоя здесь варьирует от 1 до 10%, видовое разнообразие небольшое (15–27 видов), распределение мозаичное. Преобладают в основном пионерные и сорные виды — *Echium vulgare* L., *Calamagrostis epigeios* L., *Reseda lutea* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Trifolium repens* L., *T. spadiceum* L., *Tussilago farfara* L. и др. На склонах дамб южной экспозиции больше *Pyrethrum parthenifolium* Willd., отмечены *Artemisia absinthium* L. и *Origanum vulgare* L., виды, которые не встречались ранее на конусах. В краевой части самой старой дамбы появился единичный подрост сосны возрастом до 8 лет, березы и ивы. Крутые склоны дамб подвержены эрозионным и осыпным процессам, а слагающий их материал местами стал дополнительным источником селей, которые периодически сходят между одной из дамб и прилегающим коренным склоном.

В 2022 г. площадь антропогенных микроландшафтов в днище долины р. Азау увеличилась еще почти на 6 га за счет начавшегося строительства трехуровневой парковки на 800 машиномест (см. рис. 4), что приведет к еще большему ухудшению экологической ситуации в районе.

Антропогенная динамика лесных ландшафтов Западного Кавказа (район пос. Домбай)

Расширение горных поселений и рекреационных объектов приводит к динамике ландшафтов и часто — к конфликтам в землепользовании. Результатом активизации рекреационной деятельности в районе пос. Домбай стало изъятие 100 га земли из состава тогда еще Тебердинского биосферного заповедника, преимущественно долинных лесных ландшафтов, и рост нагрузки на соседние охраняемые территории. Это привело к сокращению площади широколиственно-хвойных лесов в районе поселка на 9.4 га (рис. 5, № 1),

их фрагментации, уменьшению сомкнутости крон в оставшихся лесных пятнах и в целом к ухудшению экологического состояния лесных ландшафтов. Были уничтожены микроландшафты пойм и части террас в самом поселке и выше по левобережью долины р. Аманауз на протяжении более 2 км. В результате появились новые антропогенные комплексы, усилилась абразия правобережных склонов долины и соответственно — сократились площади мелколиственно-темнохвойных лесных ландшафтов. Подрезание нижних частей прилегающих горных склонов при строительстве новых рекреационных объектов и рубка на них отдельных деревьев способствовала активизации склоновых процессов и снижению их общей устойчивости.

Сократились площади лесов (почти на 3.9 га) также у их верхней границы в районе строительства дороги на массиве Мусат-Чери (см. рис. 5, № 2).

В последние годы (с 2012 г.) идет активное усыхание темнохвойных, преимущественно еловых лесов на склонах вокруг Домбая и в других районах Тебердинского НП, чувствительных к изменениям окружающей среды. Как показано на рис. 5 основные районы сокращения лесов в нижних и средних частях склонов главным образом связаны с этим процессом. Однако на схеме нашли отражение относительно компактные лесные массивы, в то время как в полевых условиях отмечено большее количество отдельных небольших пятен засохших деревьев, а также пока их единичных экземпляров. В первую очередь и в наибольшей степени пострадали леса в долине р. Гоначхир, правого притока р. Теберды (рис. 6). Площадь одного участка засохшего леса здесь достигает 16.74 га (см. рис. 5, № 3). В ряде мест в результате гибели древостоя началась активизация эрозионных процессов. Основными причинами усыхания древостоя стала совокупность неблагоприятных факторов, прежде всего — относительная одновозрастность, многолетняя ослабленность деревьев стволовыми гнилями, нередко механическими повреждениями, вспышка численности короэда-типографа на фоне жарких 2012 и 2015 гг. (Пуканская и др., 2020). Следует отметить, что в засохших лесах практически не наблюдается подрост как основа для восстановления будущего древостоя, который, в свою очередь, выполняет важнейшие средостабилизирующие функции, особенно в ООПТ.

С другой стороны, увеличение площади лесов у верхней границы их распространения, одновременно с подъемом самой границы может быть результатом как наблюдающегося потепления климата, так и следствием ослабления в ряде районов лавинной активности. Этот эффект отмечается и в днище долин и на склонах, по которым сходили крупные лавины, например, выше альплагеря Алибек в одноименной долине. На склоне массива Мусат-Чери площадь лесов увеличилась на

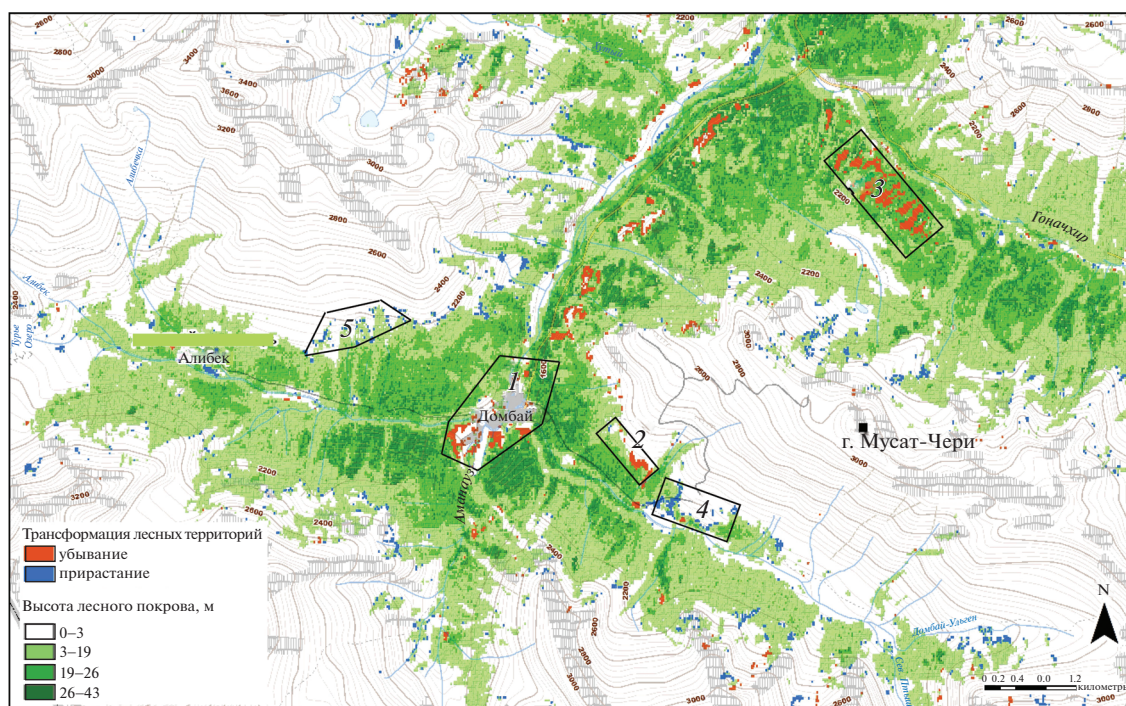


Рис. 5. Схема изменения лесных ландшафтов в верхней части бассейна р. Теберды за 2000–2020 гг.: сокращение площади: 1 – район пос. Домбай, 2 – экотон верхней границы леса, 3 – засохшие леса; расширение площади: 4 – зона ослабления воздействия лавин и зарастания старых дорог, 5 – экотон верхней границы леса.



Рис. 6. Гибель пихтово-еловых лесов в долине р. Гоначхир (июль 2022 г.). Фотографии М.Н. Петрушиной.

7.3 га (см. рис. 5, № 4) за счет зарастания нарушенных участков вдоль бывшей дороги ивово-осиново-березовым подростом, а также восстановления древостоя после схода крупных снежных лавин начала XXI в. На участке Семенов-Баши появление схожих лесов отмечено на площади в 4.23 га (см. рис. 5, № 5).

Динамика лесных ландшафтов на Восточном Кавказе (на примере Макажойской котловины)

Тенденция к расширению площади среднегорных и высокогорных лесных ландшафтов на

Восточном Кавказе в XXI в. выявлена в ходе полевых исследований (Гуня и др., 2020) и на основе анализа данных ДДЗ (Пуреховский и др., 2022). Одним из таких районов стала Макажойская котловина, в частности ее северный склон вблизи пос. Хой (рис. 7), где зафиксирован хороший разновозрастный подрост сосны (*Pinus hamata* (Steven)). Появление молодых сосен и продвижение их вверх по склону с субальпийскими лугами связано с ослаблением воздействия человека (прежде всего выпаса) и, возможно, с потеплением климата.

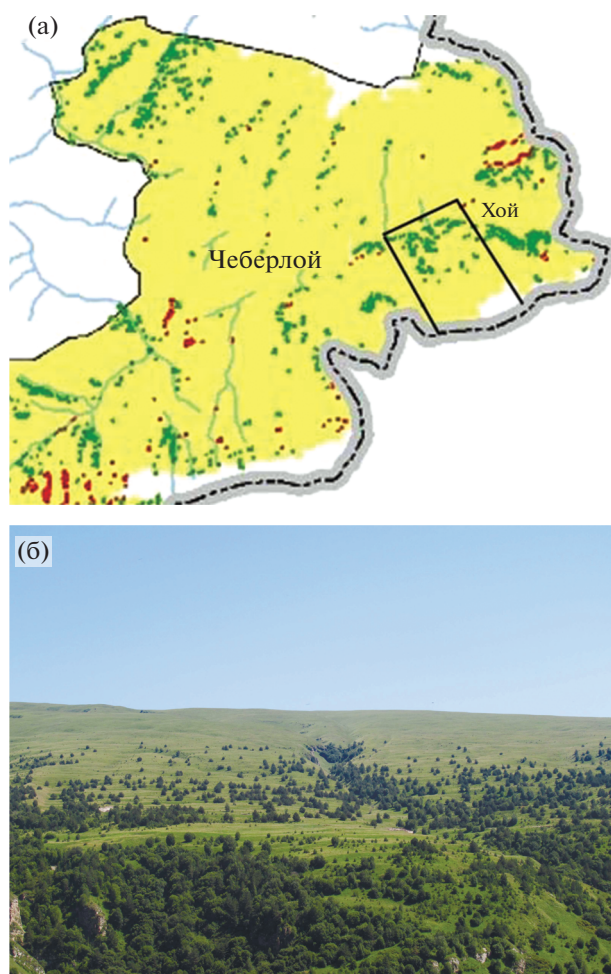


Рис. 7. Расширение площади, занятой лесами, на северном склоне в районе пос. Хой за 2000–2020 гг. См. условные обозначения к рис. 5. Границы района исследования (а) и вид на склон в июле 2022 г. (б). Фотография М.Н. Петрушиной.

Анализ состояния около 130 экземпляров сосен выявил, что зарастание проходило в несколько этапов и планомерно распространялось с нижних частей склона долины р. Ахкете. Первые единичные деревья появились здесь в конце 70-х годов XX в. (возраст 43–45 лет), активнее зарастание шло в конце 90-х годов (возраст 25–29 лет) с массовым развитием подроста с начала второго десятилетия нынешнего века (возраст 9–11 лет) и сохранением хороших темпов в настоящее время. Если на первом этапе деревья начали занимать выпуклые формы рельефа (т.е., склоны с положительной плановой и профильной кривизной), то в дальнейшем они освоили и другие местоположения.

Наибольшая плотность древостоя характерна для нижней части склона с хорошо выраженными бывшими сельскохозяйственными террасами и для крутых склонов эрозионных форм северо-восточной экспозиции; с увеличением высоты плотность дре-

востоя резко уменьшается. На разных участках в среднем произрастает сосен от 80 до 420 шт./га. Состояние большинства из них в нижней части склона хорошее (56%). Однако для возрастных сосен более типична асимметрия крон, кривизна стволов, их раздвоение в период с 2005–2007 гг., наличие следов горения. Под деревьями нередко формируются парцеллы с преобладанием разнотравья, в то время как на соседних лугах доминируют бобово-разнотравно-злаковые (овсянице-вые и вейниковые) сообщества с сухой зеленой наземной фитомассой 14–25.6 ц/га. Отдельные экземпляры сосны встречаются на высотах до 2380 м, но их состояние обычно неудовлетворительное (искривленные стволы, флагообразная крона, небольшой прирост и т.д.). Кроме соснового появился также разновозрастный подрост березы (*Betula pendula* Roth, *B. raddeana* Trautv.), встречается ива (*Salix* sp.).

С увеличением площади лесных участков и сомкнутости крон древостоя изменяется вертикальная структура биотических компонентов элементарных ландшафтов, что обуславливает динамику пространственной структуры всего ландшафта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика пространственно-временной структуры ландшафтов и их отдельных компонентов отмечается во всех типах высокогорных и среднегорных ландшафтов разных частей Северного Кавказа. Климатогенные изменения проявляются главным образом через деградацию оледенения и активность экзогенных процессов, включая катастрофические – снежные лавины, селовые потоки, которые оказывают большое влияние на динамику ландшафтов всего спектра высотных зон. С начала XXI в. в наименьшей степени сократилась площадь нивально-гляциальных ландшафтов на Центральном Кавказе, немного больше на Западном Кавказе и максимально – на Восточном Кавказе. Однако на Центральном Кавказе по сравнению с Западным Кавказом более активно проявлялись экзогенные процессы, в том числе связанные с прорывом приледниковых озер и формированием крупных селей, а также сход снежных лавин, которые оказали большое влияние на динамику пространственной структуры ландшафтов. В настоящее время наблюдаются ландшафтные сукцессии в местах активизации селей и лавин конца XX – начала XXI в., в том числе расширение сосновых лесов.

Возрастание антропогенной нагрузки в Приэльбрусье и в районе пос. Домбай, связанное в первую очередь с расширением туристской и рекреационной инфраструктуры, стало дополнительным фактором активизации неблагоприятных экзогенных процессов, сокращения площади горно-лесных и горно-луговых ландшафтов и

ухудшения состояния их биотических компонентов. Общее увеличение жилой зоны населенных пунктов и баз отдыха с неизбежностью привело к попаданию новой застройки в ареалы, подверженные воздействию снежных лавин, селевых потоков и наводнений. Несмотря на положение изученных ключевых участков в границах ООПТ, для них типично продолжающееся сокращение площади природных ландшафтов за счет роста доли антропогенных микроландшафтов, высокая концентрация которых на ограниченной территории снижает эстетическую ценность естественных ландшафтов и, в целом, приводит к прогрессирующему ухудшению их экологического состояния.

Сочетание активности природных процессов на фоне климатических изменений с усилением антропогенного воздействия может приводить как к усложнению, так и к упрощению пространственной структуры горных ландшафтов; в первом варианте — за счет сукцессионных смен и перестроек биоты элементарных ландшафтов, во втором — вследствие распространения и увеличения доли антропогенных комплексов.

Для ключевого участка Восточного Кавказа в отличие от рассмотренных западных частей Северного Кавказа характерна тенденция к расширению площади лесов в результате снижения антропогенной нагрузки в последние десятилетия и, вероятно, изменения климата, что требует дальнейшего изучения. Заращение древесной растительностью наиболее активно идет в нижней части лугового склона, где в ландшафтной структуре сохранились местообитания (и мезоформы рельефа) бывших сельскохозяйственных террас.

В настоящее время ощущается дисбаланс между характером и масштабностью фиксируемых изменений в динамике природных и природно-антропогенных ландшафтов Северного Кавказа и состоянием информационной базы, которая призвана служить основой для градостроительного и территориального планирования, для формирования экологических сетей охраняемых территорий, наконец (но не в последнюю очередь) — для реализации проектов новых всесезонных туристско-рекреационных комплексов и кластеров все-российского уровня. Это обстоятельство делает необходимым привлечение Больших Данных и применение новых инновационных методов их обработки, что позволило бы осуществлять с ежегодной периодичностью изучение изменений видов землепользования и трансформации ландшафтов, особенно в экотонных ландшафтах низовально-гляциальной, горно-луговой и горно-лесной зон.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках тем Государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ло-

моносова № 121051300176-1 “Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов”, № 121040100322-8 “Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды”, а также темы Государственного задания ИГ РАН “Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования” FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).

FUNDING

The work was carried out within the framework of the State tasks of the MSU Faculty of Geography no. 121051300176-1 “Factors and processes of spatio-temporal organization of natural and anthropogenic landscapes,” and no. 121040100322-8 “Analysis of regional geo-ecological problems in the context of global environmental changes” as well as the State task of the IG RAS “Assessment of physical, geographical, hydrological and biotic environmental changes and their consequences for creating the foundations of sustainable nature management” FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н., Иванов А.Н., Беляков А.И., Мамай И.И. Общие положения динамики и функционирования ландшафтов // География, общество, окружающая среда. Т. 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 101–112.
- Акатов В.В., Акатов П.В., Майоров С.В. Тенденции изменения высотного ареала пихты Нордмана на Западном Кавказе (бассейн р. Белая) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 4. С. 104–114.
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-2-104-114>
- Алейникова А.М., Петрушина М.Н. Структура и динамика приледниковых ландшафтов Приэльбрусья // Лёд и Снег. 2011. № 2. С. 127–134.
- Баденков Ю.П., Грачева Р.Г., Гуня А.Н., Белановская Е.А., Мерзлякова И.А., Шмакин А.Б. Горные районы Северного Кавказа на рубеже веков: трансформация природопользования и современные проблемы развития // Изменение природной среды России в XX веке. М.: Molnet, 2012. С. 254–273.
- Берущашивили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль, 1986. 182 с.
- Бочкарев Ю.Н., Дьяконов К.Н. Дендрохронологическая индикация функционирования ландшафтов на северной и верхней границах леса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 2. С. 37–50.
- Братков В.В., Заурбеков Ш.Ш., Атаев З.В. Мониторинг современных климатических изменений и оценка их последствий для ландшафтов Северного Кавказа // Вестн. РАЕН. 2014. № 2. С. 7–16.
- Виноградова В.В., Титкова Т.В., Белановская Е.А., Грачева Р.Г. Воздействие изменения климата на горные ландшафты Северного Кавказа // Современ-

- ные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12 (6). С. 35–47.
- Гуля А.Н., Машкова Р.А., Гежаев А.М. Динамика и трендовые изменения высокогорных ландшафтов в горно-рекреационных районах Северного Кавказа // Вопросы географии. Сб. 137 / отв. ред. В.М. Котляков, Ю.П. Баденков, К.В. Чистяков. М.: Кодекс, 2014. С. 521–543.
- Гуля А.Н., Петрушина М.Н., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш., Колбовский Е.Ю., Лысенко А.В., Караев Ю.И., Петров Л.А., Эльмурзаев Р.С. Ландшафты Аргунского государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника // Северокавказская комплексная экспедиция. Труды / отв. ред. А.Н. Гуля, М.Н. Петрушина. Грозный, Махачкала: ЧГУ, АЛЕФ, 2020. Т. 2. С. 43–94.
- Дега Н.С., Бостанова Ф.Х., Байракумова А.Р., Корчагина Н.М. Геоэкологическая оценка окружающей среды Карачаево-Черкесской республики // Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 59–65. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12059>
- Дьяконов К.Н., Пузаченко Ю.Г. Теоретические положения и направления исследований современного ландшафтоведения // География, общество, окружающая среда. Т. 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 21–35.
- Залиханов М.Ч., Коломыц Э.Г., Шарая Л.С., Цепкова Н.Л., Сурова Н.А. Высокогорная геоэкология в моделях. М.: Наука, 2010. 487 с.
- Заурбеков Ш.Ш. Современные климатические изменения и их влияние на ландшафтную структуру региона (на примере Северного Кавказа). Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Краснодар, 2012. 48 с.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
- Коломыц Э.Г. Прогноз влияния глобальных изменений климата на ландшафтную структуру горной страны // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. № 1. С. 14–30.
- Корчагина Е.А. Исследование колебаний элементов климата в горных районах Западного и Центрального Кавказа методами математической статистики // Изв. КБ науч. центра РАН. 2020. № 3 (95). С. 64–73. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-3-95-64-73>
- Крауклис А.А. Теория и практика исследования геосистем // География и природные ресурсы. 1987. № 4. С. 14–22.
- Ледники и климат Эльбруса /под ред. В.Н. Михаленко. М.—СПб.: Нестор-История, 2020. 372 с.
- Лурье П.М., Панов В.Д., Панова С.В. Криосфера Большого Кавказа. Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. № 2. С. 182–190. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-2-182-190>
- Мамай И.И. Динамика ландшафтов. (Методика изучения). М.: Изд-во МГУ, 1992. 167 с.
- Олейников А.Д., Володичева Н.А. Современные тенденции изменения снеголавинного режима Центрального Кавказа (на примере Приэльбрусья) // Лёд и Снег. 2019. Т. 59. № 2. С. 191–200. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-2-400>
- Онищенко В.В., Дега Н.С., Тохчуков Ш.Ю. Ледниковый баланс Карачаево-Черкесии в глобальных и региональных природно-антропогенных преобразованиях // Успехи современного естествознания. 2016. № 6. С. 174–178.
- Петрушина М.Н. Структура и динамика горных ландшафтов Северного Кавказа // Ландшафтный сборник (Развитие идей Н.А. Солнцева в современном ландшафтоведении) / под ред. И.И. Мамай. М.—Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 227–248.
- Петрушина М.Н., Алейникова А.М., Петраков Д.А. Воздействия лавин зимы 2004–2005 гг. на ландшафты бассейна р. Адылсу (Центральный Кавказ): сб. докладов III Международ. конф. “Лавины и смежные вопросы” (Кировск, Россия, 4–8 сентября, 2006). Кировск: ООО Апатит-Медиа Апатиты, 2007. С. 102–108.
- Пукинская М.Ю., Кессель Д.С., Шукина К.В. Усыхание пихто-ельников Тебердинского заповедника // Ботанич. журн. 2019. Т. 104. № 3. С. 337–362. <https://doi.org/10.1134/S0006813619030062>
- Пуреховский А.Ж., Гуля А.Н., Колбовский Е.Ю. Динамика высокогорных ландшафтов Северного Кавказа по данным дистанционного зондирования в 2000–2020 гг. // Изв. Дагестан. гос. пед. ун-та. Сер. ест. и точные науки. 2022. Т. 16. № 2. С. 72–84. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-2-72-84>
- Хорошев А.В. Оценка устойчивости геосистем бассейна р. Баксан (Центральный Кавказ). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во АО “Диалог-МГУ”, 1997. 24 с.
- Шиятов С.Г., Моисеев А.А., Григорьев А.А. Мониторинг климатогенной динамики высокогорной древесной растительности при помощи ландшафтных фотоснимков на Южном Урале // Вопросы географии. Сб. 137 / отв. ред. В.М. Котляков, Ю.П. Баденков, К.В. Чистяков. М.: Кодекс, 2014. С. 125–155.
- Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А., Беккиев М.Ю., Висхаджиева К.С., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Кидяева В.М., Крыленко В.В., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Рец Е.П., Савернюк Е.А., Смирнов А.М. Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // Криосфера Земли. 2018. Т. 22. № 2. С. 70–80.
- Albrich K., Rammer W., Seidl R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests // Glob. Change Biol. 2020. Vol. 26. № 7. P. 1–15. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- Cherkasova A.A., Iurmanov A.A., Kokane P., Maslakov A., Petkovich M., Petrushina M.N., Tabelinova A., Tolipov A., Yakubov G., Yushina Yu. Prielbrusye National Park environmental changes due to increasing tourism activity // Geography, Environment, Sustainability. 2022. Vol. 15. № 4. P. 115–123. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-108>
- Global Change and Mountain Regions. An Overview of Current Knowledge / U. Huber, H. Bugmann, M. Rea-soner (Eds.). Dordrecht, Netherlands: Springer, 2005. 650 p.
- Ewane E.B. Assessing land use and landscape factors as determinants of water quality trends in Nyong River basin, Cameroon // Environ. Monitoring and Assess-

- ment. 2020. Vol. 192. № 8. P. 1–35.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08448-2>
- Ewane B.E., Lee H.H. Assessing land use/land cover change impacts on the hydrology of Nyong River Basin, Cameroon // *J. Mountain Science*. 2020. Vol. 17. № 1. P. 50–67.
<https://doi.org/10.1007/s11629-019-5611-8>
- Mountains and climate change – From understanding to action. Centre for Development and Envir. (CDE) / T. Kohler, D. Maselli (Eds.). Bern: CDE. Inst. Geogr., Univ. Bern, 2009. 80 p.
- Potapov P., Hansen M.C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat Analysis Ready Data for Global Land Cover and Land Cover Change Mapping // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. № 3. 426 p.
<https://doi.org/10.3390/rs12030426>
- Remote sensing of land use and land cover: principles and applications / C.P. Giri (Ed.). Boca Raton, USA: CRC press, 2012. 477 p.
- Resler L.M., Shao Y., Campbell J.B., Michaels A. Land cover and land use change in an emerging national park gateway region: implications for mountain sustainability / *The Elgar companion to geography, transdisciplinarity and sustainability*. Miami: Edward Elgar Publ., 2020. P. 270–292.
<https://doi.org/10.4337/9781786430106.00026>
- Senf C., Seidl R. Natural disturbances are spatially diverse but temporally synchronized across temperate forest landscapes in Europe // *Glob. Change Biology*. 2018. Vol. 24. № 3. P. 1201–1211.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13897>
- Tielidze L.G., Wheate R.D. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan) // *The Cryosphere*. 2018. № 12. P. 81–94.
<https://doi.org/10.5194/tc-12-81-2018>
- Toropov P.A., Aleshina M.A., Grachev A.M. Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th–21st century // *Int. J. Climatol*. 2019. P. 1–18.
<https://doi.org/10.1002/joc.6101>
- Turner M.G., Calder W.J., Cumming G.S., Hughes T.P., Jentsch A., LaDeau Sh.L., Lenton T.M., Shuman B.N., Turetsky M.R., Ratajczak Z., Williams J.W., Williams A.P., Carpenter St.R. Climate change, ecosystems and abrupt change: Science priorities // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2020. Vol. 1794. № 375.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105>

Dynamics of Mountain Landscapes of the North Caucasus under Modern Climate Change and Increased Anthropogenic Impact

M. N. Petrushina^{1, *}, A. N. Gunya^{2, **}, E. Yu. Kolbovsky^{1, 2}, and A. Zh. Purehovskiy²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: mnpetrushina@mail.ru

**e-mail: a.n.gunya@igras.ru

The results of the analysis of multi-year satellite images and long-term field studies of landscape dynamics in different high mountain regions of the North Caucasus are presented. Based on Landsat Analysis Ready Data processing for the 2000–2020 period and geoinformation modeling, the main changes in nival-glacial and forest landscapes have been established. A decrease in the area of snow-glacier complexes was noted (on average by 20.6%) with the largest decrease in the Eastern Caucasus (75.2%) and the smallest in the Central Caucasus (13.4%). Repeated complex descriptions in key areas confirmed the revealed changes, as well as the rise of the border of mountain-meadow landscapes and the heterogeneity of their spatial structure in the periglacial zone as a result of climatic fluctuations. Multidirectional trends in the dynamics of mountain-forest landscapes are manifested in the deterioration of the state, including the drying up of dark coniferous forests and the reduction in their area in the Western Caucasus (Teberda River basin), in the rise of the border and the increase in the area of light coniferous forests in the Eastern Caucasus (Makazhoy depression), mainly beyond due to the weakening in previous years of anthropogenic impact. In the Central Caucasus (Elbrus region), some expansion of forests was noted at the upper border of the forest belt along the bottom of river valleys, in some places on the slopes of the southern points, a decrease in areas of large avalanches and mudflows, including as a result of outbursts of near-glacial lakes. The metachronism of the manifestation of exogenous processes and their spatial heterogeneity leads to the complication of the landscape structure of the zones of their influence due to the combination of elementary landscapes that are at different stages of restoration successions. The increased recreational impact on the mid-mountain and high-mountain landscapes of the Western and Central Caucasus caused the change in the spatial structure of landscapes, especially mountain-forest and subalpine meadows, a decrease in their biodiversity, and an increase in the proportion of anthropogenic complexes in the most valuable landscapes in protected areas.

Keywords: North Caucasus, nival-glacial landscapes, mountain-forest landscapes, spatial landscape structure, landscape dynamics, climatic changes, restorative succession, recreational impact

REFERENCES

- Akatov V.V., Akatov P.V., Maiorov S.V. Trends in altitude area of Nordmann fir in the Western Caucasus (Basin of Belaya River) in the relation with the global warming issue. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 2, pp. 104–114. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-2-104-114>
- Albrich K., Rammer W., Seidl R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Glob. Change Biol.*, 2020, vol. 26, no. 7, pp. 1–15.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- Aleinikova A.M., Petrushina M.N. Structure and dynamics of periglacial landscapes of the Elbrus region. *Led i Sneg*, 2011, no. 2, pp. 127–134. (In Russ.).
- Avessalomova I.A., D'yakonov K.N., Ivanov A.N., Belyakov A.I., Mamai I.I. General concepts of landscape dynamics and functioning. In *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. Tom 2. Funktsionirovanie i sovremennoe sostoyanie landshaftov* [Geography, Society, Environment. Vol. 2. Contemporary Landscape Processes]. Moscow: Gorodets Publ., 2004, pp. 101–112. (In Russ.).
- Badenkov Yu.P., Gracheva R.G., Gunya A.N., Belanovskaya E.A., Merzlyakova I.A., Shmakin A.B. Mountainous regions of the North Caucasus at the turn of the century: transformation of nature management and modern development problems. In *Izmenenie prirodnoi sredy Rossii v XX veke* [Changes in the Natural Environment of Russia in the XX Century]. Moscow: Molnet Publ., 2012, pp. 254–273. (In Russ.).
- Beruchashvili N.L. *Chetyre izmereniya landshafta* [Four Dimensions of the Landscape]. Moscow: Mysl' Publ., 1986. 182 p.
- Bochkarev Yu.N., D'yakonov K.N. Dendrochronological indication of the functioning of landscapes on the northern and upper borders of the forest. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2009, no. 2, pp. 37–50. (In Russ.).
- Bratkov V.V., Zaurbekov Sh.Sh., Ataev Z.V. Monitoring of modern climate changes and assessment of their consequences for the landscapes of the North Caucasus. *Vestn. RAEN*, 2014, no. 2, pp. 7–16. (In Russ.).
- Cherkasova A.A., Iurmanov A.A., Kokane P., Maslakov A.A., Petkovich M., Petrushina M.N., Tabelinova A., Tolipov A., Yakubov G., Yushina Yu. Prielbrusye National Park environmental changes due to increasing tourism activity. *Geogr. Environ. Sustain.*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 115–123.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-108>
- Chernomorets S.S., Petrakov D.A., Aleinikova A.A., Bekkiev M.Y., Viskhadzhieva K.S., Dokukin M.D., Kalov R.K., Kidyaeva V.M., Krylenko V.V., Krylenko I.V., Krylenko I.N., Rets E.P., Savernyuk E.A., Smirnov A.M. The outburst of Bashkara glacier lake (Central Caucasus, Russia) on September 1, 2017). *Kriosf. Zemli*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 70–80. (In Russ.).
[https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-2\(70-80\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-2(70-80))
- Global Change and Mountain Regions. An Overview of Current Knowledge*. Huber U., Bugmann H., Reasoner M., Eds. Dordrecht: Springer, 2005.
- Gunya A.N., Mashkova R.A., Gezhaev A.M. Dynamics and trend changes of high-mountain landscapes in the mountain-recreational areas of the North Caucasus. In *Voprosy geografii. Sb. 137: Issledovaniya gor. Gornye regiony Severnoi Evrazii. Razvitie v usloviyakh global'nykh izmenenii* [Problems of Geography. Vol. 137: Mountain Research. Mountain Regions of Northern Eurasia in Global Change Conditions]. Kotlyakov V.M., Badenkov Yu.P., Chistyakov K.V., Eds. Moscow: Kodeks Publ., 2014, pp. 521–543. (In Russ.).
- Gunya A.N., Petrushina M.N., Gayrabekov U.T., Gagaeva Z.Sh., Kolbovsky E.Yu., Lysenko A.V., Karayev Yu.I., Petrov L.A., Elmurzaev R.S. Landscapes of the Argun State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve. In *Severokavkazskaya kompleksnaya ekspeditsiya. Trudy* [North Caucasian Combined Expedition. Proceedings]. Gunya A.N., Petrushina M.N., Eds. Grozny; Makhachkala: ALEF Publ., 2020, vol. 2, pp. 43–94. (In Russ.).
- Dega N.S., Bostanova F.Kh., Bairakumova A.R., Korchagina N.M. Geoecological assessment of the environment of the Karachay-Cherkess Republic. *Probl. Reg. Ekol.*, 2019, no. 2, pp. 59–65. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12059>
- D'yakonov K.N., Puzachenko Yu.G. Theoretical concepts and main lines of study in modern landscape science. In *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. Tom 2. Funktsionirovanie i sovremennoe sostoyanie landshaftov* [Geography, Society, Environment. Vol. 2. Contemporary Landscape Processes]. Moscow: Gorodets Publ., 2004, pp. 21–35. (In Russ.).
- Ewane E.B. Assessing land use and landscape factors as determinants of water quality trends in Nyong River basin, Cameroon. *Environ. Monit.*, 2020, vol. 192, art. 507.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08448-2>
- Ewane B.E., Lee H.H. Assessing land use/land cover change impacts on the hydrology of Nyong River Basin, Cameroon. *J. Mt. Sci.*, 2020, vol. 17, no. 1.
<https://doi.org/10.1007/s11629-019-5611-8>
- Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Landscape Studies and Physical and Geographical Zoning]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1991. 366 p.
- Khoroshev A.V. Assessment of the stability of geosystems of the Baksan river basin (Central Caucasus). *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Dialog-MGU Publ., 1997. 24 p.
- Kolomyts E.G. Forecast of the impact of global climate change on the landscape structure of a mountainous country. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1985, no. 1, pp. 14–30. (In Russ.).
- Korchagina E.A. Investigation of fluctuations of climate elements in the mountainous regions of the Western and Central Caucasus by methods of mathematical statistics. *Izv. Kabard.-Balkar. NTs RAN*. 2020, vol. 95, no. 3, pp. 64–73. (In Russ.).
<https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-3-95-64-73>
- Krauklis A.A. Theory and practice of geosystems research. *Geogr. Prir. Resur.*, 1987, no. 4, pp. 14–22. (In Russ.).
- Ledniki i klimat Elbrusa* [Glaciers and Climate of Elbrus]. Mikhaleiko V.N., Ed. Moscow; St. Petersburg: Nestor-History Publ., 2020. 372 p.

- Lurie P.M., Panov V.D., Panova S.V. Cryosphere of the Greater Caucasus. *Sustain. Dev. Mt. Territ.*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 182–190. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-2-182-190>
- Mamai I.I. *Dinamika landshaftov (Metodika izucheniya)* [Dynamics of Landscapes: (Methods of Study)]. Moscow: Izd. Mosk. Univ., 1992. 167 p.
- Mountains and climate change — From understanding to action.* Kohler T., Maselli D., Eds. Bern: CDE. Inst. Geogr., Univ. Bern, 2009.
- Oleinikov A.D., Volodicheva N.A. Modern trends in the snow-avalanche regime of the Central Caucasus (on the example of the Elbrus region). *Led i Sneg*, 2019, vol. 59, no. 2, pp. 191–200. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-2-400>
- Onishchenko V.V., Dega N.S., Tokhchukov Sh.Yu. Glacial balance of Karachay-Cherkessia in global and regional natural and anthropogenic transformations. *Uspekhi Sovrem. Estestvozn.*, 2016, no. 6, pp. 174–178. (In Russ.).
- Petrushina M.N. Structure and dynamics of mountain landscapes of the North Caucasus. In *Landshaftnyi sbornik (Razvitie idei N.A. Solntseva v sovremennoy landshaftovedenii)* [Landscape Collection (Development of N.A. Solntsev's Ideas in Modern Landscape Science)]. Mamay I.I., Ed. Moscow; Smolensk: Oikumena Publ., 2013, pp. 227–248. (In Russ.).
- Petrushina M.N., Aleynikova A.M., Petrakov D.A. The effects of avalanches of winter 2004–2005 on the landscapes of the Adysu river basin (Central Caucasus). In *Sb. dokladov III Mezhd. konf. "Laviny i smezhnye vo-prosy"*, Kirovsk, Rossiya, Sentyabr' 4–8, 2006 [Proc. of the III Int. Conf. "Avalanches and Related Questions", Kirovsk, Russia, September 4–8, 2006]. Kirovsk: Apatit-Media Publ., 2007, pp. 102–108. (In Russ.).
- Potapov P., Hansen M.C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat Analysis Ready Data for Global Land Cover and Land Cover Change Mapping. *Remote Sens.*, 2020, vol. 12, no. 3, art. 426.
<https://doi.org/10.3390/rs12030426>
- Pukinskaya M.Yu., Kessel D.S., Shchukina K.V. Drying of fir-spruce forests of the Teberdinsky Reserve. *Botanich. Zh.*, 2019, vol. 104, no. 3, pp. 337–362. (In Russ.).
<https://doi.org/10.1134/S0006813619030062>
- Purekhovskii A.Zh., Gunya A.N., Kolbovsky E.Yu. Dynamics of high mountain landscapes of the North Caucasus according to remote sensing data in 2000–2020. *Izv. Dagestan. Gos. Ped. Univ., Ser. Est. Tochn. Nauki*, 2022, vol. 16, no. 2, pp. 72–84. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-2-72-84>
- Remote sensing of land use and land cover: principles and applications.* Giri C.P., Ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2012. 477 p.
- Resler L.M., Shao Y., Campbell J.B., Michaels A. Land cover and land use change in an emerging national park gateway region: Implications for mountain sustainability. In *The Elgar Companion to Geography, Transdisciplinarity and Sustainability*. Miami: Edward Elgar Publ., 2020. 448 p.
<https://doi.org/10.4337/9781786430106.00026>
- Senf C., Seidl R. Natural disturbances are spatially diverse but temporally synchronized across temperate forest landscapes in Europe. *Glob. Change Biol.*, 2018, vol. 24, no. 3, pp. 1201–1211.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13897>
- Shiyatov S.G., Moiseev A.A., Grigoriev A.A. Monitoring of climate-induced dynamics of woody vegetation with the use of landscape photographs on the South Urals. In *Voprosy geografii. Sb. 137: Issledovaniya gor. Gornye regiony Severnoi Evrazii. Razvitie v usloviyakh global'nykh izmenenii* [Problems of Geography. Vol. 137: Mountain Research. Mountain Regions of Northern Eurasia in Global Change Conditions]. Kotlyakov V.M., Badenkov Yu.P., Chistyakov K.V., Eds. Moscow: Kodeks Publ., 2014, pp. 125–155. (In Russ.).
- Tielidze L.G., Wheate R.D. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan). *Cryosph.*, 2018, no. 12, pp. 81–94.
<https://doi.org/10.5194/tc-12-81-2018>
- Toropov P.A., Aleshina M.A., Grachev A.M. Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th–21st century. *Int. J. Climatol.*, 2019, vol. 39, pp. 4703–4720.
<https://doi.org/10.1002/joc.6101>
- Turner M.G., Calder W.J., Cumming G.S., Hughes T.P., Jentsch A., LaDeau Sh.L., Lenton T.M., Shuman B.N., Turetsky M.R., Ratajczak Z., Williams J.W., Williams A.P., Carpenter St.R. Climate change, ecosystems and abrupt change: Science priorities. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 2020, vol. 1794, no. 375.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105>
- Vinogradova V.V., Titkova T.V., Belanovskaya E.A., Gracheva R.G. The impact of climate change on the mountain landscapes of the North Caucasus. *Sovrem. Probl. Distant. Zondir. Zemli Kosmos.*, 2015, vol. 12, no. 6, pp. 35–47. (In Russ.).
- Zalikhanov M.Ch., Kolomyts E.G., Sharaya L.S., Tsepko-va N.L., Surova N.A. *Vysokogornaya geoekologiya v modelyakh* [High Mountain Geoecology in Models]. Moscow: Nauka Publ., 2010. 487 p.
- Zaurbekov Sh.Sh. Modern climatic changes and their impact on the landscape structure of the region (on the example of the North Caucasus). *Extended Abstract of Dr. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Krasnodar, 2012. 48 p.