

УДК 556.5(477.75)

В. А. Табунщик<sup>1</sup>

О. А. Миронюк<sup>1</sup>

В. И. Мальцев<sup>2</sup>

## **Влияние изменения береговой линии Тайганского водохранилища на трансформацию местообитания водных макрофитов**

<sup>1</sup> ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Российская Федерация

<sup>2</sup> Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиала ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Феодосия, Российская Федерация  
e-mail: <sup>1</sup>tabunshchyk@ya.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние изменения береговой линии Тайганского водохранилища на трансформацию местообитания водных макрофитов в период с 2013 по 2021 гг. с использованием полевых и современных дистанционных методов исследования. В результате исследования было установлено, что при критическом снижении уровня воды в Тайганском водохранилище в 2013-2021 гг. водная растительность оказалась в очень жестких условиях существования.

**Ключевые слова:** Крым, Крымский полуостров, Тайганское водохранилище, ложе водохранилища, переживающие группировки, гидрофиты, макрофиты, ГИС.

### **Введение**

Тайганское водохранилище (координаты: 45°02'5.00", 34°35'6.00") расположено в Джайваганской балке (левый приток реки Бююк-Карасу, Белогорский район, Республика Крым) (рис. 1). Год заполнения до нормального подпорного уровня (НПУ) – 1938. Длина водохранилища составляет 2 км, наибольшая ширина – 2,28 км, максимальная глубина (при нормальном подпорном уровне) – 16,5 м. Площадь зеркала – при НПУ – 2 кв. км, объём – 13,8 млн. куб.м. [1].



**Рис. 1.** Географическое положение Тайганского водохранилища

Возросшая водоотдача в связи с прекращением поставки воды по Северо-Крымскому каналу в 2014 г. и ряд предшествующих засушливых лет привели к сильному обмелению водоёма (фактически вода опустилась ниже уровня мертвого объёма), его площадь сократилась на 60-70 %. Всё это привело к кардинальным изменениям характера местообитаний в пределах ложа водоёма [2, 3] и, соответственно, режима зарастания водоёма, а именно полной или частичной деградации существовавших здесь фитоценозов, формированию новых фитоценозов вниз по экологическому профилю при частичном сохранении переживающих группировок полупогруженных растений в несвойственных им биотопах.

Оценка изменений площади зеркала водного объекта основано на использовании мультиспектральных космических снимков. Анализ публикаций последних лет [4, 5, 6, 7, 8] показывает, что наиболее часто исходными материалами исследований выступают мультиспектральные космические снимки MODIS, Sentinel и Landsat. Главным достоинством этих материалов служит их открытость и повсеместное использование. В тоже время, снимки MODIS имеют очень малое пространственное разрешение, что ограничивает их использование для мониторинга изменения площади водной глади малых объектов (озер, водохранилищ и пр.)

Базовая гипотеза строится на том факте, что вода имеет уникальные значения спектра и спектральную отражательную способность, и при комбинации каналов мультиспектрального космического снимка и расчетов индексов, основанных на комбинации этих каналов, отличается от окружающей территории суши. Для дешифрирования водных объектов используются различные индексы: WRI [9], NDWI [10], MNDWI [11], NDMI [12], AWEI [13] и др.

Задачей исследования было оценить динамику площади водохранилища в период экстремального снижения его уровня и состояние зарастания ложа водоема, сложившегося в результате этого снижения.

### **Материалы и методы**

В данной работе авторами был использован индекс NDVI [14, 15] который продолжает серию работ по оценке различных показателей состояния среды для Крымского полуострова. Для водных объектов значения NDVI [16] всегда имеет отрицательное значение, что позволяет четко разграничивать территории от акваторий.

Для оценки динамики затопления-осушения ложа водохранилища использованы космические снимки Landsat 8, полученные с сайта Геологической службы США <https://glovis.usgs.gov/> и покрывающие территорию Крымского полуострова за период с 2013 по 2021 гг., что сопоставимо с началом работы миссии Landsat-8. Всего было отобрано 112 наборов мультиспектральных космических снимков Landsat-8, где отсутствует полное или частичное перекрытие зеркала Тайганского водохранилища и окрестных территорий. Первый снимок получен 22 мая 2013 года, а последний – 22 декабря 2021 года. Обработка материалов осуществлялась в программе Quantum GIS 3.16.

Исследования характера зарастания ложа Тайганского водохранилища проводились в 2017 – 2021 гг. во время маршрутных исследований водоёмов и водотоков окрестностей г. Белогорска (Крым). На рисунке 2 представлены

участки, на которых в пределах ложа водохранилища проводились исследования флористического состава и описания растительности.



**Рис. 2.** Участки, на которых в пределах ложа водохранилища проводились исследования флористического состава и описание растительности (слева – граница водного зеркала Тайганского водохранилища на снимке от 17 сентября 2021 года, в центре и справа – положение границы от 17 сентября 2021 года на космическом снимке и карте с максимальными уровнями воды).

*Составлен авторами*

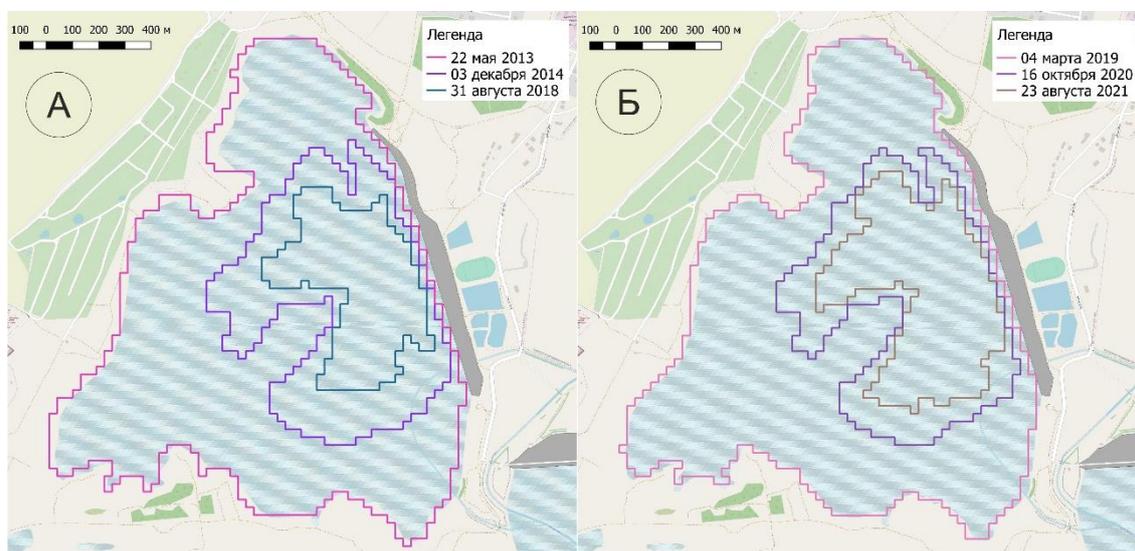
### **Результаты и обсуждение**

**Динамика площади зеркала Тайганского водохранилища.** В результате анализа космических снимков установлено, что изменение площади зеркала Тайганского водохранилища за период с 2013 по 2021 гг. носила скачкообразный характер. До апреля 2014 года Тайганское водохранилище имело значительную площадь зеркала – 1,84 кв. км (рис. 3). Затем в период с апреля по декабрь 2014 года произошло уменьшение его площади до 0,63 кв. км, которое сменилось ростом этого показателя с конца марта по начало июня 2015 года (1,73 кв. км на 06.05.2015 г.). Существенное сокращение площади водного зеркала началось с августа 2015 года и продолжалось вплоть до конца 2018 года, с незначительным увеличением площади летом 2017 года. Существенный рост площади зеркала Тайганского водохранилища начался с 2019 года и продолжался до марта 2019 года, после чего началось плавное снижение этого показателя, которое продолжилось до конца 2021 года (наименьшая площадь зеркала 0,33 кв. км). Визуализация полученных данных – на рисунке 4.

Как видно из рис. 3 и 4, наиболее благоприятными относительно заполнения водохранилища после 2014 г были 2015 и 2019 годы, когда водоём удалось заполнить до отметок, близких к НПУ, в том числе с использованием искусственного наполнения. Большую же часть времени в 2014-2021 гг. уровень воды в нём пребывал на отметках, при которых более половины площади ложа водохранилища были осушены.



**Рис. 3.** Динамика площади водного зеркала Тайганского водохранилища в 2013-2021 гг.  
Составлен авторами



**Рис. 4.** Изменение площади зеркала Тайганского водохранилища в период с 2013 по 2021 гг. (на примере выбранных дат)  
Составлен авторами

**Характер зарастания ложа водохранилища как результат динамики уровня воды в 2014-2021 гг.** Наиболее долговременное осушение характерно для участков ложа Тайганского водохранилища, находящихся между контурами от 22.05.2013 г. и 03.12.2014 г. (рис. 4 А), что подтверждается подобием аналогичной зоны на рис. 4 Б (между контурами от 04.03.2019 г. и 23.08.2021 г.) и характером кривой на рис. 3. За период с мая 2014 по декабрь 2021 гг. большую часть времени (70-80%) эти участки пребывали выше уреза воды. В верхней части водохранилища в этой части ложа водоема преобладают фитоценозы с абсолютным доминированием горца восточного *Persicaria orientalis* (L.). Для незатопленных участков ложа водохранилища в его нижней (приплотинной) части характерны ценозы с доминированием донника желтого *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и лядвинца тонкого *Lotus tenuis* (Waldst. & Kit. ex Willd.).

Здесь также сохранились единичные, крайне разреженные куртины воздушно-водных растений (гелофитов) – переживающие заросли тростника

*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., камыша озерного *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla (1888) и рогозов узколистного *Typha angustifolia* L., 1753 и широколистного *T. latifolia* L., 1753, оставшиеся на прежних местообитаниях. Рисунки 5, 6, 7 отражают характер зарастания ложа водохранилища в связи с его обмелением в последние годы.



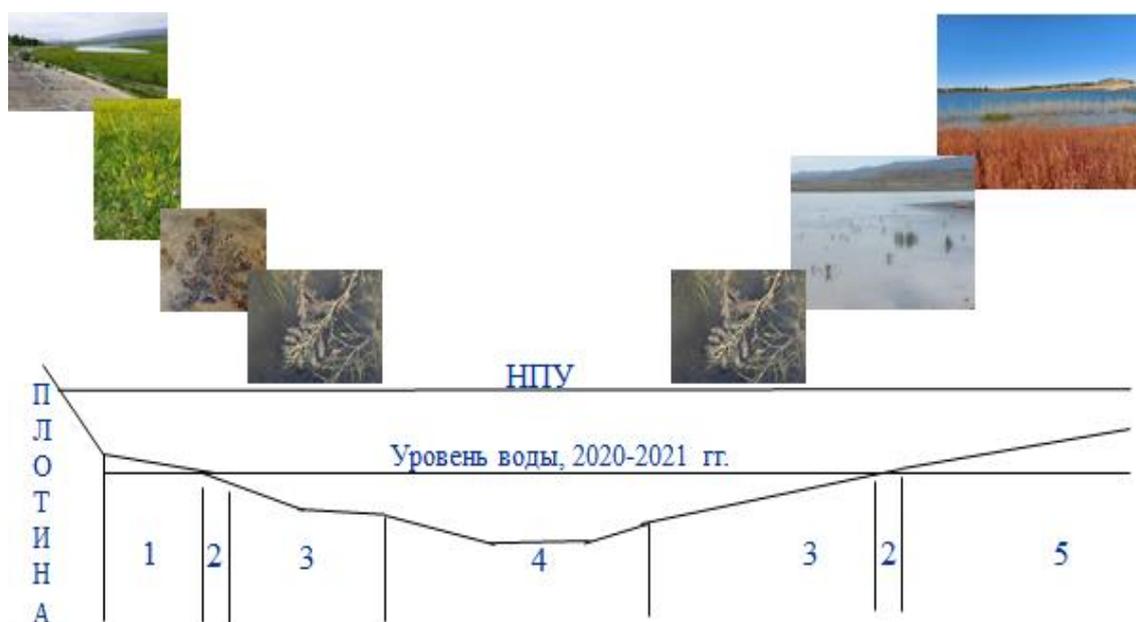
**Рис. 5.** Зарастание незатопленных участков ложа водохранилища в его верхней части (2020-2021 гг.)  
*Фото авторов*



**Рис. 6.** Ценозы с доминированием *Persicaria amphibia* (горца земноводного)  
*Фото авторов*

Участок внутри наименьшего контура (от 31.08.2018 г., рис. 4 А), по данным обработки космических снимков, не был подвержен осушению. В настоящее время в этой зоне водного ложа доминируют разреженные заросли погружённых

растений (гидатофитов): роголистник тёмнозеленый *Ceratophyllum demersum* L., рдест курчавый *Potamogeton crispus* L., рдест гребенчатый *Potamogeton pectinatus* L., рдест пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus* L. Они занимают глубины 10-40 см, произрастают на заиленных грунтах, образуют пятнистые заросли с проективным покрытием 40-50% и представлены измельченными формами. Растения с плавающими на поверхности воды ассимиляционными органами (плейстофиты) представлены здесь двумя видами: горцем земноводным *Persicaria amphibia* L., 1753 и рдестом плавающим *Potamogeton natans* L., 1753, образующие очень немногочисленные куртины у самого уреза воды с проективным покрытием 20-30%. Кроме того, у берега встречаются отдельные побеги частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.).



**Рис. 7.** Современный характер зарастания ложа водохранилища

- 1 – Пионерные группировки с доминированием донника и лядвинца
- 2 – Разреженные группировки – куртины частухи подорожниковой и рдестов
- 3 – Пояс гидатофитов – погруженные рдесты, роголистник
- 4 – Наиболее глубокие, незаросшие участки
- 5 – Пионерные группировки с доминированием горца восточного

Составлен авторами

Промежуточная зона – зона относительно частого затопления-осушения. Растительность представлена отдельными куртинами горца земноводного *Persicaria amphibia* L., 1753 (наземная форма, проективное покрытие 80-90%), частухи подорожниковой *Alisma plantago-aquatica* L., проективное покрытие 20-30%) и осок.

### Выводы

Сокращение площади водного зеркала Тайганского водохранилища началось с августа 2015 года и продолжалось до конца 2018 года, с

незначительным увеличением площади летом 2017 года. Затем рост площади зеркала до отметок, близких к НПУ, имел место в начале 2019 г., но уже в начале весны началось плавное снижение этого показателя, которое продолжилось до конца 2021 года. При этом площадь зеркала сократилась 0,33 кв. км. т.е. на 83% по сравнению с таковым при НПУ. Таким образом, большую же часть времени в 2014-2021 гг. уровень воды в нём пребывал на отметках, при которых более половины площади ложа водохранилища были осушены.

Таким образом, в результате критического снижения уровня воды в Тайганском водохранилище в 2014-2021 гг. водная растительность оказалась в очень жестких условиях существования. Так, гидатофиты выживают на глубинах (10-40 см), на которых в условиях нормального режима развиваются гелофиты, при этом они представлены измельчёнными формами. При заполнении водохранилища до НПУ эти биотопы были в самых нижних участках зоны распространения гидатофитов.

Вышерасположенные участки теперь находятся на суше и заняты пионерными группировками мокрылужовой растительности.

*Финансирование. Исследование выполнено в рамках НИР № 121040500247-0 и № 121040100327-3.*

### ***Литература***

1. Миронюк О. А., Мальцев В. И. Трансформации местообитаний водных макрофитов в Тайганском водохранилище (Крым) в связи с критическими снижениями уровня воды в 2014–2020 гг. // Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции : тез. докл. Всерос. конф., посвящ. 65-летию Ин-та биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Рос. акад. наук, Борок, 22–26 ноября 2021 г. Ярославль: Филигрань, 2021. С. 136.
2. Мальцев В. И. Визуальная оценка продуктивности высшей водной растительности для потребностей пастбищного рыбоводства в разнотипных искусственных водоёмах // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2017. Вып. 10 (30). С. 129–135.
3. Кулиш А. В., Мальцев В. И. Современные (2019 г.) особенности произрастания гидрофитов в Тайганском водохранилище в условиях дефицита воды // Экология речных ландшафтов: Сборник статей по материалам IV Международной научной экологической конференции, Краснодар, 03 декабря 2019 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2020. С. 61-67.
4. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика, 2009. № 3. С. 28–32
5. Giriraj A., Shilpa B., Reddy C. S. Monitoring of forest cover change in Pranahita Wildlife Sanctuary, Andhra Pradesh, India using remote sensing and GIS // Journal of Environmental Science and Technology. 2008. №. 2. P. 73–79.
6. Mohamed M. A., Anders J., Schneider C. Monitoring of changes in land use/land cover in Syria from 2010 to 2018 using multitemporal Landsat imagery and GIS // Land. 2020. V. 9. №. 7. P. 226.

7. Lemenkova P. SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness // Contemporary Agriculture. 2021. V. 70. №. 1-2. P. 67–75.
8. Erener A., Yakar M. Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technologies // Lecture Notes in Information Technology. 2012. V. 30. P. 310–314.
9. Shen L., Li C. Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm // IEEE. 2010 18th International Conference on Geoinformatics; Beijing. 2010. Jun 18-20. p. 1–4.
10. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // International Journal of Remote Sensing, 1996. V. 17(7). P. 1425–1432.
11. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. V. 27(14). P. 3025–3033.
12. Wilson E. H.; Sader S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery // Remote Sens. Environ. 2002. V. 80. P. 385–396.
13. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. V. 140. P. 23–35.
14. Rouse J. W, Haas R. H., Scheel J. A., D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS // Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium. 1974. Vol. 1. P. 48-62.
15. Krieglner F. J., Malila W. A., Nalepka R. F., Richardson W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition // Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment. 1969. p. 97–131.
16. Табунщик В. А., Горбунов Р. В., Даниленко А. А. Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков Sentinel-2 // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2019. № 4 (12). С. 56–70.

V. A. Tabunshchik<sup>1</sup>  
O. A. Mironyuk<sup>1</sup>  
V. I. Maltsev<sup>2</sup>

***Influence of the Taigan Reservoir shoreline change on the transformation of aquatic macrophyte habitat***

---

<sup>1</sup>A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

<sup>2</sup>T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS, Kyrortnoe, Feodosia, Russian Federation  
e-mail: <sup>1</sup>tabunshchik@ya.ru

**Annotation.** *In the article the impact of changes in the coastline of the Taigan reservoir on the transformation of the habitat of aquatic macrophytes in the period from 2013 to 2021 using field and modern remote research methods are examined. As a result of the study, it was found that with a critical decrease in the water level in the Taigan*

*reservoir in 2013-2021, aquatic vegetation found itself in very harsh conditions of existence.*

**Keyword:** *Crimea, the Crimean Peninsula, Taigan reservoir, reservoir bed, surviving groupings, hydrophytes, macrophytes, GIS.*

### **References**

1. Mironyuk O. A., Mal'tsev V. I. Transformatsii mestoobitaniy vodnykh makrofitov v Tayganskom vodokhranilishche (Krym) v svyazi s kriticheskimi snizheniyami urovnya vody v 2014–2020 gg. // *Biologiya akva ekosistem v XXI veke: fakty, gipotezy, tendentsii* : tez. dokl. Vseros. konf., posvyashch. 65-letiyu In-ta biologii vnutrennikh vod im. I. D. Papanina Rus. akad. nauk, Borok, 22-26 noyabrya 2021 g. Yaroslavl': Filigran', 2021. P. 136. (in Russian)
2. Mal'tsev V. I. Vizual'naya otsenka produktivnosti vysshey akva rastitel'nosti dlya nuzhd pastbishchnogo rybovodstva v raznotipnykh iskusstvennykh vodoyomakh // *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy*. Sevastopol': IPTS. 2017. Vyp. 10 (30). P. 129-135. (in Russian)
3. Kulish A. V. Sovremennyye (2019 g.) osobennosti proizrastaniya gidrofitov v Tayganskom vodokhranilishche v usloviyakh defitsita vody // *Ekologiya rechnykh landshaftov* : Sbornik statey Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy institut imeni I.T. Trubilina, 2020. P. 61-67. (in Russian)
4. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spektral'nyye svoystva rastitel'nosti i vegetatsionnyye indeksy // *Geomatika*, 2009. № 3. P. 28–32. (in Russian)
5. Giriraj A., Shilpa B., Reddy C. S. Monitoring forest cover change in Pranahita Wildlife Sanctuary, Andhra Pradesh, Indiya ispol'zuya remote sensing and GIS // *Journal of Environmental Science and Technology*. 2008. №. 2. P. 73-79. (in English)
6. Mohamed M. A., Anders J., Schneider C. Monitoring changes in land use/land cover in Syria from 2010 to 2018 using multitemporal Landsat imagery and GIS // *Land*. 2020. V. 9. №. 7. P. 226. (in English)
7. Lemenkova P. SAGA GIS dlya komp'yuternoy mnogofunktsional'noy vegetation Index by Landsat TM dlya predstavleniya vegetation greenness // *Contemporary Agriculture*. 2021. V. 70. №. 1-2. P. 67-75. (in Russian)
8. Erener A., Yakar M. Monitoring coastline izmeneniye posredstvom remote sensing and GIS tekhnologii // *Lecture Notes in Information Technology*. 2012. V. Tridtsat'. P. 310–314. (in English)
9. Shen L., Li C. Veter body extraction ot Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm // *IEEE. 2010 18th International Conference on Geoinformatics*; Pekin. 2010. Jun 18-20. p. 1–4. (in English)
10. McFeeters S. K. Ispol'zovaniye Normalized Difference Water Index (NDWI) v otklonenii otkrytykh poley vody // *International Journal of Remote Sensing*, 1996. V. 17(7). P. 1425-1432. (in Russian)
11. Xu H. Modification normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. V. 27(14). P. 3025-3033. (in English)
12. Wilson E.H.; Sader S.A. Vyvod iz lesnogo sloya tipa s ispol'zovaniyem mnozhestva dannykh Landsat TM imagery // *Remote Sens. Environ*. 2002. V. 80. P. 385-396. (in English)

13. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: Novyy tekhnologiya dlya surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. V. Sto sorokovoy. P. 23–35. (in English)
14. Rouse J.W, Haas R.H., Scheel J.A., D.W. Monitoring Vegetation Systems in Great Plains with ERTS // Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium. 1974. Vol. 1. P. 48-62. (in English)
15. Kriegler F.J., Malila W.A., Nalepka R.F., Richardson W. Predotvrashcheniye preobrazovaniy i ikh effektov na mnozhestvennoy identifikatsii // Protседury 6-go mezhdunarodnogo simpoziuma na proverke zashchity okruzhayushchey sredy. 1969. p. 97-131. (in English)
16. Tabunshchik V.A., Gorbunov R.V., Danilenko A.A. Otsenka vegetatsionnogo indeksa NDVI na territorii goroda federal'nogo znacheniya Sevastopol' v 2017 godu po rezul'tatam analiza kosmicheskikh snimkov Sentinel-2 // Trudy Karadagskoy nauchnoy stantsii im. T.I. Vyazemskogo – prirodnoy zapovednika RAN. 2019. №4 (12). P. 56-70. (in Russian)

*Поступила в редакцию 10.05.2022 г.*