

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ПАСТБИЩНЫХ СИСТЕМ

УДК 633.2.033.3:58.056

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПАСТБИЩНОЙ ДЕГРАДАЦИИ СЕМИАРИДНЫХ ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

© 2023 г. Ф. А. Темботова^а, В. А. Чадаева^{а, *}, О. Н. Горобцова^а, Р. Х. Пшегусов^а, Н. Л. Цепкова^а,
Р. Х. Темботов^а, З. М. Ханов^а, Ф. В. Гедгафова^а, А. Ж. Жашуев^а, Т. С. Улигова^а, Е. М. Хакунова^а

^аИнститут экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, Нальчик, Россия

*e-mail: v_chadayeva@mail.ru

Поступила в редакцию 06.02.2023 г.

После доработки 26.04.2023 г.

Принята к публикации 25.08.2023 г.

Пастбищная деградация и эрозия почв являются проблемами для управления животноводством в горных семиаридных районах Центрального Кавказа. Субальпийские остепненные луга и горные луговые степи, расположенные на южных склонах Бокового хребта (1600–2100 м над ур. м.) с мало-мощными каменистыми почвами, испытывают дефицит влаги (менее 250 мм осадков летом) и подвержены аридизации на фоне климатических изменений. Перевыпас скота на присельских лугах также способствует ксерофитизации растительности. Исследования посвящены выявлению почвенных и растительных индикаторов стадий деградации семиаридных горных пастбищ и сравнительному анализу закономерностей динамики выявленных параметров с таковыми в равнинных экосистемах. Знание надежных и легко определяемых индикаторов и их пороговых значений для каждой стадии деградации пастбищ поможет землеустроителям принимать решения по устойчивому управлению в сфере животноводства. Выделены четыре стадии деградации пастбищ, основными индикаторами которых являются высота и общее проективное покрытие травостоя, индекс разнообразия Шеннона, содержание гумуса и влажность почвы. Высота и покрытие травостоя снижаются в дигрессионном ряду соответственно с 25.4 ± 3.2 до 3.6 ± 1.2 см и с 93 ± 5 до $41 \pm 7\%$, влажность почвы сокращается на 58%. На основе выделенных параметров для каждой стадии рассчитаны значения интегрального индекса деградации. Определены показатели нормы выпаса, соблюдение которых позволит длительно поддерживать рабочее состояние пастбищ. Соотношение фактической и допустимой нагрузок на крайних третьей и четвертой стадиях деградации составило 189 и 23 раз. Общей закономерностью динамики семиаридных горных пастбищ является совмещение ареалов субальпийских остепненных лугов и горных луговых степей, распространение петрофитных кустарниковых сообществ. Тенденции данного процесса во многом совпадают с закономерностями деградации равнинных степных пастбищ Забайкалья, Прикаспия, Монголии и др. полузасушливых регионов, что позволяет использовать выявленные индикаторы при изучении семиаридных пастбищ равнинных территорий.

Ключевые слова: горные семиаридные экосистемы, равнинные степи, пастбищная деградация, модельные площадки, растительные и почвенные индикаторы, нормы выпаса

DOI: 10.31857/S2587556623070142, **EDN:** IFWZKN

ВВЕДЕНИЕ

Семиаридные луга имеют большое значение для горных территорий, обеспечивая разнообразные экосистемные услуги, такие как сохранение биоразнообразия, поглощение углерода, кормопроизводство, борьба с эрозией, регулирование водных ресурсов, рекреация и т.д. На Центральном Кавказе, как и в засушливых горных районах Турции, Китая (Cipriotti et al., 2019; Koç et al., 2020; Zhang et al., 2019), Азербайджана, Грузии и Армении (Christen, 2020; Gasanova, 2014; Neudert, 2021; Peper et al., 2010; Teranosyan et al., 2017), эти семиаридные экосистемы подвержены деграда-

ции и опустыниванию из-за чрезмерного выпаса скота в сочетании с недостаточным количеством и/или нестабильным характером осадков.

Отток финансирования и ликвидация колхозной системы в начале 1990-х годов, передача части пастбищных угодий в ведение муниципалитетов привели к резкому сокращению поголовья скота в государственных предприятиях и регионе в целом при увеличении его доли в частном секторе (Грачева, Белоновская, 2010; Пшегусов, Чадаева, 2020). Так, в 1995 г. на долю личных подсобных хозяйств Кабардино-Балкарии приходилось 52% крупного рогатого скота и 73% овец (Районы ..., 2019). Преобладание мелкого рогато-

го скота в структуре стада связано с традиционным для высокогорных районов мясошерстным направлением животноводства, производством войлочных и шерстяных изделий. При этом животные круглогодично бессистемно выпасались на одних и тех же наиболее доступных участках склонов в окрестностях населенных пунктов в отсутствие каких-либо форм отгонного животноводства и мероприятий по уходу за пастбищами (Грачева, Белоновская, 2010). Кризисная обстановка в стране в конце XX – начале XXI в. и связанные с ней слабая господдержка животноводства, невысокие закупочные цены на мясо и молоко, низкая рентабельность сельхозпроизводства в целом способствовали дальнейшему сокращению поголовья скота, особенно в госорганизациях. Доля крупного рогатого скота и овец в личных подсобных хозяйствах населения Кабардино-Балкарии составила к 2005 г. – 84 и 90%, к 2010 г. – 77 и 67%, в 2016 г. – 71 и 54% соответственно (Районы ..., 2019). Общим итогом отмеченных тенденций стала смена традиционной системы отгонного животноводства с использованием летне-осенних субальпийских и альпийских пастбищ примитивным отгонно-пригонным типом выпаса на ограниченных по площади присельских лугах.

Известно, что длительный перевыпас скота изменяет состав доминирующих видов, соотношение ценных кормовых и ядовитых растений (Chadaeva et al., 2021; Christen, 2020; Koç et al., 2020; Leu et al., 2014; Zhang et al., 2018), параметры почвы (Gasanova, 2014; Leu et al., 2014; Liu et al., 2021; Neudert, 2021). Такие процессы очевидны в семиаридных экосистемах Центрального Кавказа, где пастбищная деградация достигла своей крайней степени, превратив присельские луга в кустарниковые ландшафты (Грачева, Белоновская, 2010). Подобно другим засушливым ландшафтам (Cipriotti et al., 2019), семиаридные горные луга на расположенных в дождевой тени южных склонах с маломощными каменистыми почвами и слабопроницаемым слоем подстилающих пород испытывают дефицит влаги и подвержены современным климатогенным изменениям. Горный рельеф также способствует развитию здесь эрозии почв и оползневых процессов.

Таким образом, перевыпас скота и слабый мониторинг землепользования в сочетании с особенностями водного режима, почв и рельефа, современными климатическими изменениями представляют доминирующую гипотезу, объясняющую деградацию высокогорных семиаридных пастбищ Центрального Кавказа. С другой стороны, длительное исключение выпаса также негативно влияет на состояние лугов, вызывая закочкаренность, увеличение количества растительного опада и ветоши, проективного покрытия ядовитыми видами и кустарниками (Navarro

and Pereira, 2012). Поэтому определение оптимальной интенсивности выпаса имеет большое значение для устойчивого управления пастбищами. При этом нормы выпаса трудно определить из-за отсутствия часто требуемых растительных и почвенных показателей стадий деградации лугов. На практике выделены различные растительные, почвенные и ландшафтные параметры оценки состояния пастбищ в зависимости от их типа, а также климата и рельефа (Gasanova, 2014; Koç et al., 2020; Lee et al., 2020; Zhang et al., 2018; и др.). Но работы, посвященные влиянию интенсивности выпаса скота на почвенный и растительный покров горных лугов Кавказа немногочисленны (Авессаломова и др., 2002; Грачева, Белоновская, 2010; Chadaeva et al., 2021; Christen, 2020; Gasanova, 2014; Neudert, 2021; Peper et al., 2010; Tepanosyan et al., 2017). Соответственно, существует неопределенность в параметрах оценки состояния горных лугов Кавказа, в то время как надежные индикаторы стадий деградации могут помочь оптимизировать нормы выпаса и управление пастбищами. Такие индикаторы должны отражать состояние растительного и почвенного покровов и быть легко определяемыми не только специалистами в области луговедения, но и менеджерами, принимающими решения по управлению пастбищами.

Отдельным вопросом является сопоставимость закономерностей пастбищной деградации семиаридных горных и равнинных экосистем. Основные тенденции деградации равнинных пастбищ достаточно широко изучены на примере степных районов Калмыкии, Южного Урала и Предуралья, Забайкалья, Монголии, Прикаспия, Крыма и юга европейской части России (Бадикова и др., 2018; Борликов и др., 2006; Гунин и др., 2003; Имескенова, Бутуханов, 2013; Микляева и др., 2004; Миркин, Наумова, 2014; Миронычева-Токарева, 2009; Сидоров и др., 2013; Уртнасан, Любарский, 2013; Lebedeva et al., 2011; и др.). Обсуждение основных тенденций динамики горных и равнинных пастбищ под влиянием перевыпаса скота позволит использовать результаты, полученные на примере горных территорий, для анализа пастбищной деградации семиаридных экосистем в более широком географическом аспекте.

Цели данного исследования – выявить надежные и легко определяемые растительные и почвенные индикаторы состояния (стадий деградации) полусухих горных пастбищ и провести сравнительный анализ основных закономерностей динамики данных параметров в горных и равнинных экосистемах. Результаты исследований дополняют теоретическую базу знаний о закономерностях деградации семиаридных экосистем, которые важны для принятия решений по устойчивому управлению пастбищами в других засушливых горных районах.

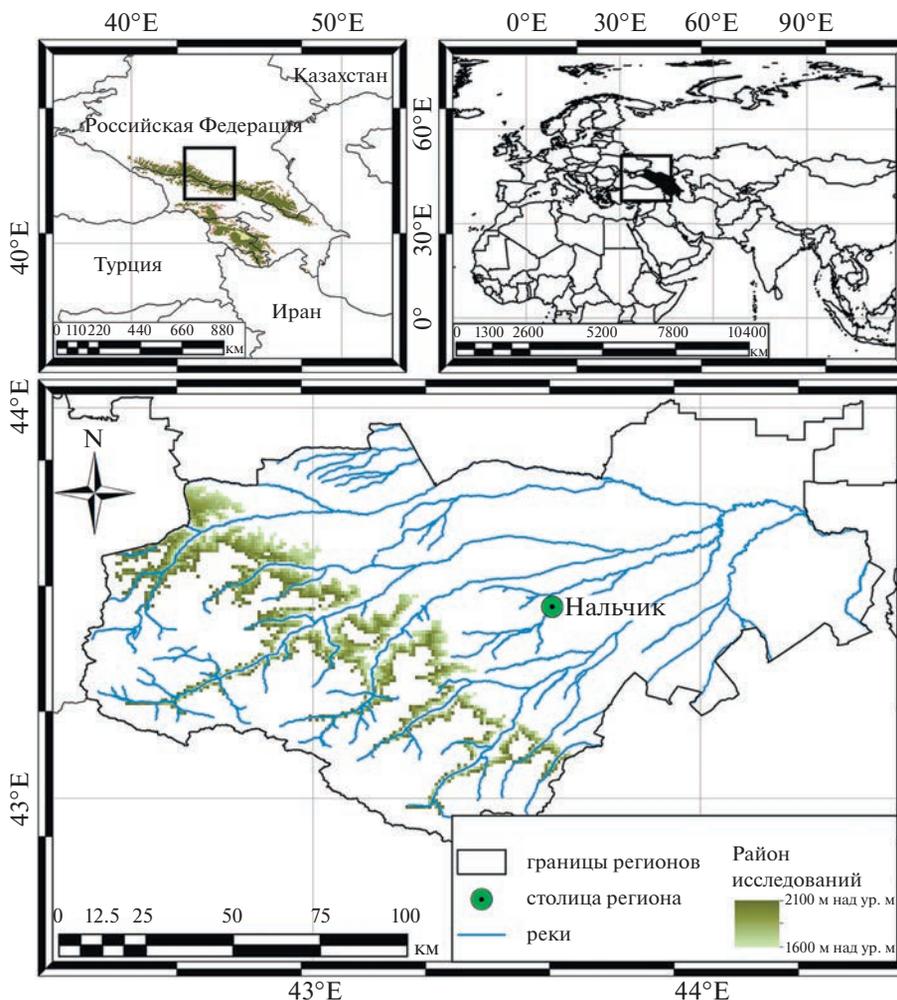


Рис. 1. Картограмма района исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в границах Кабардино-Балкарской Республики, занимающей центральную часть северного макросклона Большого Кавказа (рис. 1). Климатические особенности Центрального Кавказа в целом определяются выраженным высокогорным рельефом, большими перепадами высот и поступлением западных воздушных масс со стороны Атлантики. Климат умеренно континентальный, сравнительно холодный и влажный (типы климата Dfb, Dfc и ET по Кеппен-Гейгеру), однако в субальпийском поясе заметно нарастание его сухости и континентальности (Разумов и др., 2003). Семиаридные луга района исследований (субальпийские остепненные луга и горные луговые степи) распространены на южных склонах Бокового хребта на высоте 1600–2100 м над ур. м., где среднегодовое количество осадков из-за эффекта дождевой тени всего 500–600 мм, а в летние месяцы выпадает менее 250 мм осадков (Авессаломова и др., 2002). Сред-

несуточная температура колеблется от 12.6°C в июле до –6.7°C в декабре (Разумов и др., 2003). По данным метеостанции “Терскол” ФГБУ “Северо-Кавказская военная служба” (2100 м над ур. м.), диапазон среднегодовых температур за 1999–2019 гг. в период активной вегетации (май–сентябрь) составил 9.1–11.6°C. Наиболее распространены горные луговые и лугово-степные субальпийские почвы – Rendzic Leptosols и Phaeozems согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов WRB (IUSS ..., 2022).

Исследованы верховья Малкинского (урочище Джилы-Су), Баксанского, Чегемского (Башиль и Гара-Аузусу), Черекского [Черек Балкарский (урочище Уштулу) и Черек Безенгийский], Суканского и Хазнидонского ущелий. Биополитоны Сукан, Хазнидон, Уштулу, Безенги, Башиль, Гара-Аузусу входят в состав Кабардино-Балкарского высокогорного государственного заповедника и сопредельных территорий. Общая

площадь заповедника в настоящее время составляет 82.6 тыс. га, из которых 60% — площадь оледенения. С момента образования в 1976 г. (на площади более 53 тыс. га) границы заповедника неоднократно менялись, в результате чего из его состава были выведены основания долин в верховьях крупных рек (Чегем, Черек Балкарский, Черек Безенгийский, Псыгансу и Хазнидон). Соответственно, несмотря на ограничение хозяйственной деятельности, на землях заповедника и сопредельных территориях проводится выпас домашнего скота, сенокосение, работа турбаз и альплагерей, кордонов лесников и погранпостов, строительные работы. Биополигоны Джилы-Су и Баксан входят в состав национального парка “Приэльбрусье”, созданного в 1986 г. на площади 101.2 тыс. га на южных и северных отрогах г. Эльбрус. В районе Южного Приэльбрусья расположены шесть селений, многочисленные гостиницы и отели, частные предприятия торговли и общественного питания, канатно-кресельные дороги. В Северном Приэльбрусье находится знаменитый бальнеологический курорт “Джилы-Су”. Для национального парка характерны интенсивная нерегламентированная антропогенная нагрузка на природные экосистемы и отсутствие четкого функционального зонирования.

Субальпийские остепненные луга района исследований в основном представлены сообществами с доминированием *Bromus variegatus*, *B. riparius*, *Carex humilis* и *Agrostis capillaris*. Это наименее нарушенные семиаридные луга, сохранившиеся в границах особо охраняемых природных территорий и огороженных участков. На Центральном Кавказе субальпийские остепненные луга с доминированием *B. variegatus* распространены по пологим платообразным возвышенностям, на пологих, реже крутых склонах южной экспозиции на высоте 1400–2400 м над ур. м. Характерными видами являются *Phleum phleoides*, *Festuca varia*, *Koeleria macrantha*, *Betonica macrantha*, *Galium verum*, *Primula veris*, *Veronica gentianoides*, *Geranium sylvaticum*, *Myosotis suaveolens*, *Trifolium canescens*, *Alchemilla caucasica*, *A. retinervis*. Сообщества с доминированием *B. riparius* встречаются на пологих речных террасах, конусах выноса, в нижней части и у подножия южных склонов в субальпийском поясе и поясе остепненных лугов (1200–2100 м над ур. м.). Часто формируют среднетравные многовидовые луга с участием *K. macrantha*, *Ph. phleoides*, *Helictotrichon pubescens*, *H. adzhagicum*, *T. canescens*, *T. repens* L., *Amoria ambigua*, *Anthyllis vulneraria*, *Lotus corniculatus*. Разнотравно-злаковые остепненные луга с доминированием *Agrostis capillaris* встречаются в основном у подножия и на пологих участках южных склонов в наиболее влагообеспеченных Сукавском и Хазнидонском ущельях Кабардино-Балкарии на высоте 1700–2400 м над ур. м. Характерен обедненный видовой состав сообществ с

участием *Festuca valesiaca* (или *F. ovina*), *Carex humilis*, *Trifolium ambiguum*, *Alchemilla retinervis*, *Ranunculus oreophilus*, *Plantago atrata*, *Potentilla bifurca* и др. Среднетравные луга с высоким покрытием *Carex humilis* распространены на более-менее крутых склонах южной экспозиции, реже по пологим участкам склонов. *Carex humilis* — многолетнее короткокорневищное растение, препятствующее росту других видов, в частности корневищных и рыхлокустовых злаков, за счет формирования плотной дерновины. Остепненные луга с *C. humilis* обычно включают *F. valesiaca*, *T. canescens*, *A. retinervis*, *P. atrata*, *Salvia verticillata*, *Psephellus salviifolius*, *Rhinanthus minor*.

Доминирующие виды горных луговых степей разной степени нарушенности — травянистые многолетники *F. valesiaca*, *F. ovina*, *C. humilis* и полукустарники *Artemisia chamaemelifolia*, *A. austriaca*, *Astracantha aurea*. Низкоосоково-типчачковые и типчачково-низкоосоковые горные луговые степи — низкотравные сообщества с доминированием конкурентоспособных плотнoderнинных видов *F. valesiaca* (или *F. ovina*) и/или *C. humilis*, устойчивых к вытаптыванию и стравливаню. Маловидовые сообщества, широко распространенные на южных ровных или выпуклых склонах разной крутизны во всех горных ущельях района исследований на высоте 1100–2400 м над ур. м. Среди характерных видов представлены *S. verticillata*, *P. atrata*, виды полыней *Artemisia chamaemelifolia* и *A. austriaca* — плохо поедаемые в зеленом виде полукустарники, занимающие гребни террас и троп склонах, в связи с чем длительно противостоят вытаптыванию. Сообщества с доминированием полыней при высоком участии *F. valesiaca* и *C. humilis* распространены преимущественно на сухих щебнистых южных склонах крутизной 20°–35° и выпуклых формах рельефа. Разнотравье представлено *S. verticillata*, *P. salviifolius*, *Rh. minor*, *P. atrata*, *Medicago falcata* и др. Фриганоидные сообщества с доминированием колючего подушковидного полукустарника *Astracantha aurea* (трагакантники) встречаются на крутых участках в средних и нижних частях южных щебнистых склонов Баксанского и Чегемского ущелий на высоте 1200–2400 м над ур. м. Представляют собой сомкнутые заросли полукустарника с небольшим участием сопутствующих видов: *F. valesiaca*, *Ph. phleoides*, *K. macrantha*, *Stipa caragana*, *C. humilis*, *S. verticillata*, *S. canescens*, *Alyssum turkestanicum* и др.

Эффективным методом изучения пространственной динамики луговых экосистем являются исследования на постоянных модельных площадках. Сложность данного метода связана не только с организацией периодических исследований в определенный период вегетации, желательны одними и теми же исследователями, но и с необходимостью правильного выбора мест закладки

площадок. В противоположном случае возрастает риск необъективной оценки пространственных изменений экосистем, неопределенности в трактовке полученных результатов. Одним из решений данной проблемы является применение метода пространственных аналогов. Данный метод предусматривает выбор экосистем в сходных условиях по высоте местности, экспозиции, микрорельефу, крутизне склонов и характеру почвенного покрова, принадлежащих бассейнам водотоков одного порядка. Это позволяет снизить “информационный шум” со стороны перечисленных факторов при сравнении растительных и почвенных параметров луговых экосистем. Соответственно, в июле 2021 г. нами было заложено 186 модельных площадок размером 900 м² на ровных участках южных склонов Бокского хребта крутизной 20°–40°. Площадки заложены в диапазоне высот 1600–2100 м над ур. м., наиболее характерном для распространения остепненных субальпийских лугов на Центральном Кавказе. Находясь в прямой зависимости от абioticеской среды, данные растительные формации во многом отражают схожесть экологических условий, в которых формируются (500–600 мм осадков в год, диапазон среднегодовых температур в период активной вегетации с мая по сентябрь 9–12°C, лугово-степные субальпийские почвы и т.д.).

Визуально оценивали общее проективное покрытие травостоя (травянистые растения и полукустарники) и покрытие каждого вида (%). Высоту травостоя (см) регистрировали по средней высоте листьев злаков, видовое богатство – по числу видов на площадках. Определяли долю синантропных и редких видов (%), альфа-разнообразие (индекс Шеннона) и степень доминирования (индекс Симпсона) в сообществах. Для оценки запасов сырой фитомассы (10² кг га⁻¹) срезали надземную часть растений на трех квадрантах площадью 0.25 м², помещали в бумажные пакеты и взвешивали. С целью выявления кормовой ценности лугов и их устойчивости к выпасу все виды растений были разделены на три функциональные группы, для каждой из которых определены суммарное проективное покрытие и доля видов в сообществе. F-группа (*forage species*) включает кормовые чувствительные к выпасу виды из числа злаков, осок, бобовых, реже разнотравья (табл. 1). GRF-группа (*grazing-resistant forage species*) представлена кормовыми устойчивыми к выпасу видами с плотно-дерновинной или розеточной жизненной формой, стелющимися или быстро отрастающими побегами. LPI-группа (*less palatable/inedible species*) – ядовитые, колючие, жестколистные, грубостебельные, грубоопушенные, резко пахнущие и неприятные на вкус виды. Номенклатура видов дана в соответствии с базой The Plant List¹.

Фактическую пастбищную нагрузку оценивали в условных головах на гектар во время экспедиционных выездов 2021 г. путем прямого подсчета на протяжении одной–двух недель и опроса чабанов, арендаторов пастбищных земель. Недостающую информацию получили на основе анализа имеющихся по региону сельскохозяйственных статистических сводок (Районы ..., 2019). В качестве эквивалента пастбищных животных приняты овцы с коэффициентами перевода стада в условное поголовье согласно Приказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 62 от 13 января 2020 г.: коровы и быки – 1; яки – 1; лошади – 1.5; овцы – 0.1. Однако, учитывая, что на горных пастбищах Кабардино-Балкарской Республики в настоящее время поголовье выпасаемых овец значительно превалирует над поголовьем крупнорогатого скота (Районы ..., 2019), в данной работе мы использовали показатели условного поголовья овец с соответствующими коэффициентами перевода: овцы – 1, коровы и быки – 10; яки – 10; лошади – 15.

Допустимую пастбищную нагрузку (овец га⁻¹ день⁻¹) на каждой модельной площадке рассчитывали по формуле $U/(P \times T)$, где U – урожайность с гектара пастбищ (запас сырой надземной фитомассы, 10² кг га⁻¹); P – суточная потребность одной овцы в пастбищном корме [в среднем составляет 2.5 кг (Борликов и др., 2006)]; T – продолжительность пастбищного сезона (на Центральном Кавказе в среднем с мая по октябрь – около 180 дней).

Для определения физико-химических показателей почв на каждой площадке методом конверта отбирали пять образцов верхнего почвенного слоя (0–20 см) с использованием почвенного бура (диаметр 70 мм), затем тщательно перемешали в один составной образец. Влажность (%) и плотность (г см³) почвы определяли гравиметрически (Казеев и др., 2003). Свежую массу измеряли в полевых условиях, затем образцы сушили в печи при 115°C в течение 4 ч, охлаждали в эксикаторе в течение 60 мин и повторно взвешивали. Для определения содержания (%) и запаса (10³ кг га⁻¹) гумуса использовали метод Тюрина в модификации Никитина (Казеев и др., 2003) и плотность почвы соответственно. рН почвы (почвенно-водная суспензия 1 : 2.5) измеряли потенциометрически с использованием рН-метра. Аналитическое переопределение – 3–6-кратное.

Для определения растительных и почвенных индикаторов стадий деградации (*degradation stage, DS*) использовали линейный дискриминантный анализ LDA для независимых групп модельных площадок (Statistica 10.0). Для установления различий между стадиями деградации

¹ <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения 18.09.2022).

Таблица 1. Основные виды функциональных групп растений семиаридных лугов

Вид	Группа	Вид	Группа
<i>Agrostis capillaris</i> L.	F	<i>Achillea millefolium</i> L.	LPI
<i>Bromus variegatus</i> M. Bieb.	F	<i>Artemisia austriaca</i> Jacq.	LPI
<i>Bromus riparius</i> Rehmman	F	<i>Artemisia chamaemelifolia</i> Vill.	LPI
<i>Helictotrichon adzharicum</i> (Albov) Grossh.	F	<i>Astracantha aurea</i> (Willd.) Podlech	LPI
<i>Helictotrichon pubescens</i> (Huds.) Schult. & Schult.f.	F	<i>Carduus nutans</i> L.	LPI
<i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult.	F	<i>Cirsium rhocephalum</i> C.A. Mey.	LPI
<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	F	<i>Euphorbia seguieriana</i> Neck.	LPI
<i>Trifolium pratense</i> L.	F	<i>Phlomis tuberosa</i> (L.) Moench	LPI
<i>Onobrychis biebersteinii</i> Sirj.	F	<i>Pilosella officinarum</i> Vaill.	LPI
<i>Onobrychis ruprechtii</i> Grossh.	F	<i>Plantago atrata</i> Hoppe	LPI
<i>Carex humilis</i> Leyss.	GRF	<i>Salvia verticillata</i> L.	LPI
<i>Festuca ovina</i> L.	GRF	<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	LPI
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	GRF	<i>Teucrium polium</i> L.	LPI
<i>Festuca valesiaca</i> Schleich. ex Gaudin	GRF	<i>Teucrium orientale</i> L.	LPI
<i>Poa angustifolia</i> L.	GRF	<i>Thymus collinus</i> M. Bieb.	LPI
<i>Trifolium ambiguum</i> M. Bieb.	GRF	<i>Thymus marschallianus</i> Willd.	LPI
<i>Trifolium repens</i> L.	GRF	<i>Veronica gentianoides</i> Vahl	LPI

Примечание. F (forage species) – кормовые чувствительные к выпасу виды; GRF (grazing-resistant forage species) – кормовые устойчивые к выпасу виды; LPI (less palatable/inedible species) – плохо поедаемые и непоедаемые виды.

пастбищ использовали однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA) и попарное апостериорное сравнение по критерию Фишера (Fisher LSD). На основе выделенных растительных и почвенных индикаторов с использованием регрессионного анализа вычислены значения индекса деградации пастбищ (degradation index, DI). Индексы Шеннона и Симпсона рассчитаны с использованием Past 4.0 (Хаммер и др., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение растительных и почвенных индикаторов стадий деградации. Для проведения дискриминантного анализа, в полевых условиях были выделены четыре группы модельных площадок по результатам оценки фактической пастбищной нагрузки: DS1 – до 10 овец га⁻¹ день⁻¹, DS2 – 15–30 овец га⁻¹ день⁻¹, DS3 – 20–100 овец га⁻¹ день⁻¹, DS4 – любая численность поголовья, выпасаемого на деградированных кустарниковых ландшафтах с эродированными песчаными почвами (рис. 2). Результаты LDA (Wilks' Lambda = 0.00169, approx. F (57.489) = 64.478, P < 0.0000) для четырех независимых групп модельных площадок по 19 параметрам растительности и почвы выявили кластеризацию, поддерживающую DS1, DS2, DS3, DS4 как четыре отдельные стадии деградации пастбищ (рис. 3). На первые два канонических корня (Root 1 и Root 2) приходится около 97% общей изменчивости переменных. Пер-

вый корень сформирован большинством изученных параметров, за исключением плотности почв и проективного покрытия GRF-группы (факторные нагрузки на второй корень – 0.61 и 0.64 соответственно). Ассоциации модельных площадок, соответствующие DS1, DS2 и DS3, имеют тенденцию к последовательному смещению от положительно-отрицательной к отрицательно-положительной четверти на диаграмме рассеяния первых двух канонических корней. Площадки DS4 отличаются вертикальным смещением в область отрицательных значений второго корня, которая соответствует местоположению площадок DS1.

Только 16 из 19 параметров влияют на идентификацию стадий деградации (табл. 2). Разница между четырьмя стадиями значима (P < 0.05) по 10 переменным (рис. 4). Высота и общее проективное покрытие травостоя, два наиболее легко измеряемых параметра в полевых условиях, линейно уменьшаются в ряду DS1–DS4 соответственно с 25.4 ± 3.2 до 3.6 ± 1.2 см и с 93 ± 5 до 41 ± 7%. Сокращение проективного покрытия видов F-группы определяет снижение кормовой ценности лугов с усилением деградации. Индекс Шеннона проявляет тенденцию к снижению от DS1 к DS4, в то время как тенденция индекса Симпсона противоположна. Влажность почвы на DS1 составляет 25.7 ± 6%, что на 25% выше, чем на DS2 и на 47 и 58% выше, чем на DS3 и DS4. Плотность почвы возрастает от DS1 к DS3, затем снижается. Учитывая высокую факторную нагрузку параметра на

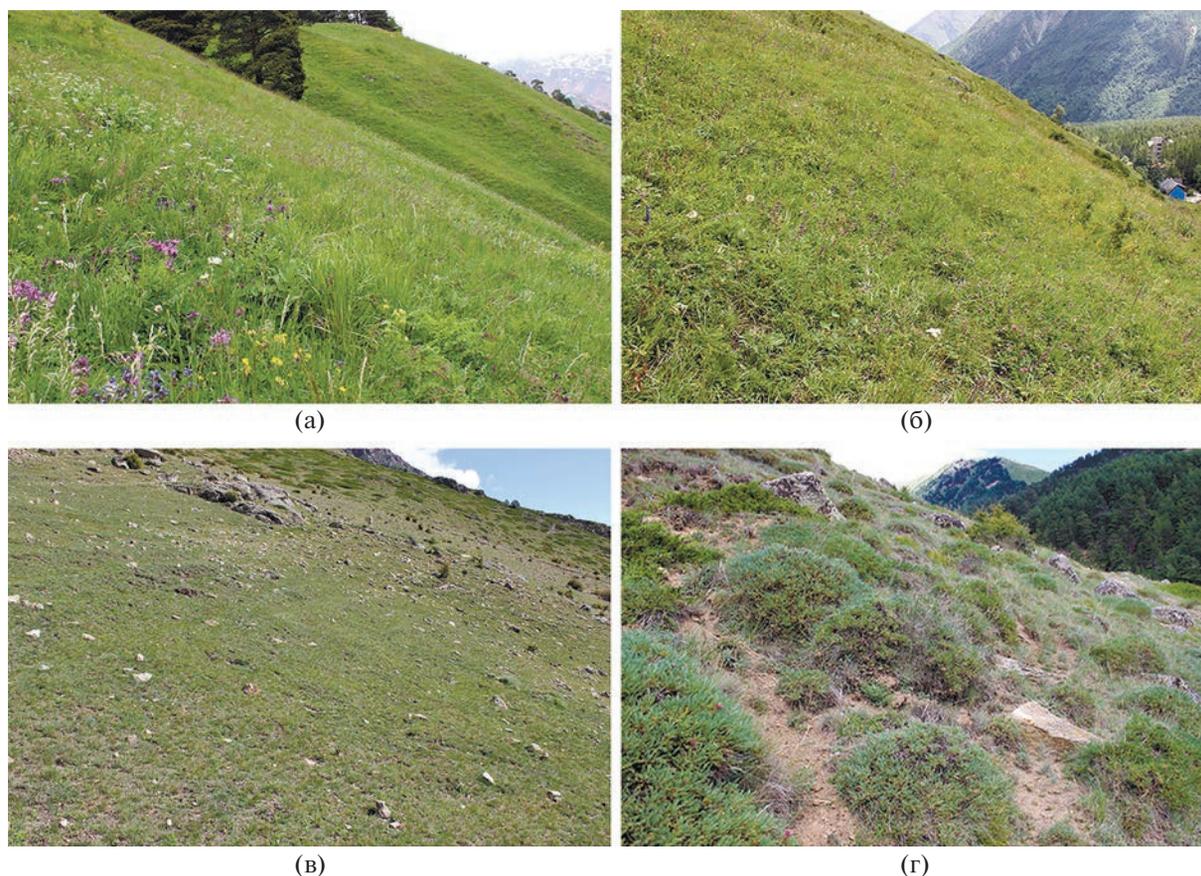


Рис. 2. Стадии пастбищной деградации лугов. (а) – наименее деградированные; (б) – умеренно деградированные; (в) – сильно деградированные; (г) – крайне деградированные.

второй корень, это в основном объясняет аналогичное расположение площадок DS1 и DS4 на диаграмме рассеяния (см. рис. 3). Кислотность почвы повышается по мере усиления деградации пастбищ, однако чрезмерная изменчивость этого параметра затрудняет его использование в анализе. Содержание и запасы гумуса снижаются в ряду деградации, вероятно, из-за уменьшения количества органики, поступающей с растительным опадом.

Три из четырех стадий деградации отличаются ($P < 0.05$) по шести растительным параметрам (рис. 5). Запасы сырой фитомассы ниже на DS3, чем на DS2 и DS1, но схожи с таковыми на DS4. Разница между средними показателями доли и покрытия видов LPI-группы и доли видов GRF-группы незначительна в паре DS2 и DS3 ($P > 0.05$). Покрытие видов GRF-группы возрастает на DS2, затем снижается на DS3 и DS4, что свидетельствует о наибольшей устойчивости к выпасу и кормовой ценности лугов второй стадии деградации. Эта тенденция также объясняет сходное расположение площадок DS1 и DS4 на оси второго корня диаграммы рассеяния (см. рис. 3). Доля синантропных видов уменьшается с ростом ин-

тенсивности деградации. Тенденция более выражена между DS1 и DS4, в то время как DS1 и DS2 не различаются ($P > 0.05$) по этому параметру.

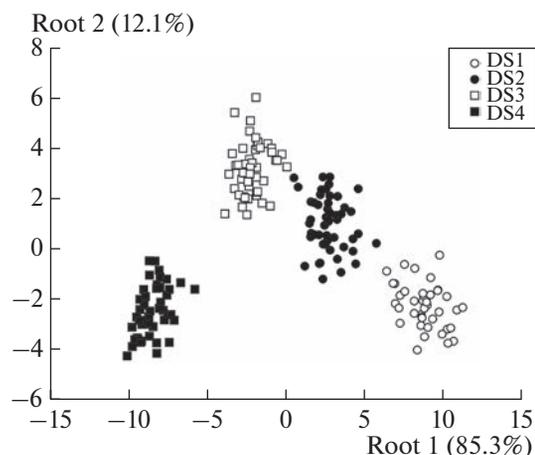


Рис. 3. Диаграммы рассеяния 186 модельных площадок по данным дискриминантного анализа стадий деградации семиаридных лугов (DS1–DS4).

Таблица 2. Данные линейного дискриминантного анализа с уровнями значимости параметров растительности и почвы при определении стадий деградации горных лугов

Параметр	Partial Lambda	F-test	Параметр	Partial Lambda	F-test
Покрытие травостоя, %	0.815	***	Доля видов F-группы, %	0.979	ns
Высота травостоя, см	0.763	***	Покрытие GRF-группы, %	0.619	***
Видовое богатство	0.967	ns	Proportion of GRF-группы, %	0.917	**
Индекс Шеннона	0.902	***	Покрытие LPI-группы, %	0.858	***
Индекс Симпсона	0.954	*	Доля видов LPI-группы, %	0.780	***
Влажность почвы, %	0.951	*	Доля редких видов, %	0.987	ns
Плотность почвы, г см ⁻³	0.815	***	Запас сырой фитомассы, 10 ² кг га ⁻¹	0.899	***
pH почвенного раствора	0.952	*	Доля синантропных видов, %	0.877	***
Содержание гумуса, %	0.856	***	Запас гумуса, 10 ³ кг га ⁻¹	0.915	***
Покрытие F-группы, %	0.802	***	—	—	—

Примечание. ns – нет статистических различий при $P < 0.05$; * статистически отличаются при $P < 0.05$; ** статистически отличаются при $P < 0.01$; *** статистически отличаются при $P < 0.001$; $n = 186$.

Вклад видового богатства и доли редких видов в дифференциацию стадий деградации незначителен ($P > 0.05$). Тем не менее эти параметры линейно уменьшаются соответственно с 45 ± 11 до 19 ± 5 и с 2 ± 1.6 до $0.05 \pm 0.02\%$ в ряду DS1–DS4.

Вычисление и шкалирование индекса деградации пастбищ. Для расчета индекса деградации DI с помощью множественного регрессионного анализа (Backward stepwise, F to enter = 11, F to remove = 10) были использованы девять показателей, диффе-

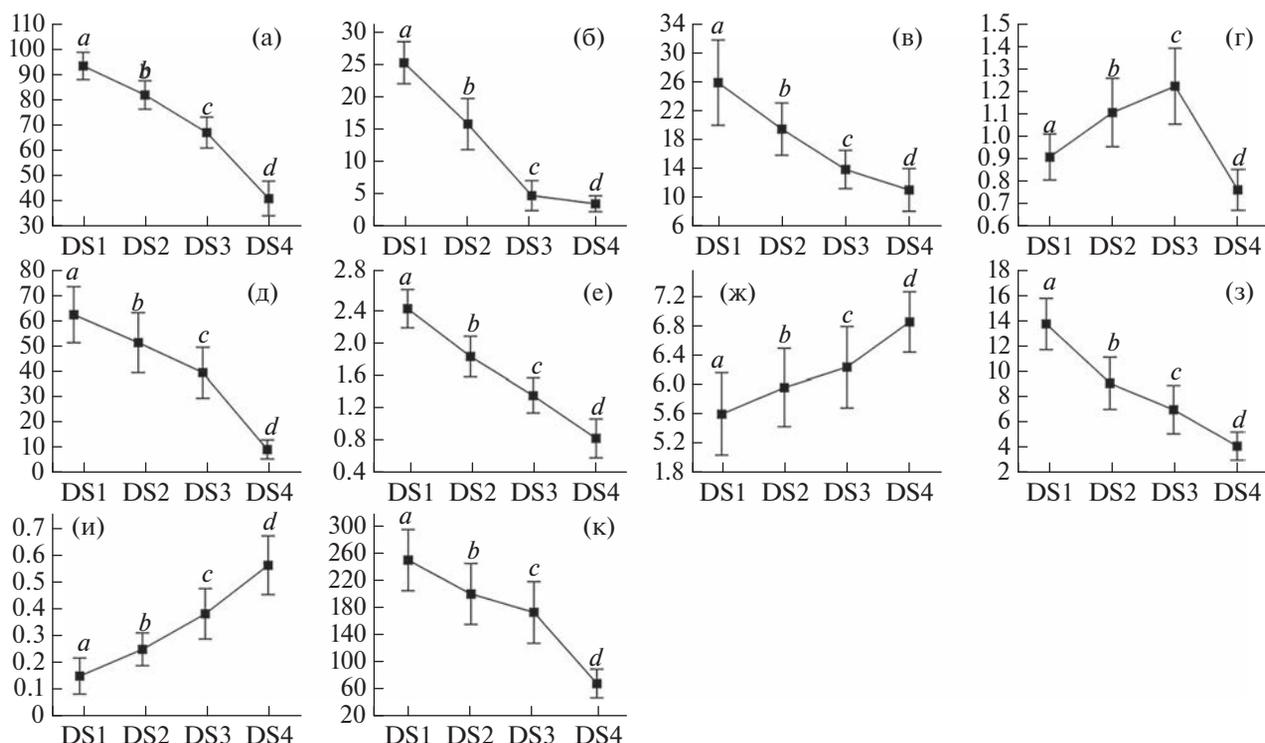


Рис. 4. Значимость различий параметров растительности и почвы, дифференцирующих четыре стадии деградации лугов (DS1–DS4). Представлены усредненные по модельным площадкам значения параметров \pm стандартное отклонение ($n = 186$). Значения с разными буквами над столбиками для каждого исследуемого параметра различаются согласно тесту LSD при $P < 0.05$. (а) – покрытие травостоя, %; (б) – высота травостоя, см; (в) – влажность почвы, %; (г) – плотность почвы, г см⁻³; (д) – покрытие видов F-группы, %; (е) – индекс Шеннона; (ж) – pH почвенного раствора; (з) – содержание гумуса, %; (и) – индекс Симпсона; (к) – запас гумуса, 10³ кг га⁻¹.

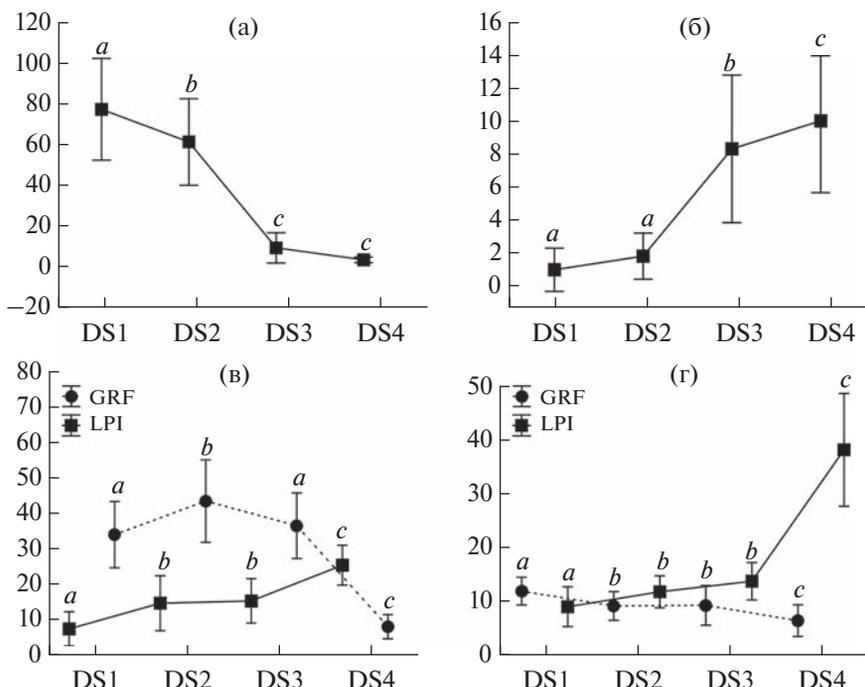


Рис. 5. Значимость различий параметров растительности, дифференцирующих три из четырех стадий деградации лугов (DS1–DS4). Представлены усредненные по модельным площадкам значения параметров ± стандартное отклонение ($n = 186$). Значения с одинаковыми буквами над столбиками для каждого исследуемого параметра не различаются согласно тесту LSD при $P < 0.05$. (а) – запас сырой фитомассы, 10^2 кг га^{-1} ; (б) – доля синантропных видов, %; (в) – покрытие видов GRF- и LPI-групп, %; (г) – доля видов GRF- и LPI-групп, %.

ренцирующих все четыре стадии деградации пастбищ. Модель объясняет около 96% вариации независимых переменных при уровне значимости $P < 0.00000$, разнице между коэффициентами регрессии R^2 и Adj. $R^2 - 0.001$ и довольно низкой стандартной ошибке оценки SEE (табл. 3). Эти характеристики подчеркивают высокую прогностическую способность регрессионной модели. Покрытие видов F-группы, индекс Симпсона, плотность и запас гумуса исключены из модели как предикторы с коэффициентами регрессии b , близкими к нулю. Переменной с наибольшим коэффициентом регрессии является индекс Шеннона, за которым следуют высота травостоя, содержание гумуса, проективное покрытие травостоя и влажность почвы. Снижение этих параметров с отрицательными коэффициентами регрессии соответствует увеличению степени деградации пастбищ. Значения индекса DI, рассчитанные для каждой стадии деградации (one-way ANOVA) в соответствии с моделью, представляют собой наглядный ряд: 1 ± 0.3 для DS1, 2 ± 0.2 для DS2, 3 ± 0.2 для DS3, 4 ± 0.2 для DS4 (рис. 6).

Наиболее ценные с позиции длительного выпаса – пастбища DS2 с высоким проективным покрытием видов F- и GRF-групп. Для поддержания семиаридных лугов на стадии DS2 необходимо регулирование пастбищной нагрузки. Фак-

тическая пастбищная нагрузка на лугах стадий DS1 и DS2 (23 и 27% модельных площадок) соответственно не превышает и приемлемо выше допустимой (табл. 4). В то же время 50% модельных площадок представляют сильно и чрезвычайно деградированные пастбища (DS3 и DS4), где фактическая пастбищная нагрузка значительно превышает допустимую.

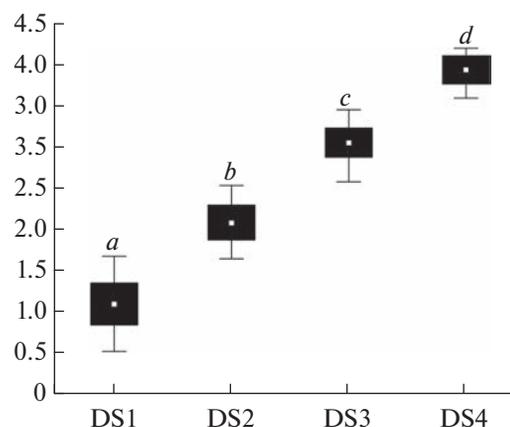


Рис. 6. Значения индекса деградации пастбищ на каждой стадии (DS1–DS4). Значения с разными буквами над столбиками различаются согласно тесту LSD при $P < 0.05$.

Таблица 3. Данные множественного регрессионного анализа, показывающие уровни значимости параметров растительности в определении стадий деградации лугов

Независимые переменные	Код переменной	<i>b</i>	Стандартная ошибка <i>b</i>	<i>t</i> -test
Интерсепт	—	5.51	0.073	*
Индекс Шеннона	A	−0.36	0.065	*
Высота травостоя, см	B	−0.03	0.004	*
Содержание гумуса, %	C	−0.03	0.008	*
Покрытие травостоя, %	D	−0.02	0.002	*
Влажность почвы, %	E	−0.02	0.004	*
Математическая модель DI = 5.51 − 0.36A − 0.03B − 0.03C − 0.02D − 0.02E	<i>R</i> ²	Adj. <i>R</i> ²	<i>P</i> -value	SEE
	0.963	0.962	< 0.0000	0.213

Примечание. DI (grassland degradation index) – индекс деградации пастбищ; * статистически отличаются при $P < 0.001$; $n = 186$.

Таблица 4. Фактическая и допустимая пастбищные нагрузки на различных стадиях деградации (DS) семиаридных лугов Центрального Кавказа

DS	Фактическая пастбищная нагрузка (овец га ^{−1} день ^{−1})				Допустимая пастбищная нагрузка (овец га ^{−1} день ^{−1})				Соотношение фактической и допустимой нагрузок			
	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max
DS1	3.7	2.8	0	9	23.8	7.7	12.9	41.2	0.2	0.15	0	1
DS2	23.1	4.6	14	30	18.9	6.5	5.5	36.9	1.4	0.7	0.6	5.2
DS3	58.4	18.3	20	90	2.9	1.8	0.3	8.6	41.3	16.8	4.5	189
DS4	5.1	2.9	1	14	1.1	0.1	0.3	1.8	5.4	4.1	0.6	23

Примечание. DS1 – наименее деградированные луга; DS2 – умеренно деградированные луга; DS3 – сильно деградированные луга; DS4 – крайне деградированные луга.

ДИСКУССИЯ

За последнее столетие многие семиаридные экосистемы мира подверглись деградации. В данном процессе задействовано несколько взаимосвязанных факторов, и одной из ключевых детерминант является нерациональное управление выпасом (Cipriotti et al., 2019; Gasanova, 2014; Zhang et al., 2019). На Центральном Кавказе круглогодичный выпас скота на высокогорных семиаридных пастбищах в окрестностях населенных пунктов привел к изменениям параметров растительности и почвы. Среди переменных, различающихся ($P < 0.05$) по всем четырем стадиям деградации, высота и проективное покрытие травостоя и ценных кормовых видов, индексы Шеннона и Симпсона, влажность, плотность и pH почвы, содержание и запас гумуса (см. табл. 2, рис. 4).

В пастбищных экосистемах высота и проективное покрытие травостоя являются основными и ранними индикаторами деградации, вызванной перевыпасом скота (Kemp et al., 2020; Mayel et al., 2021). Травоядные животные откусывают верхушки побегов и вытаптывают растительный покров, что приводит к снижению темпов роста растений и оголению участков почвы. В горах Центрального Кавказа критические значения высоты

и проективного покрытия травостоя для DS2 составляют 16 ± 4 см и $82 \pm 6\%$, для DS3 – 5 ± 2 см и $67 \pm 6\%$ соответственно. Результаты исследований подтверждают снижение этих параметров с увеличением интенсивности деградации как в горных экосистемах мира (Haider et al., 2011; Wei et al., 2011; Kemp et al., 2020; и др.), так и в засушливых степных ландшафтах равнин (Бадикова и др., 2018; Борликов и др., 2006; Миркин, Наумова, 2014; Миронычева-Токарева, 2009). Однако в отдельных случаях, как показано на примере равнинных степей Монголии (Микляева и др., 2004; Уртнасан, Любарский, 2013), на конечных стадиях пастбищной дигрессии при низкой высоте травостоя его проективное покрытие может возрастать до 85–95% за счет разрастания устойчивых к выпасу растений. Вероятно, это возможно в силу особенностей равнинного рельефа, не препятствующего закреплению растений в почве, а также микроклиматическим условиям влагообеспеченности участков.

По мере уменьшения покрытия травостоя усиливается степень эрозии почв, что является обычным явлением в засушливых горных районах (Gasanova, 2014; Koç et al., 2020). Наши результаты показали, что критическое значение проек-

тивного покрытия травостоя, когда растительность больше не удерживает почву, и возрастает сток с голых участков земли (стадия DS4), составляет $40 \pm 7\%$. Этот результат согласуется с тем, что водная эрозия развивается на горных пастбищах с растительным покровом менее 30–40% (Çotaklı et al., 2021). В условиях семиаридных равнинных ландшафтов, например, на черноземельских пастбищах юга европейской части России (Борликов и др., 2006) и в степях Калмыкии (Bananova and Lazareva, 2014), большую роль в развитии деградационных процессов имеет ветровая эрозия, которая обуславливает движение легких почв, сформированных при разрушении дернины и распылении почв копытами овец.

Сток с голых участков склонов и уменьшение массы растительного опада приводят к потере органического вещества почвы в горных экосистемах (Авессаломова и др., 2002; Liu et al., 2011; Mayel et al., 2021), в нашем исследовании особенно заметной на стадии DS4 (см. рис. 4). На равнинных пастбищах основную роль в дегумификации почв при интенсивном выпасе играет снижение количества мертвой растительной массы (Кобечинская, 2018).

Известно, что с увеличением интенсивности выпасывания скотом возрастает степень уплотнения почвы, в том числе в условиях гор (Zhang et al., 2019). В наших площадках плотность почвы увеличивалась с интенсивностью выпаса в ряду DS1–DS3, однако затем снизилась на DS4 (см. рис. 5), вероятно, из-за водной эрозии и изменений в почвенной структуре. Сходные процессы отмечены Г.М. Борликовым с соавт. (2006) на равнинных пастбищах Прикаспия, где длительный выпас овец приводит сначала к уплотнению почв, а затем к их распылению и формированию барханного рельефа.

Самая низкая влажность почвы также отмечена на стадии DS4, что согласуется с данными о снижении этого параметра на деградированных лугах из-за уменьшения водоудерживающей способности верхних горизонтов, вызванной потерей органического вещества, изменениями механического состава, высокой скоростью испарения воды и стока с голых участков земли (Guo et al., 2020; Liu et al., 2016; Taboada et al., 2011; и др.). На равнинных пастбищах большее значение в снижении влажности почвы имеет уменьшение ее способности пропускать воду вследствие уплотнения верхних горизонтов при интенсивном выпасе. Так, в опустыненных степях равнинного Крыма общая скважность в уплотненных горизонтах опустилась до 30–40%, являясь ярким индикатором изменения физических свойств почвы вследствие пастбы (Кобечинская, 2018).

Увеличение pH почвенного раствора с интенсивностью выпаса (см. рис. 4) также упоминалось

в связи с приближением карбонатов к поверхности почвы из-за уменьшения глубины верхних горизонтов при выпасывании в горах (Авессаломова и др., 2002; Mayel et al., 2021; Zhang et al., 2019). Подщелачивание верхних горизонтов почвы в целом характерно для семиаридных луговых экосистем (Kudrevatykh et al., 2021). При этом на равнинных пастбищах подщелачивание верхних горизонтов переуплотненных почв при значениях pH = 9 и выше нередко сопровождается их засолением (Кобечинская, 2018).

Видовое разнообразие (индекс Шеннона) линейно уменьшается, а степень доминирования (индекс Симпсона) увеличивается в ряду DS1–DS4 (см. рис. 4). Трансформированные луга имеют меньшее видовое разнообразие из-за возрастания степени доминирования отдельных видов, что характерно как для горных (Gasanova, 2014), так и для равнинных (Бадикова и др., 2018; Гунин и др., 2003; Имескенова, Бутуханов, 2013; Кобечинская, 2018; Миркин, Наумова, 2014; Muller et al., 2021) пастбищ. Примечательно, что показатель видового богатства при этом значительно не снижается (см. табл. 2), т.е. в сообществе сохраняется основной состав видов, в то время как их количественное соотношение по проективному покрытию меняется. Изменение покрытия доминирующих видов является ключевой реакцией растительных сообществ на выпас скота и показателем их устойчивости к нарушениям (Fıncıoğlu et al., 2009). Выборочное потребление растений из числа первичных доминантов приводит к распространению в сообществах сопутствующих или чужеродных видов из-за освобождения от конкуренции (Muller et al., 2021; Nakano et al., 2020). На высокогорных лугах Центрального Кавказа инвазивные растения практически отсутствуют, поэтому изменение иерархии доминирования происходит среди аборигенных видов. Первичные доминанты ненарушенных лугов стадии DS1 из F-группы (*B. riparius*, *B. variegatus*, *A. capillaris*, *H. pubescens*, *F. pratensis*) на стадии DS2 сменяются вторичными доминантами из GRF-группы (*F. valesiaca* (*F. ovina*) и/или *C. humilis*), покрытие которых значительно возрастает (см. рис. 5). Эти виды – ценные кормовые многолетники с плотной дерниной и быстрорастущими побегами. Они определяют высокие кормовые качества пастбищ DS2, их устойчивость к выпасу, приемлемые показатели высоты и покрытия травостоя, запасов фитомассы (см. рис. 4, 5). Известно, что нарушение пастбищ в целом благоприятствует распространению видов семейств Poaceae и Cyperaceae (Fıncıoğlu et al., 2009; Muller et al., 2021). Так, *F. valesiaca* и *F. ovina* доминируют на умеренно деградированных семиаридных горных лугах Турции и Азербайджана (Fıncıoğlu et al., 2009; Gasanova, 2014; Koç et al., 2020). Виды *Festuca* spp. и/или *Carex* spp. являются вторичными доминан-

тами на стадиях умеренной деградации равнинных степных пастбищ на юге европейской части России (Борликов и др., 2006; Lebedeva et al., 2011), Южном Урале (Бадикова и др., 2018; Миркин, Наумова, 2014), в Забайкалье (Гунин и др., 2003; Имескенова, Бутуханов, 2013), Монголии (Микляева и др., 2004; Уртнасан, Любарский, 2013) и Южном Предуралье (Сидоров и др., 2013). Повышение кормовой ценности с усилением пастбищной нагрузки также в целом характерно для семиаридных лугов (Имескенова, Бутуханов, 2013; Bosch, 1989). В таких случаях важно поддерживать пастбища на стадии сукцессии с высокой продуктивностью и оптимальным для выпаса составом травостоя (Karatassiou, 2016).

Несмотря на высокое покрытие *F. valesiaca* и *C. humilis*, кормовая ценность лугов стадии DS3 снижается на фоне сокращения покрытия и высоты травостоя, запасов сырой фитомассы (см. рис. 4, 5). Готовность скотоводов контролировать поголовье скота имеет решающее значение для восстановления этих лугов, где фактическая пастбищная нагрузка местами в 189 раз превышает допустимую.

Дальнейшее ухудшение состояния лугов из-за длительного перевыпаса (стадия DS4) приводит к смене кормовых растений плохо поедаемыми и несъедобными, в том числе синантропными (*Carduus nutans*, *Cirsium rhizocephalum*, *C. ciliatum*, *C. pugnax* и др.), видами, что способствует увеличению покрытия LPI-группы (см. рис. 5). Данная тенденция является общей как для горных лугов, так и для равнинных пастбищ. Так при чрезмерном выпасе скота в степной зоне Монголии доля плохо поедаемого и ядовитого разнотравья составила более 80% наземной фитомассы (Микляева и др., 2004), на степных пастбищах Забайкалья — около 25% проективного покрытия (Имескенова, Бутуханов, 2013).

Одновременно на стадии DS4 возрастает покрытие непоедаемых и плохо поедаемых полукустарников (*A. chamaemelifolia*, *A. austriaca* и *Astracantha aurea*), а также ксерофитных кустарников (*Berberis vulgaris*, *Juniperus* spp., *Rosa* spp.). Виды полыней *Artemisia* spp. с неприятным для животных запахом, а также колючий полукустарник *Astracantha aurea* рассматриваются исследователями как индикаторы деградации семиаридных горных лугов Кавказа и Турции (Koç et al., 2020; Peper et al., 2010). На равнинных степных пастбищах также характерно повышение обилия видов *Artemisia* spp. с усилением выпаса скота. В то же время доминирование полыней отмечается исследователями в основном для умеренных/средних стадий деградации, как это показано для Монголии (Микляева и др., 2004), Прикаспия (Борликов и др., 2006), Забайкалья (Гунин и др., 2003; Имескенова, Бутуханов, 2013), Южного

Урала (Бадикова и др., 2018; Миркин, Наумова, 2014; Миронычева-Токарева, 2009) и Предуралья (Сидоров и др., 2013). Крайние стадии деградации семиаридных равнинных пастбищ чаще всего характеризуются значительным увеличением обилия, во многих случаях доминированием, однолетних видов растений (Бадикова и др., 2018; Борликов и др., 2006; Имескенова, Бутуханов, 2013; Микляева и др., 2004; Миркин, Наумова, 2014; Миронычева-Токарева, 2009; Сидоров и др., 2013; Vananova and Lazageva, 2014), что является существенным отличием закономерностей пастбищной деградации изученных горных лугов Кавказа и равнинных семиаридных пастбищ.

Таким образом, стадия DS4 является крайним случаем деградации пастбищ в высокогорных семиаридных экосистемах Центрального Кавказа. Распространение этой стадии приводит к смене ксерофитными типами кустарниковых ландшафтов более мезофитных типов с гомогенизацией растительности в крупных масштабах, эрозией почвы и гидрологическими изменениями. Распространение кустарниковых сообществ с характерных петрофитных местообитаний на зональные ландшафты в результате интенсивного пастбищного использования горных и равнинных семиаридных экосистем в настоящее время носит глобальный характер (Fıncıoğlu et al., 2009; Koç et al., 2020; Lebedeva et al., 2011; Nakano et al., 2020; Peper et al., 2010). Такое потенциально необратимое ухудшение растительного и почвенного покровов на Центральном Кавказе, вероятно, не может быть устранено только путем исключения выпаса скота. Из-за низкой кормовой ценности пастбищная нагрузка на стадии DS4 в целом не превышает 5.1 ± 2.9 овец га⁻¹ день⁻¹ (см. табл. 4), однако, какие-либо свидетельства восстановления подобных пастбищ отсутствуют.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительный перевыпас скота на присельских семиаридных лугах Центрального Кавказа, обусловленный отсутствием рыночных стимулов для аренды отгонных пастбищ и слабым мониторингом землепользования со стороны муниципалитетов, привел к выраженной деградации почвенного и растительного покрова этих горных экосистем. Среди основных индикаторов деградации пастбищ выделены высота и проективное покрытие травостоя, индекс Шеннона, содержание гумуса и влажность почвы, значительно снижающиеся по мере усиления выпаса. На основе данных параметров разработана четырехступенчатая система оценки стадий деградации лугов и выявлены нормы выпаса для каждой стадии. Для поддержания пастбищ на начальных стадиях деградации (DS1 и DS2) достаточно регулировать поголовье скота и проводить мониторинг состояния лугов. Для восстановления

пастбищных угодий на конечных стадиях деградации (DS3 и DS4) сокращение пастбищной нагрузки, вероятнее всего, должно сочетаться с традиционными методами — удобрением почв, дополнительным орошением, подсевом растений, борьбой с закустариванием и т.п. Данная система оценки может быть обобщена на различные типы семиаридных лугов и применяться для управления пастбищными угодьями в других полусухих регионах.

Сравнительный анализ закономерностей пастбищной деградации растительного и почвенного покровов семиаридных горных лугов Центрального Кавказа и равнинных степных пастбищ Урала, Предуралья, Забайкалья, Монголии и др. показал значительную схожесть основных тенденций данного процесса. В целом сходная динамика характерна для проективного покрытия и высоты травостоя, видового разнообразия сообществ, pH и плотности почв. Общими чертами обладают стадии изменения иерархии доминирования видов в сообществах: первичные доминанты (широкий спектр видов) — вторичные пастбищные доминанты с высокой кормовой ценностью и устойчивостью к выпасу (виды *Festuca* spp. и *Carex* spp.) — плохо поедаемые виды полыней *Artemisia* spp. и сорное/ядовитое разнотравье. В то же время, в отличие от горных пастбищ, где важнейшим фактором деградации почв выступает водная эрозия, в равнинных экосистемах большее значение имеет ветровая эрозия. Меньшую роль в дегумификации и снижении влажности почв равнинных степей играет также сток с оголенных участков. Кроме того, если в горах Центрального Кавказа конечная стадия пастбищной деградации представляет собой устойчивые петрофитные кустарниковые ландшафты, то процесс деградации равнинных степных пастбищ часто приводит к формированию кратковременных фитосеносов с доминированием однолетних видов растений. Общность тенденций пастбищной деградации горных семиаридных лугов Кавказа и равнинных степей Калмыкии, Урала, Предуралья, Забайкалья, Монголии, Прикаспия, Крыма и юга европейской части России позволяет использовать выявленные ключевые параметры почв и растительных сообществ в качестве основных ориентировочных индикаторов при изучении влияния выпаса скота на семиаридные экосистемы в достаточно широком географическом аспекте.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания “Закономерности пространственно-временной динамики луговых и лесных экосистем в условиях горных территорий (российский Западный и Центральный Кавказ)”, проект № 075-00347-19-00.

FUNDING

This work was supported by the state assignment “Patterns of the Spatiotemporal Dynamics of Meadow and Forest Ecosystems in Mountainous Areas (Russian Western and Central Caucasus),” no. 075-00347-19-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авессаломова И.А., Петрушина М.Н., Хорошев А.В.* Горные ландшафты: структура и динамика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 158 с.
- Бадикова А.А., Хусаинова С.А., Ахмадуллин И.И., Хусаинов А.Ф.* Влияние выпаса на флору и растительность петрофитных степей на южной границе Природного парка “Кандры-куль” // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 43. № 7. С. 59–62.
- Борликов Г.М., Бананова В.А., Лазарева В.Г., Бамбышева А.Н.* Динамика опустынивания черноземельских пастбищ юга европейской части России // Научная мысль Кавказа. 2006. № 2. С. 63–69.
- Грачева Р.Г., Белоновская Е.А.* Современное состояние пасторальных экосистем Центрального Кавказа // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 1. С. 90–102.
- Гунин П.Д., Микляева И.М., Бажа С.Н., Слемнев Н.Н., Чердонова В.А.* Особенности деградации и опустынивания растительных сообществ лесостепных и степных экосистем Южного Забайкалья // Аридные экосистемы. 2003. Т. 9. № 19–20. С. 7–21.
- Имексенова Э.Г., Бутуханов А.Б.* Продукционные возможности пастбищных экосистем тункинского района // Вестн. Бурятской гос. с.-х акад. им. В.Р. Филиппова. 2013. № 1 (30). С. 77–81.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 2003. 204 с.
- Кобечинская В.Г.* Постпастбищная демутация в опустыненных степях равнинного Крыма с учетом интенсивности пастбищной нагрузки // Учен. зап. Крымского фед. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2018. Т. 70. № 4. С. 79–96.
- Микляева И.М., Гунин П.Д., Слемнев Н.Н., Бажа С.Н., Факхире А.* Нарушенность растительности степных экосистем // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10. № 24–25. С. 35–47.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Изучение состава и динамики растительных сообществ в Республике Башкортостан // Вестн. Акад. наук Республики Башкортостан. 2014. Т. 19. № 2. С. 29–39.
- Миронычева-Токарева Н.П.* Эволюция растительного покрова лугов Южного Урала // Гео-Сибирь. 2009. Т. 4. № 2. С. 78–83.
- Пшегусов Р.Х., Чадаева В.А.* Исторические аспекты использования пастбищных ресурсов горно-луговых экосистем Кабардино-Балкарской Республики // Докл. Адыгской (Черкесской) Междунар. акад. наук. 2020. Т. 20. № 2. С. 16–23.
- Районы и города Кабардино-Балкарии. Статистический сборник / гл. ред. Н.В. Скоркина. Нальчик: ОП Северо-Кавказстата по КБР, 2019. 151 с.
- Разумов В.В., Курданов Х.А., Разумова Л.А., Крохмаль А.Г., Батырбекова Л.М.* Экосистемы гор Центрального Кавказа и здоровье человека. М.—Ставрополь: Илекса, Ставропольсервисшкола, 2003. 448 с.

- Сидоров Ю.Н., Докина Н.Н., Королев В.Л., Маханова Р.С.* Погодные и антропогенные условия пастбищной дигрессии в зонах сухих и засушливых степей Южного Предуралья // Вестн. мясного скотоводства. 2013. № 4 (82). С. 111–116.
- Уртнасан М., Любарский Е.Л.* Пастбищная дигрессия в степях Центральной Монголии (на примере сомона Батсумбэр Центрального аймака Монголии) // Учен. Зап. Казанского ун-та. Сер.: Естественные науки. 2013. Т. 155. № 1. С. 158–170.
- Bananova V.A., Lazareva V.G.* Trends of changes in the botanical diversity under the influence of desertification in the Republic of Kalmykia // *Arid Ecosystems*. 2014. Vol. 4 (2). P. 119–126.
- Bosch O.J.H.* Degradation of the semi-arid grasslands of southern Africa // *J. Arid Environ.* 1989. Vol. 16. P. 165–175.
- Chadaeva V., Gorobtsova O., Pshegusov R., Tsepkova N., Tembotov R., Khanov Z., Gedgafova F., Zhashuev A., Uligova T., Khakunova E., Stepanyan E.* Stages of grassland degradation in subalpine ecosystems of the Central Caucasus, Russia // *Chil. J. Agr. Res.* 2021. Vol. 81. P. 630–642.
- Cipriotti P.A., Aguiar M.R., Wiegand Th., Paruelo J.M.* Combined effects of grazing management and climate on semi-arid steppes: Hysteresis dynamics prevent recovery of degraded rangelands // *J. Appl. Ecol.* 2019. Vol. 56. P. 2155–2165.
- Christen M.* Expanding Plant Species in Armenia: A Case Study from Geghadzor and Kuchak in the Aragatsotn Marz. Stuttgart: Acopian Center for the Environment, Univ. Hohenheim, 2020. 44 p.
- Çomakli E., Güllap M.K., Çomakli T., Bilgili A.* The comparison of botanical composition and the condition and health class of different rangeland sites in forest ecosystem // *Turk. J. Agric. For.* 2021. Vol. 45. P. 349–355.
- Fıncıoğlu H.K., Seefeldt S.S., Sahin B., Vural M.* Assessment of grazing effect on sheep fescue (*Festuca valesiaca*) dominated steppe rangelands, in the semi-arid Central Anatolian region of Turkey // *J. Arid Environ.* 2009. Vol. 73. P. 1149–1157.
- Gasanova A.F.* Ecological evaluation of rangeland quality in dry subtropics of Azerbaijan // *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47 (12). P. 1283–1292.
- Guo X., Dai L., Li Q., et al.* Light grazing significantly reduces soil water storage in alpine grasslands on the Qinghai-Tibet plateau // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Art. 2523.
- Haider M., Maclaurin A., Chaudhry A., Mushtaque M., Ullah S.* Effect of grazing systems on range condition in Pabi Hills Reserve Forest, Kharian, Punjab, Pakistan // *Chil. J. Agr. Res.* 2011. Vol. 71. P. 560–565.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D.* PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontol Electron.* 2001. Vol. 4. P. 4.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. Vienna: Int. Union of Soil Sciences (IUSS), 2022. 236 p.
- Karatassiou M.* Water use efficiency and net production of two semiarid grasslands in different successional stages // *Appl. Ecol. Env. Res.* 2016. Vol. 14. P. 41–53.
- Kemp D., Behrendt K., Badgery W., et al.* Chinese degraded grasslands – pathways for sustainability // *Rangeland J.* 2020. Vol. 42. P. 339–346.
- Koç A., Güllap M.K., Sürmen M., Erkovan H.I.* Changes in some vegetation properties of the rangelands of the Palandöken Mountains, Erzurum, over two decades // *Turk. J. Agric. For.* 2020. Vol. 44. P. 589–598.
- Kudrevatykh I.Yu., Kalinin P.I., Mitenko G.V., Alekseev A.O.* The role of plant in the formation of the topsoil chemical composition in different climatic conditions of steppe landscape // *Plant Soil.* 2021. Vol. 465. P. 453–472.
- Lebedeva N.V., Ilyina L.P., Ponomareva A.V., Savitsky R.M.* The effect of grazing intensity on the transformation of arid steppe ecosystems in the Manych Valley // *Arid Ecosystems*. 2011. Vol. 1. P. 251–259.
- Lee B.H., Kim J.Y., Park H.S., Sung K.I., Kim B.W.* Evaluation of grassland grade by grassland vegetation ratio // *J. Korean Soc. Grass. Forage Sci.* 2020. Vol. 40. P. 29–36.
- Leu S., Mussery A.M., Budovsky A.* The effects of long time conservation of heavily grazed shrubland: a case study in the Northern Negev, Israel // *Environ. Management*. 2014. Vol. 54. P. 309–319.
- Liu M., Ouyang S., Tian Y., et al.* Effects of rotational and continuous overgrazing on newly assimilated C allocation // *Biol. Fert. Soils.* 2021. Vol. 57. P. 193–202.
- Mayel S., Jarrah M., Kuka K.* How does grassland management affect physical and biochemical properties of temperate grassland soils? A review study // *Grass. Forage Sci.* 2021. Vol. 76. P. 1–30.
- Muller M., Siebert S., Niloko B.R., Siebert F.* A floristic assessment of grassland diversity loss in South Africa // *Bothalia*. 2021. Vol. 51 (1). Art. 11.
- Nakano T., Bat-Oyun T., Shinoda M.* Responses of palatable plants to climate and grazing in semi-arid grasslands of Mongolia // *Glob. Ecol. Conserv.* 2020. Vol. 24. e0121.
- Navarro L.M., Pereira H.M.* Rewilding abandoned landscapes in Europe // *Ecosystems*. 2012. Vol. 15. P. 900–912.
- Neudert R.* Combating Pasture Degradation in Central Asia and the Caucasus – A Review of Approaches. In *Transitioning to Sustainable Life on Land*. / V. Beckmann (Ed.). Basel: MDPI, 2021. P. 231–273.
- Peper J., Pietzsch D., Manthey M.* Semi-arid rangeland vegetation of the Greater Caucasus foothills in Azerbaijan and its driving environmental conditions // *Phytocoenologia*. 2010. Vol. 40. P. 73–90.
- Taboada M.A., Rubio G., Chaneton E.J.* Grazing impacts on soil physical, chemical, and ecological properties in forage production systems. In *Soil management: Building a stable base for agriculture* / J.L. Hatfield, Th.J. Sauer (Eds.). USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 2011. P. 301–320.
- Tepanosyan G.H., Shushanik G.A., Muradyan V.S., Saghatelian A.K.* Mapping man-induced soil degradation in Armenia's high mountain pastures through remote sensing methods: A case study // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2017. Vol. 8. P. 105–13.
- Wei L., Huang H.-Z., Zhang Z.-N., Wu G.-L.* Effects of grazing on the soil properties and C and N storage in relation to biomass allocation in an alpine meadow // *J. Soil Sci. Plant. Nut.* 2011. Vol. 11. P. 27–39.
- Zhang C., Dong Q., Chu H., et al.* Grassland community composition response to grazing intensity under different grazing regimes // *Rangeland Ecol Manag.* 2018. Vol. 71. P. 196–204.
- Zhang B., Beck R., Pan Q., Zhao M., Hao X.* Soil physical and chemical properties in response to long-term cattle grazing on sloped rough fescue grassland in the foothills of the Rocky Mountains, Alberta // *Geoderma*. 2019. Vol. 346. P. 75–83.

Assessment of the Grassland Degradation Stages in Highland Semiarid Ecosystems of the Central Caucasus

F. A. Tembotova¹, V. A. Chadaeva¹*, O. N. Gorobtsova¹, R. H. Pshegusov¹, N. L. Tsepkova¹, R. H. Tembotov¹, Z. M. Khanov¹, F. V. Gedgafova¹, A. J. Zhashuev¹, T. S. Uligova¹, and E. M. Khakunova¹

¹*Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia*

*e-mail: v_chadayeva@mail.ru

Overgrazing, grassland degradation, and soil erosion are significant problems in mountain semiarid ecosystems of the Central Caucasus. Semiarid highland grasslands mainly occur on southern slopes with shallow soils covering a rocky impermeable layer. These ecosystems experience more drought than the grasslands on the northern slopes, and like other drylands, they are especially prone to climate change and desertification. Year-round overgrazing in rural semiarid pastures, as a result of the increase in livestock on private farms at the turn of the 20th and 21st century, also contributed to landscape xerophytization and soil erosion. The aim was to define vegetation and soil indicators for the stages of grassland degradation to help land managers make decisions on sustainable grassland management. We identified four stages of grassland degradation and calculated the integral degradation index for each stage. Main indicators of grassland degradation were grass height, vegetation coverage, Shannon index, humus content, and soil moisture. These parameters decreased significantly with each stage of grassland degradation. At the stage of extremely degraded grasslands, there was clear evidence of the spread of drier vegetation types to more mesic types with soil erosion and hydrological change. Regulation of stocking rates at each stage of grassland degradation is recommended to maintain and restore the highland semiarid ecosystems of the Central Caucasus.

Keywords: semiarid highland grasslands, grazing, rangeland assessment, vegetation and soil indicators

REFERENCES

- Avessalomova I.A., Petrushina M.N., Khoroshev A.V. *Gornye landshafty: struktura i dinamika* [Mountain Landscapes: Structure and Dynamics]. Moscow: Mosk. Univ. Publ., 2002. 158 p.
- Bananova V.A., Lazareva V.G. Trends of changes in the botanical diversity under the influence of desertification in the Republic of Kalmykia. *Arid Ecosyst.*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 119–126.
- Badikova A.A., Khusainova S.A., Akhmadullin I.I., Khusainov A.F. Effect of grazing on the flora and vegetation of petrophyte steppes on the southern boundary of the Kandry-Kul Nature Park. *Tendents. Razvit. Nauki Obraz.*, 2018, vol. 43, no. 7, pp. 59–62. (In Russ.).
- Borlikov G.M., Bananova V.A., Lazareva V.G., Bambysheva A.N. Dynamics of desertification of black earth pastures in the south of the European part of Russia. *Nauch. Mysl' Kavkaza*, 2006, vol. 2, pp. 63–69. (In Russ.).
- Bosch O.J.H. Degradation of the semi-arid grasslands of southern Africa. *J. Arid Environ.*, 1989, vol. 16, pp. 165–175.
- Chadaeva V., Gorobtsova O., Pshegusov R., Tsepkova N., Tembotov R., Khanov Z., Gedgafova F., Zhashuev A., Uligova T., Khakunova E., Stepanyan E. Stages of grassland degradation in subalpine ecosystems of the Central Caucasus, Russia. *Chil. J. Agr. Res.*, 2021, vol. 81, pp. 630–642.
- Cipriotti P.A., Aguiar M.R., Wiegand Th., Paruelo J.M. Combined effects of grazing management and climate on semi-arid steppes: Hysteresis dynamics prevent recovery of degraded rangelands. *J. Appl. Ecol.*, 2019, vol. 56, pp. 2155–2165.
- Christen M. *Expanding Plant Species in Armenia: A Case Study from Geghadzor and Kuchak in the Aragatsotn Marz*. Stuttgart: Acopian Center for the Environment, University of Hohenheim, 2020. 44 p.
- Çomakli E., Güllap M.K., Çomakli T., Bilgili A. The comparison of botanical composition and the condition and health class of different rangeland sites in forest ecosystem. *Turk. J. Agric. For.*, 2021, vol. 45, pp. 349–355.
- Fırıncıoğlu H.K., Seefeldt S.S., Sahin B., Vural M. Assessment of grazing effect on sheep fescue (*Festuca valesiaca*) dominated steppe rangelands, in the semi-arid Central Anatolian region of Turkey. *J. Arid. Environ.*, 2009, vol. 73, pp. 1149–1157.
- Gasanova A.F. Ecological evaluation of rangeland quality in dry subtropics of Azerbaijan. *Eurasian Soil Sci.*, 2014, vol. 12, pp. 1283–1292.
- Gracheva R.G., Belonovskaya E.A. The pastoral ecosystems of the Central Caucasus under impact of the current stock-raising. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2010, no. 1, pp. 90–102. (In Russ.).
- Gunin P.D., Miklyaeva I.M., Bazha S.N., Slemnev N.N., Cherdonova V.A. Features of degradation and desertification of plant communities of forest-steppe and steppe ecosystems of Southern Transbaikalia. *Arid. Ecosyst.*, 2003, vol. 19–20, no. 9, pp. 7–21. (In Russ.).
- Guo X., Dai L., Li Q., et al. Light grazing significantly reduces soil water storage in alpine grasslands on the Qinghai-Tibet plateau. *Sustain.*, 2020, vol. 12, art. 2523.
- Haider M., Maclaurin A., Chaudhry A., Mushtaque M., Ullah S. Effect of grazing systems on range condition in Pabbi Hills Reserve Forest, Kharian, Punjab, Pakistan. *Chil. J. Agr. Res.*, 2011, vol. 71, pp. 560–565.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.*, 2001, vol. 4, no. 4.
- Imeskhenova E.G., Butukhanov A.B. Productive capacity of pasture ecosystems in the Tunkinsky region. *Vestn.*

- Buryat. Gos. Sel'skokhoz. Akad. Filippova, 2013, vol. 30, no. 1, pp. 77–81. (In Russ.).
- IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition*. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS), 2022. 236 p.
- Karatassiou M. Water use efficiency and net production of two semiarid grasslands in different successional stages. *Appl. Ecol. Env. Res.*, 2016, vol. 14, pp. 41–53.
- Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniya* [Biological Diagnosis and Indication of Soils: Methodology and Research Methods]. Rostov-on-Don: Rostov Univ. Publ., 2003. 204 p.
- Kemp D., Behrendt K., Badgery W., et al. Chinese degraded grasslands – pathways for sustainability. *Rangeland. J.*, 2020, vol. 42, pp. 339–346.
- Koç A., Güllap M.K., Sürmen M., Erkovan H.I. Changes in some vegetation properties of the rangelands of the Palandöken Mountains, Erzurum, over two decades. *Turk. J. Agric. For.*, 2020, vol. 44, pp. 589–598.
- Kobechinskaya V.G. Post-grazing demutation in desertified steppes of plain Crimea considering intensity of pasqual load. *Uchen. Zapisk. Krymsk. Fed. Univ. Vernadskogo*, 2018, vol. 70, no. 4, pp. 79–96. (In Russ.).
- Kudrevatykh I.Yu., Kalinin P.I., Mitenko G.V., Alekseev A.O. The role of plant in the formation of the topsoil chemical composition in different climatic conditions of steppe landscape. *Plant. Soil*, 2021, vol. 465, pp. 453–472.
- Lebedeva N.V., Ilyina L.P., Ponomareva A.V., Savitsky R.M. The effect of grazing intensity on the transformation of arid steppe ecosystems in the Manych Valley. *Arid Ecosyst.*, 2011, vol. 1, pp. 251–259.
- Lee B.H., Kim J.Y., Park H.S., Sung K.I., Kim B.W. Evaluation of grassland grade by grassland vegetation ratio. *J. Korean Soc. Grass. Forage Sci.*, 2020, vol. 40, pp. 29–36.
- Leu S., Musser A.M., Budovsky A. The effects of long-time conservation of heavily grazed shrubland: a case study in the Northern Negev, Israel. *Environ. Manage.*, 2014, vol. 54, pp. 309–319.
- Liu M., Ouyang S., Tian Y., et al. Effects of rotational and continuous overgrazing on newly assimilated C allocation. *Biol. Fert. Soils*, 2021, vol. 57, pp. 193–202.
- Mayel S., Jarrah M., Kuka K. How does grassland management affect physical and biochemical properties of temperate grassland soils? A review study. *Grass Forage Sci.*, 2021, vol. 76, pp. 1–30.
- Miklyaeva I.M., Gunin P.D., Slemnev N.N., Bazha S.N., Fakhire A. Vegetation disturbance of steppe ecosystems. *Arid. Ecosyst.*, 2004, vol. 24–25, no. 10, pp. 35–47. (In Russ.).
- Mirkin B.M., Naumova L.G. Study of the composition and dynamics of plant communities in the Republic of Bashkortostan. *Vestn. Akad. Nauk Respubl. Bashkortostan*, 2014, vol. 19, no. 2, pp. 29–39. (In Russ.).
- Muller M., Siebert S., Ntloko B.R., Siebert F. A floristic assessment of grassland diversity loss in South Africa. *Bothalia*, 2021, vol. 51, no. 1, art. 11.
- Myronycheva-Tokareva N.P. Evolution of vegetation cover of meadows of the Southern Urals. *Geo-Sibir'*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 78–83. (In Russ.).
- Nakano T., Bat-Oyun T., Shinoda M. Responses of palatable plants to climate and grazing in semi-arid grasslands of Mongolia. *Glob. Ecol. Conserv.*, 2020, vol. 24, art. e0121.
- Navarro L.M., Pereira H.M. Rewilding abandoned landscapes in Europe. *Ecosyst.*, 2012, vol. 15, pp. 900–912.
- Neudert R. Combating Pasture Degradation in Central Asia and the Caucasus – A Review of Approaches. In *Transitioning to Sustainable Life on Land*. Beckmann V., Ed. Basel: MDPi, 2021, pp. 231–273.
- Peper J., Pietzsch D., Manthey M. Semi-arid rangeland vegetation of the Greater Caucasus foothills in Azerbaijan and its driving environmental conditions. *Phytocoenologia*, 2010, vol. 40, pp. 73–90.
- Pshegusov R.H., Chadaeva V.A. Historical aspects of exploitation of mountain pasture resources in the Kabardino-Balkarian Republic. *Dokl. Adygh. (Cherkess.) Mez. Akad. Nauk*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 16–23. (In Russ.).
- Raiony i goroda Kabardino-Balkarii. Statisticheskii sbornik* [Districts and Towns in Kabardino-Balkaria. Statistical Digest]. Skorkina N.V., Ed. Nalchik: OP Severo-Kavkazstat po KBR, 2019. 151 p.
- Razumov V.V., Kurdanov H.A., Razumova L.A., Krokhmal A.G., Batyrbekova L.M. *Ekosistemy gor Tsentral'nogo Kavkaza i zdorov'e cheloveka* [Ecosystems of the Central Caucasus Mountains and Human Health]. Moscow; Stavropol: Ileksa, Stavropol'servisshkola Publ., 2003. 448 p.
- Sidorov Y.N., Dokina N.N., Korolev V.L., Makhanova R.S. Weather and anthropogenic conditions of pasture digression in zones of dry and arid steppes of Southern Pre-Urals. *Vestn. Myasn. Skotovod.*, 2013, vol. 82, no. 4, pp. 111–116. (In Russ.).
- Taboada M.A., Rubio G., Chaneton E.J. Grazing impacts on soil physical, chemical, and ecological properties in forage production systems. In *Soil management: Building a stable base for agriculture*. Hatfield J.L., Sauer Th.J., Eds. USA: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 2011, pp. 301–320.
- Tepanosyan G.H., Shushanik G.A., Muradyan V.S., Saghatlyan A.K. Mapping man-induced soil degradation in Armenia's high mountain pastures through remote sensing methods: A case study. *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, 2017, vol. 8, pp. 105–113.
- Urtnasan M., Lubarsky E.L. Pasture digression in the steppes of Central Mongolia (case study of Batsumber Somon of the Central Aimak of Mongolia). *Uchen. Zapisk. Kazan. Univ., Ser. Est. Nauki*, 2013, vol. 155, no. 1, pp. 158–170.
- Wei L., Huang H.-Z., Zhang Z.-N., Wu G.-L. Effects of grazing on the soil properties and C and N storage in relation to biomass allocation in an alpine meadow. *J. Soil Sci. Plant. Nut.*, 2011, vol. 11, pp. 27–39.
- Zhang C., Dong Q., Chu H., et al. Grassland community composition response to grazing intensity under different grazing regimes. *Rangeland Ecol. Manag.*, 2018, vol. 71, pp. 196–204.
- Zhang B., Beck R., Pan Q., Zhao M., Hao X. Soil physical and chemical properties in response to long-term cattle grazing on sloped rough fescue grassland in the foothills of the Rocky Mountains, Alberta. *Geoderma*, 2019, vol. 346, pp. 75–83.