

УДК: 631.47

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367

А.Н. Берденгалиева<sup>1</sup>, С.С. Шинкаренко<sup>2</sup>, А.А. Выприцкий<sup>3</sup>

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОРОВЫХ ПониЖЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРИКАСПИИ

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются результаты картографирования соровых понижений Сарпинской низменности на основе геоинформационных технологий и спутниковых данных Sentinel-2. Территория исследований подвержена процессам опустынивания, которые выражаются в снижении продуктивности и сомкнутости растительного покрова вплоть до полного его уничтожения в результате неконтролируемых пастбищных нагрузок и климатических флуктуаций. Последствием этих процессов является рост площадей подвижных песков, интенсификация пыльных бурь и экономические потери. По этим причинам крайне важно своевременно определять очаги опустынивания для принятия мер по ограничению пастбищных нагрузок на них и проведению фитомелиорации. Для мониторинга процессов опустынивания широко используются спутниковые данные. Однако практически никак не учитывается наличие естественных участков, лишенных растительного покрова в силу своего генезиса, – солончаков и соров. Отнесение этих категорий к опустыниванию некорректно, по этой причине они должны быть картографированы отдельно и в дальнейшем не учитываться. Соры (соровые понижения) – замкнутая аридная бессточная форма рельефа с временным пересыхающим водоемом. Площадь соровых понижений постоянна, меняется только соотношение площадей воды, солевой корки, грязи и растительности по периферии. По мере высыхания воды и образования белой солевой корки в течение вегетационного сезона альbedo поверхности соров возрастает, из-за чего они могут быть отнесены к землям, подверженным опустыниванию при классификации спутниковых изображений. Всего в результате работы определено около 7 тыс. объектов: соров, солончаков и пересохших ильменей общей площадью 143 тыс. га. Больше половины от общей доли всех понижений имеет вытянутую форму в субширотном направлении. Преобладают соровые понижения глубиной 1–2 м по сравнению с окружающим пространством. Также имеются солончаки, которые не выражены в рельефе или возвышаются до 1 м над окрестностями. Полученные результаты могут использоваться в геоморфологических и почвенных исследованиях, а также позволят более точно осуществлять спутниковый мониторинг процессов опустынивания в регионе.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дистанционное зондирование, Калмыкия, Астраханская область, соры, опустынивание

<sup>1</sup> Федеральний научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, пр. Университетский, 97, 400062, Волгоград, Россия, *e-mail*: [berdengaliev-an@vfanc.ru](mailto:berdengaliev-an@vfanc.ru)

<sup>2</sup> Федеральний научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, пр. Университетский, 97, 400062, Волгоград, Россия, *e-mail*: [shinkarenkos@vfanc.ru](mailto:shinkarenkos@vfanc.ru)

<sup>3</sup> Федеральний научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, пр. Университетский, 97, 400062, Волгоград, Россия, *e-mail*: [vyprickiy-a@vfanc.ru](mailto:vyprickiy-a@vfanc.ru)

Asel N. Berdengalieva<sup>1</sup>, Stanislav S. Shinkarenko<sup>2</sup>, Artem A. Vypritskiy<sup>3</sup>

## GEOINFORMATION MAPPING OF SOR DEPRESSION IN THE NORTHWESTERN CASPIAN

### ABSTRACT

The article discusses the results of mapping sor depressions in the Sarpinskaya lowland based on geoinformation technologies and Sentinel-2 satellite data. The research area is subject to desertification processes, which are expressed in a decrease in the productivity and density of vegetation up to its complete destruction as a result of uncontrolled pasture loads and climatic fluctuations. The consequence of these processes is an increase in the area of shifting sands, intensification of dust storms and economic losses. For these reasons, it is extremely important to timely determine the centers of desertification in order to take measures to limit pasture loads on them and carry out phytomelioration. Satellite data are widely used to monitor desertification processes. However, the presence of natural areas devoid of vegetation due to their genesis – solonchaks and sors – is practically not considered. Attributing these categories to desertification is incorrect; for this reason, they should be mapped separately and not considered in the future. Sory (sor depressions) is a closed arid drainless landform with a temporary drying up reservoir. The area of sor depressions is constant; only the ratio of areas of water, salt crust, mud, and vegetation along the periphery changes. As the water dries up and forms a white salt crust during the growing season, the albedo of the sor surface increases, due to which they can be classified as lands subject to desertification in the classification of satellite images. In total, as a result of the work, about 7 thousand objects were identified: sors, solonchaks and dry ilmens with a total area of 143 thousand hectares. More than half of the total share of all depressions has an elongated shape in the sublatitudinal direction. Sor depressions with a depth of 1–2 m predominate compared to the surrounding area. There are also salt marshes that are not expressed in relief or rise up to 1 m above the surroundings. The results obtained can be used in geomorphological and soil studies and will also allow more accurate satellite monitoring of desertification processes in the region.

**KEYWORDS:** remote sensing, Kalmykia, Astrakhan region, sors, desertification

### ВВЕДЕНИЕ

Соровое понижение (сор) – замкнутая аридная бессточная форма рельефа с временным пересыхающим водоемом, в условиях Северо-Западного Прикаспия имеющая полигенетическое происхождение [Пищулов, 2013а]. В регионе исследований на эоловой равнине преобладают соры овальной формы, на морской аккумулятивной равнине формы более сложные: руслоподобный вид в районе ильменно-бугровых ландшафтов [Gonikov, 2019] и овальный на полого-волнистом подтипе рельефа [Пищулов, 2013б]. Соры возникают при относительно близком залегании грунтовых вод, что в аридном климате приводит к солончакообразованию [Пищулов, 2013а; Твердохлебов, 2003]. Как правило, соры лишены растительного покрова, только *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. Vieb. способен выдерживать сильное засоление и встречается на незаливаемой водой периферии солончаков [Уланова, 2004]. В более северных районах Прикаспия понижения, наоборот, имеют лучшие условия для растительности, там возможно создание древесно-кустарниковых насаждений [Рулёв и др., 2017].

<sup>1</sup> Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Universitetsky pr., 97, 400062, Volgograd, Russia, e-mail: [berdengalieva-an@vfanc.ru](mailto:berdengalieva-an@vfanc.ru)

<sup>2</sup> Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Universitetsky pr., 97, 400062, Volgograd, Russia, e-mail: [shinkarenkos@vfanc.ru](mailto:shinkarenkos@vfanc.ru)

<sup>3</sup> Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Universitetsky pr., 97, 400062, Volgograd, Russia, e-mail: [vypritskiy-a@vfanc.ru](mailto:vypritskiy-a@vfanc.ru)

Территория региона исследований подвержена процессам опустынивания [Шинкаренко, 2019; Kulik et al., 2015], крайним проявлением которого является рост площадей открытых песков и котловин выдувания [Шинкаренко, Барталев, 2020; Kulik et al., 2013]. Лишенные растительного покрова земли достаточно точно идентифицируются по спутниковым изображениям как на основе спектрально-отражательных характеристик инфракрасного диапазона и вегетационных индексов [Шинкаренко, 2019], так и при анализе спутниковых снимков в комбинации каналов видимого диапазона [Kulik et al., 2013]. Но разделение земель, лишенных растительного покрова в процессе опустынивания, и сорных понижений, солончаков, на которых отсутствует растительный покров в силу естественных причин, затруднено. Поэтому соры могут быть отнесены к очагам опустынивания, если их специально не выделять. Например, в работах по анализу опустынивания в Северо-Западном [Kulik et al., 2020] и Северном Прикаспии [Zolotokrylin, Titkova, 2011] соры и солончаки не выделены в отдельный класс, поэтому могли быть отнесены к очагам опустынивания, поскольку их альbedo меняется от более низкого, когда они заполнены водой, до более высокого по мере высыхания.

Целью исследования является картографирование сорных понижений и солончаков, определение их площадей и пространственного распределения в пределах Сарпинской низменности. Это позволит уточнить оценки антропогенного опустынивания территории Северо-Западного Прикаспия за счет вычитания земель, лишенных растительного покрова из-за естественных причин.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Картографирование солончаков, сорных понижений и водоемов осуществлялось на основе экспертного дешифрирования спутниковых изображений Sentinel-2 разрешения 10 м в комбинации спектральных каналов «естественные цвета» (каналы 4, 3, 2). Выбор экспертного дешифрирования связан с наличием объектов, близких по спектрально-отражательным характеристикам к солончакам и сорам – массивов открытых песков [Шинкаренко, 2019; Шинкаренко, Барталев, 2020] и водоемов [Шинкаренко и др., 2021]. В весенний период соры бывают залиты водой, в течение теплого сезона вода высыхает, и поверхность покрывается белой солевой коркой [Уланова, 2003; Shumova, 2020]. В отдельные засушливые годы наполнения водой может не происходить (рис. 1). По этой причине нет универсального индекса для идентификации поверхностей сорных понижений. В регионе расположен ряд искусственных и естественных постоянных водоемов [Настинова, Сангаджиев, 2014; Сангаджиев и др., 2021; Уланова, 2011; Уланова, 2015], которые были картографированы отдельно. Также к сорам были отнесены полностью пересохшие водоемы Западных подстепных ильменей [Шинкаренко и др., 2021; Holzel et al., 2002].

Данные получены с помощью сервиса Вега [Барталев и др., 2012], функционирующего в рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» [Лупян и др., 2015]. Границы полигонов также уточнялись по данным сверхвысокого разрешения Google Earth. Высотные отметки определялись по данным SRTM разрешения 1 секунда [Farr et al., 2007]. За высотную отметку объектов принималось значение высоты, соответствующее большинству пикселей внутри границы (majority), определяемому с помощью инструмента зональной статистики. Глубина понижений рассчитывалась как разница между отметкой окружающего пространства в радиусе 500 м и отметкой понижения. Широтная и меридиональная протяженность определялись на основе отношения разницы широт и долгот крайних точек полигонов. Геоинформационная обработка осуществлялась в программе QGIS. Статистический анализ выполнен в Microsoft Office Excel.



Рис. 1. Спутниковые изображения соровых понижений Sentinel-2 (слева: 10.04.2018 г., справа: 29.04.2020 г.)  
 Fig. 1. Satellite images of sor depression Sentinel-2 (left: 10.04.2018, right: 29.04.2020)

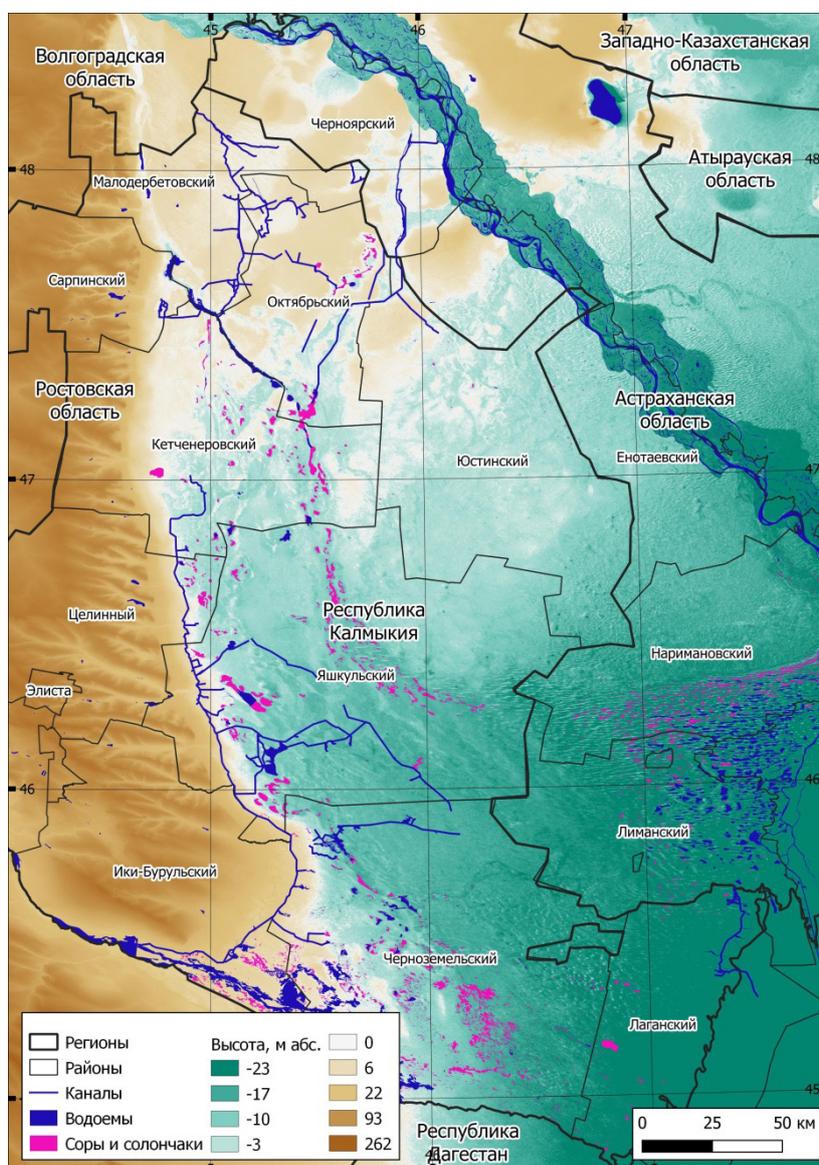


Рис. 2. Расположение водоемов, соров и солончаков в районе исследований  
 Fig. 2. Location of reservoirs, sors and salt marshes in the research area

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всего идентифицировано 6945 объектов, из которых 6285 относятся к сорам и солончакам общей площадью 143 тыс. га (рис. 2, 3). Таким образом, средняя площадь одного объекта составила 22,8 га. В количественном отношении преобладают соры площадью до 10 га, из которых половина имеет площадь до 1 га. Наибольшая площадь обеспечена сорами более 100 га (всего 69,1 тыс. га) и от 10 до 100 га (40 тыс. га). Наиболее крупные соры расположены в южной части цепочки Сарпинских озер, вдоль восточной границы Ергенинской возвышенности и в Прикумье в южной части Калмыкии.

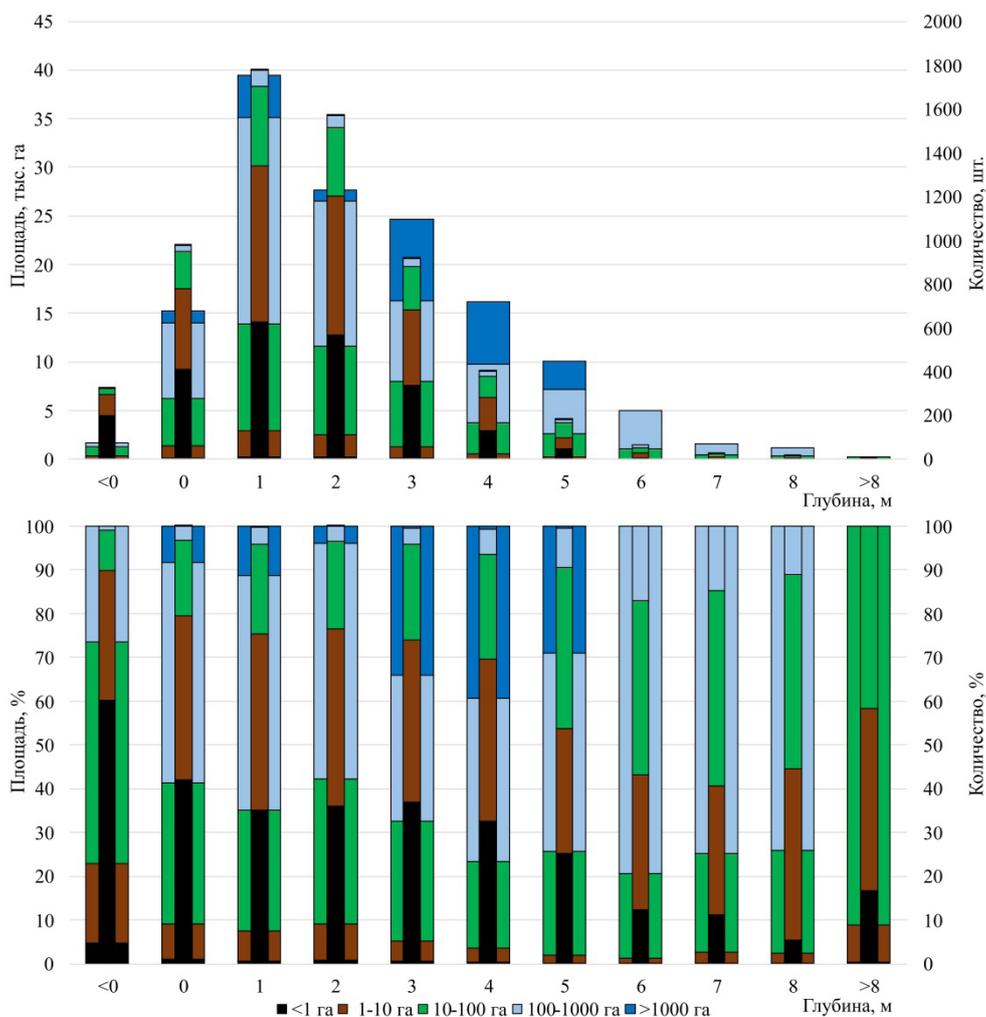


Рис. 3. Распределение соровых понижений разных размерных классов по глубине (широкие столбцы – площадь, узкие – количество)

Fig. 3. Distribution of sor depressions of different dimensional classes by depth (wide columns – area, narrow – quantity)

Среди объектов 978 площадью 15,2 тыс. га не выделяются в рельефе, таким образом не могут быть отнесены к соровым понижениям согласно определению [Пищулов, 2013б], еще 327 объектов суммарной площадью 1,7 тыс. га находятся на возвышениях (все площадью до 100 га). Это солончаки, генезис которых требует дополнительного изучения. Самые глубокие соры ниже окружающего пространства на 10–12 м. По мере роста глубины увеличивается и площадь соровых понижений. Самые глубокие понижения по сравнению с окружающим пространством – межбугровые в районе Западных подступных ильменей. Большая часть соров на остальной территории имеет глубину до 1–2 м (табл. 1).

Примерно 55 % всех понижений имеют вытянутую в субширотном направлении форму и всего 3 % – в субмеридиональном, остальные 42 % не имеют четкой пространственной ориентации.

Более 60 % количества и 35 % площади всех соровых понижений расположены в Черноземельском районе Калмыкии. Еще 20 % площади соров находятся в Яшкульском районе республики, и 15 % в Наримановском районе Астраханской области. Эти районы являются наиболее подверженными опустыниванию в настоящее время [Шинкаренко, Барталев, 2020]. Поэтому очень важно учитывать площадь соров при мониторинге площадей опустынивания в этих районах.

Табл. 1. Количество и площади соровых понижений  
Table 1. Number and areas of different depth sor depressions

Глубина, м	Количество, шт.	Площадь, тыс. га	Средняя площадь, га	Стандартное отклонение, га
<0	327	1,7	5,2	17,4
0	978	15,2	15,6	72,7
1	1781	39,5	22,2	94,7
2	1569	27,6	17,6	71,9
3	920	24,7	26,8	136,4
4	406	16,2	39,9	224,5
5	182	10,1	55,4	239,2
6	65	5,0	77,4	158,5
7	27	1,6	59,1	110,7
8	18	1,1	62,4	152,9
>8	12	0,2	19,0	28,7
Всего	6285	143,0	22,8	113,0

## ВЫВОДЫ

Площадь соровых понижений в Северо-Западном Прикаспии в границах Сарпинской низменности области составляет 143 тыс. га. Эта величина сравнима с площадью открытых песков и дефлированных земель, лишенных растительного покрова, в отдельные годы. По этой причине картографирование соров и солончаков важно для более точной оценки площадей антропогенного опустынивания в регионе. В дальнейшем возможно использование результатов работы для определения спектрально-отражательных характеристик соров и разработки автоматизированных методов их картографирования.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках темы НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 0713-2019-001.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out of the FSC of Agroecology RAS research project No. 0713-2019-001.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толпин В.А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
2. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А.,

- Уваров И.А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
3. *Насинова Г.Э., Сангаджиев М.М.* Состояние водных ресурсов республики Калмыкия как важнейший фактор здоровья населения. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки, 2014. № 4 (10). С. 33–39.
4. *Пищулов С.А.* Комплексная характеристика соровых понижений Северо-Западного Прикаспия (на примере Астраханской области). Астраханский вестник экологического образования, 2013а. № 2 (24). С. 123–126.
5. *Пищулов С.А.* Соры как форма аридного рельефа. Геоморфология, 2013б. № 3. С. 89–96. DOI: 10.15356/0435-4281-2013-3.
6. *Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С.* Геоморфологические критерии проведения лесомелиорации ландшафтов (на примере Приэльтонья). Геоморфология, 2017. № 2. С. 63–71. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-63-71.
7. *Сангаджиев М.М., Мутырова А.С., Качаев А.Ю., Хантыев Х.В., Эренжонов А.М.* Водные ресурсы Калмыкии: проблемы, риски, безопасность жизнедеятельности. Московский экономический журнал, 2021. № 3. С. 312–320. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10149.
8. *Твердохлебов В.П.* Равнинный пролювий – генотип аридных и семиаридных зон. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2003. № 1. С. 22–24.
9. *Уланова С.С.* Геоинформационные системы при изучении экотонных территорий побережий водоемов Калмыкии. Вестник Калмыцкого института социально-экономических и правовых исследований, 2004. Т. 1. № 1. С. 76–78.
10. *Уланова С.С.* Изменение площади внутренних водоемов Калмыкии. Вестник Калмыцкого института социально-экономических и правовых исследований, 2003. Т. 2. № 2. С. 86–92.
11. *Шинкаренко С.С.* Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168.
12. *Шинкаренко С.С., Барталев С.А.* Последствия пыльных бурь 2020 года на юге европейской части России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 270–275. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
13. *Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Выприцкий А.А.* Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бугрового района дельты Волги. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2021а. Т. 18. № 4. С. 285–290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290.
14. *Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D.* The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 2007. Vol. 45. No. 2. RG2004. DOI: 10.1029/2005RG000183.
15. *Gonikov T. V.* Using Earth Remote Sensing to Study the Parameters of the Morphological Structure of the Ridge Landscape in the North Caspian Region. Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics, 2019. Vol. 55. No. 9. P. 1346–1352. DOI: 10.1134/S0001433819090184.
16. *Holzel N., Haub C., Ingelfinger M.P., Otte A., Pilipenko V.N.* The return of the steppe large-scale restoration of degraded land in southern Russia during the post-Soviet era. Journal for Nature Conservation, 2002. Vol. 10. Iss. 2. P. 75–85. DOI: 10.1078/1617-1381-00009.
17. *Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S.* Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian. Arid Ecosystems, 2020. Vol. 10. No. 2. P. 98–105. DOI: 10.1134/S2079096120020080.
18. *Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G.* Geoinformation analysis of desertification dynamics in the territory of Astrakhan oblast. Arid Ecosystems, 2015. Vol. 5. No. 3. P. 134–141. DOI: 10.1134/S2079096115030087.

19. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. Geoinformation analysis of desertification hotspots in Astrakhan oblast. *Arid Ecosystems*, 2013. Vol. 3. No. 3. P. 184–190. DOI: 10.1134/S2079096113030074.
20. Shumova N.A. Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966–2017. *Arid Ecosystems*, 2020. Vol. 10. No. 3. P. 188–193. DOI: 10.1134/S2079096120030099.
21. Ulanova S.S. Ecological monitoring of Caspian lowlands reservoirs in Kalmykia (example of Tsagaan Nuur reservoir). *Arid Ecosystems*, 2015. Vol. 5. No. 2. P. 66–75. DOI: 10.1134/S2079096115020092.
22. Ulanova S.S. The reservoirs of the Kuma-Manych Depression in the territory of Kalmykia: Regimen, ecotonic systems of the shores, and use. *Arid Ecosystems*, 2011. Vol. 1. No 2. P. 95–103. DOI: 10.1134/S2079096111020089.
23. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. A new approach to the monitoring of desertification centers. *Arid Ecosystems*, 2011. Vol. 1. No. 3. P. 125–130. DOI: 10.1134/S2079096111030127.

### REFERENCES

1. Bartalev S.A., Ershov D.V., Loupian E.A., Tolpin V.A. Possibilities of satellite service VEGA using for different tasks of land ecosystems monitoring. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012. Vol. 9. No. 1. P. 49–56 (in Russian).
2. Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 2007. Vol. 45. No. 2. RG2004. DOI: 10.1029/2005RG000183.
3. Gonikov T.V. Using Earth Remote Sensing to Study the Parameters of the Morphological Structure of the Ridge Landscape in the North Caspian Region. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019. Vol. 55. No. 9. P. 1346–1352. DOI: 10.1134/S0001433819090184.
4. Holzel N., Haub C., Ingelfinger M.P., Otte A., Pilipenko V.N. The return of the steppe large-scale restoration of degraded land in southern Russia during the post-Soviet era. *Journal for Nature Conservation*, 2002. Vol. 10. Iss. 2. P. 75–85. DOI: 10.1078/1617-1381-00009.
5. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian. *Arid Ecosystems*, 2020. Vol. 10. No. 2. P. 98–105. DOI: 10.1134/S2079096120020080.
6. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. Geoinformation analysis of desertification dynamics in the territory of Astrakhan oblast. *Arid Ecosystems*, 2015. Vol. 5. No. 3. P. 134–141. DOI: 10.1134/S2079096115030087.
7. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. Geoinformation analysis of desertification hotspots in Astrakhan oblast. *Arid Ecosystems*, 2013. Vol. 3. No. 3. P. 184–190. DOI: 10.1134/S2079096113030074.
8. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015. Vol. 12. No. 5. P. 263–284 (in Russian).
9. Nastinova G.E., Sangadzhiev M.M. The condition of water resources of the republic of Kalmykia as an important factor of the population health, *Bulletin of the Volgograd State University. 11th episode. Natural sciences*, 2014. Vol. 4. No. 10. P. 33–39 (in Russian).
10. Pishchulov S.A. The complex characteristic of shores of the North Western Prikaspy (on the example of the Astrakhan Region). *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, 2013. Vol. 2. No. 24. P. 123–126 (in Russian).
11. Pishchulov S.A. Sors: an example of arid landforms, *Geomorphology*, 2013. No. 3. P. 89–96 (in Russian). DOI: 10.15356/0435-4281-2013-3.
12. 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. P. 63–71 (in Russian). DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-63-71.

13. *Sangadzhiev M.M., Mutyrova A.S., Kachaev A.Y., Khantyev H.V., Ehenzhenov A.M.* BWater resources of Kalmykia: problems, risks, life safety Moscow Economic Journal, 2021. No. 3. P. 312–320 (in Russian). DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10149.
  14. *Shinkarenko S.S.* Spatial-temporal dynamics of desertification in Black Lands. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019. Vol. 16. No. 6. P. 155–168 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168.
  15. *Shinkarenko S.S., Bartalev S.A.* Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September – October 2020. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020. Vol. 17. No. 7. P. 270–275 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
  16. *Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Vypritskii A.A.*, Dynamics of water bodies areas in the Western Ilmen Lake Region of the Volga Delta. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021. Vol. 18. No. 4. P. 285–290 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290.
  17. *Shumova N.A.* Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966–2017. *Arid Ecosystems*, 2020. Vol. 10. No. 3. P. 188–193. DOI: 10.1134/S2079096120030099.
  18. *Tverdokhlebov V.P.* Plain proluvium – genotype of arid and semi-arid zones. *News of higher educational institutions. Geology and exploration*, 2003. No. 1. P. 22–24 (in Russian).
  19. *Ulanova S.S.* Change in the area of internal reservoirs of Kalmykia. *Bulletin of the Kalmyk Institute of Socio-Economic and Legal Studies*, 2003. Vol. 2. No. 2. P. 86–92 (in Russian).
  20. *Ulanova S.S.* Ecological monitoring of Caspian lowlands reservoirs in Kalmykia (example of Tsagaan Nuur reservoir). *Arid Ecosystems*, 2015. Vol. 5. No. 2. P. 66–75. DOI: 10.1134/S2079096115020092.
  21. *Ulanova S.S.* Geoinformation systems in the study of ecotonic territories of the coasts of reservoirs of Kalmykia. *Bulletin of the Kalmyk Institute of Socio-Economic and Legal Studies*, 2004. Vol. 1. No. 1. P. 76–78. (in Russian).
  22. *Ulanova S.S.* The reservoirs of the Kuma-Manych Depression in the territory of Kalmykia: Regimen, ecotonic systems of the shores, and use. *Arid Ecosystems*. 2011. Vol. 1. No. 2. P. 95–103. DOI: 10.1134/S2079096111020089.
  23. *Zolotokrylin A.N., Titkova T.B.* A new approach to the monitoring of desertification centers. *Arid Ecosystems*, 2011. Vol. 1. No. 3. P. 125–130. DOI: 10.1134/S2079096111030127.
-