

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК НА ПРОЦЕССЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ В СЕВЕРНОМ ПРИКАСПИИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

© 2023 г. С. С. Шинкаренко^{a, b, *}, А. А. Выприцкий^c, А. А. Васильченко^c, А. Н. Берденгалиева^c

^aВолгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

^bИнститут космических исследований РАН, Москва, Россия

^cФедеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

*E-mail: vnialmi@bk.ru

Поступила в редакцию 17.08.2022 г.

Пастбищные нагрузки – один из ключевых антропогенных факторов динамики состояния растительного и почвенного покрова аридных ландшафтов. Целью данного исследования является установление пространственного распределения пастбищных нагрузок в регионе Черных земель с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса, геоинформационных технологий и статистических сведений. В работе выполнено картирование животноводческих ферм, кошар и других мест концентрации домашнего скота на 1984–1986 и 2020 гг. Оба периода характеризуются всплеском процессов опустынивания и резким увеличением площадей открытых песков и дефлированных земель. Установлены площади пастбищ с разными нагрузками при выпасе скота, также определены закономерности пространственного распределения подвижных песков в зависимости от почвообразующих пород и удаленности от животноводческих ферм. В последние годы по сравнению с 1984–1986 гг. увеличилась плотность ферм на песчаных почвах, что привело к перевыпасу, уничтожению растительности и активизации эоловых процессов. Примерно на 80% пастбищ превышены допустимые нормы выпаса, а 90% пастбищ расположены в зоне 3 км вокруг мест концентрации скота. Полученные результаты могут использоваться для регулирования пастбищных нагрузок в регионе для предотвращения опустынивания ландшафтов.

Ключевые слова: опустынивание, дистанционное зондирование, Landsat, Калмыкия, Астраханская область, Черные земли

DOI: 10.31857/S0205961423030065, EDN: TYOOGO

ВВЕДЕНИЕ

В 1970–1980-х гг. из-за распашки и чрезмерного выпаса большая часть песчаных земель Калмыкии в районе Черных земель лишилась растительного покрова. Благодаря фитомелиоративным мероприятиям, снижению пастбищных нагрузок и благоприятной климатической флуктуации удалось предотвратить экологическое бедствие в регионе. Однако после периода устойчивого состояния в 2002–2010 гг. вновь усилились процессы опустынивания, и площадь открытых песков на Черных землях к 2019 г. приблизилась к значениям начала-середины 1990-х, а большая часть очагов опустынивания возникла в Астраханской области (Золотокрылин и др., 2020; Золотокрылин, Титкова, 2011; Шинкаренко, 2019; Radochinskaya et al., 2019). Засухи в 2020 и весной 2021 гг. привели к деградации растительности на огромных территориях не только на Черных землях, но и в Ногай-

ской степи и Заволжье. Чрезмерные пастбищные нагрузки при этом привели к интенсификации процессов опустынивания и масштабным пыльным бурям, которые многократно увеличили площади открытых песков и дефлированных земель в регионе (Шинкаренко, Барталев, 2020; Шинкаренко и др., 2020). Результатом этого стала бескормица, из-за которой поголовье только овец и коз в регионе сократилось более чем на 0.5 млн голов (Шинкаренко, Барталев, 2021).

В период снижения поголовья скота и восстановления пастбищ на рубеже XX и XXI вв. в регионе интенсифицировались ландшафтные пожары (Шинкаренко и др., 2022; Dubinin et al., 2010), особенно сильно на особо охраняемых природных территориях и в их окрестностях (Шинкаренко и др., 2021a, 2021b). Поэтому для противопожарной профилактики запрет выпаса скота нежелателен (Dubinin et al., 2011). Пастбищные

нагрузки распределены неравномерно по территории исследований (Kulik et al., 2018), из-за этого требуется уточнение пространственных закономерностей антропогенной нагрузки на ландшафты. Территория имеет огромную природоохранную ценность как местообитание популяции *Saiga tatarica* Северо-Западного Прикаспия. На рубеже 80–90-х гг. прошлого века здесь созданы федеральный заповедник “Черные земли”, три федеральных и один региональный заказник (Karimova et al., 2021). Отчуждение земель под ООПТ уменьшило площадь доступных пастбищ, поэтому поголовье скота было перераспределено.

Целью исследований является определение пространственных особенностей распределения пастбищных нагрузок в Северо-Западном Прикаспии в период активизации процессов опустынивания в 80-х гг. XX в. и в 2020–2021 гг.

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория исследований – регион Черных земель, включает четыре района Республики Калмыкия (Лаганский, Черноземельский, Юстинский, Яшкульский) и три – Астраханской области (Енотаевский, Лиманский, Наримановский). На песчаных почвах преобладают фитоценозы с доминированием *Agropyron* spp., *Festuca* spp., *Stipa* spp., на суглинках – *Artemisia lercheana*, *Poa bulbosa*, *Tanacetum achilleifolium*. Велики площади солонцов и солончаков с галофитной растительностью (*Artemisia pauciflora*, *Camphorosma monspeliaca*, *Kochia prostrata* и др.) (Горяев, 2019). При усилении пастбищных нагрузок растет роль полыни, эфемеров (*Eremopyrum triticeum*, *Anisanta tectorum*, *Ceratocarpus arenarius*) и эфемероидов (*Poa bulbosa*) (Бананова, Лазарева, 2014; Lazareva et al., 2020; Vlasenko et al., 2019). На значительной части песчаных земель было произведено закрепление песков кустарником *Calligonum aphyllum* (Рыбашлыкова и др., 2019).

Животноводческие фермы (“чабанские точки”, места концентрации скота) и пашни выделялись на основе экспертной интерпретации спутниковых изображений видимого диапазона прибора Landsat 5 TM на 1984–1986 гг. и Landsat 8 OLI на 2020 г. пространственного разрешения 30 м. Уточнение границ сельскохозяйственных полей и местоположений ферм производилось с использованием программы Google Earth. К залежам на 2020 г. были отнесены как старовозрастные залежи, необрабатываемые в 80-х гг. прошлого века, так и заброшенные после этого периода земли. Из анализа пастбищных земель исключались только реально используемые пахотные зем-

ли, как богарные, так и орошаемые. Площади открытых песков и дефлированных территорий определены по методике, описанной в (Шинкаренко, 2019) и получены на май 1986 (Шинкаренко, 2019) и 2020 гг. (Шинкаренко, Барталев, 2020, 2021).

Животноводческие фермы обладают достаточно четкими дешифровочными признаками: выделяются цветом и формой. На спутниковых снимках сверхвысокого разрешения можно выделить загоны для скота, жилые здания, поилки. Фермы и ближайшие окрестности отличаются более светлым тоном из-за уничтоженного скотом растительного покрова (Васильченко, Выприцкий, 2021). При этом подобные изменения прослеживаются на расстоянии до нескольких километров от фермы (Кулик и др., 2016; Шинкаренко, 2015; Dara et al., 2020). Также животноводческие фермы являются “узлами” сходящихся грунтовых дорог, поэтому при отсутствии других признаков скопление дорог косвенно свидетельствует о наличии фермы. В непосредственной близости от ферм и поилок, как правило, могут находиться участки, полностью лишенные растительного покрова: открытые пески и котловины выдувания (Шинкаренко, 2019). Плотность животноводческих ферм может быть одним из показателей антропогенной нагрузки, которая ведет к опустыниванию, при этом в настоящее время такой показатель не используется (Trofimov et al., 2015; Zolotokrylin et al., 2016, 2018).

Как показывают проведенные ранее исследования (Кулик и др., 2016; Шинкаренко, 2015; Dara et al., 2020) зона влияния выпаса скота распространяется на расстояние до 3 км от животноводческих ферм. Поэтому площадь пастбищ определялась как площадь земель, которые попадают в зону радиуса 3 км вокруг животноводческих ферм. Также были определены площади пастбищ в меньшем радиусе с интервалом 0.5 км. На более близкие к загонам для животных оказывается большее воздействие, поэтому важно представлять площади пастбищ на разном удалении от ферм. Для этого строились буферные зоны радиусом от 0.5 до 3 км, после чего они объединялись в один объект, а также определялось пересечение буферных зон от смежных ферм. После с получившимися геоинформационными слоями выполнялись оверлейные операции в геоинформационной программе: пересечение границами муниципальных образований, почвенных контуров. Определялись площади открытых песков и дефлированных территорий, попадающие в границы разной удаленности от животноводческих ферм. При сравнении пространственных измене-

ний в размещении ферм учитывались только перемещения более чем на 1 км. Также были определены площади потенциально возможных к использованию пастбищ с помощью инструмента геоинформационной обработки “полигоны Вороного”. Этот инструмент позволяет построить полигоны вокруг точечных объектов, объединив площади, которые расположены к данной точке ближе, чем к любой другой. Таким образом были выделены наиболее близкие к каждой ферме участки. Из площади пастбищ кроме пашни исключались площади соровых понижений, солончаков и водоемов, которые были определены на основе визуального дешифрирования спутниковых данных Sentinel-2 разрешения 10 м, а также границы населенных пунктов. Западный ильменно-бугровой район в данной работе не рассматривался, поскольку отличается ландшафтными условиями. Поэтому распределение пастбищных нагрузок там определяется не столько размещением ферм, сколько пересеченностью местности многочисленными вытянутыми в субширотном направлении водоемами – ильменями.

Кластеризация размещения животноводческих ферм оценивалась на основе индекса ближайших соседей (тест Кларка-Эванса). Индекс ближайшего соседства определяется как отношение рассчитанного среднего расстояния (наблюдаемого) и статистически ожидаемого до ближайших объектов, если бы это количество точек было распределено случайно на той же площади. Если индекс ближайшего соседства меньше единицы, то распределение групповое (объекты кластеризуются); если больше единицы, то распределение равномерное; если же индекс ближайшего соседства равен единице или незначим, то распределение случайное. Чем больше абсолютное значение Z , тем ниже вероятность, что пространственное распределение отражает теоретическую случайную пространственную закономерность. Значения Z , превышающие по модулю 2.58 – соответствуют доверительной вероятности 99% (Mitchell, 2005). Использование этого метода применительно к анализу пространственного распределения животноводческих ферм позволяет определить, насколько равномерно они распределены по территории.

Спутниковые данные получены с помощью сервиса “Vega-Science” (Lourian et al., 2022), функционирующего в рамках ЦКП “ИКИ-Мониторинг” (Лупян и др., 2019). Статистические данные о площадях пастбищ приводятся согласно (Национальный атлас..., 2011) на 2006 г., о поголовье скота в разрезе регионов по данным (Эдельгериев, 2019, 2021), а для муниципальных районов

по Базе данных показателей муниципальных образований (<https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm>). Достоверные данные в разрезе районов по поголовью скота доступны только с 2007 г. (это связано как с наличием данных в открытом доступе, так и изменением площадей пограничных между Астраханской областью и Калмыкией районов), поэтому пастбищные нагрузки для более раннего периода определены не были. Пастбищные нагрузки определялись как отношение среднего поголовья в условных головах овец на одну ферму в пределах района к площади полигона Вороного вокруг фермы. В реальности контуры пастбищ имеют более сложную форму и могут иметь площадь как большую, так и меньшую. Это же касается и поголовья скота, особенно учитывая большую долю неофициального поголовья (Чешев и др., 2018). Но поскольку не все участки поставлены на кадастровый учет, а их границы не всегда соблюдаются при выпасе, то более точные способы определения актуальных площадей затруднены. Также в границах полигонов Вороного рассчитывались площади открытых песков согласно данным (Шинкаренко, 2019; Шинкаренко, Барталев, 2021) и сопоставлялись с величинами пастбищных нагрузок для полигонов. Нормы пастбищных нагрузок и коэффициенты перевода поголовья в условные головы овец приведены согласно Постановлению Правительства Республики Калмыкия № 158 от 27.04.2006 г., для территории Астраханской области нет точных нормативов допустимых пастбищных нагрузок, поэтому использовались нормативы соседних районов Калмыкии. Почвенные контуры согласно (Почвенная карта, 1988) были загружены в формате ESRI shapefile из Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (<http://egrpr.soil.msu.ru/download.php>). Названия видов сосудистых растений приводятся по работе (Cherepanov, 2007). Геоинформационная обработка и дешифрирование спутниковых данных выполнялись в программе QGIS, в качестве базовой карты использованы слои проекта Open Street Map, границы муниципальных образований, населенных пунктов и особо охраняемых природных территорий также получены с помощью этого сервиса. Статистический анализ выполнен в Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам экспертного дешифрирования в 1984 году площадь используемой пашни составила 151 тыс. га, а площадь залежных земель 72.5 тыс. га. Наибольшие площади обрабатываемых земель отмечены в Енотаевском и Юстин-

Таблица 1. Площади пастбищ и количество животноводческих ферм в исследованных районах

Район	Площадь пастбищ, тыс. га					Количество ферм, шт.		
	в радиусе 3 км		полигоны Вороного		статистика (2006 г.)	1984	2020	1984 и 2020
	1984	2020	1984	2020				
Енотаевский	338.5	401.1	399.1	438.2	418.8	235	290	186
Лаганский	240.5	194.8	368.9	360.3	248.2	126	88	68
Лиманский	195.6	227.8	317.6	239.2	44.5	126	159	109
Наримановский	341.8	387.3	409.9	418.1	336.2	220	297	190
Черноземельский	633.6	448.8	953.0	808.6	914.7	402	218	184
Юстинский	575.1	542.2	716.1	586.6	732.2	333	302	256
Яшкульский	712.4	659.8	957.6	802.7	991.8	419	360	282
Всего	3037.5	2861.7	4122.2	3653.7	3686.4	1861	1714	1275

ском районах (54.9 и 43.8 тыс. га соответственно). По состоянию на 2020 год 21.6 тыс. га продолжают обрабатываться. Наибольшие площади сохраненных обрабатываемых земель в Енотаевском районе (18.9 тыс. га, 34.4% от первоначальных площадей). Постоянно обрабатываемые земли приурочены к прибрежным участкам правого берега Волги. Сохранили статус залежи 60.6 тыс. га земель, что составляет 83% величин 1980-х гг. Общая площадь заброшенных после 1980-х гг. земель составляет 137 тыс. га. По муниципальным районам этот показатель варьируется от 80 до 96% изначальной обрабатываемой пашни. Наиболее высокие показатели (95–96%) наблюдаются в Лиманском и Лаганском районах Астраханской области. Районами с максимальными площадями вновь созданных полей являются Лиманский (30.4 тыс. га), Юстинский (11 тыс. га) и Енотаевский (10.7 тыс. га) районы. Созданные массивы локализуются возле существующих каналов и водотоков. Таким образом на 2020 г. к пастбищным землям фактически можно отнести 140 тыс. га, которые обрабатывались в 1980-х. Примерно 62 тыс. га ранее не использованных земель были вовлечены в оборот. А общая площадь пашни в регионе на 2020 г. составила 83.5 тыс. га, при том, что по данным официальной статистики посевная площадь равна 20.3 тыс. га. Это свидетельствует о серьезном недоучете официальной статистикой фактически обрабатываемых земель. В дальнейшем при расчете пастбищных нагрузок площади пашни не учитывались в площади пастбищных земель. Еще 143 тыс. га представлено сорными понижениями и солончаками, на которых отсутствует растительный покров в силу есте-

ственных причин, которые также не учитывались в площади пастбищ.

Всего идентифицирована 1861 животноводческая ферма на 1984–1986 гг. и 1714 ферм на 2020 г., из которых 1275 не изменили своего местоположения с 1984 г. (табл. 1). При этом на территории Калмыкии количество ферм уменьшилось на 312 (сильнее всего в Черноземельском районе – на 184), а в Астраханской области, наоборот, увеличилось на 165. Наглядно это изменение отражено на рис. 1.

В середине 80-х годов прошлого века распределение животноводческих ферм было более равномерным, а к 2020 г. их плотность снизилась в южной части региона и увеличилась вдоль правого берега Волги. Более равномерное покрытие территории животноводческими фермами, использование комбинированных и грубых кормов позволяли в 1980-х при значительно большем поголовье регулировать пастбищные нагрузки. Только необдуманная распашка песчаных земель привела к резкому всплеску опустынивания (Чешев и др., 2018, Kulik et al., 2018, 2020). И в 1980-х и в 2020 г. пространственное распределение ферм не было равномерным, на это указывает индекс ближайшего соседства (Тест Кларка–Эванса): 0.92 и 0.87 соответственно при $p > 0.99$ (табл. 2). За период исследований наблюдаемое среднее расстояние между точками почти не изменилось (около 3 км), а ожидаемое незначительно увеличилось. Случайным можно считать распределение ферм в 2020 г. в Наримановском, Юстинском и Яшкульском районах, в период 1980-х гг. к ним мог быть отнесен Лаганский район. В остальных районах отмечена значимая кластеризация, что

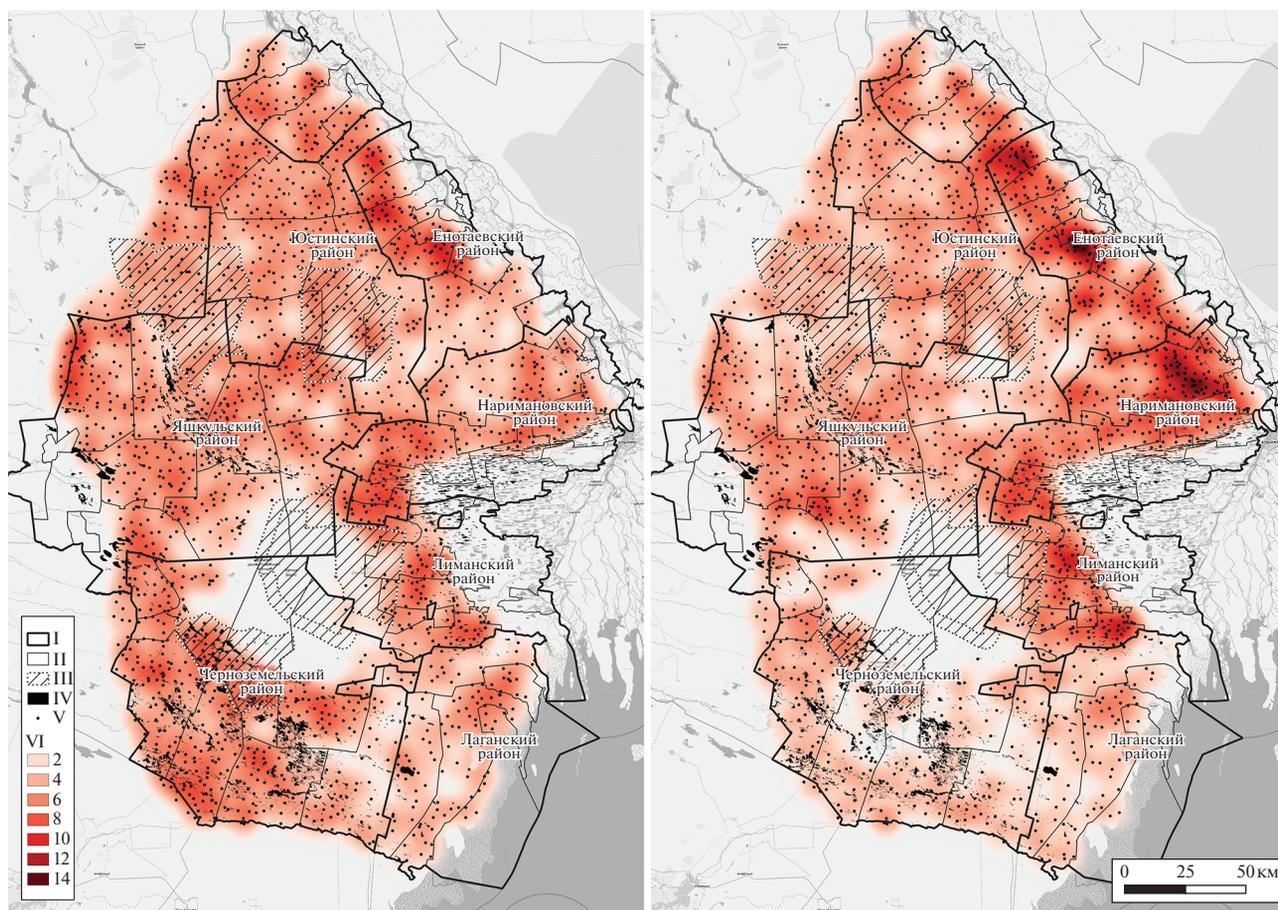


Рис. 1. Сравнение плотности животноводческих ферм в радиусе 10 км в 1984 г. (слева) и в 2020 г. (справа) (I – границы районов, II – границы муниципальных образований, III – границы ООПТ, IV – сорные понижения, солончаки и водоемы, V – животноводческие фермы, VI – плотность животноводческих ферм, шт. в радиусе 10 км).

означает приуроченность большей части объектов к конкретным территориям. Значение наблюдаемого расстояния около 3 км соответствует зоне влияния выпаса вокруг ферм (Кулик и др., 2016; Шинкаренко, 2015; Daga et al., 2020), поэтому участки между соседними фермами могут быть перегружены за счет поголовья нескольких хозяйств. Особенно это заметно на общественных или непоставленных на кадастровый учет землях.

Площадь пастбищ по полигонам Вороного вокруг животноводческих ферм после вычета сорв, солончаков, пашни и населенных пунктов на 2020 г. равна 3.65 млн га, что достаточно точно согласуется со статистическими данными (3.69 млн га, табл. 1). При этом 78.3% пастбищ расположены в трехкилометровой зоне вокруг животноводческих ферм, следовательно, подвергаются наиболее сильным нагрузкам. В 1980-х гг. площадь пастбищ составляла более 4 млн га, из которых на трехкилометровую зону приходилось 73.7%. Небольшое снижение доли пастбищ в трехкиломет-

ровой окрестности ферм в 2020 г. по сравнению с 1984 г. отмечено только в Лаганском районе (с 65 до 54%), в остальных районах доля пастбищ вблизи ферм выросла. Наиболее сильно в Лиманском районе – с 62 до 95%. Больше 90% пастбищ в трехкилометровой зоне от ферм в Енотаевском, Наримановском, Черноземельском районах. Это является следствием уплотнения распределения животноводческих ферм, результат которого выражается в росте нагрузки на ближайшие к фермам участки. Именно в указанных районах наиболее сильно увеличилась площадь подвижных песков и дефлированных земель в 2020–2021 гг. (Шинкаренко, Барталев, 2020, 2021).

Воздействие выпаса на почвенно-растительный покров зависит от физических свойств почвенного покрова: на суглинистых почвах верхние горизонты уплотняются, а на песчаных почвах, наоборот, разрушаются (Шинкаренко, 2015). Поэтому пастбища на суглинистых почвах более устойчивы к выпасу и дефляции. В регионе ис-

Таблица 2. Показатели анализа близости расположения животноводческих ферм (наблюдаемое и ожидаемое расстояния, индекс ближайшего соседства) в 1984 и 2020 гг.

Район	1984				
	наблюдаемое, м	ожидаемое, м	индекс	Z	p
Енотаевский	2987	3456	0.86	-6.1	0.99
Лаганский	3280	3631	0.90	-1.6	<0.90
Лиманский	3025	3646	0.83	-6.9	0.99
Наримановский	2660	2446	1.09	0.93	<0.90
Черноземельский	2889	3031	0.95	-1.66	0.90
Юстинский	2961	2850	1.04	1.2	<0.90
Яшкульский	2748	2803	0.98	-0.4	<0.90
Всего	2903	3167	0.92	-6.9	0.99
Район	2020				
	наблюдаемое, м	ожидаемое, м	индекс	Z	p
Енотаевский	2544	3235	0.79	-10.4	0.99
Лаганский	3488	4043	0.86	-1.9	0.90
Лиманский	3104	3881	0.80	7.6	0.99
Наримановский	2234	2184	1.02	0.28	<0.90
Черноземельский	3487	3696	0.94	-1.66	0.90
Юстинский	3043	3084	0.99	-0.4	<0.90
Яшкульский	3217	3103	1.04	0.73	<0.90
Всего	2876	3312	0.87	-10.4	0.99

Таблица 3. Площади пастбищ на разных почвообразующих породах в зависимости от удаленности от животноводческих ферм

Почвообразующие породы	Площадь пастбищ, тыс. га								Количество ферм, шт.
	радиус, м							Всего	
	500	1000	1500	2000	2500	3000	>3000		
1984									
Глинистые и тяжелосуглинистые	2.9	8.5	13.0	16.2	16.9	13.9	16.2	87.6	37
Среднесуглинистые	14.7	44.0	69.7	81.4	72.5	52.6	45.4	380.3	196
Легкосуглинистые	32.9	96.6	149.4	178.0	166.0	129.3	135.7	887.9	431
Супесчаные	54.6	160.5	244.7	273.9	241.6	176.0	265.5	1416.8	702
Песчаные	21.6	63.5	100.3	123.4	122.4	101.7	330.1	862.9	286
Пески	16.0	46.2	71.1	83.2	78.1	66.2	126.0	486.6	209
Среднее	142.8	419.1	648.2	756.1	697.5	539.7	918.8	4122.2	1861
2020									
Глинистые и тяжелосуглинистые	2.5	7.4	11.4	14.0	15.0	14.4	13.6	78.2	32
Среднесуглинистые	8.9	26.5	42.2	53.7	57.8	55.9	127.7	372.6	116
Легкосуглинистые	29.1	85.4	132.0	159.8	156.7	129.5	85.3	777.7	376
Супесчаные	47.3	137.4	208.4	239.5	227.0	183.1	152.4	1195.0	617
Песчаные	22.3	63.9	98.5	117.0	113.6	95.9	243.9	755.2	299
Пески	20.4	58.0	85.2	91.0	75.2	56.9	88.2	474.9	274
Среднее	130.5	378.6	577.6	675.0	645.3	535.6	711.1	3653.7	1714

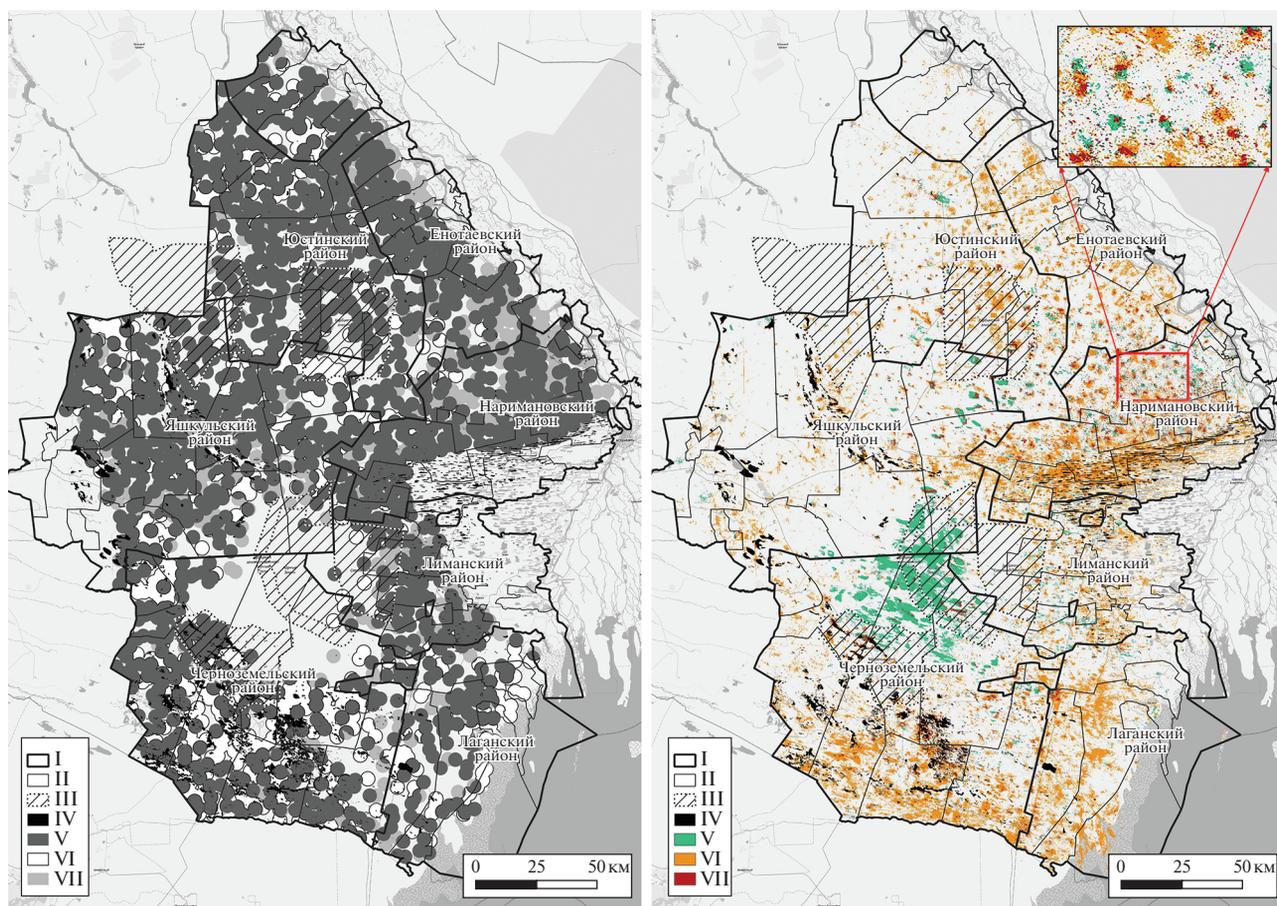


Рис. 2. Сравнение площадей пастбищ в трехкилометровом радиусе от ферм (слева; I – границы районов, II – границы муниципальных образований, III – границы ООПТ, IV – соровые понижения, солончаки и водоемы, V – пастбища и в 1984 и в 2020 гг., VI – только 1984 г., VII – только 2020 г.) и площадей открытых песков и дефлированных территорий в 1984–1986 и 2020 гг. (справа I – границы районов, II – границы муниципальных образований, III – границы ООПТ, IV – соровые понижения, солончаки и водоемы, V – только в 1986 г., VI – только в 2020 г., VII – в 1986 и 2020 гг., на врезке показан увеличенный фрагмент, выделенный красным прямоугольником).

следований произошло снижение количества животноводческих ферм на глинистых и супесчаных почвах на 225 ферм и отмечен рост на песчаных почвах и песках на 78 ферм (табл. 3). Большая плотность животноводческих ферм на песчаных землях могла бы уменьшить пастбищные нагрузки при снижении поголовья на каждой из ферм, но в реальности этого не происходит, и нагрузка увеличивается. Площадь песчаных пастбищ в радиусе 3 км от ферм практически не изменилась: 66 и 73% в 1984 и 2020 гг. соответственно. Это свидетельствует о том, что произошел локальный рост поголовья на песчаных почвах, при том, что площадь пастбищ существенно не увеличилась.

Новые фермы на песчаных почвах и песках расположены в основном в Наримановском и Лиманском районах (рис. 2), где, как было отмечено выше, большая часть пастбищ расположена в трехкилометровой окрестности ферм. Перемене

наиболее используемых пастбищ на песчаные почвы сказалось и на распространении наиболее деградированных участков: подвижных песков и дефлированных земель (рис. 2). Основные площади открытых песков 1984–1986 гг. в настоящее время восстановлены, здесь функционирует заповедник “Черные земли”, в котором полностью запрещен выпас. Поэтому большая часть опустынивания не связана с процессами, происходившими в 1980-х гг., а вызвана нерациональным использованием пастбищ в первую очередь после 2010 г., что подтверждается данными о начале периода деградации пастбищ (Шинкаренко, 2019).

На суглинистых почвах лишённые растительного покрова участки концентрируются в радиусе 0.5–1 км вокруг ферм (рис. 3а). По мере облегчения гранулометрического состава почв пастбищ участки с открытыми песками проявляются на

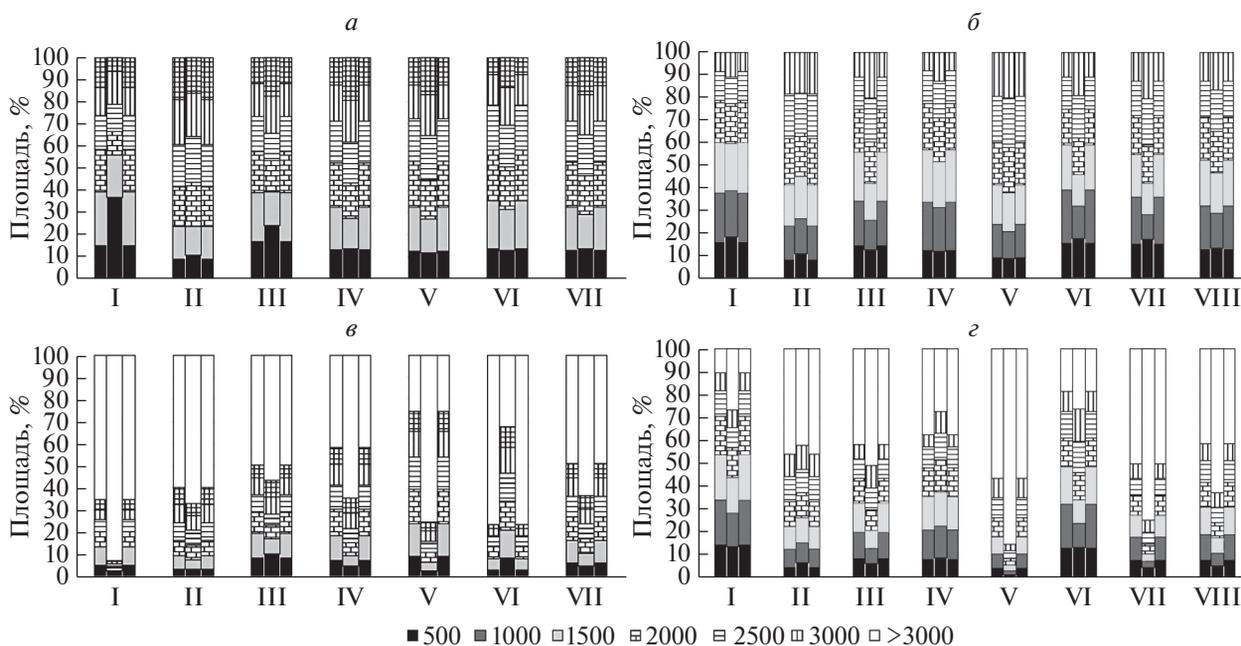


Рис. 3. Распределение площадей открытых песков и дефлированных территорий по удаленности от животноводческих ферм на разных почвах (а, в – доля открытых песков на данном типе почвообразующих пород от расположенных в трехкилометровом радиусе (в метрах) и от всей площади открытых песков региона, I – глинистые и тяжелосуглинистые, II – среднесуглинистые, III – легкосуглинистые, IV – супесчаные, V – песчаные, VI – пески, VII – все) и в разрезе муниципальных районов (б, г – доля открытых песков в муниципальном районе от расположенных в трехкилометровом радиусе и от всей площади открытых песков региона, I – Енотаевский, II – Лаганский, III – Лиманский, IV – Наримановский, V – Черноземельский, VI – Юстинский, VII – Яшкульский, VIII – все); узкие столбцы – 1986 г., широкие – 2020 г.

все больших расстояниях от ферм. При этом в 1984 г. только 37% всех дефлированных площадей приходилось на трехкилометровый радиус вокруг ферм, к 2020 г. этот показатель увеличился до 51% (рис. 3, в). Это связано с тем, что в 1970–80-х гг. основные площади подвижных песков были вызваны распашкой и располагались на месте современного заповедника “Черные земли” (рис. 2), в окрестностях которых к тому времени уже не было мест концентрации скота. К 2020 г. практически во всех исследованных районах увеличилась доля дефлированных земель в трехкилометровых окрестностях ферм (рис. 3, б, в, г). Это стало результатом нерационального использования пастбищ и превышения допустимых нагрузок скота при выпасе.

В 1980-х гг. на территории Калмыкии содержалось около 3.3 млн овец и коз, минимума поголовья достигло к 2000 г. (0.6–0.7 млн голов), на период 2010–2020 гг. по данным статистики поголовья составляло около 2.5 млн голов или 1.4 тыс. гол. овец на одну животноводческую ферму, 2.4 тыс. усл. гол. овец с учетом крупного рогатого скота, лошадей и верблюдов. Согласно Постановлению Правительства Калмыкии (Постановление..., 2006) нормы пастбищных нагрузок

устанавливаются на уровне 0.3–0.5 усл. гол. овец/га. Данное требование в 2007–2020 гг. соблюдалось только на 19.5% территории исследования (рис. 4). При этом участки с наибольшими пастбищными нагрузками на песчаных почвах совпадают с местами локализации открытых песков. Если учитывать кратковременные превышения допустимых пастбищных нагрузок в отдельные годы при максимальном показателе поголовья за 2007–2020 гг., то превышения допустимых величин были на 87% площади пастбищ. На большей части площади превышение составляет 2–3 раза. Особенно сильно несоблюдение нормативов характерно для Лиманского, Наримановского, Юстинского и Яшкульского районов: нормы превышены здесь более чем на 90% площади.

В результате сопоставления пастбищных нагрузок и площадей открытых песков и дефлированных земель в окрестностях животноводческих ферм подтверждено, что пастбищные нагрузки наиболее сильно влияют на участки на легких по гранулометрическому составу почвах (рис. 5). Отмечена значимая сильная корреляционная связь доли открытых песков и как среднесуточных пастбищных нагрузок ($r = 0.82$), так и максимальных за период ($r = 0.88$). Стоит отметить, что даже

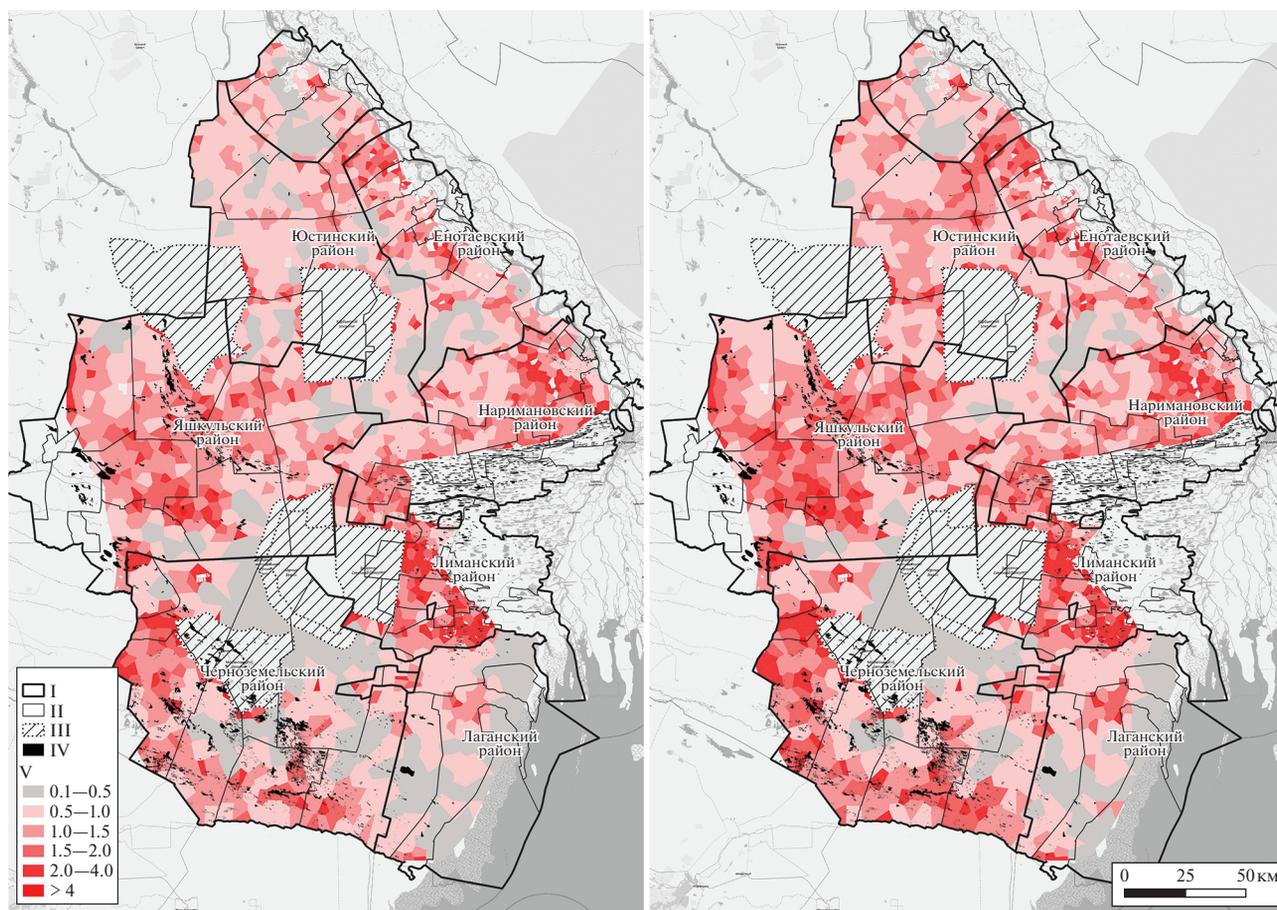


Рис. 4. Пастбищные нагрузки за 2007–2019 гг.: среднеголетние (слева) и максимальные (справа) (I – границы районов, II – границы муниципальных образований, III – границы ООПТ, IV – соровые понижения, солончаки и водоемы, V – пастбищные нагрузки, усл. гол. овец на га).

кратковременные превышения пастбищных нагрузок более 3 усл. гол. овец/га на супесчаных и песчаных почвах приводят к резкому увеличению площади лишенных растительного покрова участков (рис. 5, а, б). Безусловно, кроме непосредственно пастбищных нагрузок на площадь подвижных песков влияет интенсивность эоловых процессов, обусловленных синоптической ситуацией и ветровой нагрузкой. Но как показали предыдущие исследования (Шинкаренко, 2019), выпас скота препятствует зарастанию и закреплению существующих песчаных массивов. Пастбищные нагрузки проявляются не только в уничтожении растительного покрова, но и в разрыхлении связанных песков, что снижает их устойчивость ветровому воздействию (Kulik et al., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования Земли позволяет выявить пространственную структуру антропоген-

ных нагрузок на ландшафты. Животноводческие фермы обладают достаточно четкими дешифровочными признаками, поэтому могут быть достоверно картографированы. Закономерности их пространственного распределения могут служить основой для анализа величин пастбищных нагрузок. В совокупности с данными о поголовье скота становится возможным расчет величин пастбищных нагрузок, а геоинформационная обработка позволяет включить в анализ данные о почвенном покрове, продуктивности земель, их приуроченности к единицам административно-территориального деления. Дальнейшие исследования могут быть направлены на исследование изменений растительного покрова на разном удалении от животноводческих ферм в зависимости от пастбищных нагрузок и почвенно-растительных условий с применением как натуральных, так и дистанционных методов.

Установлено, что к 2020 г. по сравнению с 1980-ми гг. уменьшилось количество животно-

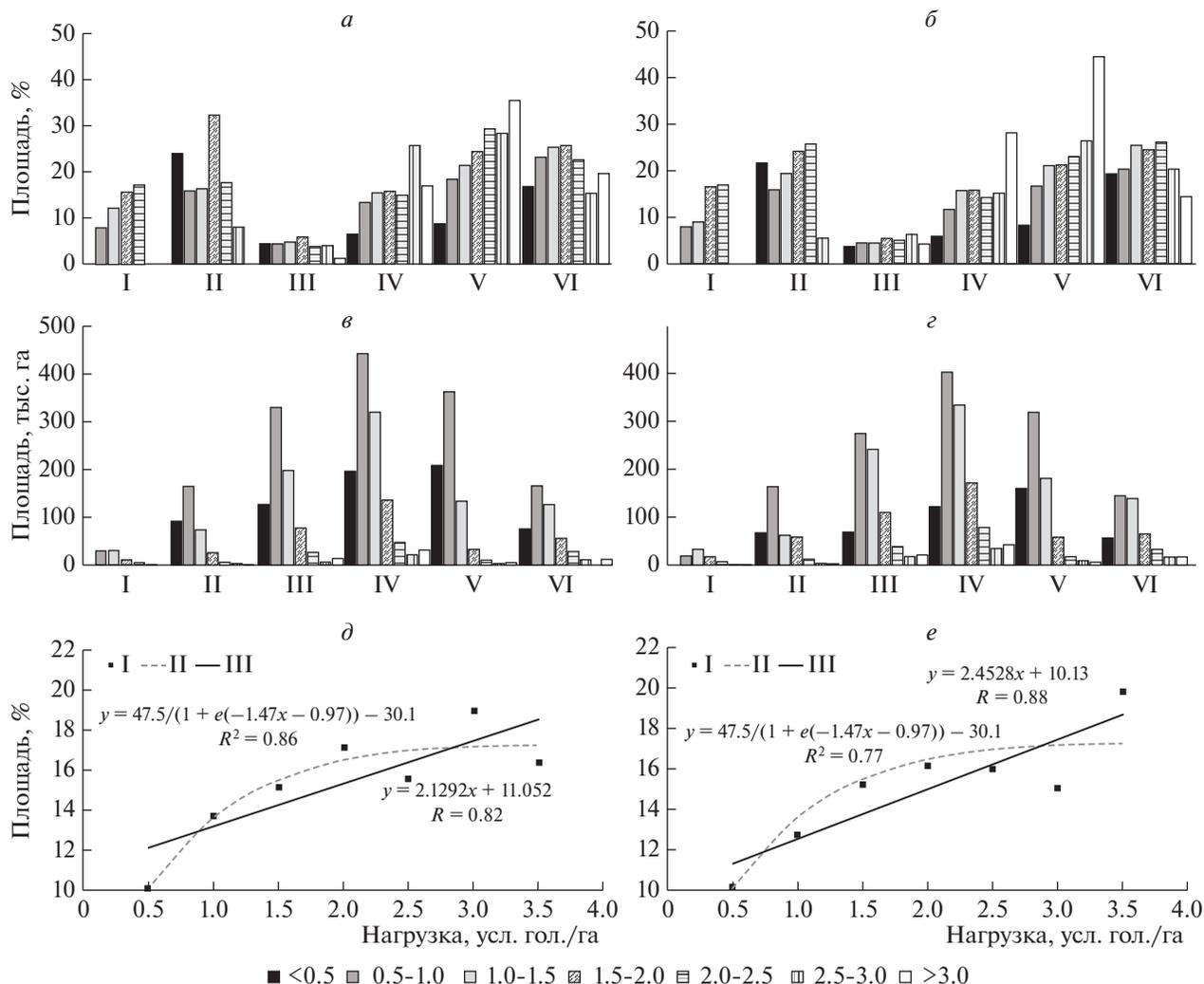


Рис. 5. Распределение площадей открытых песков и дефлированных территорий по пастбищам с разной нагрузкой (усл. гол. овец/га, *a* – среднееголетняя нагрузка, *б* – максимальная нагрузка) и площадей пастбищ с разной нагрузкой (усл. гол. овец/га, *в* – среднееголетняя нагрузка, *г* – максимальная нагрузка; I – глинистые и тяжелосуглинистые, II – среднесуглинистые, III – легкосуглинистые, IV – супесчаные, V – песчаные, VI – пески) и связь доли открытых песков и дефлированных площадей с пастбищными нагрузками (*д*, *е* – среднееголетняя и максимальная нагрузка, I – фактические данные, II – аппроксимация сигмидой, III – линейная регрессия).

водческих ферм на суглинистых почвах, а на песчаных почвах и песках, наоборот, увеличилось. При том, что площадь пастбищ осталась практически неизменной. Это привело к росту пастбищных нагрузок на легких по гранулометрическому составу почвах. Более чем на 80% территории пастбищ превышены допустимые нагрузки выпаса скота. Результатом этого стала активизация процессов опустынивания в регионе. Засуха 2020 г. привела к катастрофическому опустыниванию, пыльным бурям и многократному росту площадей открытых песков и дефлированных территорий.

Почти 90% пастбищ расположены в трехкилометровом радиусе вокруг ферм и населенных пунктов, т.е. наиболее подвержены антропоген-

ному воздействию. Соответственно в регионе нет площадей, за счет которых можно было бы снизить нагрузки при существующей численности поголовья. Только регулирование выпаса, соблюдение пастбищеоборотов, изменение структуры поголовья (переход от овец к лошадям, верблюдам и крупному рогатому скоту), фитомелиоративные мероприятия позволят стабилизировать состояние пастбищных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 19-35-60007 и в рамках

темы ИКИ РАН “Мониторинг” (госрегистрация № 122042500031-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бананова В.А., Лазарева В.Г.* 2014. Тенденции изменения ботанического разнообразия под влиянием опустынивания в республике Калмыкия // *Аридные экосистемы*. Т. 20. № 2(59). С. 87–96.
- Васильченко А.А., Выприцкий А.А.* Методика идентификации антропогенных изменений аридных ландшафтов // *Грани познания*. 2020. № 5(70). С. 75–81.
- Горяев И.А.* Галофитные полынные на Прикаспийской низменности (в пределах Калмыкии) // *Ботанический журнал*. 2019. Т. 104. № 1. С. 93–106.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Тенденция опустынивания Северо-Западного Прикаспия по MODIS-данным // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2011. Т. 8. № 2. С. 217–225.
- Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б.* 2020. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // *Изв. Российской академии наук. Серия географическая*. № 2. С. 207–217. <https://doi.org/10.31857/S258755662002017X>
- Кулик К.Н., Есмагулова Б.Ж., Кошелева О.Ю., Мушаева К.Б., Шинкаренко С.С.* Изменение фитоценозов Волго-Уральского междуречья под влиянием пастбищных нагрузок // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*. 2016. № 4. С. 25–32.
- Луян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Балаилов 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.* Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП “ИКИ-Мониторинг”) // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170>
- Национальный атлас почв Российской Федерации. М: Астрель: Аст. 2011. 632 с.
- Национальный доклад. “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. Эдельгериева Р.С.-Х. 2021. Т. 3. 700 с.
- Национальный доклад. “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. Эдельгериева Р.С.-Х. 2019. Т. 2. 476 с.
- Почвенная карта РСФСР. 1988. Масштаб 1: 2.5 млн / Под ред. В.М. Фридриха. М.: ГУГК.
- Рыбашлыкова Л.П., Беляев А.И., Пугачёва А.М.* Мониторинг сукцессионных изменений пастбищных фитоценозов в “потухших” очагах дефляции Северо-Западного Прикаспия // *Юг России: экология, развитие*. 2019. Т. 14. № 4. С. 78–85.
- Чешев А.С., Бакинова Т.И., Шевченко Н.А.* Социально-экономические основы рационального использования земель в условиях западного Прикаспия // *Экономика и экология территориальных образований*. 2018. Т. 2. № 4. С. 6–16. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2018-2-4-6-16>
- Шинкаренко С.С.* Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168.
- Шинкаренко С.С.* Оценка влияния выпаса на ландшафты Приэльтона // *Научное обозрение*. 2015. № 14. С. 10–15.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А.* Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2021. Т. 18. № 4. С. 291–297. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297>
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А.* Последствия пыльных бурь 2020 года на юге европейской части России // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 7. С. 270–275.
- Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н.* Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // *Изв. Российской академии наук. Серия географическая*. 2022. Т. 86. № 1. С. 122–133. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010113>
- Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н., Комарова И.А.* Динамика горимости аридных ландшафтов России и сопредельных территорий по данным детектирования активного горения // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2021а. Т. 18. № 1. С. 149–164. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164>
- Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н.* Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. 2021б. Т. 6. № 3. С. 23–44. <https://doi.org/10.24189/ncr.2021.035>
- Шинкаренко С.С., Ткаченко Н.А., Барталев С.А., Юфре-рев В.Г., Кулик К.Н.* Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 года // *Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 5. С. 291–296.
- Электронный ресурс <https://www.gks.ru/db-scripts/munst/munst.htm>.
- Электронный ресурс <http://egrpr.soil.msu.ru/download.php>.
- Cherepanov S.K.* Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambridge University Press, Cambridge. 2007. 517 p.
- Dara A., Baumann M., Freitag M., Holzel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T.* Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure // *Remote Sensing of Environment*. 2020. V. 239. P. 111667. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111667>
- Dubinina M., Lushchikina A., Radeloff V.C.* Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // *Ecosystems*. 2011. V. 14. P. 547–562. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>

- Dubin M., Potapov P., Lushchikina A., Radeloff V.C. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing // *Remote Sensing of Environment*. 2010. V. 114. P. 1638–1648. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.02.010>
- Karimova T.Y., Lushchikina A.A., Neronov V.M. Saiga Populations of Russia and Kazakhstan: Current Status and Retrospective Analysis of Some Biological Parameters // *Arid Ecosystems*. 2021. V. 11. № 2. P. 164–172. <https://doi.org/10.1134/S2079096121020074>
- Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S. On the 30th anniversary of the “General plan to combat desertification of Black lands and Kizlyar pastures” // *Arid ecosystems*. 2018. V. 8. № 1. P. 5–20. <https://doi.org/10.1134/S2079096118010067>
- Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. // *Arid Ecosystems*. 2020. V. 10. № 2. P. 98–105. <https://doi.org/10.1134/S2079096120020080>
- Lazareva V. G., Bananova V. A., Van Zung N. Dynamics of Modern Vegetation for Pasture Use in the Northwestern Pre-Caspian Region // *Arid Ecosystems*. 2020. V. 10. № 4. P. 276–283. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040137>
- Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // *Remote Sensing*. 2022. V. 14. № 1. P. 77. <https://doi.org/10.3390/rs14010077>
- Mitchell A. The ESRI Guide to GIS Analysis. 2005. V. 2: Spatial Measurements and Statistics. ESRI Press. 252 p.
- Radochinskaya L.P., Kladiyev A.K., Rybashlykova L.P. Production potential of restored pastures of the Northwestern Caspian // *Arid ecosystems*. 2019. V. 9. № 1. P. 51–58. <https://doi.org/10.1134/S2079096119010086>
- Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Remote indicators of desertification // *Arid Ecosystems*. 2015. V. 5. № 1. P. 24–27. <https://doi.org/10.1134/S2079096115010102>
- Vlasenko M.V., Kulik A.K., Salugin A.N. Evaluation of the Ecological Status and Loss of Productivity of Arid Pasture Ecosystems of the Sarpa Lowland // *Arid Ecosystems*. 2019. V. 9. № 4. P. 273–281. <https://doi.org/10.1134/S2079096119040097>
- Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Bazha S.N., Syrtypova S.H.D. Trends in Livestock Numbers and Spectral Properties of the Pasture Surface: Case Study of the Middle Gobi Aimag of Mongolia // *Arid Ecosystems*. 2018. V. 8. № 3. P. 153–160. <https://doi.org/10.1134/S2079096118030095>
- Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A., Vinogradova V.V. Dynamics of Summer Moistening and Biophysical Parameters of Arid Pastures in the European Part of Russia in 2000–2014 // *Arid Ecosystems*. 2016. V. 6. № 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1134/S2079096116010078>

Analysis of Anthropogenic Influence on Desertification Processes in the Northern Caspian Region According to Satellite Data

S. S. Shinkarenko^{1, 2}, A. A. Vypritskiy³, A. A. Vasilchenko³, and A. N. Berdengalieva³

¹Volgograd State University, Volgograd, Russia

²Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

³Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

Pasture loads are one of the key anthropogenic factors in the dynamics of the state of vegetation and soil cover of arid landscapes. The purpose of this study is to establish the spatial distribution of pasture loads in the Black Lands region using remote sensing data from space, geoinformation technologies and statistical data. In this work, mapping of livestock farms, sheepfolds and other places of concentration of livestock for 1984–1986 and 2020 was carried out. Both periods are characterized by a surge in desertification processes and a sharp increase in the areas of open sands and deflated lands. The areas of pastures with different loads during cattle grazing are established, the patterns of spatial distribution of mobile sands depending on the soil-forming rocks and distance from livestock farms are also determined. In recent years, compared with 1984–1986, the density of farms on sandy soils has increased, which led to overgrazing, destruction of vegetation and activation of Aeolian processes. Approximately 80% of pastures exceeded the permissible grazing standards, and 90% of pastures are located in a 3 km zone around the places of concentration of livestock. The results obtained can be used to regulate pasture loads in the region to prevent desertification of landscapes.

Keywords: desertification, remote sensing, Landsat, Kalmykia, Astrakhan region, Black Lands

REFERENCES

- Bananova V.A., Lazareva V.G. Tendentsii izmeneniya botanicheskogo raznoobraziya pod vliyaniem opustynivaniya v respublike Kalmykiya [Trends in the change of botanical diversity under the influence of desertification in the Republic of Kalmykia] // *Aridnye ekosistemy*. 2014. V. 20. № 2 (59). P. 87–96. (In Russian).
- Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambridge University Press, Cambridge. 2007. 517 p.

- Cheshev A.S., Bakinova T.I., Shevchenko N.A.* Sotsial'no-ekonomicheskie osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya zemel' v usloviyakh zapadnogo Prikaspiya [Socio-economic foundations of rational land use in the conditions of the Western Caspian Sea] // *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy*. 2018. V. 2. № 4. P. 6–16. (In Russian).
- Dara A., Baumann M., Freitag M., Holzel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T.* Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure // *Remote Sensing of Environment*. 2020. V. 239. P. 111667.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111667>
Digital source <http://egrpr.soil.msu.ru/download.php>.
- Digital source <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm>.
- Dubinina M., Lushchikina A., Radeloff V.C.* Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // *Ecosystems*. 2011. V. 14. P. 547–562.
<https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>
- Dubinina M., Potapov P., Lushchikina A., Radeloff V.C.* Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing // *Remote Sensing of Environment*. 2010. V. 114. P. 1638–1648.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.02.010>
- Goryaev I.A.* Galofitnye polynniki na Prikaspiiskoi nizmenosti (v predelakh Kalmykii) [Halophytic sagebrush on the Caspian lowland (within Kalmykia)] // *Botanicheskii zhurnal*. 2019. V. 104. № 1. P. 93–106. (in Russian).
- Karimova T.Y., Lushchikina A.A., Neronov V.M.* Saiga Populations of Russia and Kazakhstan: Current Status and Retrospective Analysis of Some Biological Parameters // *Arid Ecosystems*. 2021. V. 11. № 2. P. 164–172.
<https://doi.org/10.1134/S2079096121020074>
- Kulik K.N., Esmagulova B.Zh., Kosheleva O.Yu., Mushaeva K.B., Shinkarenko S.S.* Izmenenie fitotsenozov Volgo-Ural'skogo mezhdurech'ya pod vliyaniem pastbishchnykh nagruzok [Changes in phytocenoses of the Volga-Ural interfluvium under the influence of pasture loads] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2016. № 4. P. 25–32. (in Russian).
- Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S.* On the 30th anniversary of the “General plan to combat desertification of Black lands and Kizlyar pastures” // *Arid Ecosystems*. 2018. V. 8. № 1. P. 5–20.
<https://doi.org/10.1134/S2079096118010067>
- Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S.* // *Arid Ecosystems*. 2020. V. 10. № 2. P. 98–105.
<https://doi.org/10.1134/S2079096120020080>
- Lazareva V.G., Bananova V.A., Van Zung N.* Dynamics of Modern Vegetation for Pasture Use in the Northwestern Pre-Caspian Region // *Arid Ecosystems*. 2020. V. 10. № 4. P. 276–283.
<https://doi.org/10.1134/S2079096120040137>
- Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I.* Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // *Remote Sensing*. 2022. V. 14. № 1. P. 77.
<https://doi.org/10.3390/rs14010077>
- Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Mazurov A.A., Marchenkov V.V., Matveev A.M., Radchenko M.V., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A.* Opyt ekspluatatsii i razvitiya tsentra kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh (TsKP “IKI-Monitoring”) [Experience in the operation and development of the center for the collective use of systems for archiving, processing and analysis of satellite data (CCP “ICI-Monitoring”)] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019. V. 16. № 23. P. 151–170. (In Russian).
- Mitchell A.* The ESRI Guide to GIS Analysis. 2005. V. 2: Spatial Measurements and Statistics. ESRI Press. 252 p.
- Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii [National Atlas of Soils of the Russian Federation]. 2011. M.: Astrel': Ast. 632 p. (In Russian).
- Natsional'nyi doklad. “Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)” [Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)] / Eds Edel'geriev R.S.-Kh. 2021. V. 3. 700 p. (in Russian).
- Natsional'nyi doklad. “Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: opustynivanie i degradatsiya zemel', institutsional'nye, infrastrukturnye, tekhnologicheskie mery adaptatsii (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)” [Global climate and soil cover of Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)]. / Eds Edel'geriev R.S.-Kh. 2019. V. 2. 476 p. (in Russian).
- Pochvennaya karta RSFSR [Soil map of the RSFSR]. 1988. 1: 2 500 000 / Eds V.M. Fridland. M.: GUGK. (in Russian).
- Radochinskaya L.P., Kladiyev A.K., Rybashlykova L.P.* Production potential of restored pastures of the Northwestern Caspian // *Arid ecosystems*. 2019. V. 9. № 1. P. 51–58.
<https://doi.org/10.1134/S2079096119010086>
- Rybashlykova L.P., Belyaev A.I., Pugacheva A.M.* Monitoring suksessionnykh izmeneniy pastbishchnykh fitotsenozov v “potukhshikh” ochagakh deflyatsii Severo-Zapadnogo Prikaspiya [Monitoring of successional changes in pasture phytocenoses in “extinct” deflation foci of the North-Western Caspian] // *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2019. V. 14. № 4. P. 78–85. (In Russian).
- Shinkarenko S.S.* Otsenka vliyaniya vypasa na landshafty Priel'ton'ya [Assessment of the impact of grazing on the landscapes of the Elton region] // *Nauchnoye obozrenie*. № 14. P. 10–15. (In Russian).
- Shinkarenko S.S.* Prostranstvenno-vremennaya dinamika opustynivaniya na Chernykh zemlyakh [Spatial-temporal dynamics of desertification in Black Lands] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021. V. 16. № 6. P. 155–168. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A.* Otsenka ploshchadi opustynivaniya na yuge evropeiskoi chasti Rossii v 2021 g. [Assessment of desertification area in the south of the European part of Russia in 2021] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021. V. 18. № 4. P. 291–297. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A.* Posledstviya pyl'nykh bur' 2020 goda na yuge evropeiskoi chasti Rossii [Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September–October 2020] // *Sovremennye problemy dis-*

- tancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. V. 17. № 7. P. 270–275. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N.* Dinamika ploshchadi garei v zonal'nykh landshaftakh yugovostoka evropeiskoi chasti Rossii [Burned areas dynamics in zonal landscapes of the south-east of the european part of russia] // *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2022. V. 86. № 1. P. 122–133. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A.* Dinamika gorimosti aridnykh landshaftov Rossii i sopredel'nykh territorii po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniiya [Dynamics of arid landscapes burning in Russia and adjacent territories based on active fire data] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021. V. 18. № 1. P. 149–164. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Ivanov N.M., Berdengalieva A.N.* Prostranstvenno-vremennaya dinamika vygorevshikh ploshchadei na federal'nykh OOPT yugo-vostoka Evropeiskoi Rossii [Spatio-temporal dynamics of burnt areas in federal protected areas of South-East of the European part of Russia] // *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*. 2021. V. 6. № 3. P. 23–44. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Tkachenko N.A., Bartalev S.A., Yuferev V.G., Kulik K.N.* Pyl'nye buri na yuge evropeiskoi chasti Rossii v sentyabre-oktyabre 2020 goda [Dust storms in the south of the European part of Russia in September–October 2020] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020. V. 17. № 5. P. 291–296. (In Russian).
- Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P.* Remote indicators of desertification // *Arid Ecosystems*. 2015. V. 5. № 1. P. 24–27. <https://doi.org/10.1134/S2079096115010102>
- Vasil'chenko A.A., Vypritskii A.A.* Metodika identifikatsii antropogennykh izmenenii aridnykh landshaftov [Method of identification of anthropogenic changes in arid landscapes] // *Grani poznaniya*. 2020. № 5(70). P. 75–81. (In Russian).
- Vlasenko M.V., Kulik A.K., Salugin A.N.* Evaluation of the Ecological Status and Loss of Productivity of Arid Pasture Ecosystems of the Sarpa Lowland // *Arid Ecosystems*. 2019. V. 9. № 4. P. 273–281. <https://doi.org/10.1134/S2079096119040097>
- Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B.* Aridizatsiya zasushlivykh zemel' Evropeiskoi chasti Rossii i svyaz' s zasukhami [Aridization of the arid lands of the European part of Russia and the connection with droughts] // *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2020. № 2. P. 207–217. (In Russian).
- Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Bazha S.N., Syrtypova S.H.D.* Trends in Livestock Numbers and Spectral Properties of the Pasture Surface: Case Study of the Middle Gobi Aimag of Mongolia // *Arid Ecosystems*. 2018. V. 8. № 3. P. 153–160. <https://doi.org/10.1134/S2079096118030095>
- Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A., Vinogradova V.V.* Dynamics of Summer Moistening and Biophysical Parameters of Arid Pastures in the European Part of Russia in 2000–2014 // *Arid Ecosystems*. 2016. V. 6. № 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1134/S2079096116010078>
- Zolotokrylin A.N., Titkova T.B.* Tendentsiya opustynivaniya Severo-Zapadnogo Prikaspiya po MODIS-dannym [The trend of desertification of the North-Western Caspian Sea according to MODIS data] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. V. 8. № 2. P. 217–225. (In Russian).