

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВЫПАСА И ПОЖАРОВ
НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ**

© 2025 г. Т.Ю. Каримова***, С.С. Шинкаренко***, И.Н. Сафронова****,
Н.Ю. Степанова*****

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: katayur@gmail.com

**Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

***Институт космических исследований РАН
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. E-mail: shinkarenko@d902.iki.rssi.ru

****Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН
Россия, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, д. 2. E-mail: irasafronova@yandex.ru

*****Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН
Россия, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 4. E-mail: ny_stepanova@mail.ru

Поступила в редакцию 05.05.2025. После доработки 10.06.2025. Принята к публикации 01.07.2025.

В 1980-е гг. рост численности поголовья скота в Северо-Западном Прикаспии (до 3.78 млн. голов) и несоблюдение правил пастбищеоборота привели к изменению не только состава растительных сообществ, но и их пространственного размещения. На рубеже веков из-за экономического кризиса на фоне сокращения площадей обрабатываемых полей, фермерских точек и поголовья скота выросла интенсивность пожаров (их количеств и охватываемая ими площадь), что также сказалось на состоянии растительности. В настоящее время в регионе развивается пастбищное животноводство. Целью данного исследования является оценка влияния выпаса и пожаров на современный растительный покров Северо-Западного Прикаспия. Новизна заключается в использовании комплексного подхода, когда на основе анализа объединенных данных, таких как наземные геоботанические исследования и характеристики пастбищных нагрузок и пожарного режима, полученные на основе геоинформационной обработки данных дистанционного зондирования Земли, выявлены закономерности отклика растительности на пирогенное воздействие и выпас домашнего скота. Для этого использованы описания растительных сообществ (в степной зоне – 240, в пустынной зоне – 498), характеристики пастбищных нагрузок и пожарного режима, полученные после обработки спутниковых снимков с помощью методов геоинформатики. В степной зоне растительный покров полукустарничково-злаковый (*Stipa* spp., *Agropyron* spp., *Festuca valesiaca*, *Poa bulbosa*, *Artemisia* spp., *Tanacetum achilleifolium*) и злаково-полукустарничковый, в пустынной – мятликово-полынный (*Artemisia* spp., *Poa bulbosa*) и полынно-мятликовый. На конечных стадиях пастбищной дигрессии на этой территории преобладают мятлик (*P. bulbosa*) и однолетники (*Anisantha tectorum*, *Ceratocarpus arenarius*, *Eremopyrum* spp., *Salsola tragus*). В нашем исследовании доля таких сообществ составила 19.6% в степной зоне и 51.8% в пустынной, хотя нагрузка на пастбища практически не отличается – 0.92 ± 0.10 усл. гол. овец/га в степи и 1.02 ± 0.12 усл. гол. овец/га в пустыне. Восстановление естественной растительности растягивается на десятилетия и зависит от ряда природных (эдафических, гидротермических условий) и антропогенных (выпас и распашка) факторов. Замедляют этот процесс и пожары, которые возникают в этом регионе в основном из-за деятельности человека. Отдельные годы характеризуются наличием значительного количества ветоши, что при возникновении пожаров способствует их распространению на большие площади. За последние 30 лет территория исследования практически ежегодно подвергалась пожарам разной интенсивности. Так, в степной зоне пройдено огнем 37% площади,

а в пустынной – 50.4%. Пик горимости пришелся на 1998-2011 гг. В последние годы частота пожаров снизилась благодаря фермерам, которые более тщательно следят за территорией своих пастбищ, не допуская возникновения пожаров. При практически полном отсутствии выпаса на особо охраняемых природных территориях (заповедник «Черные земли» и заказник «Степной») на легких почвах к настоящему времени сформировались хорошо горимые однолетниково-злаковые и злаково-однолетниковые сообщества, а частые пожары на этой территории поддерживают их существование, не давая развиваться характерным для пустынной зоны полынным сообществам. Как известно, при нарушении или уничтожении растительного покрова в результате пожаров или перевыпаса полукустарнички восстанавливаются медленнее, чем злаки. Фитоценологическое разнообразие в Северо-Западном Прикаспии определяется совокупным воздействием пастбищных нагрузок и пожаров.

Ключевые слова: растительный покров, степная и пустынная зоны, пастбищная нагрузка, динамика растительности, скотосбой, пожары, дистанционное зондирование, Landsat, Северо-Западный Прикаспий.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-3-55-67

EDN: HSKNHD

За последние 50 лет экосистемы Северо-Западного Прикаспия претерпели различные изменения, вызванные как природными, так и антропогенными факторами. Аридность климата в сочетании с высокой пастбищной нагрузкой, распашкой, увеличением площадей сенокосов и строительством различных гидросооружений (каналов, водохранилищ, оросительных систем) в 70-80-е гг. XX века привели к значительной деформации растительного покрова и экосистем в целом. На рубеже 90-х гг. наблюдалось ухудшение общего состояния сельского хозяйства – были заброшены возделываемые поля и многие фермерские точки, поголовье скота значительно сократилось. На фоне этих событий увеличилось число пожаров. В последние десятилетия экономическая политика в регионе направлена на развитие пастбищного животноводства. В степной зоне пастбища расширяются за счет залежных земель. В пустынной зоне остаются чрезмерными пастбищные нагрузки, что приводит к возникновению новых очагов дефляции на легких почвах.

Цель нашего исследования заключается в оценке влияния выпаса и пожаров на современный растительный покров на основе объединенных данных: дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и наземных геоботанических исследований.

Материалы и методы

Район исследования охватывает северо-западную часть Прикаспийской низменности, лежащую между возвышенностью Ергени на западе, рекой Волга на севере и востоке и рекой Кума на юге. Основными факторами, определяющими своеобразие его растительного покрова, служат климат, геоморфологическое строение и почвы.

Северная треть региона под названием Сарпинская низменность по геоботаническому районированию (Сафронова, Юрковская, 2015) относится к южной подзоне степной зоны с лерхопопынно-дерновиннозлаковыми степями на светло-каштановых легкосуглинистых и супесчаных почвах разной степени засоленности, местами образующих комплексы с полукустарничковыми сообществами на солонцах. Рельеф Сарпинской низменности слабоволнистый и волнистый с абсолютными высотами 15-20 м н.у.м. БС на севере и 0 м на юге. Характерны разнообразные формы мезо- и микрорельефа: западины (понижения округлой или овальной формы диаметром 5-100 м, глубиной 0.3-2 м с плоским дном и пологими склонами), зоогенные бугры (высотой 0.5-0.7 м, диаметром 1.0-1.5 м), высохшие лиманы с лугово-каштановыми почвами, соленые озера (соры) с солончаками.

Южнее Сарпинской низменности вся территория до р. Кумы, имеющая отметки ниже уровня моря (от 0 до -27 м), носит название Черные Земли. Большая ее часть занята грядовыми и бугристыми грядовыми песчаными массивами, которые чередуются с увалистыми и волнистыми равнинами с песчаными и супесчаными, слабозасоленными и засоленными бурыми пустынными почвами. Характерны соленые озера (соры) с солончаками. По геоботаническому районированию Черные Земли находятся в северной подзоне пустынной зоны с лерхопопынниками (*Artemisia lerchiana* Weber

ex Stechm) на бурых пустынных почвах, джугунниками (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) и песчанополынниками (*Artemisia arenaria* DC.) на бугристых песках (Сафронова, 1980; Бакинова и др., 1999; Мар ..., 2000а, б; Сафронова, Юрковская, 2015; Сафронова и др., 2023).

Климат Северо-Западного Прикаспия континентальный, с высокой испаряемостью (от 800-900 мм в степной части до 1000-1100 мм в пустынной), большими годовыми и летними суточными амплитудами температуры воздуха. В северной степной части региона осадков выпадает 250-300 мм/год. Среднегодовая температура воздуха составляет +7°C, максимальная температура достигает +30°C в июле, минимальная в январе опускается до -30°C. В южной пустынной части осадков меньше - 150-250 мм/год. Среднегодовая температура воздуха составляет от +8 до 10°C, максимум температуры в июле - +39+40°C, в январе минимальная температура опускается до -21°C (Агроклиматические ..., 1979). Речная сеть отсутствует, но много ирригационных каналов различного назначения.

Геоботанические исследования проводились в 2015-2018, 2021 и 2022 гг. (Safronova et al., 2023). Всего было сделано 738 описаний по стандартной методике (Полевая геоботаника, 1972). При анализе описаний видовой состав сгруппирован по жизненным формам: дерновинные злаки (*Stipa* spp., *Agropyron* spp., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin), эфемероидные злаки (*Poa bulbosa* L.), полукустарнички (*Artemisia* spp., *Anabasis* spp., *Tanacetum achilleifolium* (M. Bieb.) Sch. Bip.), многолетнее разнотравье (*Euphorbia seguieriana* Neck., *Phlomis pungens* Willd.), однолетники (*Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Ceratocarpus arenarius* L., *Eremopyrum* spp., *Alyssum desertorum* Stapf, *Salsola tragus* L.). Видовые названия растений даны по С.К. Черепанову (1995) и «Флоре Нижнего Поволжья» (2006, 2018).

Обработка данных ДЗЗ и статистической информации. Картографирование выгоревших площадей основано на спутниковых данных Landsat за 1984-2022 гг., полученных с помощью сервиса «Vegetation Science» (Loupian et al., 2022). Выделение контуров, пройденных огнем, осуществлено на основе экспертного дешифрирования цветосинтезированных изображений с включением инфракрасного диапазона. Подобный подход достаточно широко применяется при мониторинге гарей (Pavleychik et al., 2022).

В связи с тем, что до 1993 года в Калмыкии степные пожары были немногочисленны и с относительно небольшой площадью охвата, количество пожаров и длительность пирогенных сукцессий рассчитаны за период 1993-2022 гг. (Шинкаренко и др., 2022; Dubinin et al., 2010). По данным сервиса OpenStreetMap (2025) проанализирована и дорожная сеть, т.к. ее густота может свидетельствовать о степени антропогенной освоенности территории, которая влияет на пожарный режим: дороги препятствуют распространению фронта пожара, но в то же время возле них возгорания возникают чаще из-за человеческого фактора (Pavleychik et al., 2022).

Для определения пастбищных нагрузок выполнено визуальное дешифрирование расположения животноводческих ферм, которые достаточно точно идентифицируются по более светлому тону (Васильченко, Выприцкий, 2020). В результате картографирования выделено более 1.7 тыс. животноводческих ферм и других мест концентрации домашнего скота, по большей части не менявших своего местоположения за период исследования. Вокруг каждой точки концентрации построены полигоны Вороного-Тиссена для определения площади близлежащих пастбищ, на которых, предположительно, осуществляется выпас. Далее на основе статистической информации за 2007-2022 гг. (База данных ..., 2023) о численности овец и коз, крупного рогатого скота и лошадей для каждого из муниципальных районов территории исследований рассчитывалось среднее поголовье, приведенное к условным головам овец и коз согласно утвержденным коэффициентам (Постановление ..., 2006), которое приходится на одну животноводческую ферму. Полученная величина поголовья делилась на площадь соответствующего ферме полигона Вороного-Тиссена, в результате чего была определена среднегодовалая пастбищная нагрузка. С помощью теста Кларка-Эванса рассчитывались наблюдаемые и ожидаемые расстояния между фермами и их соотношение, характеризующее особенности пространственного размещения. Ранее этот подход уже применялся и позволил достоверно установить зависимость площади открытых песков на пастбищах от величины пастбищных нагрузок (Shinkarenko et al., 2023), что говорит об адекватности его использования для оценки нагрузок, несмотря на возможные ошибки в определении площадей используемых пастбищ и распределения поголовья. При анализе пастбищных нагрузок

не учитывались точки геоботанических описаний, сделанные на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), где выпас домашнего скота отсутствует.

При создании итоговой базы данных методами геоинформационной обработки для каждой точки геоботанических описаний добавлены сведения о расстоянии до ближайшей животноводческой фермы, среднемноголетней пастбищной нагрузке, количестве пожаров и их динамике за 1993-2022 гг.

Геоинформационный анализ проведен в программе QGIS, статическая обработка выполнена в Microsoft Excel и Statistica. Средние значения даны в формате «значение \pm доверительный интервал 95%».

Результаты и обсуждение

На исследуемой территории в степной зоне сделано 240 описаний, в пустынной зоне – 498 (рис. 1). В степной зоне преобладают различные варианты полукустарничково-злаковых (*Stipa* spp., *Agropyron* spp., *Festuca valesiaca*, *Poa bulbosa*, *Artemisia* spp., *Tanacetum achilleifolium*) и злаково-полукустарничковых сообществ, в пустынной – мятликово-полынных (*Artemisia* spp., *Poa bulbosa*) и полынно-мятликовых (Safronova et al., 2023).

В сообществах степей и пустынь в Северо-Западном Прикаспии набор доминирующих видов схож, но их фитоценотическая роль в структуре растительного покрова различна.

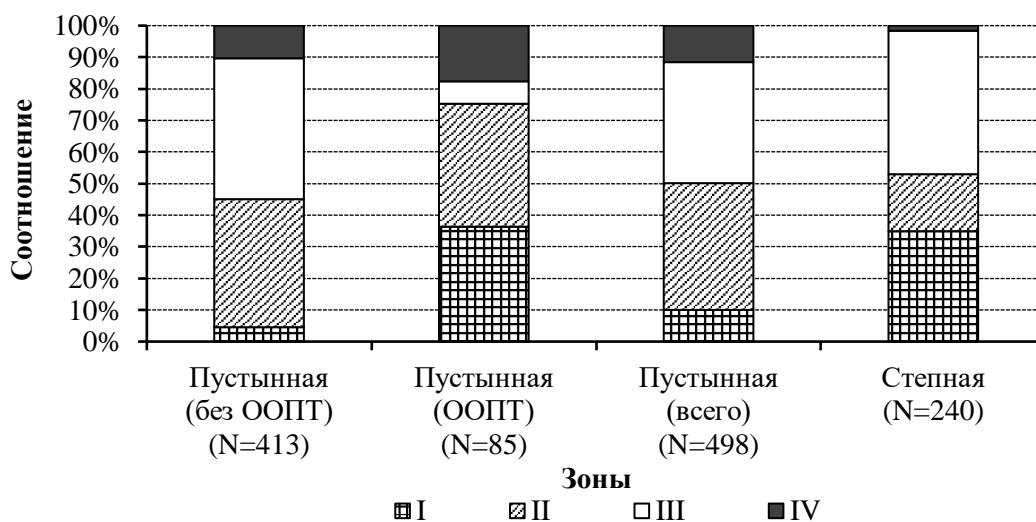


Рис. 1. Соотношение разного типа сообществ в современном растительном покрове в степной и пустынной зонах Северо-Западного Прикаспия. Условные обозначения. Сообщества: I – дерновиннозлаковые, II – эфемероиднозлаковые (мятликовые), III – полукустарничковые, IV – однолетниковые.

Из злаков в обеих зонах в качестве доминантов отмечены тырсик (*Stipa sareptana* A.K. Becker), ковылок (*S. lessingiana* Trin. et Rupr.), мятлик (*Poa bulbosa*), на солонцеватых почвах к ним добавляется житняк пустынный (*Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.), а на песчаных – тырса (*Stipa capillata* L.) и житняк ломкий (*Agropyron fragile* (Roth) P. Candargy). В степной зоне на солонцеватых почвах распространены сообщества с доминированием типчака (*Festuca valesiaca*).

Пустынная зона Северо-Западного Прикаспия в основном занята песчаными массивами. Именно по ним ксерофитные ковыли *Stipa sareptana* и *S. lessingiana* заходят в эту зону, причем по нарушениям они обильны и создают аспект. На пустынных песках обычен и рыхлодерновинный псаммофильный злак *Agropyron fragile*. Эфемероидный злак *P. bulbosa* – показатель нарушения в обеих зонах, причем в пустынной зоне он часто создает сомкнутый покров на поверхности почвы.

В обеих зонах формируются сообщества с доминированием 5 видов полукустарничковых полыней. В пустынной зоне в качестве доминантов выступают *Artemisia lerchiana*, *A. taurica* Willd. И *A. santonica* L., реже – *A. pauciflora* Weber ex Stechm, очень редко – *A. austriaca* Jacq. В степной зоне доля сообществ с доминированием двух последних видов полыней возрастает, а также характерны сообщества с доминированием ромашника (*Tanacetum achilleifolium*).

Однолетниковые (*Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. et Spach, *E. triticeum* (Gaertn.) Nevski, *Anisantha tectorum*, *Alyssum desertorum*, *Ceratocarpus arenarius*) сообщества в степной зоне встречаются в основном на залежах, в пустынной появляются в результате перевыпаса (*Ceratocarpus arenarius*, *Salsola tragus*, *Eragrostis minor* Host, *Filago arvensis* L., *Amaranthus albus* L., *Sisymbrium altissimum* L., *S. loeselii* L.).

В пустынной зоне растительный покров вне и внутри ООПТ различается (рис. 1). В настоящее время на песчаных почвах и песках на юге Черных Земель идет демулационная сукцессия и растительность находится на однолетниково-злаковой (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Agropyron fragile*, *Poa bulbosa*, *Ceratocarpus arenarius*, *Alyssum desertorum*, *Filago arvensis*, *Trigonella orthoceras* Kar. et Kir., *Sisymbrium altissimum*, *Salsola tragus*, *Lagoseris sancta* (L.) K. Maly) стадии восстановления. Этим и объясняется высокий процент участия дерновиннозлаковых (36.5%) и мятликовых (38.8%) сообществ на охраняемых территориях.

С 1998 года численность скота в регионе значительно выросла: только в Калмыкии – с 776.3 тыс. до 2.72 млн. голов в 2019 г., хотя она и не достигла максимального уровня, отмеченного в середине 80-х гг. – 3.78 млн. голов (Габунщина, 2010; Поголовье ..., 2024б). Но уже сейчас нагрузка на пастбища практически на всей территории республики в несколько раз превышает допустимую (табл.).

Таблица. Численность скота и нагрузка на пастбища в районах Калмыкии, расположенных на территории Северо-Западного Прикаспия в 2019 г.

Район	Численность скота, в усл. гол. овец	Реальная нагрузка на пастбища, в усл. гол. овец на 1 га	Нормы нагрузки скота на пастбища, в усл. гол. овец на 1 га	Превышение максимальных норм нагрузки
Степная зона				
Ики-Бурульский	558593	0.80	0.45-0.60	1.33
Малодербетовский	312646	0.80	0.42-0.56	1.43
Октябрьский	234234	1.23	0.40-0.54	2.28
Кетченеровский	465050	1.10	0.40-0.54	2.04
Сарпинский	237721	0.75	0.39-0.52	1.45
Пустынная зона				
Лаганский	208205	1.21	0.31-0.41	2.95
Черноземельский	844460	1.03	0.38-0.50	2.06
Юстинский	418529	1.79	0.39-0.52	3.44
Яшкульский	877127	1.07	0.40-0.54	1.98

В 2019 году численность скота в степной зоне Северо-Западного Прикаспия (Черноярский район Астраханской области и 5 районов Калмыкии) составляла 1.09 млн. голов, а в пустынной зоне (Еногаевский, Наримановский, Лиманский и Икрянинский районы Астраханской области и 4 района Калмыкии) – 2.5 млн. (Поголовье ..., 2024а, б). Из-за засухи 2020 года поголовье на всей территории сократилось, и в 2023 году эти цифры составляли 0.87 и 1.84 млн. голов соответственно.

Наличие в составе растительных сообществ в степной и пустынной зонах Северо-Западного Прикаспия злаков, полыней и солянок, сильно отличающихся по кормовым свойствам, при отсутствии устойчивого снежного покрова позволяет содержать животных на подножных кормах высокой питательности почти круглогодично. Степень влияния выпаса на пастбище зависит от видового состава травостоя, длительности и сроков его использования, поголовья и породного состава выпасаемого скота (Цаценкин и др., 1957; Максимова, Неронов, 2013). Наибольшее влияние на растительный покров оказывает выпас овец и коз, на долю которых приходится 84.2÷89.4% от общего поголовья региона, – они не только съедают растения «под корень», но и разбивают копытами дернины.

Для растительного покрова Прикаспия характерны несколько вариантов пастбищной дигрессии.

В степной зоне на Сарпинской низменности на светло-каштановых почвах при увеличении

пастбищных нагрузок происходит последовательная смена следующих стадий: полынно-злаковая (*Stipa* spp., *Agropyron* spp., *Festuca valesiaca*, *Artemisia* spp.) → полынно-ковыльная (*Stipa* spp., *Artemisia* spp.) → мятликово-полынная (*Artemisia* spp., *Poa bulbosa*) → однолетниково-мятликовая (*P. bulbosa*, *Anisantha tectorum*, *Ceratocarpus arenarius*; Джапова, 2007). При выпасе на солонцах порядок смены сообществ таков: камфоросмово-чернополынные (*Artemisia pauciflora*, *Camphorosma monspeliaca* L.) → мятликово-чернополынно-однолетнесолянковые (*Climacoptera* spp., *Artemisia pauciflora*, *P. bulbosa*) → однолетнесолянковые (*Petrosimonia* spp., *Climacoptera* spp.; Lazareva et al., 2020).

В пустынной зоне на бурых пустынных почвах легкого гранулометрического состава растительные сообщества сменяются следующим образом: мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *P. bulbosa*) → лерхополынно-мятликовые (*P. bulbosa*, *A. lerchiana*) местами с участием ковылей (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*) → лерхополынно-ковыльно-мятликовые (*P. bulbosa*, *S. sareptana* или *S. lessingiana*, *A. lerchiana*) → эфемерово-тырсыково-мятликовые или эфемерово-ковылково-мятликовые → мятликовые (*P. bulbosa*) → однолетниковые (*Ceratocarpus arenarius*, *Alyssum desertorum*) → открытые пески. Восстановление растительности на таких территориях занимает продолжительное время и проходит перечисленные стадии в обратном порядке (Федорова, 2012).

В 70-80-х гг. прошлого века из-за перевыпаса площадь открытых песков только в Черноземельском районе Калмыкии превышала 100 тыс. га. Снижение поголовья в 90-х гг., проведение фитомелиоративных мероприятий и организация на этих землях ООПТ – заповедника «Черные земли» в Калмыкии в 1990 г. и заказника «Степной» в Астраханской области в 2000 г. – позволили стабилизировать ситуацию с деградацией земель (Kulik et al., 2018; Yuferev et al., 2023).

После относительно стабильного периода (2000-2010-е гг.) увеличение поголовья скота и рост пастбищных нагрузок вновь вызвали интенсификацию дефляционных процессов и привели к образованию новых незакрепленных песчаных массивов. После засухи и катастрофических пыльных бурь 2020 года площадь открытых песков и дефлированных земель на Черных землях опять выросла и на май 2021 года только в Черноземельском районе Калмыкии составляла 122.6 тыс. га, а в Лаганском – 56.9 тыс. га (Шинкаренко, Барталев, 2021). Однако территории ООПТ эти процессы затронули в меньшей степени (Титкова, Золотокрылин, 2022).

Северо-Западный Прикаспий как раньше, так и теперь активно используется в качестве пастбищ. Среднее расстояние между животноводческими фермами составляет 2.8 км, а плотность их размещения – 0.042 шт./км². В степной зоне их плотность несколько выше, чем в пустынной, – 0.046 против 0.039 шт./км². Тест Кларка Эванса показал наличие пространственных закономерностей в размещении животноводческих ферм как в степной зоне (индекс ближайшего соседства 0.70 при $Z = -15.24$, $p < 0.01$), так и в пустынной (индекс ближайшего соседства 0.84 при $Z = -10.00$, $p < 0.01$). Они расположены не хаотично, а образуют группы, более компактные в степной зоне.

Описываемые нами растительные сообщества в степной зоне располагались на расстоянии 1.98 ± 0.99 км от ферм; в пустынной зоне немного дальше – 2.48 ± 1.76 км (рис. 2а). Эти различия достоверны – $F(3, 645) = 15.523$, $P = 0.00000$. Исследования, проведенные М.В. Власенко (2011), показали, что в сообществах в 2 км от фермы через 5 лет после начала выпаса в 1.5 раза уменьшается проективное покрытие, в 3 раза снижается урожайность и происходит смена доминантов. Но и на большем удалении пастбищные нагрузки в зависимости от величины поголовья вызывают изменения растительного покрова (Shinkarenko et al., 2023). В пустынной зоне сообщества с доминированием мятлика встречаются на всех возможных расстояниях от мест концентрации скота, а в степной зоне сообщества с доминированием мятлика и полукустарничков не отмечены нами на удалении более 4 км, что говорит об отсутствии перевыпаса на таком расстоянии от ферм.

Средняя пастбищная нагрузка в регионе составляет 0.99 ± 0.08 усл. гол. овец на 1 га, что в 2 раза превышает допустимые нормы (табл.). В сообществах пустынной и степной зон нагрузки немного различаются – 1.02 ± 0.12 и 0.92 ± 0.10 , но достоверных отличий нет. В степной зоне максимальные нагрузки отмечены в дерновиннозлаковых сообществах – 5.7 усл. гол. овец/га (при средней для этой группы 0.99 ± 0.19 ; рис. 2б), притом что для эфемероиднозлаковых, полукустарничковых и однолетниковых сообществ эта величина не превысила 3.2, 2.2 и 1.2 усл. гол. овец/га. В пустынной зоне для однолетниковых и полынных сообществ максимальная нагрузка достигала 6.47 усл. гол. овец/га (при средних 1.07 ± 0.41 и 1.01 ± 0.13), для эфемероиднозлаковых (мятликовых) – 6.88 усл. гол. овец/га (при средней для группы 1.09 ± 0.20).

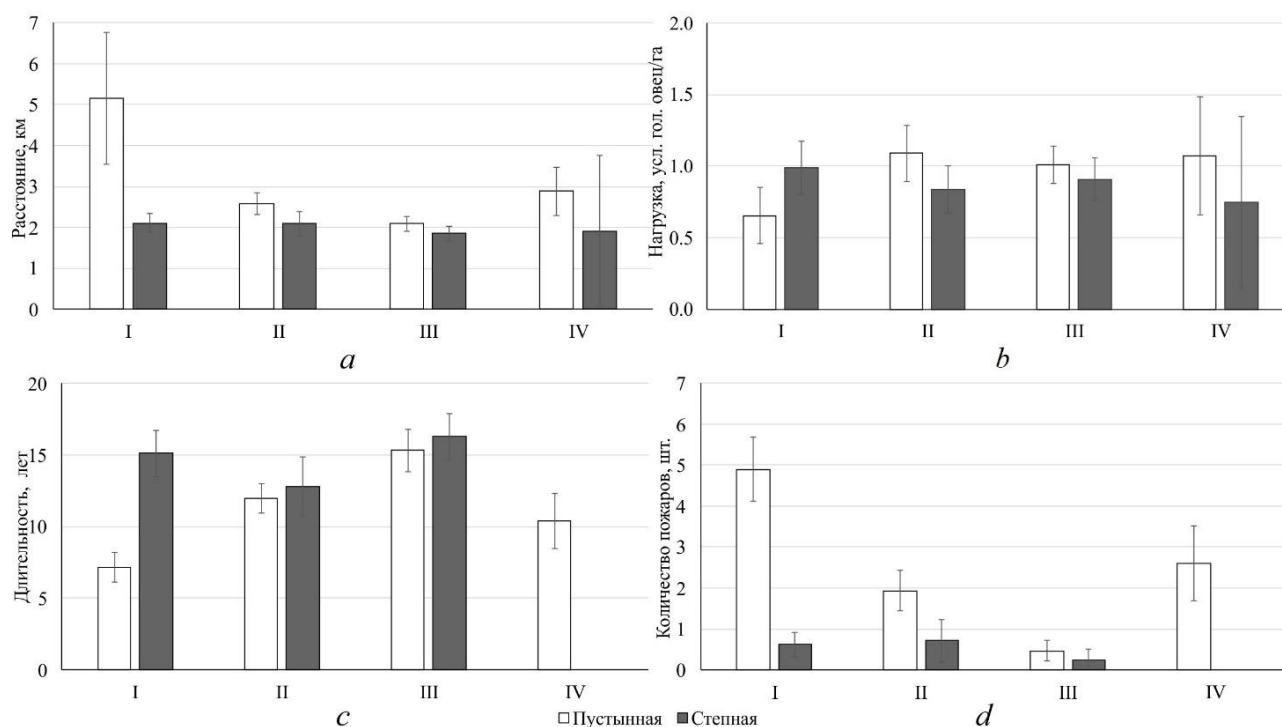


Рис. 2. Средние значения расстояний до ближайшей животноводческой фермы (а), среднееголетние пастбищные нагрузки (б), средние значения длительности пирогенной сукцессии (с) и количества пожаров (д) для сообществ, где доминируют: I – дерновинные злаки, II – эфемероидный злак мятлик *Poa bulbosa*, III – полукустарнички, IV – однолетники; планками показан 95% доверительный интервал.

Существенное влияние на растительные сообщества Северо-Западного Прикаспия оказывают пожары. В регионе преобладают пожары летне-осеннего периода – после окончания вегетации эфемеров, эфемероидов и плотнoderновинных злаков (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *S. capillata*, *Festuca valesiaca*). Летние пожары более деструктивны по сравнению с весенними, т.к. зачастую после них осенняя вегетация угнетена (Опарин, Опарина, 2003).

В период 1993-2022 гг. на территории исследования практически ежегодно возникали пожары разной интенсивности. Среднееголетняя величина выгоревшей площади составляла около 201.5 тыс. га, достигая в отдельные годы более 0.5 млн. га, например, в 1998, 2002, 2006 и 2007 гг. Распределение количества пожаров и длительности послепожарных периодов в Северо-Западном Прикаспии по состоянию на конец 2022 г. показаны на рисунке 3.

И хотя основным фактором возникновения пожаров в этом регионе является человек, на протяжении последних 20 лет пирогенная динамика на территории изменилась. В конце XX – начале XXI вв. из-за экономического кризиса произошло значительное снижение поголовья скота (только в Калмыкии количество мелкого рогатого скота сократилось с 3.15 млн. голов в 1990 г. до 0.63 млн. в 1999 г.), многие фермерские точки были заброшены. Сокращение пастбищных нагрузок, особенно в сообществах с доминированием плотнoderновинных злаков, способствовало увеличению фитомассы, которая летом высыхала (Шинкаренко и др., 2022; Dubinin et al., 2011), и пожары быстро распространялись из-за отсутствия должного противопожарного мониторинга, что вело к увеличению выгоревших площадей. После 2011 года количество пожаров снизилось на всей территории Северо-Западного Прикаспия (рис. 4а), что связано как с увеличением количества фермерских точек и ростом поголовья скота и пастбищных нагрузок, так и с тем, что в последние годы сами фермеры более тщательно следят за территорией своих пастбищ, не допуская возникновения пожаров.

За период исследования выгорело 46% изучаемой территории, в т.ч. около 10% горело ≥ 5 раз. В степной зоне пройдено огнем 37% площади, в пустынной – 50.4% (рис. 4б). При этом в пустынной

зоне количество пожаров существенно выше как на ООПТ (72% площади горело ≥ 5 раз), так и за их пределами (8.7% горело ≥ 5 раз), по сравнению со степной, где ≥ 5 раз горело только 0.6% территории. В среднем за 25 лет в степной зоне ежегодно выгорало 2.54% территории, а в пустынной – 4.93%.

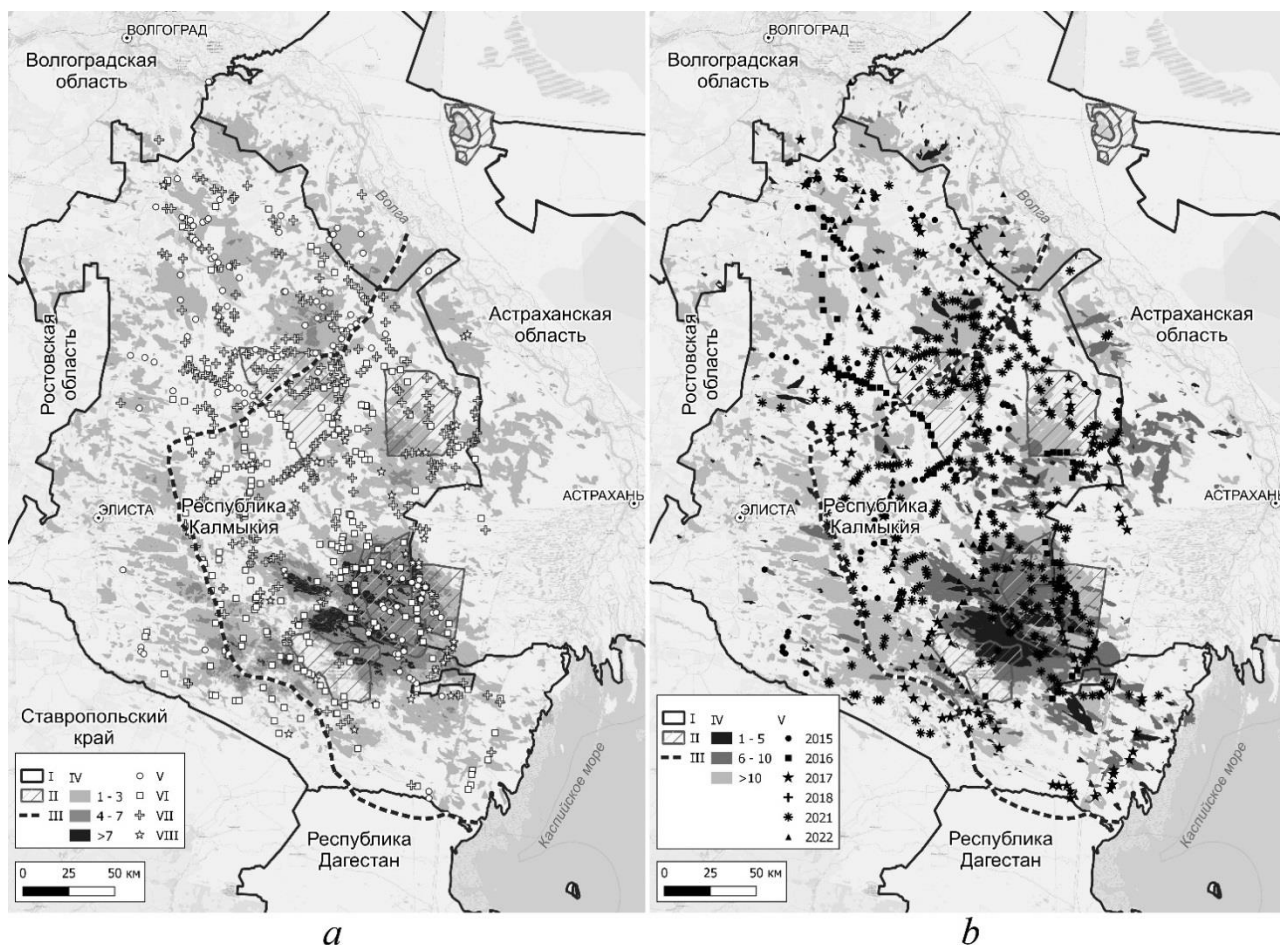


Рис. 3. Количество пожаров (а) и длительность пирогенных сукцессий (б) в Северо-Западном Прикаспии с 1993 по 2022 гг. Условные обозначения: I – административные границы; II – границы ООПТ; III – граница между степной и пустынной зонами. Слева – а): IV – количество пожаров и преобладающие сообщества, V – дерновиннозлаковые, VI – эфемероиднозлаковые, VII – полукустарничковые, VIII – однолетниковые. Справа – б): IV – длительность (лет), V – точки геоботанических описаний по годам.

Доля горевших растительных сообществ в пустынной зоне выше, чем в степной, – 48.5% и 27.4% ($F(1, 736) = 30.529, P = 0.00000$). В пустынной зоне горело 86.0% злаковых сообществ (в основном на территории ООПТ), а в степной – 42.9%. Наиболее низкая горимость отмечена для полукустарничковых сообществ – 26.3% в пустынной и 19.3% в степной зонах.

Среднее количество пожаров также отличалось: в пустынной зоне – 1.77 ± 0.22 (рис. 2d), в степной – 0.39 ± 0.10 ($F(1, 736) = 68.247, P = 0.0000$). Разные сообщества горели с разной частотой ($F(3, 730) = 36.162, P = 0.0000$): в пустынной зоне сообщества злаков горели в среднем 4.9 ± 0.7 раза, однолетников – 2.6 ± 0.7 , мятлика – 1.9 ± 0.4 . Для полукустарничковых сообществ характерны более редкие палы – 0.5 ± 0.5 . В степной зоне подобных значимых отличий не отмечено, а среднее количество пожаров в злаковых сообществах составило всего 0.6 ± 0.2 (рис. 2d). Это может быть связано с тем, что при более высокой плотности и групповой пространственной организации животноводческих ферм лучше организована профилактика пожаров, о чем свидетельствуют отмеченные по высокодетальным спутниковым изображениям минерализованные противопожарные

полосы вокруг животноводческих ферм в степной зоне (Васильченко, Выприцкий, 2020). За пределами ООПТ средняя плотность дорог в степной и пустынной зонах практически не отличаются – 0.61 и 0.57 км/км² соответственно, поэтому этот фактор вряд ли может быть определяющим в отличиях горимости.

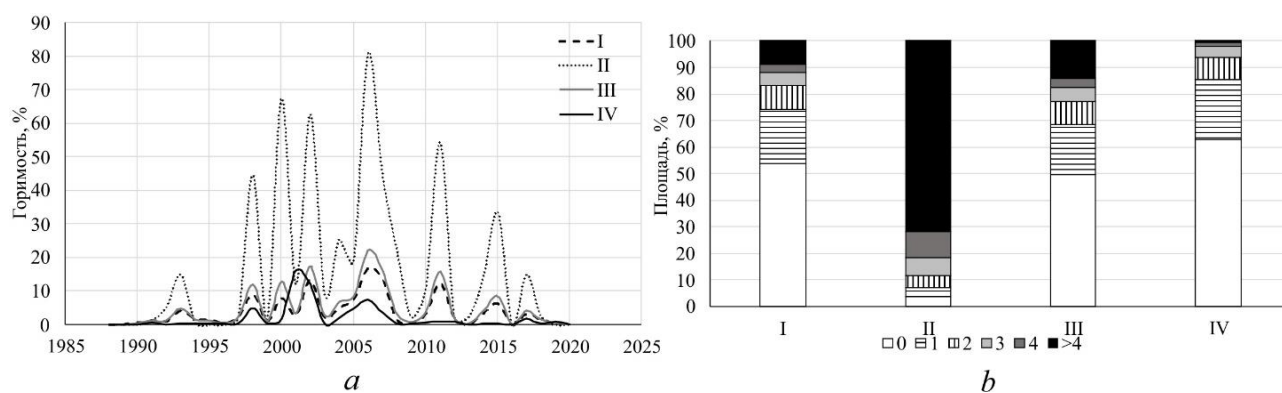


Рис. 4. Динамика горимости территории (а) и площади территорий с разным количеством пожаров (б). Условные обозначения: I – пустынная зона без ООПТ, II – только ООПТ пустынной зоны, III – вся пустынная зона, IV – степная зона; 0, 1, 2, 3, 4, >4 – Количество пожаров в 1985-2022 гг.

Длительность пирогенных сукцессий для разных сообществ различается в степной и пустынной зонах – ($F(2, 301) = 9.9110, P = 0.00007$). За 25 лет наблюдений нами отмечено, что в пустынной зоне горящие чаще злаковые сообщества характеризуются наиболее короткими периодами пирогенных сукцессий (в среднем 7.1 ± 1.0 лет; рис. 2с), а сообщества полукустарничков горели достаточно давно (в среднем 15.1 ± 1.6 лет назад). В степной зоне послепожарные периоды восстановления этих сообществ практически одинаковы и составляют 15.1 ± 1.6 и 16.3 ± 1.6 лет соответственно. Ранее считалось (Тереножкин, 1936), что восстановление исходной растительности после пожара занимает около 15 лет, однако и на 15 год на месте пустынных полынных сообществ мы встречали злаковые. Это говорит о том, что этот процесс более длительный и может занимать несколько десятилетий.

В настоящее время на охраняемых территориях в пустынной зоне Северо-Западного Прикаспия сложилась особенная ситуация. На зарастающих песках сформировались дерновиннозлаковые сообщества, которые из-за фенологических особенностей доминантов (окончание вегетации и высыхание в летний период) и при отсутствии выпаса (накопление большего количества фитомассы в сообществе) хорошо горят. В 2006-2007 гг. в заповеднике «Черные земли» на всех участках, как пройденных огнем, так и не горевших в эти годы, отмечалось абсолютное господство (до 90% фитомассы) ковылей (Ларионов и др., 2008), в то время как в 50-е годы прошлого века на долю злаков приходилось всего до 25% растительной массы, в т.ч. только 10% на ковыли (Трофимов, 1995). Надо отметить, что к 2006 году территория Черных земель уже была неоднократно пройдена крупными пожарами, например, в 1998, 2000, 2002 и 2005 гг. (Шинкаренко и др., 2022). В годы пожаров заповедник «Черные земли» и заказник «Степной» выгорали в среднем на 26%. К настоящему времени в заповеднике не осталось участков, которые не были бы пройдены огнем с 1993 г., причем некоторые из них горели за это время до 8 раз (Шинкаренко и др., 2021). По полученным нами данным, на территории заповедника «Черные земли» и его охранной зоны, а также на части территории заказника «Степной» преобладают мятликовые, злаковые и однолетниковые сообщества. При обследовании заповедных территорий не выявлено полынных сообществ (рис. 3а), т.к. полукустарничковым полыням с одревесневающими стеблями требуется больше времени для восстановления после пожаров, чем травянистым злакам, у которых к тому же почки возобновления расположены ниже (Тереножкин, 1936; Родин, 1981). В настоящее время злаковая стадия восстановления растительности на ООПТ поддерживается пожарами (Dara et al., 2020; Klink et al., 2024). На остальной территории пустынной зоны преобладают сообщества из полукустарничковых полыней, однолетников и мятлика (Safronova et al., 2023).

На ход пирогенной сукцессии неизбежно влияет допожарное состояние растительности (Dusaeva, Kalmykova, 2023). Длительные мониторинговые исследования достаточно редки, из-за чего установление причинно-следственных связей воздействия пожаров и постпирогенных смен видового состава растительности затруднено.

Пространственное распределение растительных сообществ отличается на пройденных огнем и негоревших территориях (рис. 5). Горевшие сообщества в степной зоне расположены немного дальше от стоянок животноводов – 2.2 ± 0.27 км, чем негоревшие, – 1.9 ± 0.14 км, а пастбищная нагрузка немного ниже – 0.8 ± 0.10 усл. гол./га (для негоревших участков – 0.9 ± 0.13 усл. гол./га). В пустынной зоне выгоревшие участки расположены значительно дальше – на расстоянии 3.3 ± 0.37 км от животноводческой фермы, а негоревшие – в 2.0 ± 0.14 км ($F(1, 414) = 49.586, p = 0.00000$).

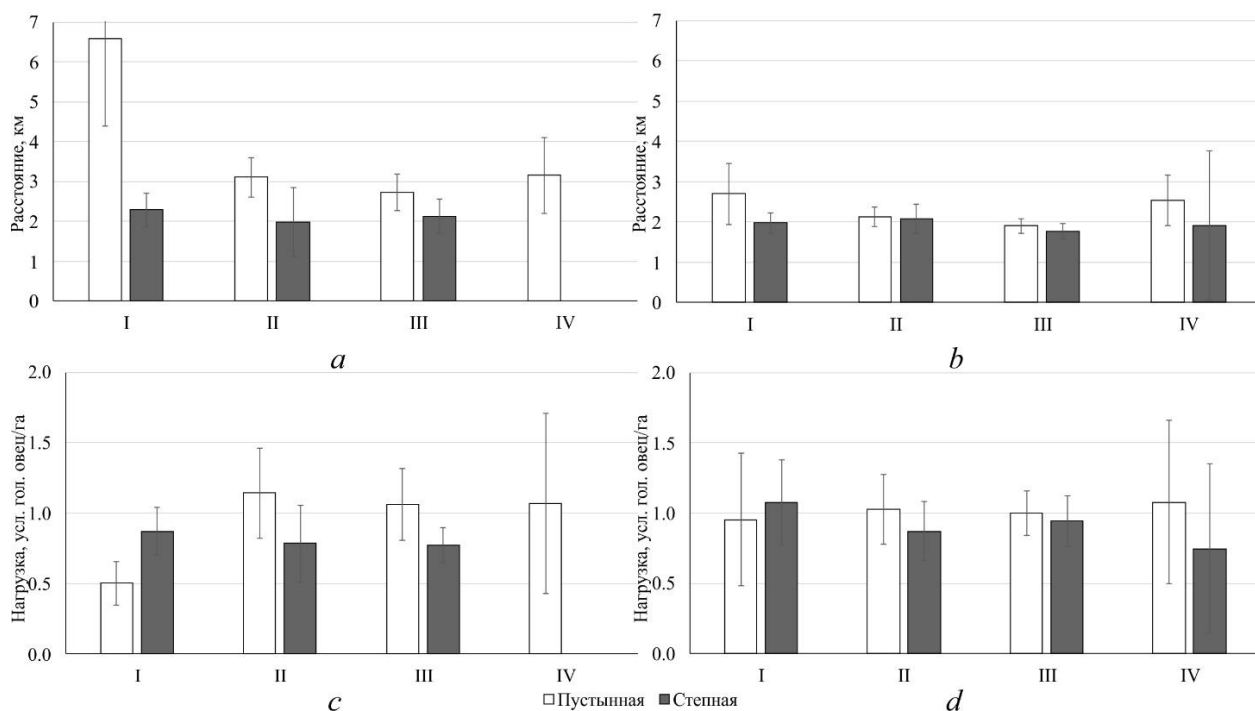


Рис. 5. Средние значения расстояний до ближайшей животноводческой фермы и среднемноголетние пастбищные нагрузки для горевших (а, с) и негоревших участков (b, d) с сообществами, где доминируют: I – дерновинные злаки, II – эфемероидные злаки, III – полукустарнички, IV – однолетники; планками показан 95% доверительный интервал.

Пустынные сообщества на песках в Северо-Западном Прикаспии очень уязвимы. Перевыпас зачастую приводит к полному исчезновению растительности и расширению площадей незакрепленных песков. Восстановление растительности на таких территориях занимает продолжительное время. В настоящее время на юго-востоке Черных Земель на охраняемых территориях сформировались сообщества, характерные для начальных стадий демулационной сукцессии, – эфемерово-злаковые и злаковые сообщества, а частые пожары не дают формироваться характерным для этой зоны полынным сообществам.

Выводы

В результате анализа материалов наземных геоботанических исследований, характеристик пастбищных нагрузок и пожарного режима, полученных на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса с помощью методов геоинформатики, выявлены закономерности отклика растительности на пирогенное воздействие и выпас домашнего скота в Северо-Западном Прикаспии.

Растительный покров и видовой состав сообществ в Северо-Западном Прикаспии определяются

совокупным воздействием пастбищных нагрузок и пожаров. Восстановление естественной растительности растягивается на десятилетия и зависит от ряда природных (эдафических и гидротермических условий) и антропогенных (выпаса, распашки и другого использования территории) факторов.

В степной зоне преобладают различные варианты полукустарничково-злаковых (*Stipa* spp., *Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*, *Artemisia* spp., *Tanacetum achilleifolium*) и злаково-полукустарничковых сообществ, которые первоначально сформировались на залежах. Залежи часто используются как пастбища. В пустынной зоне растительный покров мятликово-полынный (*Artemisia* spp., *P. bulbosa*) и полынно-мятликосый. Конечные стадии пастбищной дигрессии на этой территории характеризуются формированием однолетниковых и мятликовых сообществ. В нашем исследовании доля таких сообществ составила 19.6% в степной зоне и 51.8% в пустынной, причем нагрузка на пастбища в последние годы практически не отличается – 0.92 ± 0.10 усл. гол. овец/га в степи и 1.02 ± 0.12 усл. гол. овец/га в пустыне.

Наибольшее влияние на растительный покров оказывает выпас овец и коз, на долю которых приходится $84.2 \div 89.4\%$ от общего поголовья региона, т.к. они не только практически полностью съедают растения, но и разбивают копытами дернины. Растущее в последние годы поголовье мелкого рогатого скота в сочетании с засухами и катастрофическими пыльными бурями приводят к росту площади открытых песков и дефлированных земель. Так, после засухи 2020 г. площадь песчаных массивов увеличилась в Калмыкии почти в 2 раза (с 94.7 тыс. га в мае 2020 г. до 184.3 тыс. га в мае 2021 г.; Шинкаренко, Барталев, 2021).

За последние 30 лет территория исследования почти ежегодно подвергалась пожарам разной интенсивности, которые в этом регионе возникают в основном из-за деятельности человека. Так, в степной зоне пройдено огнем 37% площади, а в пустынной – 50.4%. Пик горимости пришелся на 1998-2011 гг., когда из-за экономического кризиса снизилось поголовье скота и сократилось количество фермерских точек. В последние годы частота пожаров снизилась благодаря фермерам, которые более тщательно следят за территорией своих пастбищ, не допуская возникновения пожаров.

В пустынной зоне на территории ООПТ на песчаных почвах и песках сформировались злаково-однолетниковые и однолетниково-злаковые сообщества, характерные для начальных стадий демулационной сукцессии. На протяжении длительного времени частые пожары поддерживают существование этих сообществ, что затягивает процесс восстановления коренных полынных сообществ.

В настоящее время растительный покров пастбищ Северо-Западного Прикаспия находится в удовлетворительном состоянии. В степной и пустынной зонах доминируют сообщества, представляющие собой различные антропогенные варианты. Однако, рациональное ведение хозяйства (разработка системы мониторинга процессов деградации сельскохозяйственных земель; снижение реальных пастбищных нагрузок до уровня, установленного нормами; фитомелиорация и недопущение возникновения пожаров) приведет к повышению богатства, продуктивности и долговечности произрастающих сообществ.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность С.А. Полуэктову, Д.Г. Полякову, А.В. Попову и И.А. Горяеву за помощь в проведении полевых работ.

Финансирование. Обработка данных ДЗЗ и геоинформационный анализ результатов выполнены в рамках темы Института космических исследований РАН «Мониторинг» (№ госрегистрации 122042500031-8) с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019). Работа выполнена в рамках темы № FFER-2024-0022 «Фундаментальные основы охраны живой природы и рационального природопользования» госзадания Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, № FMWZ-2025-0002 «Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод» госзадания Института водных проблем РАН, № 122042700002-6 «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» госзадания Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН, а также по плановой теме № 121032500047-1 лаборатории Общей геоботаники Ботанического

института им. В.Л. Комарова РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматические ресурсы КАССР. 1979. Ленинград: Гидрометеиздат. 187 с.
- База данных показателей муниципальных образований. 2023 [Электронный ресурс <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (дата обращения 05.03.2025)].
- Бакинова Т.И., Воробьева Н.П., Зеленская Е.А. 1999. Почвы Республики Калмыкия. Элиста: СКНЦ ВШ. 116 с.
- Васильченко А.А., Вытрицкий А.А. 2020. Методика идентификации антропогенных изменений аридных ландшафтов // Грани познания. № 5 70). С. 75-81.
- Власенко М.В. 2011. Изменения растительного покрова под влиянием выпаса сельскохозяйственных животных на пастбищных угодьях Астраханской области // Фундаментальные исследования. № 12. С. 757-759.
- Габунцица Э.Б. 2010. Особенности развития сельского хозяйства Республики Калмыкия в переходный период // Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН. № 2. С. 90-95.
- Джапова Р.Р. 2007. Влияние выпаса на растительность полупустыни в Калмыкии // Бюллетень МОИП. Отделение биологическое. Т. 112. Вып. 1. С. 78-82.
- Ларионов К.О., Джапова Р.Р., Розенфельд С.Л., Абатуров Б.Д. 2008. Питание сайгаков (*Saiga tatarica*) на пастбищах Черных земель в Калмыкии в условиях восстановительной смены растительности и остепнения // Зоологический журнал. Т. 87. № 10. С. 1259-1269.
- Луян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. 2019. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16. № 3. С. 151-170.
- Максимова В.Ф., Неронов В.В. 2013. Антропогенные факторы и динамика растительности Черных земель Калмыкии во второй половине XX в. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 2. С. 78-83.
- Опарин М.Л., Опарина О.С. 2003. Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 158-171.
- Полевая геоботаника. 1972 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. Т. 4. М.-Л.: Наука. 336 с.
- Поголовье скота и птицы в 2019-2023 гг. 2024a [Электронный ресурс https://30.rosstat.gov.ru/main_indicators (дата обращения 20.03.2025)].
- Поголовье скота и птицы в хозяйствах всех категорий Республики Калмыкия 2019-2023 гг. 2024b [Электронный ресурс <https://30.rosstat.gov.ru/folder/40833> (дата обращения 20.03.2025)].
- Постановление Правительства Республики Калмыкия № 158 от 27.04.2006 «О нормах нагрузки скота на пастбища на территории Республики Калмыкия». В редакции № 116 от 31.03.2014. [Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/460200682> (дата обращения 10.03.2025)].
- Родин Л.Е. 1981. Пирогенный фактор и растительность аридной зоны // Ботанический журнал. Т. 66. № 12. С. 1673-1684.
- Сафронова И.Н. 1980. Пустыни // Растительность Европейской части СССР. Л.: Наука. 285-295.
- Сафронова И.Н., Каримова Т.Ю., Степанова Н.Ю. 2023. Современный растительный покров Северо-Западного Прикаспия и его картографическое отображение // География и природные ресурсы. № 5S. С. 45-51.
- Сафронова И.Н., Юрковская Т.К. 2015. Зональные закономерности растительного покрова равнин Европейской России и их отображение на карте // Ботанический журнал. Т. 100. № 11. С. 1121-1141.
- Тереножкин И.И. 1936. О влиянии пожаров на растительность полупустыни // Природа. № 9. С. 45-59.
- Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н. 2022. Мониторинг подверженных опустыниванию земель Республики Калмыкия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 19. № 2. С. 130-141.
- Трофимов И.А. 1995. Природные кормовые угодья Черных земель // Биота и природная среда Калмыкии. М.-Элиста: Коркис. С. 53-83
- Федорова Н.Л. 2012. Структура и динамика естественных экосистем и их компонентов в государственном природном биосферном заповеднике «Черные Земли». Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов. 20 с.
- Флора Нижнего Поволжья. 2006. Т. 1. М.: Товарищество научных изданий КМК. 435 с.
- Флора Нижнего Поволжья. 2018. Т. 2. Ч. 1-2. М.: Товарищество научных изданий КМК. 1016 с.
- Цаценкин И.А., Максимова В.Ф., Щербиновская Т.Н. 1957. Растительность и кормовые ресурсы западной части Прикаспийской низменности и Ергеней // Труды Прикаспийской экспедиции / Ред. А.Г. Воронов. М.: Изд-во МГУ. 310 с.
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 495 с.

- Шинкаренко С.С., Барталев С.А. 2021. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 18. № 4. С. 291-297.
- Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н. 2022. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. Т. 86. № 1. С. 122-133.
- Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н. 2021. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 6. № 3. С. 23-44.
- Dara A., Baumann M., Freitag M., Holzel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T. 2020. Annual Landsat Time Series Reveal Post-Soviet Changes in Grazing Pressure // Remote Sensing of Environment. Vol. 239. P. 111667.
- Dubin M., Lushchikina A., Radeloff V.C. 2011. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // Ecosystems. Vol. 14. P. 547-562.
- Dubin M., Potapov P., Lushchikina A., Radeloff V.C. 2010. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing // Remote Sensing of Environment. Vol. 114. P. 1638-1648.
- Dusaeva G.Kh., Kalmykova O.G. 2023. The Long-Term Dynamics of Stocks of the Live Aboveground Phytomass in a Steppe Phytocoenosis after a Fire (Based on the Example of the Burtinskaya Steppe Site of the Orenburgsky Reserve) // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 2. P. 180-188. [Дусаева Г.Х., Калмыкова О.Г. 2023. Многолетняя динамика запасов живой надземной фитомассы степных фитоценозов после пожара (на примере участка «Буртинская степь» заповедника «Оренбургский») // Аридные экосистемы. Т. 29. № 2 (95). С. 67-76.]
- Klink G.V., Lednev S.A., Semenov I.N., Konyushkova M.V., Karpachevskiy A.M., Chemidov M.M., Ulanova S.S., Fedorova N.L., Sharapova A.V., Bogun S.A., Koroleva T.V. 2024. Influence of Fires on Desert Plant Communities at the Chernye Zemli (SW Russia) // Fire. Vol. 7. No. 3. P. 96.
- Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S. 2018. On the 30th Anniversary of the “General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures” // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 5-20. [Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. 2018. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 3-10.]
- Lazareva V.G., Bananova V.A., van Zung N. 2020. Dynamics of Modern Vegetation for Pasture Use in the Northwestern Pre-Caspian Region // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 276-283. [Лазарева В.Г., Бананова В.А., Нгуен Ван Зунг. 2020. Динамика современной растительности при пастбищном использовании в Северо-Западном Прикаспии // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 (85). С. 26-34.]
- Loupiat E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. 2022. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. Vol. 14. No. 1. P. 77.
- Map of the Natural Vegetation of Europe. 2000a. Scale 1:2 500 000 / comp. U. Bohn, G. Gollub, C. Hettwer. Bonn-Bad-Godesberg: Federal Agency for Nature Conservation. 153 p.
- Map of the Natural Vegetation of Europe. 2000b. Scale 1:2 500 000 / comp. U. Bohn, G. Gollub, C. Hettwer. Bonn-Bad-Godesberg: Federal Agency for Nature Conservation. 9 p.
- OpenStreetMap. 2025 [Электронный ресурс <https://www.openstreetmap.org/#map=3/69.62/-74.90> (дата обращения 05.03.2025)].
- Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. 2022. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia // Doklady Earth Sciences. Vol. 505. No. 2. P. 591-597.
- Safronova I.N., Stepanova N.Y., Karimova T.Y., Kalmykova O.G., Ulanova S.S., Fedorova N.L., Goryaev I.A., Poluektov S.A., Polyakov D.G. 2023. The Map of the Current Vegetation on the Territory of Distribution of the Population of *Saiga tatarica tatarica* L. in the North-Western Caspian Region // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 3. P. 276-284. [Сафронова И.Н., Степанова Н.Ю., Каримова Т.Ю., Калмыкова О.Г., Уланова С.С., Федорова Н.Л., Горяев И.А., Полуэктов С.А., Поляков Д.Г. 2023. Карта современной растительности на территорию распространения популяции сайгака (*Saiga tatarica tatarica* L., 1766) в Северо-западном Прикаспии // Аридные экосистемы. Т. 29. № 3 (96). С. 46-56.]
- Shinkarenko S.S., Vypritskiy A.A., Vasilchenko A.A., Berdengalieva A.N. 2023. Analysis of Anthropogenic Influence on Desertification Processes in the Northern Caspian Region According to Satellite Data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. Vol. 59. No. 9. P. 1115-1125.
- Yuferev V.G., Silova V.A., Tkachenko N.A. 2023. Remote Monitoring of Desertification in Kalmykia // Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 1. P. 39-44. [Юферев В.Г., Силова В.А., Ткаченко Н.А. 2023. Дистанционный мониторинг опустынивания территории Калмыкии // Аридные экосистемы. Т. 29. № 1 (94). С. 46-52.]