

Оригинальная статья / Original article
УДК 331.95(470.630)
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-69-78

Прогнозно-картографическое моделирование продуктивности пастбищ Волгоградской области на основе данных дистанционного зондирования

Станислав С. Шинкаренко^{1,2} , Ольга Ю. Кошелева², Денис А. Солодовников¹

¹Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

Контактное лицо

Станислав С. Шинкаренко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры географии и картографии Волгоградского государственного университета, научный сотрудник Федерального научного центра агроэкологии РАН; 400062 Россия, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100. Тел. +7(8442)461639
Email shinkarenko@volsu.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

Формат цитирования

Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А. Прогнозно-картографическое моделирование продуктивности пастбищ Волгоградской области на основе данных дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 69-78. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-69-78

Получена 22 июля 2019 г.

Прошла рецензирование 10 октября 2019 г.

Принята 15 ноября 2019 г.

Резюме

Цель. Работа направлена на определение тенденций в динамике продуктивности пастбищных ландшафтов Волгоградской области. Определение направления трендов и величин коэффициентов пропорциональности позволяет выявить территории, на которых увеличивается или снижается продуктивность естественной зональной растительности с 2000 года по настоящее время.

Материал и методы. Определение продуктивности пастбищ основывается на анализе вегетационного индекса NDVI, широко применяемого в подобных исследованиях. Для анализа естественных зональных пастбищ территории были вычленены по данным Global Land Cover, разбиты регулярной сеткой и пересечены слоями-масками с границами муниципальных образований и ландшафтов.

Результаты. Наибольшие площади естественных зональных пастбищ находятся в Заволжье и на песчаных массивах долины Дона. Около 60% пастбищных земель имеют средневзвешенные среднееголетние значения NDVI от 0,3 до 0,4, примерно четверть – от 0,4 до 0,5. На большей части области характерны отрицательные тренды NDVI. Наибольшая скорость деградации отмечена в Заволжье. Это связано с большими пастбищными нагрузками, чем на территории остальной области, а также с регулярными степными пожарами.

Заключение. В результате исследований определены тенденции изменения продуктивности зональных пастбищ Волгоградской области, выявлены территории с разным направлением и скоростью динамики NDVI. Применение результатов на практике позволит прогнозировать продуктивность пастбищ в различных муниципальных районах и ландшафтах области, что даст возможность правильно регулировать нагрузки на пастбища для предотвращения деградации.

Ключевые слова

Пастбища, животноводство, ГИС, дистанционное зондирование, моделирование, NDVI, прогноз, картографирование.

Forecast-Cartographic Modeling of Pasture Production of the Volgograd Region Based on Remote Sensing

Stanislav S. Shinkarenko^{1,2} , Olga Yu. Kosheleva² and Denis A. Solodovnikov¹

¹Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Russia

²Federal Research Centre for Agroecology, Integrated Land Improvement and Protective Agroforestry, Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

Principal Contact

Stanislav S. Shinkarenko, Cand. Agri. Sciences, Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University. Researcher, Federal Research Centre for Agroecology, Integrated Land Improvement and Protective Agroforestry, Russian Academy of Sciences; 100 Prospekt Universitetskiiy, Volgograd, 400062 Russia. Tel. +7(8442)461639
Email shinkarenko@volsu.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

How to cite this article

Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A. Forecast-cartographic modeling of pasture production of the Volgograd region based on remote sensing. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 69-78. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-69-78

Received 22 July 2019

Revised 10 October 2019

Accepted 15 November 2019

Abstract

Aim. The work is devoted to identifying the productivity of pasture landscapes in the Volgograd region. The aim was to determine the direction of trends and the values of the coefficients of proportionality which would permit the definition of areas where the productivity of natural zonal vegetation has increased or decreased from 2000 until today.

Material and Methods. Pasture productivity assessment is based on the analysis of the NDVI vegetation index, which is widely used in such studies. For analysis, specific pasture areas were identified in accordance with Global Land Cover, divided into regular grids and given overlays corresponding with the boundaries of municipalities and landscapes.

Results. The largest areas of natural zonal pastures are located in the Trans-Volga region and on the sandy massifs of the Don River valley. About 60% of pasture land has an average weighted average long-term NDVI value from 0.3 to 0.4, and approximately a quarter – from 0.4 to 0.5. In most parts of the region there are negative NDVI trends. The highest rate of degradation is noted in the Trans-Volga region. This is associated with larger pasturing loads than in the rest of the region, as well as with the regular occurrence of steppe fires.

Conclusion. In summation: the productivity trends of zonal pastures in the Volgograd region have been determined, as have areas with different NDVI directions and dynamics. The application of these results in practice should make it possible to predict pasture productivity in various municipal districts and landscapes of the region, and thus assist in the regulation of pasture loads and the mitigation of risks of vegetation degradation.

Key Words

Pastures, livestock, GIS, remote sensing, modeling, NDVI, forecast, mapping.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно пастбищное природопользование занимает важное место в регионах с недостаточным увлажнением [1]. Волгоградская область расположена в субгумидном и субаридном поясах [2]. Территория региона очень разнообразна в ландшафтном отношении из-за существенных различий гидротермических условий, при этом аридность климата нарастает по направлению северо-запад – юго-восток [3]. Геосистемы правобережной части области представлены типично-степными ландшафтами на северо-западе области до полупустыни на юго-востоке с интразональными ландшафтами речных пойм и бессточных озерных котловин. Заволжье располагается на территории Прикаспийской низменности и представляет морскую аккумулятивную равнину, усложненную отрицательными формами мезо- и микрорельефа, соляно-купольными поднятиями и сопряженными с ними компенсационными мульдами, что повлекло за собой комплексность почвенного покрова и мозаичность растительности [4]. Растительность различных ландшафтов по-разному реагирует на климатические изменения и антропогенные нагрузки, характерные для последних десятилетий [5; 6]. Выявление тенденций в динамике состояния естественных пастбищ является очень важной задачей, решение которой позволит прогнозировать продуктивность пастбищных ландшафтов, регулировать нагрузки в соответствии с емкостью пастбищ [7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для прогноза продуктивности растительности естественных зональных пастбищ, определения коэффициентов трендов, а также расчета величин различной обеспеченности, необходимо опираться на многолетний ряд количественных характеристик, например, проективного покрытия и фитомассы [8; 9]. Определение этих показателей предполагает проведение геоботанических описаний и укосов на пробных площадях. Однако это достаточно трудоемко и затратно, а проведение ретроспективного анализа затруднено [10]. По этим причинам продуктивность растительности оценивалась по значениям NDVI. Индекс NDVI коррелирует с площадью листовой поверхности, проективным покрытием и продуктивностью растительности и получил широкое распространение в исследованиях состояния агроландшафтов по материалам дистанционного зондирования [11; 12]. Пастбищные земли Волгоградской области выделялись по данным проекта Global land cover с разрешением 30 метров, основанным на спутниковых данных Landsat аналогичного разрешения [13]. Исходный растр был преобразован в векторный формат и классифицирован по атрибутам типа категории земель: застроенные территории, опустыненные земли, пашни, леса, пастбища, водные объекты, водно-болотные угодья (рис. 1).

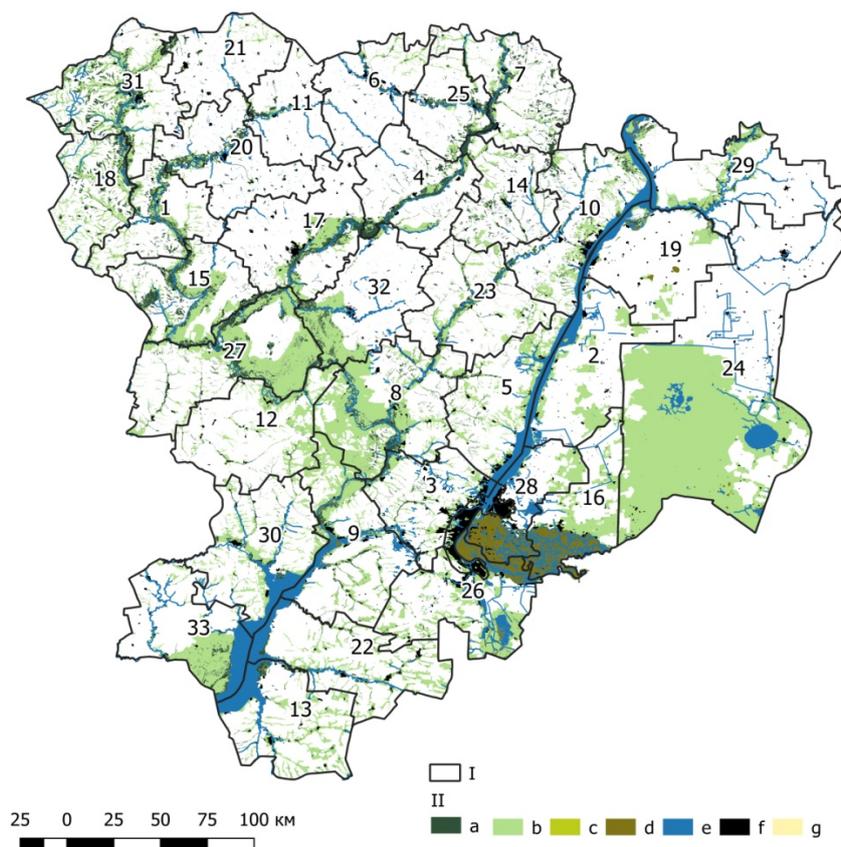


Рисунок 1. Распределение земель различных категорий в естественных ландшафтах по данным GLC30. I – границы районов, II – Категории земель (a – лес; b – пастбища; c – пастбища закустаренные; d – водно-болотные угодья; e – водные объекты; f – застроенные территории; g – опустыненные земли), 1-33 – номера районов (табл. 1)
Figure 1. Distribution of land of various categories in natural landscapes according to GLC30. I – district boundaries, II – Land categories (a – Forest; b – Grassland; c – Shrubland; d – Wetland; e – Bodies of water; f – Built-up areas; g – Bare land), 1-33 – numbers of individual districts (table 1)

В изучаемых ландшафтах отмечена близкая к линейной связь проективного покрытия растительности и соответствующих значений NDVI. Таким образом, обеспеченность пастбищных комплексов фитомассой может быть определена на основе многолетнего ряда вегетационного индекса, рассчитываемого по материалам дистанционного зондирования. Кроме пастбищных нагрузок, на состояние растительности в значительной степени влияют условия увлажнения. Как показали проведенные ранее исследования, гидротермические условия, особенно осадки за холодное полугодие и весну, являются определяющими для продуктивности зональных пастбищных ландшафтов [14]. Поэтому снижение NDVI на фоне роста увлажнения может служить свидетельством роста антропогенных нагрузок. И наоборот, при росте NDVI в условиях уменьшения сумм осадков можно говорить о восстановлении растительности в результате пастбищных сукцессий.

Источником данных в работе послужил информационный продукт MOD13Q1 NDVI за 2000-2018 годы (средние за вегетационный сезон данные: 7 апреля – 16 октября). Данные были предварительно перепроцированы из синусоидальной проекции в UTM и сконвертированы в формат GeoTIF. Слой с границами пастбищ был разбит регулярной сеткой 5x5 км. Методами зональной статистики для каждого объекта слоя, полученного на предыдущем этапе, были рассчитаны среднегодовые значения NDVI за 2000-2018 год. Далее методом наименьших квадратов определены коэффициенты линейного тренда для каждого объекта. Также сетка со значениями NDVI была пересечена слоями-масками с границами административных районов и родов ландшафтов [15], что позволило провести статистический анализ распределения NDVI в разрезе муниципальных районов и ландшафтных единиц. Анализ динамики осадков выполнен на основе архива метеоданных CRU TS [16]. Геоинформационная обработка осуществлялась в программе QGIS версий 2.18 и 3.2. В качестве базовой карты для ГИС использованы слои Open Street Map. Статистическая обработка выполнена в программе MS Excel.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате группировки пастбищных земель по муниципальным районам получены данные по площадям пастбищ с различными среднесезонными значениями вегетационного индекса (табл. 1). Наименее продуктивные пастбища расположены в Палласовском

районе области – 46,5% пастбищ области с NDVI 0,4-0,5 и 45% с NDVI 0,3-0,4 приходится на эту территорию. На территории других районов эта категория пастбищных земель представлена в Иловлинском (28,3% и 7% соответственно) и Калачевском (10,4% и 4%) районах. Относительно низкая продуктивность компенсируется здесь большими площадями. Пастбища с NDVI 0,4-0,6 распределены более равномерно: от 3% до 7% на район. Наиболее продуктивные пастбища расположены на северо-западе и западе области, но имеют маленькую площадь из-за высокой доли пашни в структуре агроландшафтов. В Урюпинском районе расположено более 20% пастбищ с NDVI более 0,5, еще от 7 до 15% в Нехаевском, Кумылженском, Алексеевском и Серафимовичском районах.

Интерес представляет распределение пастбищ по продуктивности внутри каждого района. В районах Заволжья преобладают земли с NDVI 0,3-0,4: Ленинский – 94%, Палласовский – 97%, Среднеахтубинский – 92%, Быковский – 75%. Также значительные площади с такой продуктивностью расположены в Дубовском (58%), Городищенском (48%), Иловлинском (54%), Калачевском (60%), Котельниковском (67%), Фроловском (55%), Серафимовичском (51%) и Чернышковском (47%) районах. Значения NDVI 0,4-0,5 наиболее характерны для Городищенского (50%), Даниловского (52%), Дубовского (41%) Камышинского (70%), Клетского (57%), Котовского (61%), Кумылженского (39%), Михайловского (40%), Николаевского (57%), Ольховского (63%), Старополтавского (66%) и Суровикинского (71%) районов. Наиболее продуктивные территории с NDVI более 0,5 характерны для северных районов области: Еланского, Жирновского, Киквидзенского, Нехаевского, Новоаннинского, Новониколаевского и Урюпинского.

Большая часть земель с NDVI 0,2-0,3 относится к типично-степным аллювиально-аккумулятивным ландшафтам, отсюда относительно более низкая продуктивность растительности (например, на Придонских песчаных массивах). Половина всех пастбищ с NDVI 0,3-0,4 относятся к полупустынным морским аккумулятивным равнинам Заволжья. На долю сухостепных лессовых аккумулятивно-денудационных ландшафтов приходится 22% земель с NDVI 0,4-0,5, столько же пастбищ этой категории продуктивности относится к сухостепным ландшафтам смешанного происхождения и типично-степным аллювиально-аккумулятивным вместе взятых.

Таблица 1. Площади пастбищ с разными среднесезонными значениями NDVI в муниципальных районах Волгоградской области

Table 1. Pasture areas with different mean long-term values of NDVI in municipal districts of the Volgograd region

№	Район / District	Площадь, тыс. га / Area, thousand ha					
		NDVI					
		0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8
1	Алексеевский / Alekseevskiy	0,0	0,0	12,7	18,2	4,1	0,1
2	Быковский / Bykovskiy	0,0	40,9	13,6	0,1	0,0	0,0
3	Городищенский / Gorodishchenskiy	0,3	18,5	19,5	0,6	0,0	0,0
4	Даниловский / Danilovskiy	0,0	1,8	10,2	6,6	1,0	0,0
5	Дубовский / Dubovskiy	0,0	35,6	25,3	0,5	0,0	0,0
6	Еланский / Elanskiy	0,0	0,0	1,7	7,3	0,6	0,0
7	Жирновский / Zhirnovskiy	0,0	0,1	12,7	18,6	1,1	0,0
8	Иловлинский / Ilovlinskiy	9,3	89,7	57,0	9,8	0,7	0,0
9	Калачевский / Kalachevskiy	3,4	52,1	29,6	1,1	0,1	0,0
10	Камышинский / Kamyshinskiy	0,0	6,0	35,2	7,9	0,8	0,0
11	Киквидзенский / Kikvidzenskiy	0,0	0,0	0,2	4,3	0,3	0,0
12	Клетский / Kletskiy	0,0	23,7	38,7	5,6	0,3	0,0
13	Котельниковский / Kotel'nikovskiy	0,0	38,6	18,7	0,3	0,0	0,0

14	Котовский / Kotovskiy	0,0	0,0	14,0	8,5	0,4	0,0
15	Кумылженский / Kumylzhenskiy	2,1	15,3	27,8	21,6	4,1	0,1
16	Ленинский / Leninskiy	0,0	51,5	3,2	0,0	0,0	0,0
17	Михайловский / Mikhailovskiy	0,0	9,1	16,5	13,3	1,4	0,0
18	Нехаевский / Nekhaevskiy	0,0	0,0	2,0	46,1	2,6	0,1
19	Николаевский / Nikolaevskiy	0,0	8,8	14,1	1,7	0,0	0,0
20	Новоаннинский / Novoanninskiy	0,0	0,0	2,0	9,1	2,0	0,0
21	Новониколаевский / Novonikolaevskiy	0,0	0,0	0,1	7,5	0,7	0,0
22	Октябрьский / Oktyabr'skiy	0,0	48,1	14,7	0,6	0,0	0,0
23	Ольховский / Ol'khovskiy	0,0	7,1	22,1	4,4	1,4	0,0
24	Палласовский / Pallasovskiy	15,3	585,4	0,1	0,0	0,0	0,0
25	Руднянский / Rudnyanskiy	0,0	0,0	5,3	8,1	1,6	0,0
26	Светлоярский / Svetloyarskiy	0,1	72,9	14,4	0,0	0,0	0,0
27	Серафимовичский / Serafimovichskiy	2,3	73,8	43,5	20,5	5,0	0,1
28	Среднеахтубинский / Sredneakhtubinskiy	0,0	24,0	1,9	0,2	0,0	0,0
29	Старополтавский / Staropoltavskiy	0,0	13,7	29,1	1,0	0,2	0,0
30	Суровикинский / Surovikinskiy	0,0	15,8	44,5	2,0	0,0	0,0
31	Урюпинский / Uryupinskiy	0,0	0,0	5,5	60,8	7,9	0,2
32	Фроловский / Frolovskiy	0,0	32,8	20,5	5,6	0,8	0,0
33	Чернышковский / Chernyshkovskiy	0,0	32,7	35,6	1,3	0,1	0,0

Более продуктивные пастбища с NDVI 0,5-0,6 характерны для лесостепных аллювиально-аккумулятивных ландшафтов, типично-степных лессовых аккумулятивных и смешанного происхождения. Почти половина всех пастбищ с NDVI более 0,6 расположена в лесостепных аллювиально-аккумулятивных ландшафтах. Самыми продуктивными пастбищами являются земли лесостепных ледниково-аккумулятивных ландшафтов – около 80% этих территорий имеют NDVI более 0,6. Большая часть пастбищных земель типично-степных и лесостепных ландшафтов имеют значения NDVI от 0,4 до 0,6. Наименее продуктивны пастбища полупустынных морских, дельтовых аккумулятивных и солончако-

вых аккумулятивных ландшафтов – более 80% их площади характеризуются NDVI 0,3-0,4.

На рисунке 2 показано распределение пастбищных земель по величине коэффициентов линейного тренда многолетней динамики NDVI за исследуемый период. Наибольшие площади с тенденцией к снижению продуктивности пастбищ расположены в Заволжье и на юге области. Рост продуктивности отмечен на пастбищах бассейна и долины Дона [17]. В некоторой степени это связано с увеличением доли кустарников на пастбищных землях, в первую очередь *Eleagnus angustifolia* [18; 19].

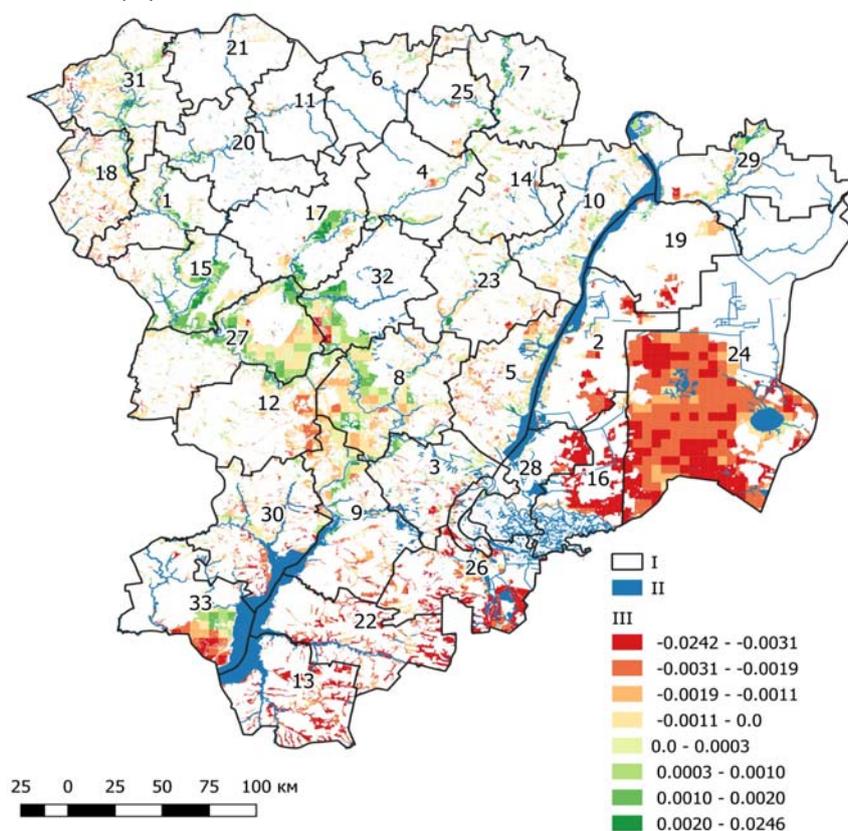


Рисунок 2. Направления динамики продуктивности (NDVI) пастбищ Волгоградской области. I – Границы районов, II – гидрографическая сеть, III – коэффициенты линейных трендов NDVI, 1-33 – номера районов (табл. 1)

Figure 2. Productivity trends (NDVI) of pastures in the Volgograd region. I – District borders, II – hydrographic network, III – coefficients of linear trends NDVI, 1-33 – numbers of individual districts (table 1)

Больше половины всех пастбищ со снижающейся продуктивностью расположены в Палласовском районе, также такие пастбища имеются в Котельниковском, Ленинском и Светлоярском районах. Больше четверти пастбищ с примерно постоянной продуктивностью расположены в Иловлинском и Серафимовичском районах. Земли с самыми высокими темпами роста значений NDVI относятся к Кумылженскому, Михайловскому и Серафимовичскому районам. Это связано с более низкими пастбищными нагрузками в этих районах.

Всего площади с подверженными деградации пастбищами в области составляют приблизительно 1,2-1,5 млн га (около 40% всех земель, которые могут использоваться как пастбища). Наиболее подвержены деградации пастбищные земли Быковского, Котельниковского, Ленинского, Октябрьского, Палласовского, Светлоярского и Среднеахтубинского районов. Безусловно, это связано с ландшафтными особенностями территории.

На всей территории области в 2000-2018 годах отмечается снижение сумм осадков за календарный и гидрологический годы со скоростью от 0,5 до 7 мм в год (рис. 3).

Более 60% всех деградированных пастбищ расположено в полупустынных морских аккумулятивных ландшафтах волгоградского Заволжья, также значительные площади сосредоточены в сухостепных лессо-

во-аккумулятивных ландшафтах (табл. 2). Более половины всех полупустынных пастбищ подвержены деградации: 55% аллювиально-аккумулятивных ландшафтов и от 84% до 97% территорий во всех остальных родах ландшафтов этого типа. Наибольшая скорость деградационных процессов характерна для полупустынных аккумулятивных ландшафтов – NDVI уменьшается на величину до 0,024 в год, что соответствует среднегодовому снижению проективного покрытия на 1,5-2%. Это связано в первую очередь с климатическими изменениями и с многочисленными степными пожарами, которые уничтожают многолетние полукустарнички [20]. В результате доминирует эфемерная растительность, которая имеет меньшие среднегодовые значения продуктивности и (соответственно и NDVI) за счет короткого вегетационного периода.

Аналогичная ситуация с пастбищами в сухостепных ландшафтах: наиболее подвержены деградации сухостепные лессовые аккумулятивные ландшафты, а также пастбища в речных долинах и в аллювиально-аккумулятивных ландшафтах. Скорость роста NDVI стабильно превышает скорость снижения только в лесостепных ландшафтах. Это вызвано недостаточным использованием пастбищ. В типично-степных ландшафтах пастбища деградируют в ледниковых аккумулятивно-денудационных, лессовых аккумулятивно-денудационных и ландшафтах речных долин.

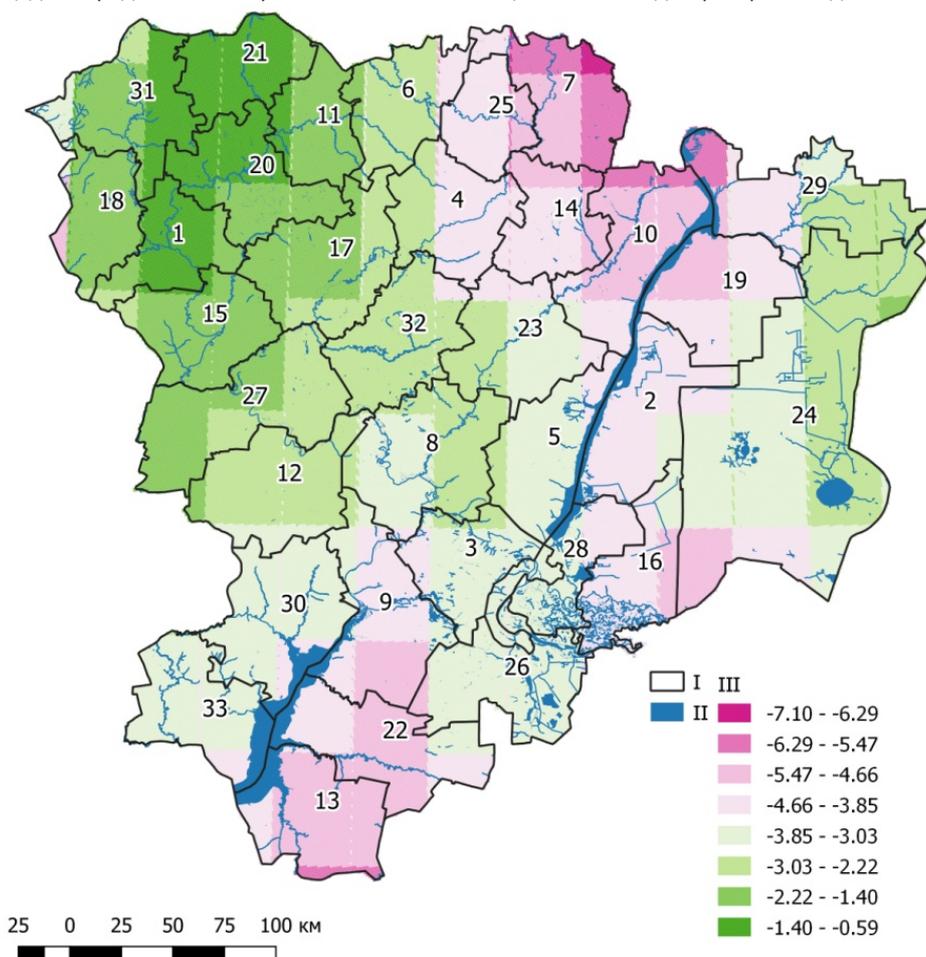


Рисунок 3. Направления и скорость динамики сумм осадков за гидрологический год в 2000-2016 гг. I – границы районов, II – гидрографическая сеть, III – коэффициенты линейных трендов, 1-33 – номера районов (табл. 1)

Figure 3. Precipitation trends in 2000-2016. I – Borders of districts, II – hydrographic network, III – coefficients of linear trends NDVI, 1-33 – numbers of districts (table 1)

Таблица 2. Распределение площадей ландшафтов по направлению динамики NDVI
Table 2. The distribution of landscape areas in the direction of the dynamics of NDVI

Подтип ландшафта Landscape subtype	Род ландшафта Landscape genera	Доля площади ландшафта, % Landscape area, %			
		Снижение NDVI Reduction NDVI	Без изменений NDVI Constant NDVI	Рост NDVI Growth NDVI	
Лесостепные Forest-steppe	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	18,3	34,5	47,2	
	Ледниковые аккумулятивные Glacial accumulative	1,3	0,4	98,3	
Полупустынные Semideserts	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	54,6	18,5	26,9	
	Дельтовые аккумулятивные Delta accumulative	93,2	4,2	2,6	
	Морские аккумулятивные Sea accumulative deposits	97,4	2,0	0,6	
	Солончаковые аккумулятивные Solontchak accumulative	84,1	7,0	9,0	
Сухостепные Dry steppes	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	57,7	21,3	21,0	
	Денудационные структурные Denudational-structural	29,7	30,3	40,0	
	Лессовые аккумулятивно-денудационные Loess accumulative-denudational	48,8	30,1	21,1	
	Лессовые аккумулятивные Loess accumulative	96,4	3,5	0,1	
	Речные долины River valleys	66,2	16,9	16,9	
	Смешанного происхождения Mixed origin	55,0	26,4	18,6	
	Типично-степные (настоящие степи) Typical (true) steppes	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	16,5	23,8	59,7
		Денудационные структурные Denudational-structural	21,0	35,7	43,3
		Эоловые аккумулятивные Eol accumulative deposits	10,5	22,8	66,7
		Ледниковые аккумулятивно-денудационные Glacial accumulative-denudational	45,3	35,6	19,2
Лессовые аккумулятивно-денудационные Loess accumulative-denudational		43,8	26,0	30,2	
Речные долины River valleys		58,4	19,8	21,8	
Смешанного происхождения Mixed origin		36,5	27,0	36,5	

При этом наибольшая скорость изменения увлажнения отмечена на севере (Жирновский, Камышинский, Котовский районы) и юге области (Котельниковский, Октябрьский районы). В Заволжье скорость снижения сумм осадков колеблется от 2 до 6 мм в год. Ухудшение условий увлажнения на фоне роста пастбищных нагрузок на юге и востоке области приводит к снижению продуктивности растительности, показанному выше. На севере области, наоборот, тренды NDVI характеризуют рост продуктивности, что в условиях снижения сумм осадков может свидетельствовать о снижении пастбищных нагрузок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований определены закономерности изменения продуктивности пастбищных ландшафтов Волгоградской области на основе анализа NDVI за 2000-2018 годы. Наименее продуктивные пастбища

расположены в Палласовском районе области – 46,5% пастбищ области с NDVI 0,4-0,5 и 45% с NDVI 0,3-0,4 приходятся на эту территорию. Более 60% всех деградированных пастбищ расположено в полупустынных морских аккумулятивных ландшафтах волгоградского Заволжья, также значительные площади сосредоточены в сухостепных лессово-аккумулятивных ландшафтах. Наибольшая скорость деградационных процессов характерна для полупустынных аккумулятивных ландшафтов – NDVI уменьшается на величину до 0,024 в год, что соответствует уменьшению проективного покрытия на 1,5-2%. Скорость роста NDVI стабильно превышает скорость снижения только в лесостепных ландшафтах. На всей исследуемой территории отмечено снижение сумм осадков за календарный и гидрологический годы в период с 2000 года по настоящее время со скоростью 0,5-7 мм в год. Безусловно, это в наибольшей степени

определяет направление динамики продуктивности ландшафтов.

Для области характерен отрицательный тренд NDVI за период 2000-2018 гг. с коэффициентом пропорциональности -0,0015. Такое маленькое значения связано со значительными колебаниями средневзвешенных значений вегетационного индекса за исследуемый отрезок времени. Среднегодовые значения NDVI слабо колеблются в окрестностях значения 0,4: от 0,37 до 0,43. Такая маленькая амплитуда связана со спецификой динамики состояния растительности в различных ландшафтах. Как было показано выше, в одних и тех же родах ландшафтов идут разнонаправленные процессы деградации/восстановления пастбищ с различной скоростью. Снижение продуктивности растительности в одних типах ландшафтов успешно компенсируется ростом в других, более продуктивных. Именно по этой причине важен пространственный аспект моделирования динамики состояния пастбищных земель: необходимо выделение неблагоприятных ареалов и разработка комплекса мер по восстановлению их продуктивности.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-416-340005.

ACKNOWLEDGMENT

This research was funded by RFBR and the Volgograd Region Administration, project number 18-416-340005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Пугачева А.М. Анализ пастбищных ресурсов Волгоградской области в геоинформационной системе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. N 1. С. 123-130. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-15
2. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Биоклиматическая субгумидная зона на равнинах России: засухи, опустынивание/деградация // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. N 1 (74). С. 13-20.
3. Рябина Н.О., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С. Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология и развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 116-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-116-127
4. Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. Геоморфологические критерии проведения лесомелиорации ландшафтов (на примере Приэльтона) // Геоморфология. 2017. N 2. С. 63-71. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-63-71
5. Ткаченко Н.А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. N 4. С. 171-178. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-24
6. Kouzmina J.V., Treshkin S.E. Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem // Arid Ecosystems. 2014. Iss. 4. P. 142-157. DOI: 10.1134/S2079096114030044
7. 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 Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. N 4. С. 25-32.
8. Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Лапенко Н.Г., Самофал Е.Б., Сторчак И.Г. Возможности дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. N 7. С. 53-66. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66
9. Deering D.W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. Ph. D. Diss. Texas A&M University, College Station, 1978. 338 p.
10. Gao Q.Z., Wan Y.F., Xu H.M., Li Y., Jiangcun W.Z., Borjigidai A. Alpine grassland degradation index and its response to recent climate variability in Northern Tibet, China // Quaternary International. 2010. V. 226. Iss. 1-2. P. 143-150. DOI: 10.1016/j.quaint.2009.10.035
11. Lehnert L.W., Meyer H., Meyer N., Reudenbach Ch., Bendix J. A hyperspectral indicator system for rangeland degradation on the Tibetan Plateau: A case study towards spaceborne monitoring // Ecological Indicators. 2014. V. 39. P. 54-64. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.12.005
12. Тельнова Н.О. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. N 6. С. 97-107. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-97-107
13. Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map // Nature. 2014. V. 514. 434 p. DOI: 10.1038/514434c
14. Рулев А.С., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С. Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. N 4. С. 113-123. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-20-113-123
15. Швиденко А., Щепаченко Д., МакКаллум Я. СД-РОМ «Леса и лесное хозяйство России». Лаксенбург, Австрия: Международный институт прикладного системного анализа и Российская Академия наук, 2007. URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html (дата обращения: 03.04.2019)
16. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // Int. J. Climatol. 2014. V. 34. Iss. 3. P. 623-642. DOI: 10.1002/joc.3711
17. Власенко М.В., Кулик А.К. Современное состояние степной растительности Придонских песчаных массивов // Аграрная Россия. 2017. N 9. С. 22-29.
18. Вдовенко А.В. Специфика формирования лесопастбищных угодий, закустаренных лохом в районе Среднего Дона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. N 2 (38). С. 85-90.
19. Манаенков А.С., Жданов Ю.М., Вдовенко А.В. Реконструкция закустаренных пастбищ балочно-речных долин // Известия Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. N 4 (44). С. 70-76.

20. Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. N 2. С. 98-110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110

REFERENCES

1. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A., Pugacheva A.M. Analysis of pasture resources of Volgograd region in Geoinformation system. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*, 2019, no. 1, pp. 123-130. (In Russian) DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-15
2. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Bioclimatic Subhumid Zone of Russian Plains: Droughts, Desertification, and Land Degradation. *Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]*. 2018, vol. 24, no. 1 (74), pp. 13-20. (In Russian)
3. Ryabinina N.O., Kanishchev S.N., Shinkarenko S.S. The current state and dynamics of geosystems in the south-east of the Russian plain (by the example of the natural parks in Volgograd region). *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 116-127. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-116-127
4. Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. Geomorphological criteria in agroforestry: Lake Elton area (SE Russian plain) case study. *Geomorfologiya*, 2017, no. 2, pp. 63-71. (In Russian) DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-63-71
5. Tkachenko N.A. Droughts and yield of cereal crops in Volgograd region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*, 2018, no. 4, pp. 171-178. (In Russian) DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-24
6. Kouzmina J.V., Treshkin S.E. Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem. *Arid Ecosystems*, 2014, iss. 4, pp. 142-157. DOI: 10.1134/S2079096114030044
7. Kulik K.N., Esmagulova B.Zh., Kosheleva O.Yu., Mushaeva K.B., Shinkarenko S.S. Phytocenoses change of the area between Volga and Ural under the influence of grazing loads. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]*. 2016, no. 4, pp. 25-32. (In Russian)
8. Eroshenko F.V., Bartalev S.A., Lapenko N.G., Samofal E.V., Storchak I.G. Capabilities for rangelands state and degradation assessment using remote sensing data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2018, vol. 5, no. 7, pp. 53-66. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66
9. Deering D.W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors, Ph.D. Diss., Texas A&M University, College Station, 1978, 338 p.
10. Gao Q.Z., Wan Y.F., Xu H.M., Li Y., Jiangcun W.Z., Borjigidai A. Alpine grassland degradation index and its response to recent climate variability in Northern Tibet, China. *Quaternary International*, 2010, vol. 226, iss. 1-2, pp. 143-150. DOI: 10.1016/j.quaint.2009.10.035
11. Lehnert L.W., Meyer H., Meyer N., Reudenbach Ch., Bendix J. A hyperspectral indicator system for rangeland degradation on the Tibetan Plateau: A case study towards spaceborne monitoring. *Ecological Indicators*, 2014, vol. 39, pp. 54-64. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.12.005
12. Telnova N.O. Revealing and mapping long-term NDVI trends for the analysis of climate change contribution to agroecosystems' productivity dynamics in the Northern Eurasian forest-steppe and steppe. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2017, vol. 14, no. 6, pp. 97-107. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-97-107
13. Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map. *Nature*, 2014, vol. 514, 434 p. DOI: 10.1038/514434c
14. Rulev A.S., Kanishev S.N., Shinkarenko S.S. Analysis of NDVI seasonal dynamics of natural vegetation of Low Trans-Volga in Volgograd Region. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2016, vol. 13, no. 4, pp. 113-123. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-20-113-123
15. Shvidenko A., Shchepashchenko D., MakKallum Ya. *SD-ROM «Les i lesnoe khozyaistvo Rossii» [SD-ROM «Forests and Forestry in Russia»]*. Laxenburg, 2007. (In Russian) Available at: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html (accessed 03.04.2019)
16. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 2014, vol. 34, iss. 3, pp. 623-642. DOI: 10.1002/joc.3711
17. Vlasenko M.V., Kulik A.K. Modern State of the Steppe Vegetation of the Don Sand Massifs. *Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]*. 2017, no. 9, pp. 22-29. (In Russian)
18. Vdovenko A.V. The specifics of the formation of oleaster shrubs pastures in the area of the Middle Don. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education]*. 2015, no. 2 (38), pp. 85-90. (In Russian)
19. Manaenkov A.S., Zhdanov Yu.M., Vdovenko A.V. Reconstruction of shrub pastures of river-valleys. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education]*. 2016, no. 4 (44), pp. 70-76. (In Russian)
20. Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N. Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd Region. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2019, vol. 16, no. 2, pp. 98-110. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Станислав С. Шинкаренко проводил работы по геоинформационному моделированию. Ольга Ю. Кошелева участвовала в разработке карты ГИС, а также определи-

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Stanislav S. Shinkarenko conducted work on geoinformation modeling. Olga Yu. Kosheleva participated in the development of GIS and also determined the scientific design of the

ла научный дизайн статьи и её оформление. Денис А. Солодовников принимал участие в анализе ландшафтных условий региона и их влияния на продуктивность, также проводил корректировку рукописи до поступления в редакцию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

article and its layout. Denis A. Solodovnikov participated in the analysis of the landscape conditions of the region and their impact on productivity and also reviewed the manuscript before submission to the editor. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

ORCID

Станислав С. Шинкаренко / Stanislav S. Shinkarenko <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

Ольга Ю. Кошелева / Olga Yu. Kosheleva <https://orcid.org/0000-0002-9616-2383>

Денис А. Солодовников / Denis A. Solodovnikov <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>