научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
http://ecopri.ru

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
http://petrsu.ru

Издатель
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

http://ecopri/ru

№ 3 (61). Сентябрь, 2026

Главный редактор
А. В. Коросов

Редакционный совет
В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugołek
В. Н. Якимов
А. В. Сонина

Службы поддержки
Н. А. Марфицына
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465
Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453
E-mail: ecopri@psu.karelia.ru
http://ecopri/ru

12+

© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

Баишева Э. З., Габбасова Д. Т., Жигунова С. Н., Широких П. С., Мартыненко В. Б., Бикбаев И. Г., Туктамышев И. Р., Гимазетдинов В. Д., Гулов Д. М., Белан Л. Н. Оценка надземной фитомассы и запасов углерода в луговых степях Башкирского Предуралья при различных режимах сельскохозяйственного использования // Принципы экологии. 2026. № 3. С. 63–78. DOI: 10.15393/j1.art.2026.17462

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
http://ecopri.ru

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
http://petrsu.ru

УДК 574.24

ОЦЕНКА НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ И ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЛУГОВЫХ СТЕПЯХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

БАИШЕВА Эльвира Закирьяновна	*доктор биологических наук, Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, elvbai@mail.ru*
ГАББАСОВА Дилара Тагировна	*кандидат биологических наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, dilara.gt@yandex.ru*
ЖИГУНОВА Светлана Николаевна	*доктор биологических наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, zigusvet@yandex.ru*
ШИРОКИХ Павел Сергеевич	*доктор биологических наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, shirpa@mail.ru*
МАРТЫНЕНКО Василий Борисович	*доктор биологических наук, Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, vb-mart@mail.ru*
БИКБАЕВ Ильнур Гатиатович	*кандидат биологических наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, ilnur.bikbaev.90@mail.ru*
ТУКТАМЫШЕВ Ильшат Ринатович	*кандидат биологических наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, ishatik@yandex.ru*
ГИМАЗЕТДИНОВ Вазир Дамирович	*Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, vazir.gimazetdinov@mail.ru*

Баишева Э. З., Габбасова Д. Т., Жигунова С. Н., Широких П. С., Мартыненко В. Б., Бикбаев И. Г., Туктамышев И. Р., Гимазетдинов В. Д., Гулов Д. М., Белан Л. Н. Оценка надземной фитомассы и запасов углерода в луговых степях Башкирского Предуралья при различных режимах сельскохозяйственного использования // Принципы экологии. 2026. № 3. С. 63–78. DOI: 10.15393/j1.art.2026.17462

ГУЛОВ
Давут Меретгельдиевич

кандидат биологических наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, 450064, Россия; проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, davut.gulov.96@mail.ru

БЕЛАН
Лариса Николаевна

доктор геолого-минералогических наук, Уфимский университет науки и технологий, ул. Заки Валиди, 32, г. Уфа, 450076, Россия, belan77767@mail.ru.

Ключевые слова:
степь
пастбищная нагрузка
сенокошение
фитомасса
NDVI
запасы углерода
залежь
восстановление растительности
Башкирское Предуралье

Аннотация: Представлены результаты изучения межгодичной изменчивости надземной фитомассы и содержащихся в ней запасов углерода во вторичных луговых степях Башкирского Предуралья при различных режимах сельскохозяйственного использования (сенокошение, слабый эпизодический выпас, двухлетнее восстановление после прекращения выпаса, интенсивный выпас). Исследования проводились в 2023 и 2025 гг., существенно различающихся по метеорологическим условиям вегетационных сезонов. Показано, что по сравнению с засушливым летом 2023 г. благоприятное увлажнение весенне-раннелетнего периода 2025 г. способствовало росту фитомассы на участках с сенокосом и эпизодическим выпасом на 33–35 %, а на восстанавливающемся пастбище – на 153 %. На участке с интенсивным выпасом надземная фитомасса оставалась минимальной (56–58 г/м²), а запасы углерода (23.4–24.6 гС/м²) были в 2.6–4.6 раза ниже, чем на участках с умеренной антропогенной нагрузкой. Установлено, что сенокошение снижает аккумуляцию углерода сильнее, чем эпизодический выпас: в оба года наблюдений запасы углерода в надземной фитомассе на участке с эпизодическим выпасом (80.5 и 107.8 гС/м²) были на 30 % выше, чем на сенокосном участке (61.6 и 83.4 гС/м). Анализ NDVI за 2023–2025 гг. подтвердил устойчивую зависимость состояния растительности от режима использования угодий. На участках с сенокошением, эпизодическим выпасом и на восстанавливающемся пастбище значения NDVI составляли 0.4–0.5, тогда как при интенсивном выпасе в оба года наблюдений NDVI оставался стабильно низким (0.3), отражая деградацию растительного покрова. Результаты свидетельствуют о высоком регенеративном потенциале восстанавливающихся на залежах степей при умеренной антропогенной нагрузке и обосновывают необходимость оптимизации режимов природопользования для поддержания углерод-депонирующей функции степных экосистем.

© Петрозаводский государственный университет
© Баишева Э. З., Габбасова Д. Т., Жигунова С. Н., Широких П. С., Мартыненко В. Б., Бикбаев И. Г., Туктамышев И. Р., Гимазетдинов В. Д., Гулов Д. М., Белан Л. Н.

Получена: 08 июня 2026 года **Подписана к печати**: 27 сентября 2026 года

Введение

Неточности в расчетах глобального углеродного цикла во многом обусловлены неравномерным уровнем исследования интенсивности перемещения углерода между атмосферой и биосферой в различных географических зонах и типах природных сообществ. В частности, российские степи, занимающие обширную территорию в 1.7 миллиона квадратных километров (примерно 10 % территории), представляют собой одну из наименее изученных наземных экосистем с точки зрения их вклада в биогенный круговорот углерода (Голубятников и др., 2023б).

Степи Северной Евразии выделяются своей высокой продуктивностью, что делает степную зону ключевым сельскохозяйственным регионом планеты. Однако интенсивное земледелие, включая распашку и экстенсивное животноводство, привело к значительной деградации естественных экосистем (Чибилёв, 2016). В результате антропогенного воздействия степные почвы могут терять от 10 до 40 % своего первоначального запаса органического углерода (Голубятников и др., 2023а).

До начала масштабного сельскохозяйственного освоения степи занимали значительную часть равнин Республики Башкортостан (РБ) – не менее трети территории, где сегодня расположены черноземы. В настоящее время залежные земли, где идет про-

цесс самовосстановления степных экосистем, представляют собой ключевой ресурс для реставрации степной растительности. Процессы естественного зарастания этих территорий и последующее формирование вторичных степных сообществ способны существенно повлиять на углеродный баланс региона (Белоновская и др., 2015; Курганова и др., 2019; Голубятников и др., 2023а, 2023б; Fedorov et al., 2025).

Региональные исследования восстановления растительности после антропогенных нарушений предоставляют научную базу для рационального использования земель в различных природно-климатических зонах. Тем не менее информация о составе, продуктивности и углеродном балансе степей Южно-Уральского региона в научной литературе представлена недостаточно. В связи с этим целью данной работы стала оценка влияния пастбищной нагрузки, сенокошения, метеорологических условий вегетационного периода на состояние растительности, показатели надземной фитомассы и содержащихся в ней запасов углерода в восстанавливающихся на залежах луговых степях Башкирского Предуралья.

Материалы

Исследуемая территория представляет собой юго-восточную часть Камско-Бельского понижения, примыкающую к Бугульминско-Белебеевской возвышенности с преобладанием дубовых лесов, обыкновенноковыльных и узколистноковыльных степей лесостепной зоны. Преобладающие типы почв – карбонатные и выщелоченные черноземы (Физико-географическое районирование…, 1964; Жудова, 1966).

Климат района исследования континентальный, с недостаточным увлажнением. Средняя годовая температура + 3.3 °С; средняя температура января –14.2 °С; июля +20 °С; средняя глубина промерзания почвы к концу зимы – до 90–130 см. Среднее годовое количество осадков – 450 мм/год, продолжительность безморозного периода 125 дней, вегетационного периода – 170 дней (Атлас…, 2005).

Естественная степная растительность района исследования относится к луговым богаторазнотравно-злаковым степям союза *Cirsio-Brachypodion pinnati* Hadac & Klika in Klika & Hadac 1944 (класс *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soo 1947), объединяющего мезофитные сообщества богаторазнотравных луговых степей лесостепной зоны, приуроченные к северным склонам, вершинам небольших гор и выровненным элементам рельефа. Эти сообщества чаще встречаются в Месягутовской лесостепи, реже – в Предбельском лесостепном районе РБ (Ямалов и др., 2013; Mucina et al., 2016; Willner et al., 2019).

Исследование проводилось на территории Давлекановского района РБ в окрестностях с. Курятмасово (рис. 1) в 2023 и 2025 гг. Всего было изучено четыре участка с разной степенью антропогенной нагрузки.

По данным, предоставленным администрацией сельского поселения, на участках 1 и 2 в течение последних десятилетий проводились сенокошение и эпизодический выпас. На участке 1 сенокошение прекратилось только в 2024 г. Прилегающие к с. Курятмасово участки 3 и 4 были подвержены интенсивному выпасу, выпас на участке 3 прекратился с конца 2023 г., а на участке 4 – продолжается по настоящее время. Оба участка огорожены электроизгородями, что четко дифференцирует способы их хозяйственного использования.

Все участки имеют ровную поверхность, 1 и 2 расположены на плоской вершине увала, 3 и 4 – у его подножья. Почвенный покров всех участков представлен типичными среднемощными черноземами с супесчаным гранулометрическим составом верхнего горизонта (Fedorov et al., 2025).

По положению в системе единиц эколого-флористической классификации сообщества участков 1 и 2 относятся к ассоциации *Poo angustifoliae-Stipetum pennatae* Yamalov et al., 2013, которая объединяет сообщества луговых степей, широко распространенные в разнообразных местообитаниях лесостепной зоны РБ. Данные сообщества имеют высокую хозяйственную ценность и часто используются в качестве сенокосов и пастбищ (Ямалов и др., 2013). Сообщества участков 3 и 4, на которых из-за интенсивного многолетнего выпаса снижена доля лугово-степных видов и сформировались сбитые полынно-дерновиннозлаковые сообщества, отнесены к безранговому сообществу *Festuca pseudovina-Artemisia austriaca* класса *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin et al. in Ishbirdin et al. 1988, объединяющего устойчивые к вытаптыванию и выпасу сообщества низкорослых ксерофитных растений степной зоны (Ямалов и др., 2012).

В связи с высокой степенью сельскохозяйственной освоенности территории участки с эталонной естественной степной растител-

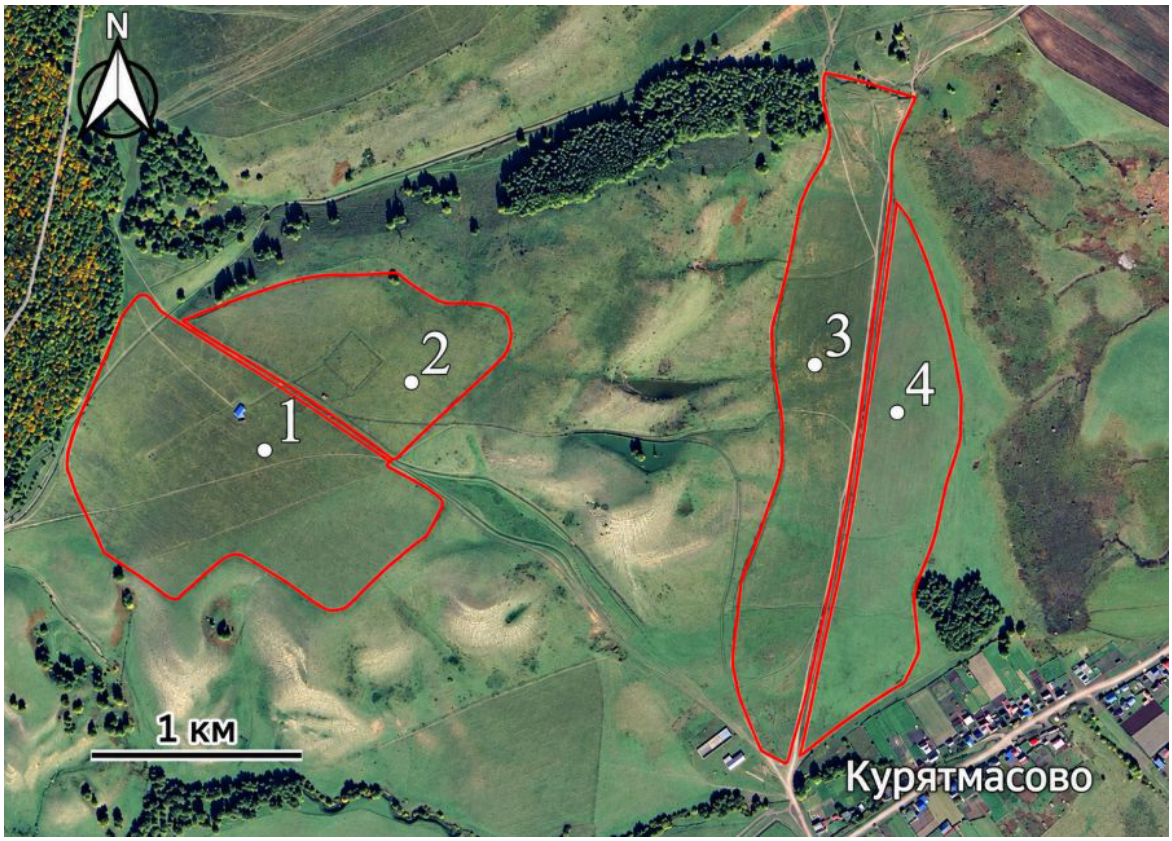


Рис. 1. Расположение исследованных участков в 2025 г. (по данным Google Maps)*:* 1 – участок с сенокошением; 2 – участок с эпизодическим выпасом; 3 – заброшенное пастбище в стадии естественного восстановления; 4 – пастбище с интенсивным выпасом

Fig. 1. Location of studied plots in 2025 (according to Google Maps): 1 – plot with haymaking; 2 – ploy with occasional grazing; 3 – abandoned pasture in the stage of natural restoration; 4 – pasture with intensive grazing

ностью в районе исследования найти очень сложно. В 2023 г. на склоне к озеру Аслыкуль удалось выявить небольшой фрагмент ненарушенной степи, которая никогда ранее не распахивалась. Это сообщество характеризуется большим блоком (более 80 % флористического состава) типичных для луговых степей региона видов (*Stipa capillata* L.*, S. sareptana* A. K. Becker, *S. pulcherrima* K. Koch, *S. pennata* L.*, S. lessingiana* Trin. & Rupr., *Poa angustifolia* L.*, Salvia stepposa* Des.-Shost.*, Galium verum* L.*, Filipendula vulgaris* Moench, *Thymus marschallianus* Willd. и др.) (Fedorov et al., 2025). Данные по этому сообществу были использованы для сравнения при изучении процессов восстановления степной растительности на залежах.

Методы

Анализ продуктивности надземной фитомассы проводился методом укосов на пробных площадях размером 50*50 см. Проанализированы данные по 160 пробным площадям (по 20 площадей на каждом из четырех участков в 2023 и 2025 гг.). Укосы надземной фитомассы проводили во время ее максимального развития (в соответствии с погодными условиями 2023 и 2025 гг. этот период наступил в конце второй декады июня, когда началось массовое колошение доминирующих злаков). Для каждой пробной площади проводилась оценка средней и максимальной высоты, а также проективного покрытия травяного яруса.

В пределах каждой пробной площади скашивали надземную часть травянистых растений, после чего отбирали опад (отмершие разлагающиеся части растений). Надземную часть разделяли на живую (зеленую) надземную фитомассу и ветошь (отмершие части, еще не утратившие связи с живыми растениями). Все пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали с точностью до 0.01 г. В работе приведены результаты анализа показателей только живой надземной фитомассы, данные по мортмассе (опаду и ветоши) не обсуждаются.

Перед срезанием надземной фитомассы для каждой пробной площади проводилось

трехкратное измерение индекса NDVI с помощью портативного оптического датчика GreenSeeker, после чего для площади рассчитывалось среднее значение вегетативного индекса. В литературе отмечается, что для небольших участков использование GreenSeeker более предпочтительно, т. к. обеспечивает более надежные и точные данные по сравнению с установленной на БПЛА мультиспектральной камерой (Zsebò et al., 2024). Значения NDVI являются интегральной характеристикой состояния растительного покрова, которая зависит не только от величины живой надземной фитомассы, но также от видового состава, структуры травостоя, проективного покрытия и количества мортмассы. Для степной растительности живая надземная фитомасса более четко коррелирует с NDVI в июне и июле, а сам индекс очень чувствителен к массе и доле разнотравья, а также соотношению живой и мертвой фитомасс (Хорошев и др., 2023). На обследованных пробных площадях увеличение проективного покрытия обычно сопровождалось повышением NDVI, пробные площади с высокой долей ветоши или преобладанием злаков могли иметь меньшие значения индекса по сравнению с сообществами с доминированием разнотравья. Эти различия отражают естественную вариабельность спектральных характеристик степной растительности. Приведенные в работе значения NDVI являются усредненным показателем, рассчитанным на основании данных по 20 пробным площадям для каждого участка, что обеспечивает репрезентативность полученных данных.

Для оценки межгодовой изменчивости показателей продуктивности и запасов углерода надземной фитомассы проводили сравнение данных за 2025 г. с материалами опубликованных исследований, выполненных в 2023 г. (Fedorov et al., 2025).

Расчет запасов углерода проводился по коэффициентам, полученным в 2023 г. для фракций фитомассы обследованных участков (42.6 % для живой надземной фитомассы и 38.6 % для мортмассы) (Fedorov et al., 2025). Содержание углерода в образцах определяли с помощью элементного анализатора CHNS EA-3100 (Eurovector, Павия, Италия) в лаборатории физико-химических методов анализа (ФХМА) Уфимского института химии УФИЦ РАН. Для определения запасов углерода средняя фитомасса умножалась на долю углерода.

Для анализа и сравнения погодных условий вегетационных сезонов 2023 и 2025 гг. были использованы открытые данные, полученные с сайта https://open-meteo.com. Расчет гидротермического коэффициента Селянинова для вегетационных сезонов 2023 и 2025 гг. был выполнен на основании данных архива погоды сайта https://rp5.ru для метеостанции Раевский, расположенной в 30 км от района исследований.

Результаты

По результатам ретроспективного анализа космоснимков Landsat 5, 8 было установлено, что после прекращения распашки участки 1 и 2 зарастают в течение 30 лет, участки 3 и 4 – около 25 лет. Таким образом, все обследованные участки являются залежами средних стадий восстановления (демутации) на месте ранее распаханных богато-разнотравных луговых степей.

На участках 1 и 2 с сообществами ассоциации *Poo angustifoliae-Stipetum pennatae* Yamalov et al. 2013 с высоким обилием встречаются злаки *Poa angustifolia, Stipa pennata*, *Stipa capillata*. Среди разнотравья с относительно большим обилием отмечаются *Fragaria viridis* Weston, *Agrimonia asiatica* Juz., *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit., *Salvia verticillata* L. и др. Устойчивые к выпасу виды *Artemisia austriaca* Jacq. и *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb. доминируют на участках 3 и 4.

По сравнению с ненарушенным участком естественной степи сообщества залежей отличаются более низкими показателями биоразнообразия и видовой насыщенности на единицу площади (на пробной площади размером 100 м² на участке естественной степи было выявлено 78 видов, а на залежных участках – 35–47 видов), низким обилием ковылей и других типичных для луговых степей видов, доля которых составляет 50–60 % флористического состава сообществ на участках 1 и 2 и около 40 % – на участках 3 и 4.

Для развития степной растительности критически важен весенне-раннелетний период (апрель – июнь), определяющий накопление биомассы. Средние температуры в некоторые периоды апреля, мая и июня 2025 г. были немного выше, чем в 2023 г. (рис. 2). Кроме того, весенне-раннелетний период 2025 г. был более влажным по сравнению с 2023 г.: количество осадков в апреле и июне было выше в 2–3 раза, а в мае – в 1.4 раза (рис. 3).

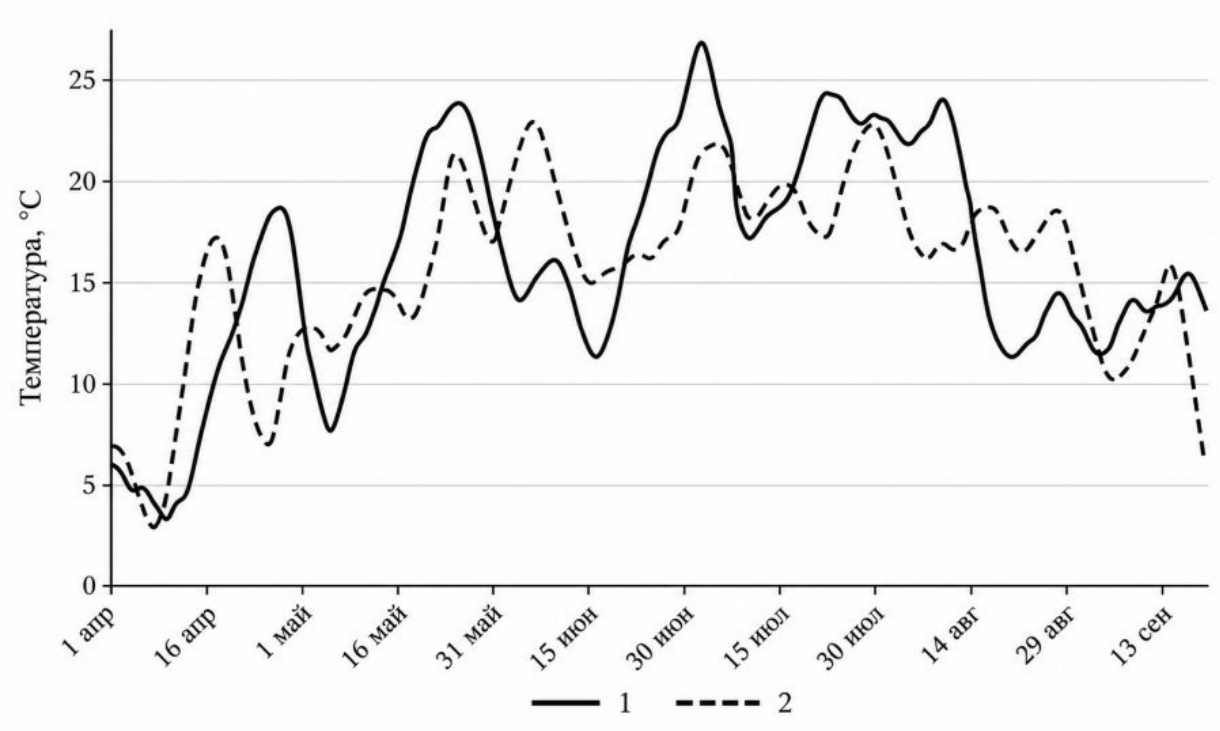


Рис. 2. Средняя температура с апреля по сентябрь 2023 г. (1) и 2025 г. (2) в районе исследования (по данным сайта https://open-meteo.com)

Fig. 2. Average temperature from April to September 2023 (1) and 2025 (2) in the study area (according to the website https://open-meteo.com)

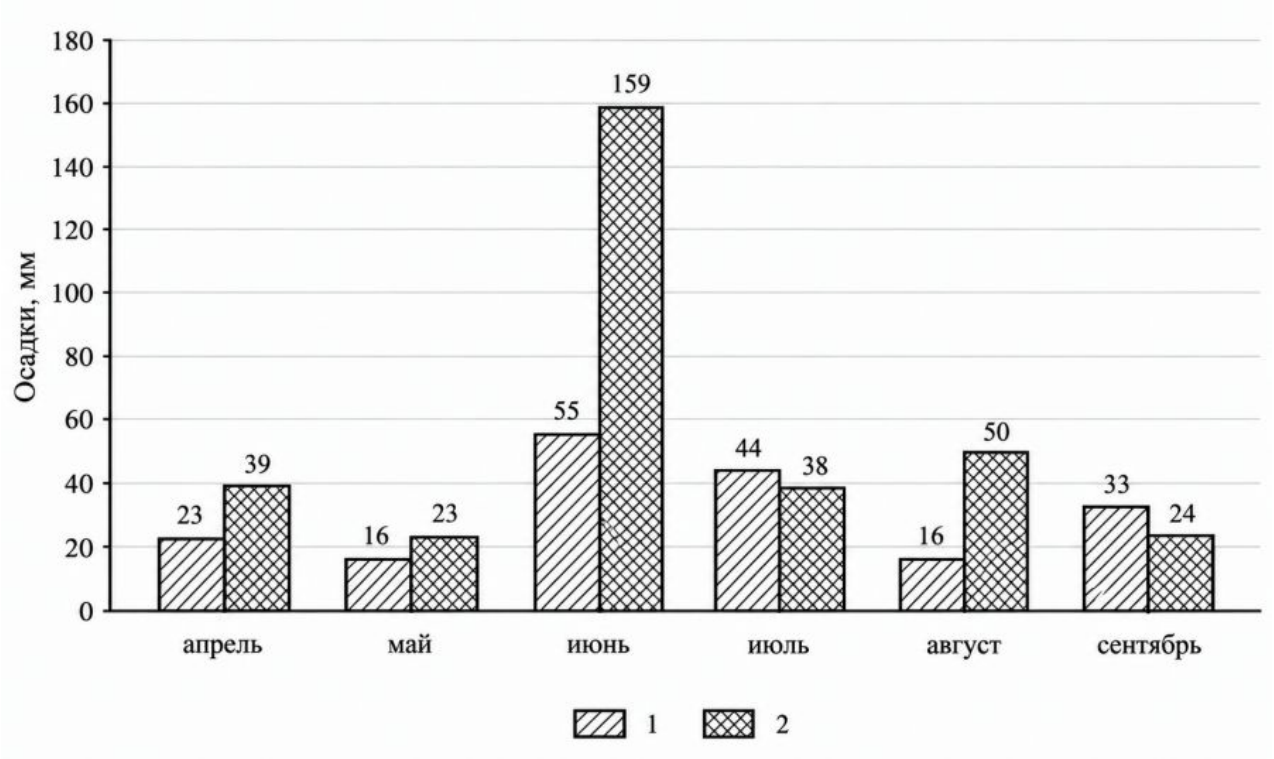


Рис. 3. Суммарное количество осадков с апреля по сентябрь 2023 г. (1) и 2025 г. (2) в районе исследования (по данным сайта https://open-meteo.com)

Fig. 3. The total amount of precipitation from April to September 2023 (1) and 2025 (2) in the study area (according to the website https://open-meteo.com)

Рассчитанные при выполнении работы значения интегрального показателя степени увлажненности территории – гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова для вегетационных сезонов 2023 г. (0.49) и 2025 г. (0.95) различались в два раза. Вегетационный сезон 2023 г. характеризовался засушливыми условиями, а в 2025 г. – приближался к условиям благоприятного увлажнения и соответствовал среднемноголетнему (за 1981–2021 гг.) значению для района исследования (Гареев и др., 2022).

Выявленные различия в погодных условиях отразились на показателях растительного покрова. В 2025 г. средняя высота травяного яруса на участках 1 и 2 была выше, чем в 2023 г., в 1.2–1.5 раза (в основном за счет *Poa angustifolia*, *Stipa pennata, S. capillata, Salvia verticillata, Agrimonia asiatica*), а на участке 3 – в 4 раза (за счет *Artemisia austriaca, Poa angustifolia* и ковылей) (рис. 4). На участке 4 средняя высота растений была неизменной (5 см в 2023 и 2025 гг.), что связано с интенсивной пастбищной нагрузкой.

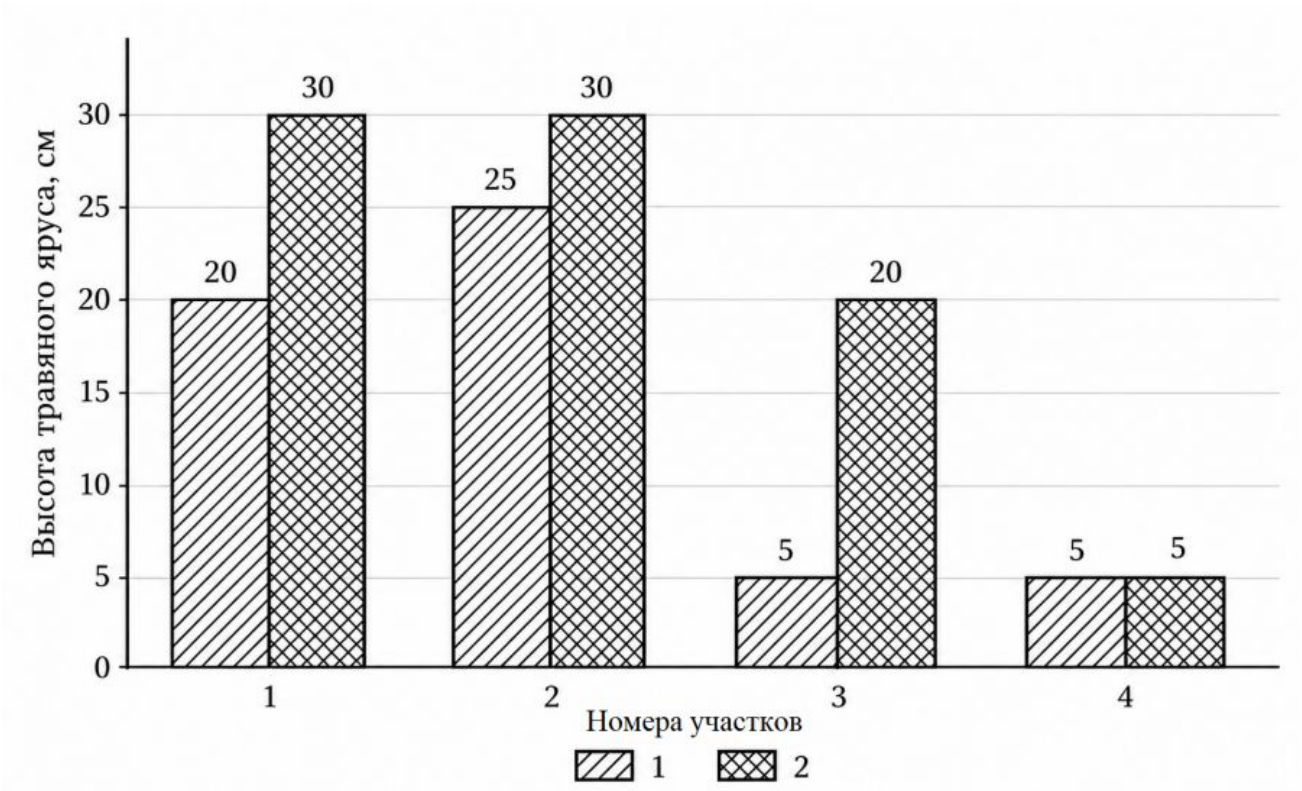


Рис. 4. Сравнение показателей средней высоты травяного яруса за 2023 г. (1) и 2025 г. (2) на пробных площадях. Номера участков: 1 – участок с сенокошением; 2 – участок со слабым эпизодическим выпасом; 3 – заброшенное пастбище в стадии естественного восстановления; 4 – пастбище с интенсивным выпасом

Fig. 4. Comparison of the average height of the grass layer for 2023 (1) and 2025 (2) on sample plots. Plot numbers: 1 – plot with haymaking; 2 – plot with weak sporadic grazing; 3 – abandoned pasture in the stage of natural restoration; 4 – pasture with intensive grazing

Также были выявлены различия в показателях живой (зеленой) надземной фитомассы сообществ за 2023 и 2025 гг. (рис. 5). По сравнению с 2023 г. в 2025 г. живая фитомасса заметно увеличилась на участках 1 (+35 %), 2 (+33 %) и особенно на участке 3 (+153 %), тогда как на интенсивно выпасаемом участке 4 изменений практически не было. За оба года наблюдений показатели живой надземной фитомассы на участке с сенокошением были ниже, чем на участке с эпизодическим выпасом, даже несмотря на то, что в 2024 г. сенокошение не проводилось. Это указывает на то, что умеренный выпас благоприятен для степной растительности, а прекращение сильного выпаса уже на второй год приводит к быстрому росту показателей фитомассы, как это наблюдалось на участке 3.

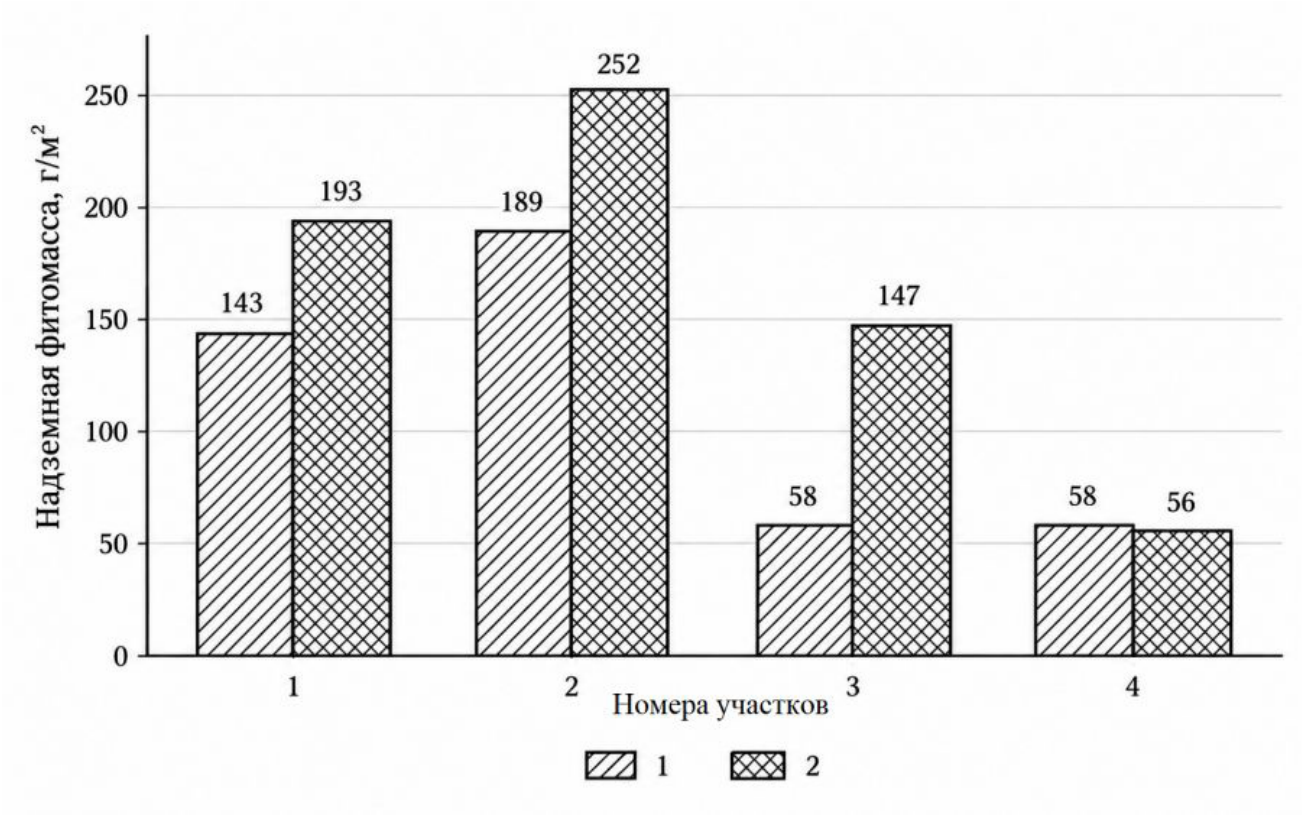


Рис. 5. Сравнение средних показателей запасов зеленой надземной фитомассы за 2023 г. (1) и 2025 г. (2) на пробных площадях. Номера участков: 1 – участок с сенокошением; 2 – участок со слабым эпизодическим выпасом; 3 – заброшенное пастбище в стадии естественного восстановления; 4 – пастбище с интенсивным выпасом

Fig. 5. Comparison of average indicators of green above-ground phytomass reserves for 2023 (1) and 2025 (2) on sample plots. Plot numbers: 1 – plot with haymaking; 2 – plot with weak, sporadic grazing; 3 – abandoned pasture in the stage of natural recovery; 4 – pasture with intensive grazing.

Увеличение показателей надземной фитомассы соответственно отразилось на запасах углерода. В 2025 г. запасы углерода в живой надземной фитомассе были наибольшими (107.8 г/м²) на участке 2 с эпизодическим выпасом и наименьшими (23.4 г/м²) – на интенсивно выпасаемом участке 4 (таблица), что в 2.6–4.6 раза ниже, чем на остальных участках.

Содержание и запасы углерода в надземной фитомассе на обследованных участках

Номера участков	1	2	3	4
Процентное содержание углерода в надземной фитомассе, %	43.1 ± 0.1	42.7 ± 0.1	42.0 ± 0.1	42.0 ± 0.1
Запасы углерода в зеленой надземной фитомассе, гС/м²				
2023 г.	61.6 ± 0.7	80.5 ± 4.7	24.6 ± 2.6	24.6 ± 2.6
2025 г.	83.4 ± 1.4	107.8 ± 1.3	61.8 ± 1.1	23.4 ± 0.4

Примечание. 1 – участок с сенокошением; 2 – участок со слабым эпизодическим выпасом; 3 – заброшенное пастбище в стадии естественного восстановления; 4 – пастбище с интенсивным выпасом.

Для мониторинга изменений физиологического состояния растений, включая их биомассу и площадь листовой поверхности, применяется индекс NDVI (Hassan et al., 2019; Zsebò et al., 2024; Павлейчик, 2025). В 2023 г. наименьшее значение NDVI (0.33) было отмечено на участках 3 и 4, которые были сильно сбиты в результате интенсивного выпаса, а наибольшее (0.49) – на участке 2 с эпизодическим выпасом (рис. 6). В 2025 г. на фоне благоприятного увлажнения в весенне-раннелетний период значения NDVI по сравнению с 2023 г. стали выше на 26 % на участке 1 и на 24 % на участке 3. Повышение NDVI на участке 3 произошло на фоне отсутствия выпаса в 2024–2025 гг., что привело к увеличению проективного покрытия травостоя на 60 % (с 25 % в 2023 г. до 40 % в 2025 г.), в первую очередь из-за разрастания злаков (*Poa angustifolia, Stipa pennata, S. capillata, Festuca pseudovina* и др.). В результате к 2025 г. на участках 1–3 были зафиксированы умеренные значения NDVI (0.4–0.6), тогда как на участке 4 сохранилась разреженная растительность с низким показателем индекса (0.3).

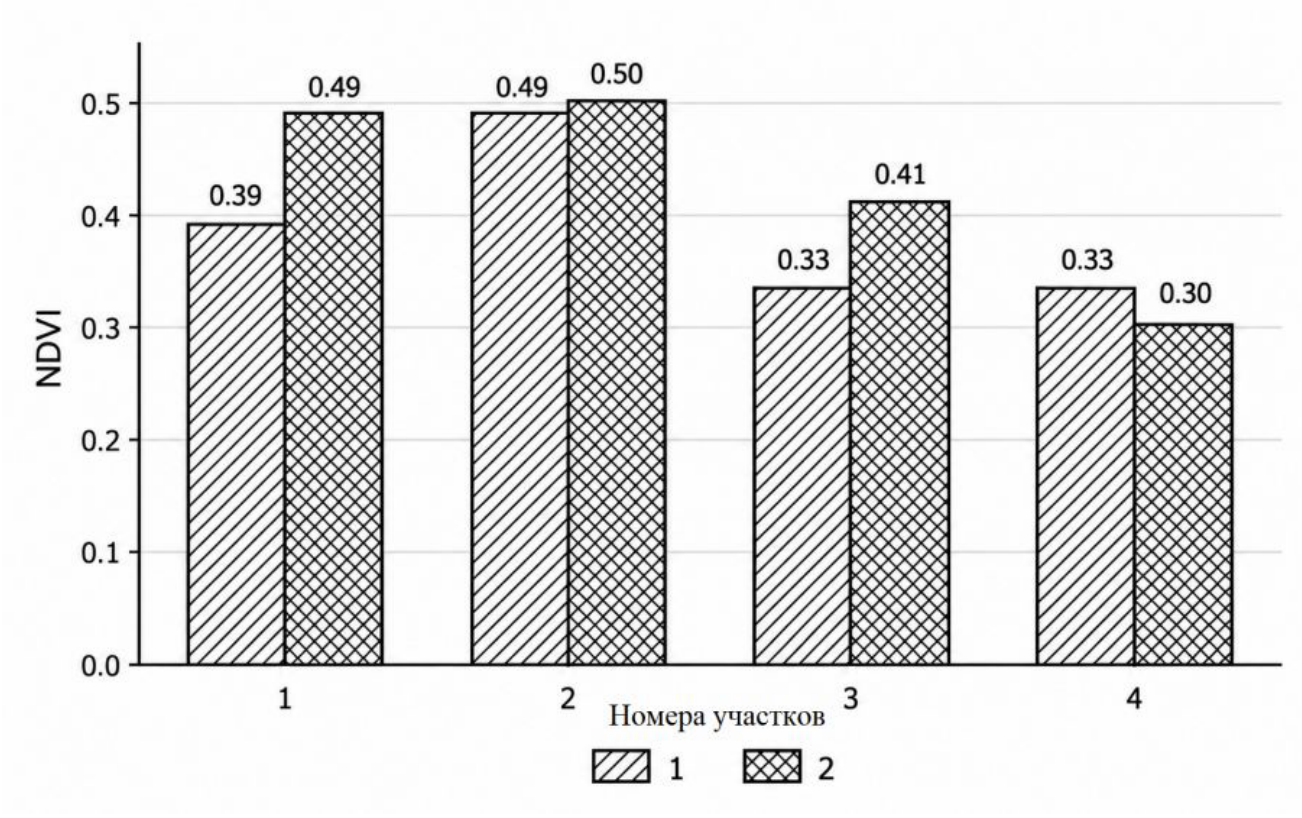


Рис. 6. Сравнение средних показателей вегетационного индекса NDVI за 2023 г. (1) и 2025 г. (2) на пробных площадях. Номера участков: 1 – участок с сенокошением; 2 – участок со слабым эпизодическим выпасом; 3 – заброшенное пастбище в стадии естественного восстановления; 4 – пастбище с интенсивным выпасом

Fig. 6. Comparison of average NDVI vegetation index values for 2023 (1) and 2025 (2) on sample plots. Plot numbers: 1 – plot with haymaking; 2 – plot with weak, sporadic grazing; 3 – abandoned pasture in the stage of natural restoration; 4 – pasture with intensive grazing.

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что режим сельскохозяйственного использования луговых степей Башкирского Предуралья является одним из ключевых факторов, определяющих состояние растительного покрова, продуктивность надземной фитомассы и связанные с ней запасы углерода. Это соответствует современным представлениям о высокой чувствительности степных экосистем к характеру антропогенной нагрузки и изменениям климатических условий (Курганова и др., 2019; Калов, Гакаев, 2022; Голубятников и др., 2023а). В отличие от интенсивно используемых угодий, участки с умеренной нагрузкой и сообщества, находящиеся в стадии восстановления, в большей степени сохраняют способность к наращиванию надземной фитомассы и поддержанию углерод-депонирующей функции, что согла-

суется с данными о высокой продуктивности и значении вторичных степей в региональном углеродном балансе (Голубятников и др., 2023б; Fedorov et al., 2025).

Межгодовые колебания показателей растительных сообществ чаще всего определяются различиями в метеорологических условиях разных лет и выражаются в изменении продуктивности и структуры травостоя, количественном соотношении между видами растений и их жизненными состояниями (Работнов, 1984; Piao et al., 2019). Показательной является реакция исследованных нами сообществ на различия метеорологических условий вегетационных сезонов 2023 и 2025 гг. Увеличение количества осадков в весенне-раннелетний период 2025 г. сопровождалось возрастанием живой надземной фитомассы на участках с умеренной нагрузкой на 33–35 %, тогда как на восстанавливающемся пастбище этот прирост достигал 153 % по сравнению с 2023 г. Такая динамика свидетельствует о высоком регенеративном потенциале вторичных луговых степей при снижении пастбищной нагрузки, особенно в благоприятные по условиям увлажнения годы. Сходные закономерности ранее отмечались для степных и луговых экосистем других регионов, где продуктивность тесно связана с увлажнением, фенологией и степенью нарушенности травостоя (Базилевич, 1993; Биологическая продуктивность…, 2018; Piao et al., 2019).

В противоположность этому участок с интенсивным выпасом в оба года наблюдений сохранял минимальные значения живой надземной фитомассы (56–58 г/м²) и содержащихся в ней запасов углерода (23.4–24.6 гС/м²), которые были в несколько раз ниже, чем на участках с менее интенсивным хозяйственным использованием. Это указывает на то, что при постоянном интенсивном выпасе продуктивность травостоя остается низкой даже при благоприятных погодных условиях. Подобные эффекты пастбищной дигрессии хорошо известны для степных экосистем и связаны с упрощением структуры сообщества, уменьшением доли высокопродуктивных злаков и разнотравья, сокращением проективного покрытия и общей фотосинтезирующей поверхности растений (Работнов, 1984; Родионова, Тебердиев, 2022; Wang et al., 2022). В более широком контексте это подтверждает то, что интенсивное хозяйственное использование может существенно ослаблять вклад травяных экосистем в углеродный баланс региона: если умеренный выпас способствует накоплению биомассы и, соответственно, углерода, то интенсивный выпас приводит к его потере (Gilmanov et al., 2017; Virkkala et al., 2021; Калов, Гакаев, 2022; Wang et al., 2022).

Отдельного внимания заслуживает сопоставление сенокосного участка и участка с эпизодическим выпасом. Несмотря на относительную умеренность обоих режимов использования, запасы углерода в живой надземной фитомассе на сенокосном участке оказались примерно на 30 % ниже, чем на участке со слабым выпасом как в 2023 г., так и в 2025 г. (несмотря на то, что в 2024 г. сенокошение уже не проводилось). Таким образом, режим многолетнего сенокошения оказался менее благоприятным для аккумуляции углерода в надземной массе, чем эпизодический выпас. Это связано с более полным и одномоментным изъятием фитомассы при сенокошении, которое нарушает почвенно-растительные взаимодействия, приводит к редукции надземной фитомассы, модифицирует объем и качественный состав корневых остатков, что потенциально может снижать объем углерода, депонируемого в почве. В то же время при слабом выпасе часть органического вещества сохраняется в экосистеме и частично возвращается в нее, а структура травостоя остается более мозаичной и функционально устойчивой (Venter et al., 2016; Dinerstein et al., 2017; Virkkala et al., 2021). Сходные различия между режимами использования травяных экосистем обсуждаются в работах по биологической продуктивности лугов и степей, где подчеркивается, что не только интенсивность, но и форма изъятия биомассы определяет дальнейшую динамику сообщества (Работнов, 1984; Weindl et al., 2015; Биологическая продуктивность…, 2018).

Выявленные различия закономерно связаны с особенностями флористического состава и структуры исследованных сообществ. Участки 1 и 2 представлены типичными сообществами вторичных луговых степей с участием ковылей, тогда как участки 3 и 4 в результате длительной пастбищной нагрузки трансформировались в сильно сбитые полынно-плотнодерновинно-злаковые сообщества с доминированием *Festuca pseudovina* и *Artemisia austriaca*. Эти структурные различия между сложными, высокопродуктивными лугово-степными сообществами и устойчивым к выпасу и вытаптыванию низкорослыми ксерофитными ценозами соответствуют ранее разработан-

ным схемам классификации степной растительности Южного Урала и Восточной Европы (Ямалов и др., 2012, 2013; Mucina et al., 2016; Willner et al., 2019). В функциональном отношении усиление пастбищной нагрузки сопровождается уменьшением высоты травостоя, проективного покрытия и массы фотосинтезирующей поверхности, что ведет к снижению живой надземной фитомассы и ее углеродных запасов.

Анализ показателей NDVI за 2023 и 2025 гг. в целом подтвердил зависимость состояния растительности как от метеорологических условий вегетационных сезонов, так и от режима использования угодий. В благоприятном по условиям увлажнения вегетационном сезоне 2025 г. на участках с умеренной нагрузкой и на восстанавливающейся залежи индекс увеличился на 24–26 %, достигнув значений 0.4–0.5, тогда как при интенсивном выпасе он оставался стабильно низким (0.3) в оба года наблюдений. Это показывает, что NDVI в данном исследовании отражал не только отклик на различия условий вегетационных сезонов, но и структурные особенности травяного яруса, обусловленные характером хозяйственного использования. Полученные результаты согласуются с данными о том, что NDVI чувствителен к плотности, высоте и продуктивности растительного покрова и может эффективно использоваться для оценки состояния травяных экосистем на разных стадиях развития и нарушенности (Hassan et al., 2019; Zsebő et al., 2024; Павлейчик, 2025). В этом отношении сочетание полевых измерений NDVI портативным прибором GreenSeeker с данными по надземной фитомассе и содержащихся в ней запасах углерода представляет собой перспективный подход для оперативного мониторинга состояния степных пастбищ и залежей.

Сопоставление полученных данных с ранее опубликованными материалами (Белоновская и др., 2015; Голубятников и др., 2023а, б; Fedorov et al., 2025 и др.) показывает, что выявленные закономерности в целом соответствуют общим представлениям о роли степных экосистем в углеродном цикле России, а также о том, что сообщества вторичных степей на залежах могут играть важную роль в восстановлении запасов углерода после распашки и деградации степных почв. Результаты настоящего исследования дополняют эти представления данными по луговым степям Башкирского Предуралья, в частности, о влиянии метеорологических условий вегетационного периода на живую надземную фитомассу сообществ восстанавливающихся луговых степей при разных режимах хозяйственного использования. Показано, что сенокошение, умеренная пастбищная нагрузка и прекращение выпаса способствуют увеличению надземной фитомассы и запасов углерода в благоприятные по условиям увлажнения годы, тогда как интенсивный выпас поддерживает сообщества в деградированном состоянии. Тем самым подтверждается, что даже на средних стадиях восстановления залежные луговые степи могут вносить существенный вклад в поддержание углерод-депонирующей функции региональных экосистем (Курганова и др., 2019; Голубятников и др., 2023а).

Вместе с тем интерпретация полученных результатов имеет ряд ограничений. Прежде всего, в настоящей работе анализировались только запасы углерода в надземной живой фитомассе, тогда как основная часть углерода степных экосистем сосредоточена в почве и подземной биомассе. Поэтому сделанные выводы характеризуют главным образом быстро реагирующий на изменение режима использования компонент углеродного пула, но не дают исчерпывающей оценки полного углеродного баланса экосистемы, о чем неоднократно указывалось в исследованиях по степным и другим наземным биомам (Курганова и др., 2019; Virkkala et al., 2021; Голубятников и др., 2023а).

Заключение

Проведенные исследования показали, что режим сельскохозяйственного использования и климатические условия вегетационных сезонов существенно влияют на состав и структуру сообществ, показатели надземной живой фитомассы и содержащихся в ней запасов углерода в восстанавливающихся на залежах луговых степях Башкирского Предуралья. Установлено, что на участках с умеренной пастбищной нагрузкой формируются более высокие запасы углерода в живой надземной фитомассе по сравнению с сенокосными угодьями и особенно с пастбищами при интенсивном выпасе.

Благоприятные условия увлажнения вегетационного сезона 2025 г. способствовали увеличению надземной зеленой фитомассы во всех типах сообществ с умеренной антропогенной нагрузкой, однако наиболее существенно этот эффект проявился на участке восстанавливающегося пастбища, где надземная фитомасса увеличилась в два

с половиной раза по сравнению с 2023 г. Это свидетельствует о высоком регенеративном потенциале вторичных степей при снижении хозяйственной нагрузки и подтверждает важную роль залежных земель как резерва для восстановления степных экосистем и усиления их углерод-депонирующей функции.

Сравнение участков с сенокошением и слабым эпизодическим выпасом показало, что в рассматриваемых условиях сенокошение приводит к более низким запасам углерода в живой надземной фитомассе по сравнению с эпизодическим слабым выпасом. Это указывает на то, что поддержание умеренной пастбищной нагрузки может быть предпочтительным режимом использования для сохранения продуктивности луговых степей и повышения их вклада в региональный углеродный баланс по сравнению с сохранением площадей сенокосных угодий.

Совокупность полученных результатов имеет практическое значение, т. к. показывает, что регулирование пастбищной нагрузки и выделение участков под естественное восстановление могут рассматриваться как реальные меры поддержания продуктивности травостоя и сохранения углерод-депонирующей функции степных экосистем. С учетом возрастающей роли природных экосистем в климатическом регулировании и задач сохранения уязвимых биомов такие подходы приобретают значение не только для локального землепользования, но и для более широких природоохранных и климатических стратегий (Venter et al., 2016; Dinerstein et al., 2017; Virkkala et al., 2021). В дальнейшем данное исследование будет дополнено оценкой мортмассы, подземной фитомассы, запасов почвенного органического углерода и прямыми измерениями потоков CO_2, что позволит более полно охарактеризовать вклад восстанавливающихся луговых степей в региональный углеродный баланс (Голубятников и др., 2023а; Fedorov et al., 2025). Также планируется продолжить многолетний мониторинг показателей NDVI и фитомассы для более точной оценки вклада восстановительных степей в региональный углеродный баланс.

Библиография

Атлас Республики Башкортостан / Ред. И. М. Япаров. Уфа: Китап, 2005. 420 с.

Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. . М.: Наука, 1993. 293 с.

Белоновская Е. А., Тишков А. А., Царевская Н. Г. Продуктивность степных экосистем: выявляемые тренды и перспективы новой оценки // Степи Северной Евразии: Материалы седьмого международного симпозиума. Оренбург, 2015. С. 160–163.

Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / А. А. Титлянова, Н. И. Базилевич, В. А. Снытко и др. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с.

Гареев А. М., Галеева Э. М., Баринов В. В. Основные тенденции изменения показателей теплообеспеченности и увлажнения за вегетационный период в пределах Республики Башкортостан // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2022. Т. 32, № 2. С. 158–165. DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-2-158-165

Голубятников Л. Л., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О. Оценка баланса углерода степных экосистем России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2023а. Т. 59, № 1. С. 71–87.

Голубятников Л. Л., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О. Оценки потоков углерода в степных залежах России // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2023б. Т. 1, № 8. С. 10–16. DOI: 10.23885/2500-395X-2023-1-8-10-16

Жудова П. П. Геоботаническое районирование Башкирской АССР . Уфа: Башкирское книжное издательство, 1966. 120 с.

Калов Р. О., Гакаев Р. А. Место природных травяных экосистем в глобальном углеродном балансе // Проблемы региональной экологии. 2022. № 6. С. 50–54. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-50-54

Курганова И. Н., Жиенгалиев А. Т., Кудеяров В. Н. Углеродный бюджет степных экосистем России // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 6. С. 732–735.

Павлейчик В. М. Вегетационные цветные индексы БПЛА и NDVI при выявлении особенностей и динамики растительности степных сенокосов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 51. С. 47–59. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.51.47

Работнов Т. А. Луговедение . М.: Издательство МГУ, 1984. 320 с.

Родионова А. В., Тебердиев Д. М. Изменение общего проективного покрытия фитоценоза долголетнего // Адаптивное кормопроизводство. 2022. № 1. С. 42–48. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-42-48

Физико-географическое районирование Башкирской АССР / . Уфа, 1964. 210 с. (Ученые записки /

Башкир. гос. ун-т им. 40-летия Октября. Серия географическая / Кафедра физ. географии; Т. 16; № 1).

Хорошев А. В., Калмыкова О. Г., Дусаева Г. Х. Оценка индекса NDVI как источника информации о надземной фитомассе в степях // Исследование Земли из космоса. 2023. № 3. С. 27–43. DOI: 10.31857/S020596142303003X

Чибилёв А. А. Степная Евразия: региональный обзор природного разнообразия . М.; Оренбург: Институт степи РАН/РГО, 2016. 324 с.

Ямалов С. М., Мартыненко В. Б., Абрамова Л. М., Голуб В. Б., Баишева Э. З., Баянов А. В. Продромус растительных сообществ Республики Башкортостан . Уфа: Гилем, 2012. 100 с.

Ямалов С. М., Баянов А. В., Мулдашев А. А., Аверинова Е. А. Ассоциации луговых степей Южного Урала // Растительность России. 2013. № 22. С. 106–125.

Dinerstein E., Olson D., Joshi A., Vynne C., Burgess N. D., Wikramanayake E., Saleem M. An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm // BioScience. 2017. Vol. 67, № 6. P. 534–545. DOI: 10.1093/biosci/bix014

Fedorov N., Shirokikh P., Zhigunova S., Baisheva E., Komissarov M., Muldashev A., Gabbasova D., Akhmetova M., Tuktamyshev I., Bikbaev I., Shendel G., Gulov D., Aivazyan M., Gimasetdinov V., Martynenko V. Productivity, carbon sequestration and species diversity in virgin and secondary meadow steppes of the Bashkir Cis-Urals // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, № 1. Article 17268. DOI: 10.1038/s41598-025-02493-y

Gilmanov T. G., Morgan J. F., Hanan N. P., Wylie B., Rajan N., Smith D. P., Howard D. M. Productivity and CO_2 exchange of Great Plains Ecoregions. I. Shortgrass steppe: flux tower estimates // Rangeland Ecology and Management. 2017. Vol. 70. P. 700–717. DOI: 10.1016/j.rama.2017.06.007

Hassan M. A., Yang M., Rasheed A., Yang G., Reynolds M., Xia X., Xiao Y., He Z. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform // Plant Sci. 2019. Vol. 282. P. 95–103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022

Mucina L., Bültmann H., Dierssen K., Theurillat J.-P., Raus T., Carni A., Sumberova K., Willner W. et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // Applied Vegetation Science. 2016. Vol. 19, № 1. P. 3–264. DOI: 10.1111/avsc.12257

Piao S., Liu Q., Chen A. et al. Plant phenology and global climate change: current progresses and challenges // Global Change Biology. 2019. Vol. 25, № 6. P. 1922–1940. DOI: 10.1111/gcb.14619

Venter O., Sanderson E. W., Magrach A., Allan J. R., Beher J., Jones K. R., Watson J. E. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation // Nature Communications. 2016. Vol. 7, № 1. Article 12558. DOI: 10.1038/ncomms12558

Virkkala A.-M., Aalto J., Rogers B. M., Tagesson N., Treat C. C., Natali S. M., Watts J. D., Potter S., Lehtonen A., Mauritz M., Schuur E. A. G., Kochendorfer J., Zona D., Oechel W., Kobayashi H., Humphreys E., Goeckede M., Iwata H., Lafleur P. M., Euskirchen E. S., Bokhorst S., Marushchak M., Martikainen P. J., Elberling B., Voigt C., Biasi C., Sonnentag O., Parmentier F.-J. W., Ueyama M., Celis G., St. Louis V. L., Emmerton C. A., Peichl M., Chi J., Järveoja J., Nilsson M. B., Oberbauer S. F., Torn M. S., Park S.-J., Dolman H., Mammarella I., Chae N., Poyatos R., López-Blanco E., Christensen T. R., Kwon M. J., Sachs N., Holl D., Luoto M. Statistical upscaling of ecosystem CO_2 fluxes across the terrestrial tundra and boreal domain: regional patterns and uncertainties // Global Change Biology. 2021. Vol. 27. P. 4040–4059. DOI: 10.1111/gcb.15659

Wang M., Zhang C., Chen S., Zhang Y., Li Y., Xin X., Wang X., Yan R. Effects of grazing intensity on the carbon, nitrogen and phosphorus content, stoichiometry and storage of plant functional groups in a meadow steppe // Agronomy. 2022. Vol. 12, № 12. Article 3057. DOI: 10.3390/agronomy12123057

Weindl I., Lotze-Campen H., Popp A. et al. Livestock in a changing climate: production system transitions as an adaptation strategy for agriculture // Environmental Research Letters. 2015. Vol. 10, № 9. Article 094021. DOI: 10.1088/1748-9326/10/9/094021

Willner W., Korolyuk A. Yu., Rolecek J., Dengler J. Formalized classification of the semi-dry grasslands of central and eastern Europe // Preslia. 2019. Vol. 91, № 1. P. 25–49. DOI: 10.23855/preslia.2019.025

Zsebő S., Bede L., Kukorelli G., Kulmány I. M., Milics G., Stencinger D., Teschner G., Varga Z., Vona V., Kovács A. J. Yield prediction using NDVI values from GreenSeeker and MicaSense cameras at different stages of winter wheat phenology // Drones. 2024. Vol. 8, № 3. Article 88. DOI: 10.3390/drones8030088

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на тему «Оценка объема эмиссии и поглощения парниковых газов репрезентативными типами экосистем на участках Евразийского карбонового полигона и поиск оптимальных технологических решений для декарбонизации Республики Башкортостан» (Номер для публикаций: FEUR-2024-0007).

Baisheva, E., Gabbasova, D., Zhigunova, S., Shirokikh, P., Martynenko, V., Bikbaev, I., Tuktamyshev, I., Gimazetdinov, V., Gulov, D., Belan, L. Estimation of above-ground phytomass and carbon stocks in meadow steppes of the Bashkir Cis-Urals under various agricultural use regimes. // Principy èkologii. 2026 № 3. P. 63–78. DOI: 10.15393/j1.art.2026.17462

ESTIMATION OF ABOVE-GROUND PHYTOMASS AND CARBON STOCKS IN MEADOW STEPPES OF THE BASHKIR CIS-URALS UNDER VARIOUS AGRICULTURAL USE REGIMES

BAISHEVA Elvira Zakiryanovna — *DSc, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 69, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, elvbai@mail.ru*

GABBASOVA Dilara Tagirovna — *PhD, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, dilara.gt@yandex.ru*

ZHIGUNOVA Svetlana Nikolaevna — *DSc, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, zigusvet@yandex.ru*

SHIROKIKH Pavel Sergeevich — *DSc, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, shirpa@mail.ru*

MARTYNENKO Vasily Borisovich — *DSc, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 69, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, vb-mart@mail.ru*

BIKBAEV Ilnur Gatiatovich — *PhD, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1, K1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, ilnur.bikbaev.90@mail.ru*

TUKTAMYSHEV Ilshtat Rinatovich — *PhD, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, ishatik@yandex.ru*

GIMAZETDINOV Vazir Damirovich — *Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russia, vazir.gimazetdinov@mail.ru*

GULOV Davut Meretgeldievich — *PhD, Ufa State Petroleum Technological University; Ufa Institute of Biology, UFRC RAS, 1 Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia; 69 October av., Ufa, 450054, Russia, davut.gulov.96@mail.ru*

BELAN Larisa Nikolaevna — *DSc, Ufa University of Science and Technology, 32, Zaki Validi St., Ufa, 450076, Russia, belan77767@mail.ru.*

Key words:
steppe
grazing pressure
hay harvesting
phytomass
NDVI
carbon stocks
fallow land
vegetation recovery
Bashkir Cis-Urals

Summary: The article presents the results of the study of the inter-annual variability of above-ground phytomass and the carbon reserves contained in it in secondary meadow steppes of the Bashkir Cis-Urals region under various agricultural use regimes (hay harvesting, occasional grazing, a two-year recovery period following the cessation of grazing, and intensive grazing). The studies were conducted in 2023 and 2025, which differed significantly in terms of meteorological conditions during the growing seasons. It was shown that, compared to the dry summer of 2023, the favorable moisture conditions during the spring and early summer of 2025 contributed to an increase in phytomass by 33–35% in areas with haymaking and occasion-

al grazing, and by 153% in a recovering pasture. In the area with intensive grazing, the above ground phytomass remained minimal (56–58 g/m²), and carbon stocks (22.4–24.6 gC/m²) were 2.6–4.6 times lower than in areas with moderate anthropogenic pressure. It was established that haymaking reduced carbon accumulation more significantly than occasional grazing: in both years of observation, the carbon stocks in the above-ground phytomass at the site with occasional grazing (80.5 and 107.8 g C/m²) were 30% higher than at the meadow plot (61.6 and 83.4 g C/m²). The NDVI analysis for 2023 and 2025 confirmed a stable relationship between the state of vegetation and land use regime. In areas with haymaking, occasional grazing, and on recovering pasture, NDVI values ranged from 0.4 to 0.5, whereas under intensive grazing, NDVI remained consistently low (0.3) in both years of observation, reflecting the degradation of the vegetation cover. The results demonstrate a high regenerative potential of steppe ecosystems recovering on fallow lands under moderate anthropogenic pressure and substantiate the need to optimize natural resource management regimes to maintain the carbon-sequestering function of steppe ecosystem.

Received on: 08 June 2026 **Published on:** 27 September 2026

References

Atlas of the Republic of Bashkortostan, Red. I. M. Yaparov. Ufa: Kitap, 2005. 420 p.

Bazilevich N. I. Biological productivity of ecosystems in Northern Eurasia. M.: Nauka, 1993. 293 p.

Belonovskaya E. A. Tishkov A. A. Carevskaya N. G. Productivity of steppe ecosystems: identified trends and prospects for a new assessment, Stepi Severnoy Evrazii: Materialy sed'mogo mezhdunarodnogo simpoziuma. Orenburg, 2015. P. 160–163.

Biological productivity of grassland ecosystems. Geographical patterns and ecological features, A. A. Titlyanova, N. I. Bazilevich, V. A. Snytko i dr. Novosibirsk: IPA SO RAN, 2018. 110 p.

Dinerstein E., Olson D., Joshi A., Vynne C., Burgess N. D., Wikramanayake E., Saleem M. An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm, BioScience. 2017. Vol. 67, No. 6. P. 534–545. DOI: 10.1093/biosci/bix014

Fedorov N., Shirokikh P., Zhigunova S., Baisheva E., Komissarov M., Muldashev A., Gabbasova D., Akhmetova M., Tuktamyshev I., Bikbaev I., Shendel G., Gulov D., Aivazyan M., Gimasetdinov V., Martynenko V. Productivity, carbon sequestration and species diversity in virgin and secondary meadow steppes of the Bashkir Cis-Urals, Scientific Reports. 2025. Vol. 15, No. 1. Article 17268. DOI: 10.1038/s41598-025-02493-y

Gareev A. M. Galeeva E. M. Barinov V. V. The main trends in changes in heat availability and moisture levels during the growing season within the Republic of Bashkortostan, Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle. 2022. T. 32, No. 2. P. 158–165. DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-2-158-165

Gilmanov T. G., Morgan J. F., Hanan N. P., Wylie B., Rajan N., Smith D. P., Howard D. M. Productivity and CO2 exchange of Great Plains Ecoregions. I. Shortgrass steppe: flux tower estimates, Rangeland Ecology and Management. 2017. Vol. 70. P. 700–717. DOI: 10.1016/j.rama.2017.06.007

Golubyatnikov L. L. Kurganova I. N. Gerenyu V. O. Assessment of the carbon balance steppe ecosystems of Russia, Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana. 2023a. T. 59, No. 1. P. 71–87.

Golubyatnikov L. L. Kurganova I. N. Gerenyu V. O. Estimates of carbon fluxes in the steppe lands of Russia, Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskih i ekologicheskih sistem. 2023b. T. 1, No. 8. P. 10–16. DOI: 10.23885/2500-395X-2023-1-8-10-16

Hassan M. A., Yang M., Rasheed A., Yang G., Reynolds M., Xia X., Xiao Y., He Z. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform, Plant Sci. 2019. Vol. 282. P. 95–103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022

Horoshev A. V. Kalmykova O. G. Dusaeva G. H. Assessment of the NDVI index as a source of information about above-ground phytomass in steppes, Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2023. No. 3. P. 27–43. DOI: 10.31857/S020596142303003X

Kalov R. O. Gakaev R. A. The role of natural grassland ecosystems in the global carbon balance, Problemy regional'noy ekologii. 2022. No. 6. P. 50–54. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-50-54

Kurganova I. N. Zhiengaliev A. T. Kudeyarov V. N. The carbon budget of steppe ecosystems of Russia, Doklady Akademii nauk. 2019. T. 485, No. 6. P. 732–735.

Mucina L., Bültmann H., Dierssen K., Theurillat J, P., Raus T., Carni A., Sumberova K., Willner W. et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities, Applied Vegetation Science. 2016. Vol. 19, No. 1. P. 3–264. DOI: 10.1111/avsc.12257

Pavleychik V. M. Vegetation color indices of UAVs and NDVI in identifying the characteristics and dynamics of vegetation in steppe hayfields, Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2025. T. 51. P. 47–59. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.51.47

Piao S., Liu Q., Chen A. et al. Plant phenology and global climate change: current progresses and challenges, Global Change Biology. 2019. Vol. 25, No. 6. P. 1922–1940. DOI: 10.1111/gcb.14619

Rabotnov T. A. Meadow science. M.: Izdatel'stvo MGU, 1984. 320 p.

Rodionova A. V. Teberdiev D. M. Changes in the overall projective cover of a long-lived phytocenosis, Adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2022. No. 1. P. 42–48. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-42-48

Steppe Eurasia: a regional overview of natural diversity. M.; Orenburg: Institut stepi RAN/RGO, 2016. 324 p.

Venter O., Sanderson E. W., Magrach A., Allan J. R., Beher J., Jones K. R., Watson J. E. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation, Nature Communications. 2016. Vol. 7, No. 1. Article 12558. DOI: 10.1038/ncomms12558

Virkkala A, M., Aalto J., Rogers B. M., Tagesson N., Treat C. C., Natali S. M., Watts J. D., Potter S., Lehtonen A., Mauritz M., Schuur E. A. G., Kochendorfer J., Zona D., Oechel W., Kobayashi H., Humphreys E., Goeckede M., Iwata H., Lafleur P. M., Euskirchen E. S., Bokhorst S., Marushchak M., Martikainen P. J., Elberling B., Voigt C., Biasi C., Sonnentag O., Parmentier F, J. W., Ueyama M., Celis G., St. Louis V. L., Emmerton C. A., Peichl M., Chi J., Järveoja J., Nilsson M. B., Oberbauer S. F., Torn M. S., Park S, J., Dolman H., Mammarella I., Chae N., Poyatos R., López-Blanco E., Christensen T. R., Kwon M. J., Sachs N., Holl D., Luoto M. Statistical upscaling of ecosystem CO2 fluxes across the terrestrial tundra and boreal domain: regional patterns and uncertainties, Global Change Biology. 2021. Vol. 27. P. 4040–4059. DOI: 10.1111/gcb.15659

Wang M., Zhang C., Chen S., Zhang Y., Li Y., Xin X., Wang X., Yan R. Effects of grazing intensity on the carbon, nitrogen and phosphorus content, stoichiometry and storage of plant functional groups in a meadow steppe, Agronomy. 2022. Vol. 12, No. 12. Article 3057. DOI: 10.3390/agronomy12123057

Weindl I., Lotze-Campen H., Popp A. et al. Livestock in a changing climate: production system transitions as an adaptation strategy for agriculture, Environmental Research Letters. 2015. Vol. 10, No. 9. Article 094021. DOI: 10.1088/1748-9326/10/9/094021

Willner W., Korolyuk A. Yu., Rolecek J., Dengler J. Formalized classification of the semi-dry grasslands of central and eastern Europe, Preslia. 2019. Vol. 91, No. 1. P. 25–49. DOI: 10.23855/preslia.2019.025

Yamalov S. M. Bayanov A. V. Muldashev A. A. Averinova E. A. Meadow steppe associations of the South Urals, Rastitel'nost' Rossii. 2013. No. 22. P. 106–125.

Yamalov S. M. Martynenko V. B. Abramova L. M. Golub V. B. Baisheva E. Z. Bayanov A. V. The prodrums of plant communities of the Republic of Bashkortostan. Ufa: Gilem, 2012. 100 p.

Zhudova P. P. Geobotanical zoning of the Bashkir ASSR. Ufa: Bashkirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1966. 120 p.

Zsebȍ S., Bede L., Kukorelli G., Kulmány I. M., Milics G., Stencinger D., Teschner G., Varga Z., Vona V., Kovács A. J. Yield prediction using NDVI values from GreenSeeker and MicaSense cameras at different stages of winter wheat phenology, Drones. 2024. Vol. 8, No. 3. Article 88. DOI: 10.3390/drones8030088

Ред. коллегия: И. П. Кадильников и др.. Ufa, 1964. 210 p. (Uchenye zapiski, Bashkir. gop. un-t im. 40-letiya Oktyabrya. Seriya geograficheskaya, Kafedra fiz. geografii; T. 16; No. 1).