

## Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае

**Валерия Витальевна Дорошенко** ✉, м.н.с., doroshenko-vv@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-3253-1132, лаборатория геоинформационного моделирования и картографирования агроресоландшафтов – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

В настоящей статье представлены результаты геоинформационного анализа пространственного развития процессов опустынивания на северо-востоке Ставропольского края – в Левокумском муниципальном районе и Нефтекумском городском округе. Резкий рост интенсивности этих процессов требует изучения, оценки и прогнозирования для своевременного принятия мер по предотвращению или смягчению последствий для деятельности человека. В рамках исследования проведено визуальное дешифрирование растровых данных космической съемки (Sentinel с пространственным разрешением 10 м и Landsat с пространственным разрешением 30 м) за период с 1990 по 2020 гг. с интервалом 10 лет. Полученные электронные карты проанализированы в среде геоинформационного программного обеспечения «QGIS 3.4», в статье приведены количественные данные по числу и площадям очагов опустынивания. Проведен анализ климатических условий и пастбищной нагрузки как факторов развития процессов опустынивания. Выявленные объекты концентрируются в восточной части территории исследования, граничащей с Республиками Калмыкия и Дагестан. В 2020 году выявлен значительный рост занятых песками площадей (до 40 раз по сравнению с 2010 годом), связанный с интенсивными песчаными бурями на территории сопредельных субъектов РФ. На основании векторных данных дешифрирования составлены схемы пространственного распределения очагов опустынивания и карта-схема динамики роста очагов опустынивания.

**Ключевые слова:** Ставропольский край, опустынивание, ГИС-технологии, геоинформационный анализ, дистанционное зондирование.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100311-3, НИР № 122020100405-9, НИР № 122020100406-6.

Поступила в редакцию: 10.08.2022

Принята к печати: 31.08.2022

Оперативное камеральное картографирование опустыненных участков с использованием данных дистанционного зондирования Земли позволяет с высокой скоростью и достаточной точностью определять области, наиболее подверженные интенсивным процессам опустынивания, при относительно низких трудозатратах. Геоинформационный анализ данных космической съемки позволяет составлять прогнозы дальнейшего развития процессов опустынивания и планировать как полевые исследования, так и меры по предупреждению или сокращению нега-

тивного влияния опустынивания на исследуемую территорию.

В Ставропольском крае наблюдается рост интенсивности распространения процессов опустынивания и значительное увеличение площадей, занятых песками, чем обусловлена актуальность исследования (рис. 1). Северо-восточная часть Ставропольского края активно используется в сельскохозяйственных целях, в частности, для скотоводства, увеличение площади песков оказывает значительное влияние на эффективность этой деятельности [2, 5].



Рисунок 1 – Распространение песков в Нефтекумском районе (по состоянию на 2022 г., 44.8170 с.ш., 45.6144 в.д.)

Основная часть территории исследования имеет небольшие уклоны и находится на территории Кумо-Манычской впадины и Терско-Кумской низменности. В равнинной части Ставропольского края среднемноголетнее годовое количество осадков составляет 300-500 мм, но в последние годы отмечаются засухи, что в комплексе с повышением среднегодовых температур является благоприятным условием для роста площадей опустынивания [3].

Целью данного исследования являлось выявление очагов опустынивания и занятых песками площадей и их развития в северо-восточной части Ставропольского края.

Для выявления динамики процессов опустынивания в области исследования были поставлены следующие задачи: выполнить ретроспективное дешифрирование материалов космической съемки высокого пространственного разрешения для выявления площадей, занятых песками, и очагов опустынивания; проанализировать результаты дешифрирования с применением геоинформационных и статистических методов.

**Материалы и методика исследований.** Областью интересов являлась северо-восточная часть Ставропольского края, граничащая с Республиками Калмыкия и Дагестан, исследование проводилось на территории Левокумского муниципального района и Нефтекумского городского округа. Зона исследования характеризуется плоским рельефом и недостатком защитных лесных насаждений, то есть, отсутствием препятствий для эоловой эрозии и распространения пыльных и песчаных бурь [4, 11]. Для оценки климатических характеристик области исследования были использованы данные метеорологической станции в г. Буденновск, располагающейся в прилегающем муниципальном районе в аналогичных климатических условиях.

Муниципальные районы в области исследования по сельскохозяйственной специализации являются преимущественно животноводческими.

Учитывая имеющиеся в свободном доступе материалы дистанционного зондирования Земли, для экспертного дешифрирования визуальным способом были выбраны мультиспектральные космические со спутниковых аппаратов Sentinel (пространственное разрешение – 10 м) и Landsat (пространственное разрешение – 30 м).

Для выявления песков было составлено композитное изображение (мозаика снимков) с использованием спектральных каналов, соответствующих представлению в естественных цветах. Комбинация каналов «естественные цвета» демонстрирует достаточную контрастность изображения для дешифрирования растительности (травянистой и древесной), распаханых и голых земель, участков, занятых песками, солончаков визуальным способом без применения спектральных расшифровок (рис. 2). В целях обеспечения максимально возможной для доступного пространственного разрешения контрастности изображения использовались

космические снимки за вторую декаду августа, что соответствует рамкам вегетационного периода для выбранной территории [6, 7, 8, 10].

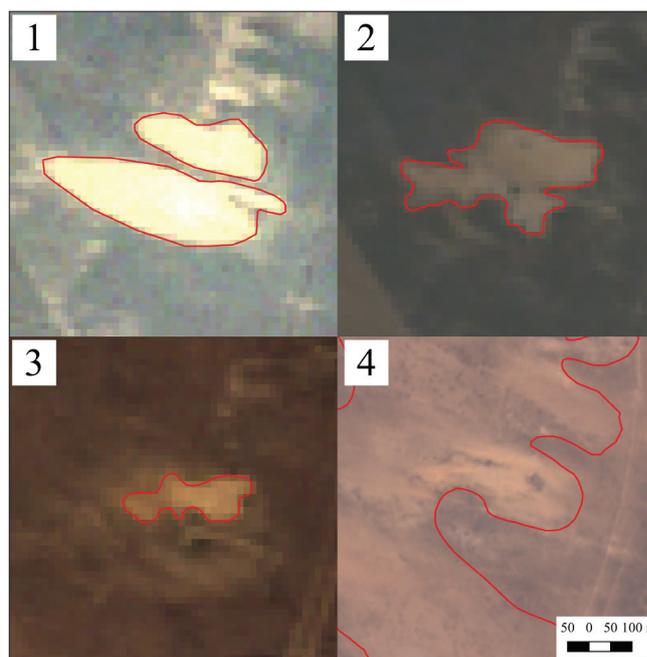


Рисунок 2 – Отдельный очаг опустынивания на космических снимках различных КА: 1. Landsat 1-5 (1990); 2. Landsat 1-5 (2000); 3. Landsat 7 (2010); 4. Sentinel 2 (2020) (45.1420 с.ш., 45.2991в.д.)

Важным аспектом дешифрирования песчаных территорий является отделение очагов опустынивания от солончаков, сорочных понижений и пересыхающих соленых озер, распространенных в зоне исследования. Пески дифференцируются от иных похожих по цвету объектов по внутренней структуре и вытянутой форме, соответствующей направлению господствующих ветров в данной области [1].

Дешифрирование проводилось с временным интервалом космической съемки в 10 лет (с 1990 года по 2020 год).

Для дешифрирования визуальным способом использовались прямые дешифровочные признаки: цвет – яркий, светлый, от белого до желтого; структура – материалы сверхвысокого пространственного разрешения (при соответствующей настройке отображения спектральных характеристик в среде геоинформационного ПО) позволяют выделить отдельные дюны на значительных по площади песчаных участках как вытянутые объекты с более светлым тоном, отбрасывающие тень сопоставимой формы.

Выделенные по результатам дешифрирования объекты вносились в векторный слой. Для отслеживания динамики площади, перемещения очага и развития его структуры каждому объекту присваивался идентификационный номер.

Для проведения анализа территория области исследования была разбита на регулярные ячейки со сторонами, равными 5 км. С помощью геоинформационного ПО в атрибутивную таблицу

каждой ячейки были внесены данные о площади занятых песками участков, дифференцированные в соответствии с годом выявления.

Обработка растровых материалов космической съемки, создание и редактирование материалов в векторном формате, геоинформационный анализ, а также формирование картографических материалов по результатам исследования проводились в среде геоинформационного программного обеспе-

чения «QGIS 3.4». Статистическая обработка данных проводилась в MS «Excel 2016».

**Результаты и обсуждение.** По результатам дешифрирования выявлено 187 очагов опустынивания и занятых песками участков на территории Левокумского муниципального района и 530 – на территории Нефтекумского городского округа. Обобщенные количественные результаты дешифрирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественные результаты дешифрирования очагов опустынивания

Показатель / Год	1990	2000	2010	2020
Общая площадь песков, км <sup>2</sup>	5,4	11,4	14,1	561,6
Средняя площадь очага, км <sup>2</sup>	0,09	0,08	0,56	0,78
Количество очагов	56	138	215	717
Изменение площади песков (%)	-	211,1	123,7	3 982,9

Все очаги опустынивания и занятые песками участки располагаются в восточной части области исследования, на территориях, граничащих с Республиками Калмыкия и Дагестан. Взрывной рост как средней площади очага, так и общей площади занятых песками участков в интервале 2010-2020 гг. связан с интенсивными песчаными бурями на прилегающих территориях [3, 5, 6, 8, 10]. В пери-

од с 2010 по 2020 год увеличение общей площади занятых песками территорий составило 547,5 (40 раз). Несмотря на большое количество крупных объектов по состоянию на август 2020 года, средняя площадь очага остается невысокой за счет распространения множества небольших по площади очагов на территории Нефтекумского муниципального района – из 530 выявленных объектов

509 имеют площадь менее 1 км<sup>2</sup>. Образование крупных участков, занятых песками, является результатом масштабных пыльных бурь, накрывших юг европейской части России с мая по октябрь 2020 года [9]. Минимальная площадь дешифрируемого объекта составила 1 749 (Нефтекумский городской округ, 2000 год), наибольший выявленный объект имел площадь 132,1 (Левокумский муниципальный район, 2020 год). В ячейках регулярной сети площади занятых песками участков ранжируются от 2 954 до 24,3. С использованием векторных данных, полученных по результатам дешифрирования материалов космической съемки, составлена схема пространственного распределения очагов опустынивания (рис. 3).



Рисунок 3 – Схема пространственного распределения очагов опустынивания по состоянию на: 1. 1990 год; 2. 2000 год; 3. 2010 год; 4. 2020 год.

По результатам последовательного дешифрирования данных космической съемки с интервалом в 10 лет составлена карта-схема динамики роста площади очагов опустынивания (рис. 4) с использованием ячеек регулярной сети со стороной 5 км, окрашенных в соответствии с процентным соотношением изменения площадей участков, занятых песками, по состоянию на 2020 год к году первичного выявления объекта. В отдельный класс выделены ячейки, в которых первичное выявление объекта относится к интервалу 2010-2020 гг.

Характер распространения песков в период с 1990 по 2010 год соответствует последствиям антропогенного воздействия, в частности, выпаса скота. Очаги являются точечными, имеют небольшие площади и расположены на значительном расстоянии друг от друга. Подобные очаги опустынивания стабильны и медленно увеличиваются по площади [3, 10].

Для учета влияния выпаса овец и коз на интенсификацию процессов опустынивания получены

статистические данные о величинах поголовья скота за период с 2010 по 2020 год (табл. 2).

Таблица 2 – Поголовье овец и коз по муниципальным районам

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Нефтекумский городской округ	496085	529911	-	664907	663084	628337	607026	592275	568559	546220	445011
Левокумский муниципальный район	598053	602906	-	594397	541626	504981	471557	391777	395308	398735	356062

Снижение поголовья овец и коз в области исследования может свидетельствовать о сокращении пастбищных угодий [8, 9, 10]. В то же время, интенсивный выпас на сопредельных территориях может приводить к образованию больших участков, лишенных растительности, и способствовать золотому переносу песков. Наблюдается рост среднегодовых температур на фоне снижения годового количества осадков, таким образом, создаются благоприятные условия для дальнейшего распространения процессов опустынивания в зоне исследования. По количественным данным о среднегодовых температурах воздуха и годовых осадках за период с 1990 по 2020 год составлен график и рассчитаны тренды этих показателей (рис. 5).

После 2010 года значительно возрастает средняя площадь очага, форма очагов из округлой становится вытянутой в соответствии с преобладающим направлением ветров на востоке Ставропольского края, что сигнализирует о значитель-

ном влиянии песчаных бурь и переноса песков на состояние очагов в области исследования.

Увеличение занятых песками площадей способствует формированию пыльных и песчаных бурь и, как следствие, дальнейшему росту наносных песков, что позволяет прогнозировать рост площадей песков с течением времени.

**Заключение.** В результате последовательной геоинформационной обработки данных космической съемки за 30 лет выявлен взрывной рост площадей, занятых песками (до 40 раз). Векторные и статистические данные достоверно отражают реальную ситуацию и могут быть обновлены для оценки качества составленных прогнозов.

Характерная форма занятых песками участков позволяет предположить, что основным фактором, влияющим на значительное увеличение песчаных площадей в последнее десятилетие, являются песчаные бури. Влияние пастбищной нагрузки непосредственно в зоне исследования представляется незначительным, но выявленный тренд к ариди-

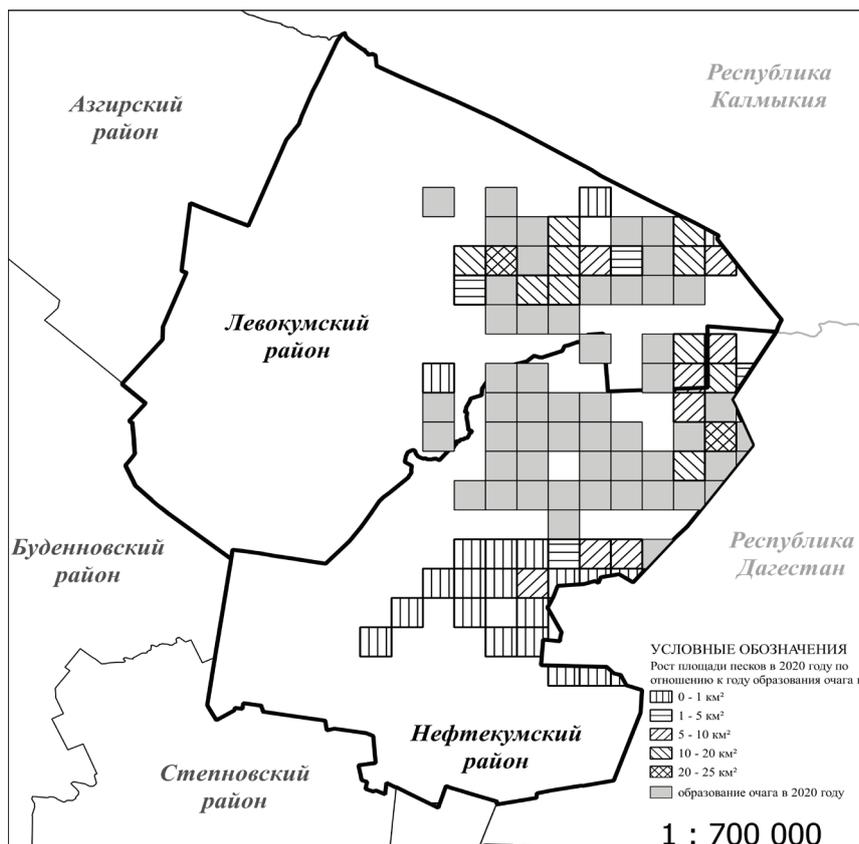


Рисунок 4 – Карта-схема динамики роста площади очагов опустынивания

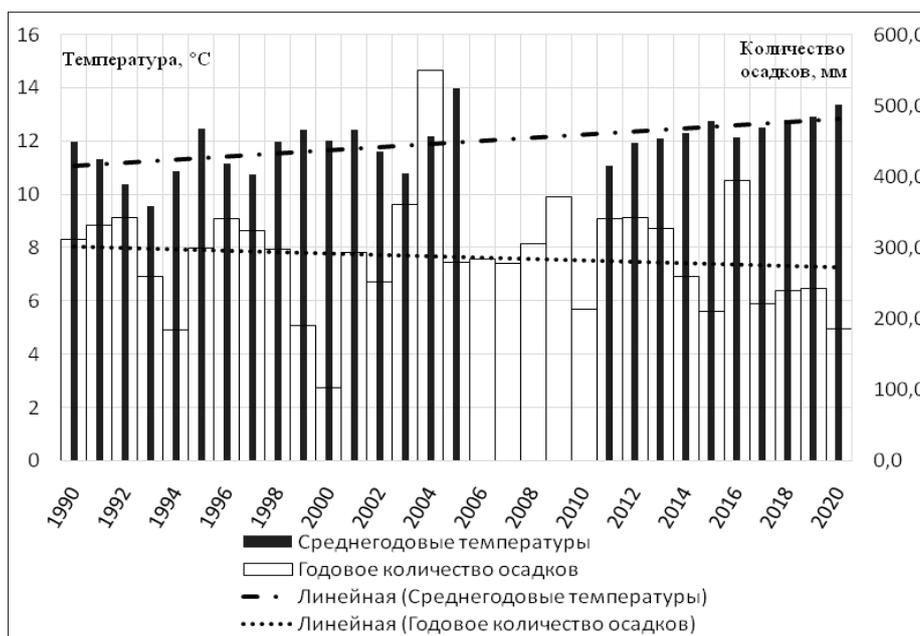


Рисунок 5. Динамика годового количества осадков и среднегодовых температур по данным метеостанции г. Буденновск

зации климата в регионе и повышенная пастбищная нагрузка на сопредельные территории способствуют формированию условий для эолового переноса песков.

Полученные в результате обработки и дешифрирования растровых материалов векторные данные станут основой последующего изучения развития процессов опустынивания и факторов, влияющих на них, с использованием как камеральных, так и полевых методов. Полученные материалы могут быть использованы при планировании мелиоративных мероприятий по борьбе с развитием процессов опустынивания.

#### Литература:

1. Бадахова Г.К. Ставропольский край: современные климатические условия. – Ставрополь: ГУП СК "Краевые сети связи". 2007. 272 с.
2. Кулик К.Н. Агроресомелиоративное картографирование и фитозоологическая оценка аридных ландшафтов. – Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
3. Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ опустынивания северо-западного Прикаспия. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2(83). С. 16-24.
4. Лошаков А.В., Хасай Н.Ю. Мониторинг качественного состояния защитных лесных насаждений Ставропольского края. International agricultural journal. 2020. Т.63. № 5. С. 13.
5. Савич В.И., Саидов А.К. Влияние антропогенного воз-

действия на опустынивание почв Кизлярских пастбищ Дагестана. Закономерности изменения почв при антропогенных воздействиях и регулирование состояния и функционирования почвенного покрова. 2011. С.147-151.

6. Стасюк Н.В., Добровольский Г.В., Залибеков З.Г. и др. Оценка деградации и опустынивания почвенного покрова северного равнинного Дагестана. Экология. 2004. № 3. С. 172-178.

7. 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. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т.18. № 1. С. 149-164. DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164>.

8. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т.18. № 4. С. 291-297. DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.

9. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Последствия пыльных бурь на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 г. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т.17. №7. С. 270-275.

10. Шинкаренко С.С. Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155-168.

11. Gabriels D., Cornelis W.M., Eyletters M., Hollebosch P. Combating desertification. Monitoring, adaptation and restoration strategies. 2008. P. 207.

DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36

## Geoinformation Analysis of the Desertification Processes Development in the Stavropol Region

Valeria V. Doroshenko ✉, doroshenko-vv@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-3253-1132, Junior Researcher of the Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes – Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology of the RAS), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Universitetskii Prospekt 97, Volgograd, Russia

**Abstract.** This article presents the results of a geoinformation analysis of the spatial development of desertification processes in the north-east of the Stavropol Territory – in the Levokumsky municipal district and the Neftekumsky urban district. A sharp increase in the intensity of these processes requires studying, assessment and forecasting in order to take timely measures to prevent or mitigate the consequences for human activity. As part of the study, the visual decoding of satellite imagery raster data (Sentinel with a spatial resolution of 10 m and Landsat with a spatial resolution of 30 m) was carried out for the period from 1990 to 2020 with an interval of 10 years. The obtained electronic maps were analyzed in the environment of the geoinformation software «QGIS 3.4», the article provides quantitative data on the number and areas of desertification foci. The analysis of climatic conditions and pasture load as factors of the desertification processes development is carried out. The identified objects are concentrated in the eastern part of the study area bordering the Republics of Kalmykia and Dagestan. In 2020, a significant increase in the areas occupied by sand was revealed (up to 40 times compared to 2010), associated with intense sandstorms on the territory of neighboring subjects of the Russian Federation. Based on the vector data of decoding, desertification foci spatial distribution schemes and a map-scheme of the desertification foci growth dynamics are compiled.

**Keywords:** Stavropol Territory, desertification, GIS technologies, geoinformation analysis, remote sensing

This work was carried out within the framework of the state task of research in the FSC of Agroecology RAS № 122020100311-3, НИР № 122020100405-9, НИР № 122020100406-6.

Received: 10.08.2022

Accepted: 31.08.2022

### References:

1. Badakhova G.K. *Stavropol'skij kraj: sovremennye klimaticheskie usloviya* [Stavropol Region: contemporary climatic conditions]. Stavropol'. State Unitary Enterprise of Stavropol' Region "Kraevye seti svyazi" Publ. house. 2007. 272 p.
2. Kulik K.N. *Agrolesomeliativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes]. Volgograd. VNIALMI Publ. house. 2004. 248 p.
3. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G. et al. *Geoinformatcionnyj analiz opustynivaniya severo-zapadnogo Prikaspiya* [Geoinformation analysis of north-western Near-Caspian Region desertification]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems].

2020. T. 26. 2(83). pp. 16-24.

4. Loshakov A.V., Khasaj N.Yu. *Monitoring kachestvennogo sostoyaniya zashchitnykh lesnykh nasazhdenij Stavropol'skogo kraja* [Monitoring of the Stavropol Region protective forest plantations qualitative state]. *International Agricultural Journal*. 2020. T. 63. 5. p. 13.

5. Savich V.I., Saidov A.K. *Vliyanie antropogenogo vozdeystviya na opustynivaniye pochv Kizlyarskikh pastbishch Dagestana* [Influence of anthropogenic impact on soil desertification of Kizlyar pastures of Dagestan]. *Zakonomnosti izmeneniya pochv pri antropogennykh vozdeystviyakh i regulirovaniye sostoyaniya i funkcionirovaniya pochvennogo pokrova* [Patterns of soil changes under anthropogenic influences and regulation of the soil cover state and functioning]. 2011. pp. 147-151.

6. Stasyuk N.V., Dobrovol'skij G.V., Zalibekov Z.G. et al. *Otsenka degradatsii i opustynivaniya pochvennogo pokrova severnogo ravninnogo Dagestana* [Assessment of degradation and desertification of the northern Dagestan flatland soil cover]. *Ekologiya* [Ecology]. 2004. 3. pp. 172-178.

7. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengaliev A.N., Komarova I.A. *Dinamika gorimosti aridnykh landshaftov Rossii i sopredel'nykh territorij po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya* [The arid landscapes of Russia and adjacent territories burnability dynamics according to the data of active burning detection]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of the Earth remote sensing from space]. 2021. T. 18. 1. pp. 149-164. DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164>.

8. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. *Otsenka ploshchadi opustynivaniya na yuge evropejskoj chasti Rossii v 2021 g* [Desertification area assessment in the south of the European part of Russia in 2021]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of the Earth remote sensing from space]. 2021. T. 18. 4. pp. 291-297. DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.

9. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. *Posledstviya pyl'nykh bur' na yuge evropejskoj chasti Rossii v sentyabre-oktyabre 2020 g* [Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September-October 2020]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of the Earth remote sensing from space]. 2021. T. 17. 7. pp. 270-275.

10. Shinkarenko S.S. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika opustynivaniya na Chernykh zemlyakh* [Spatio-temporal dynamics of desertification on Black lands]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of the Earth remote sensing from space]. 2019. T. 16. 6. pp. 155-168.

11. Gabriels D., Cornelis W.M., Eyletters M., Hollebosch P. *Combating desertification. Monitoring, adaptation and restoration strategies*. 2008. p. 207.

**Цитирование.** Дорошенко В.В. Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае // Научно-агрономический журнал. 2022. №3(118). С. 31-36. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Citation.** Doroshenko V.V. Geoinformation Analysis of the Desertification Processes Development in the Stavropol Region. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 3(118). pp. 31-36. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36

**Author's contribution.** Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

**Conflict of interest.** Author declare no conflict of interest.