

Динамика площади тростниковых зарослей в заливе Сиваш (Азовское море) по спутниковым данным

Е. С. Ерёмкина^{1*}, Е. Е. Совга¹, С. В. Станичный¹, В. А. Михайлов²

¹ *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

² *Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,
Таврическая академия (структурное подразделение), Симферополь, Россия*

*e-mail: shchurova88@gmail.com

Поступила 25.09.2020 г.; принята к публикации 11.11.2020 г.; опубликована 25.12.2020 г.

Анализируются особенности формирования береговой зоны залива Сиваш, которые на современном этапе проявляются в сочетании абразионных и аккумулятивных процессов. Более подробно рассмотрены фитогенные берега (особый тип берега, связанный с отдельным типом осадконакопления), характеризующиеся развитием тростниковой растительности, которая распространена вблизи устьев балок в вершинах ингрессионных заливов и «вторичных» лагун. С использованием данных цифровых многозональных спутников *Landsat 5* и *7* и *Sentinel-2 L1C* рассматривается динамика площадей тростникового берега в Восточном и Южном Сиваше после перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 г. за период с 2014 по 2020 г. как следствие перекрытия канала и связанного с ним роста солености в акватории залива. Для сравнения анализируется динамика распространения фитогенных берегов как следствие работы канала и рост площадей тростниковой растительности до 1990-х гг. Показана экологическая роль тростниковых зарослей как специфического биотопа. Подчеркивается, что перекрытие Северо-Крымского канала не только привело к изменению солевого режима залива, но и отразилось на всей экосистеме, в том числе на тростниковом берегу, формированию которого благоприятствовало увеличение объема пресных вод в водном балансе залива. По спутниковым данным оценено влияние Северо-Крымского канала и его перекрытия в 2014 г. на изменение площадей тростниковой растительности в Восточном и Южном Сиваше. На рассматриваемом участке Присивашья больше всего площади плавней сократились в Князевском и Балагановском заливах, а также в районе Алексеевской засухи в Южном Сиваше. В Рогачинском заливе, несмотря на прекращенный дренаж, остается значительным влияние сточных вод, поэтому здесь тростниковые сообщества сохранились лучше всего. Показано, что для некоторых акваторий залива процесс сокращения площадей, занятых тростниковой растительностью, может существенно замедлиться при наличии локальных, постоянно или периодически действующих источников пресной воды, например сточных вод населенных пунктов.

Ключевые слова: залив Сиваш, тростниковая растительность, фитогенные берега, Северо-Крымский канал, спутниковые наблюдения, экосистема, биотоп.

© Ерёмкина Е. С., Совга Е. Е., Станичный С. В., Михайлов В. А., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Благодарности: работа Е. Е. Совги и Е. С. Ерёминой выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей». Работа С. В. Станичного выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-45-920065 «Анализ антропогенных и природных загрязнений акватории Юго-западного Крыма на основе спутниковых данных, разработка элементов системы регионального мониторинга». Работа В. А. Михайлова выполнена в рамках научной темы «Теоретико-методические основы формирования национального ландшафта Крыма» (КФУ им. В. И. Вернадского, руководитель д. г. н., проф. Е. А. Позаченюк).

Для цитирования: Динамика площади тростниковых зарослей в заливе Сиваш (Азовское море) по спутниковым данным / Е. С. Ерёмина [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 4. С. 54–65. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-54-65

Dynamics of Reed Vegetation Area in the Sivash Gulf (Sea of Azov) according to Satellite Data

E. S. Eremina^{1*}, E. E. Sovga¹, S. V. Stanichny¹, V. A. Mikhailov²

¹ *Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia*

² *V.I. Vernadsky Crimean Federal University,*

Taurida Academy (organization unit), Simferopol, Russia

**e-mail: shchurova88@gmail.com*

Submitted 25.09.2020; revised 11.11.2020; published 25.12.2020

The paper analyzes peculiarities of formation of the Sivash Gulf coastal area, which manifest at the moment as a combination of abrasive and accumulation processes. The paper gives more details about vegetation coasts (a special coast type related to a specific sedimentation type) defined by reed vegetation development, which is prevalent near clough entries in apexes of ingressive gulfs and “secondary” lagoons. Using data of digital multizonal satellites Landsat 5 and 7 as well as Sentinel-2 L1C, the paper considers dynamics (2014–2020) of reed coast areas in the East and South Sivash after damming the North Crimean Canal in 2014 as a consequence thereof and related increase of salinity in the gulf water area. For comparison, the paper analyzes dynamics of vegetation coast spread as a result of the canal functioning, also reed vegetation area growth up to the 1990s is considered. The ecological role of reed vegetation as a distinctive biotope is shown. It is emphasized that damming of the North Crimean Canal not only led to changes of the gulf salinity regime but also affected its entire ecosystem, including the reed coast, formation of which was promoted by increase of fresh water volume in the gulf water balance. Impact of the North Crimean Canal and its damming in 2014 on change of the reed vegetation area in the East and South Sivash was estimated using satellite data. At the studied zone of Prisivashie, flood plain areas shrank most of all in the Knyazevsky and Balaganovsky Gulfs as well as near the Alekseevskaya extinct lake in the South Sivash. In the Rogachinsky Gulf, despite discontinued drainage, influence of waste waters remains significant. Therefore, reed communities have preserved here best. It is shown that for some water areas shrinkage of areas populated by reed vegetation can considerably slow down provided there are local permanent or periodic fresh water sources, e. g. waste waters coming from settlements.

Keywords: Sivash Gulf, reed vegetation, vegetation coasts, North Crimean Canal, satellite observations, ecosystem, biotope.

Acknowledgements: E. E. Sovga and E. S. Eremina performed their work under state order on topic No. 0827-2019-0004 “Complex interdisciplinary research of oceanologic processes, which determine functioning and evolution of the Black and Azov Sea coastal ecosystems”. S. V. Stanichny performed his work with support of the RFBR grant 18-45-920065 “Analysis of anthropogenic and natural pollution of the Southwestern Crimea according to satellite data, development of elements of a regional monitoring system”. V. A. Mikhailov performed his work under scientific topic “Theoretical and methodic fundamentals of the Crimean national landscape formation” (V.I. Vernadsky Crimean Federal University, scientific supervisor E. A. Pozachenyuk, Dr.Sci. (Geogr.), professor).

For citation: Eremina, E.S., Sovga, E.E., Stanichny, S.V. and Mikhailov, V.A., 2020. Dynamics of Reed Vegetation Area in the Sivash Gulf (Sea of Azov) according to Satellite Data. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 54–65. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-54-65 (in Russian).

Введение

Залив Сиваш Азовского моря (морской залив лагунного типа) является восстанавливаемым месторождением минеральных солей. Он отличается высоким биоразнообразием, входит в перечень водно-болотных угодий международного значения, территория которого внесена в Рамсарский список в 1978 г. Залив Сиваш имеет протяженную береговую линию, которую отличает исключительная изрезанность – при площади лагуны 2475 км² длина береговой линии (с учетом крупных островов) составляет 1051.7 км, а без учета почти прямолинейных берегов Арабатской стрелки – около 946 км [1].

Антропогенное воздействие на экосистему залива в результате введения в эксплуатацию Северо-Крымского канала (СКК) и его перекрытия в 2014 г. отразилось на гидрологическом и гидрохимическом режимах, на ландшафтах Присивашья, состоянии экосистемы в целом. Поэтому настоящее исследование, в котором анализируется динамика тростниковой растительности, приобретает особую актуальность.

На современном этапе динамика береговой зоны залива Сиваш проявляется в сочетании абразионных и аккумулятивных процессов. Абразионные процессы получили довольно широкое распространение вдоль берегов Восточного и Южного Сиваша. Процесс размыва берегов Сиваша имеет сложный характер, который связан с периодическим осушением, водонасыщением и размоканием пористых лессовидных суглинков при сгонах и нагонах, безвозвратным выносом мельчайших наносов неволнового поля за пределы береговой зоны. Формирующиеся в результате размыва активные клифы представляют собой обрывы высотой от 1–2 до 14 м и крутизной до 80–90°. В основании клифов находится волноприбойная ниша с небольшой высотой (0.5–1.0 м) и глубиной (0.3–0.5 м). У подножья клифа образуется широкий и пологий бенч с маломощным чехлом ила, ракуши, детрита, водорослевого мата. В результате размыва берегов часто образуются фестоны шириной 20–30 м с маломощным и нешироким ракушечно-детритовым пляжем, которые чередуются с пологими мысами [2].

Аккумулятивные процессы береговой зоны Сиваша связаны с механическим и биогенным типами осадконакопления. В результате механического

осадконакопления, которое представлено главным образом наносами неволнового поля, возникшими при размыве суглинистых берегов залива, в условиях сгонно-нагонной циркуляции формируются ветровые осушки различных типов [3]. Биогенное осадконакопление характерно для менее засоленных, связанных с морем акваторий (Восточный, Южный и Средний Сиваш) – именно здесь были более всего распространены нанообразующие моллюски *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) и в меньшей степени *Abra segmentum* (Récluz, 1843) и *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791). При этом типе осадконакопления формируются более разнообразные береговые формы рельефа – примыкающие (террасы), замыкающие (пересыпи), свободные и отчлененные (косы и стрелки, острова), – которые сложены раковинами моллюсков, детритом и ракушечным песком. В работах авторов этой статьи ранее приводились исследования динамики берегов Сиваша по спутниковым данным [1–4].

Отдельный тип осадконакопления и связанный с ним тип берега характеризуются развитием тростниковой растительности, которая распространена вблизи устьев балок в вершинах ингрессионных заливов и «вторичных» лагун. В основном она представлена ассоциациями с доминированием тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (1841)), достигающего высоты 2.5–3 м, местами с преобладанием ситника морского (*Juncus maritimus* Lam., Encycl. [J. Lamarck & al.] 3(1): 264 (1789)), ситника Жерара (*Juncus gerardi* Loisel., J. Bot. (Desvaux) 2: 284. 1809), клубнекамышка морского (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in W. D. J. Koch, Syn. Deut. Schweiz. Fl., ed. 3: 2531 (1905)) [5]. Развитие тростниковой растительности приводит к ослабеванию энергии ведущего гидродинамического процесса в Сиваше – сгонно-нагонной циркуляции. Это способствует аккумуляции илистых наносов на мелководье, изменению конфигурации низменных берегов. В результате уступы размыва, оконтуривающие мелководья, почти не испытывают гидродинамического воздействия и отмирают – формируется тростниковый берег.

В настоящей работе рассматривается динамика тростникового берега в Восточном и Южном Сиваше после перекрытия СКК в 2014 г. Как известно из работ [6–7], ирригационная система СКК привела к возникновению в Крыму дельтового биоценотического комплекса, характерного для устьевых зон крупных рек, и определила направление трансформации ландшафтов степных районов полуострова. В работе [8] анализируется растительность во всех плесах Восточного Сиваша в период функционирования СКК. Канал был введен в эксплуатацию в 60-е годы прошлого века для обеспечения водой засушливых территорий равнинного Крыма. Для нормального функционирования оросительной системы СКК была построена разветвленная дренажная сеть (подземные дрены и открытые дренажные коллекторы), по которой избыток вод отводился в акваторию Сиваша. Это привело к значительным изменениям водного баланса залива: в среднем за период работы канала в Сиваш поступало 0.63 км³/год пресных вод [9]. Поступающие воды содержали значительные концентрации биогенных элементов и органических веществ. В местах, занятых до середины прошлого века ветровыми осушками («засухами»), стали развиваться водно-болотные тростниковые

комплексы, которые получили очень широкое распространение во всей зоне интенсивного орошения и рисосеяния – от Перекопа и берегов Каркинитского залива до самых восточных заливов Сиваша у Ак-Монайского перешейка [6].

СКК в 2014 г. был перекрыт, в результате изменился водно-солевой режим в регионе, сократилось поступление пресных вод в залив, соленость начала расти в Восточном и Южном Сиваше. В настоящее время соленость вод Восточного и Южного Сиваша продолжает расти, постепенно приближаясь к естественной минерализации залива, которая существовала до запуска СКК. Такие изменения в солевом режиме залива отразились на всей его экосистеме, в том числе на тростниковых зарослях, начавших активно отмирать, сокращаясь в площади, что было отмечено в работах [10–11], в которых уделено внимание изменению видового состава биоты в заливе после перекрытия канала и обсуждается возможное влияние отмирания тростника на динамику берега.

Цель работы – оценить по спутниковым данным динамику площадей тростниковой растительности в береговой зоне Восточного и Южного Сиваша с 2014 по 2020 г. вследствие перекрытия СКК и роста солености в акватории залива.

Материалы и методы

Изучение динамики тростниковой растительности было выполнено по данным цифровых многозональных спутников *Landsat 5* и *7* и *Sentinel-2 L1C*. Анализ выполнялся с помощью программного комплекса *ENVI* методом контролируемой классификации изображения. Использовались *RGB*-композиции с сочетанием каналов 3:2:1 и 4:5:1 (снимки *Landsat*) и 11:8:4 (снимки *Sentinel*). Используемые снимки *Landsat* были выполнены в летний и раннеосенний период с 2014 по 2017 г., дополнительно для сопоставления использовались снимки за 1995, 2002, 2009 и 2011 гг. Снимки *Sentinel* выполнены с 2015 по 2020 г. в вегетативный период с мая по июнь, они сопоставлялись с осенними снимками. Для идентификации тростниковой растительности на снимках при выборе эталона использовались красные и инфракрасные каналы. Полученные таким образом снимки, в отличие от снимков в естественных цветах, позволили отделить чистую поверхность воды от суши и растительности. Надежность в определении эталона тростниковой растительности обеспечивалась также визуальным анализом и полевым дешифрированием в ходе рекогносцировочных маршрутов (в районе Рогачинского и Сунакского заливов).

Анализируемая территория включает в себя Центральное Присивашье (от м. Джангара на западе до п-ова Кут на юго-востоке). С использованием снимков *Sentinel-2 L1C* анализировалась акватория Князевского и Балагановского заливов (в Восточном Сиваше) и район Алексеевской засухи (Южный Сиваш). Именно для этого региона характерен наибольший объем поступления сточных и дренажных вод в Сиваш и, как следствие, значительное развитие тростниковой растительности.

Полученные при анализе снимков результаты сопоставлялись с данными о солености вод Восточного и Южного Сиваша, собранными в ходе экспе-

дий Морского гидрофизического института РАН (МГИ) в 2013–2020 гг. (определения проводились рефрактометрическим методом с помощью рефрактометра *REF201\211\201bp*) [12, 13].

Результаты

В районе залива Сиваш формирование водно-болотных тростниковых комплексов происходило в верховьях заливов, в руслах балок, трансформированных в дренажные коллекторы, которые отводили в Сиваш дренажные воды. В залив поступали также стоки из канализационных очистных сооружений и неучтенные стоки населенных пунктов. По данным работы [6], тростниковые сообщества, перемежающиеся рогозом и осоками, занимали 10–20 % акватории заливов в 60-е гг., в 80-е гг. – уже 60–70 %, а к 90-м гг. площади тростниковой растительности покрывали 70–80 %.

В тростниково-болотных комплексах тростниковые заросли имеют огромное экологическое значение: они являются важнейшим, очень специфичным биотопом с характерным богатым набором орнитофауны. По данным работы [7], здесь гнездится 27.1 % всех птиц, в т. ч. мигрирующих, гнездящихся в районе залива. Кроме того, растительность выполняет фильтрующую функцию, частично очищая поступающие в Сиваш сточные воды. С другой стороны, как указывается в [7], чрезмерное распространение тростниковой растительности после расплескивания залива Сиваш привело к сокращению мелководий, важных для отдыха миллионов перелетных куликов.

Сопоставление разновременных снимков показало (рис. 1, 2), что в целом с 2014 г. отмечается значительное сокращение площади тростниковой растительности. В 90-е гг. она составляла 20–40 км², но с конца 1990-х и в начале 2000-х гг. отмечается ее существенное уменьшение. В настоящее время площадь тростниковой растительности вблизи берегов Центрального Присивашья составляет около 15 км².

Наибольшую площадь плавни занимали в Рогачинском заливе (между п-овами Тюп-Тархан и Тюп-Джанкой) – более 8 км² (Рогачинский залив обозначен цифрой 1 на рис. 3). При этом их площадь в исследуемый период сокращалась незначительно – это связано с тем, что в верховье залива открываются русла балок Победной (где проложен главный коллектор СКК № 5 (ГК-5)) и Мирновки (ГК-4-1). Балки Мирновка и Степная (ГК-4) проходят через крупнейший город равнинного Крыма – Джанкой. Поэтому, несмотря на прекращение сбора дренажных вод, русла этих балок обводнены за счет сброса сточных вод. Это подтверждается и незначительным увеличением солености в заливе: по данным МГИ в 2014–2019 гг., после перекрытия СКК, в Рогачинском заливе она возростала незначительно с 26 до 34 % и только в 2020 г. достигла 41 % при отсутствии явных сезонных скачков.

Князевский залив расположен южнее, между п-овами Тюп-Кангил и Тюп-Джанкой и дальше от пролива Тонкого, по которому в Сиваш поступают соленые воды Азовского моря. Площадь, занимаемая тростниковыми сообществами, здесь значительно уменьшилась еще в 2000-х гг. Дальнейшее ее сокращение фиксируется на спутниковых снимках в связи с уменьшением поступления дренажных вод (рис. 3). За этот период отмечается рост солености вод залива: по данным МГИ в 2014 г. она составляла 30–33 %

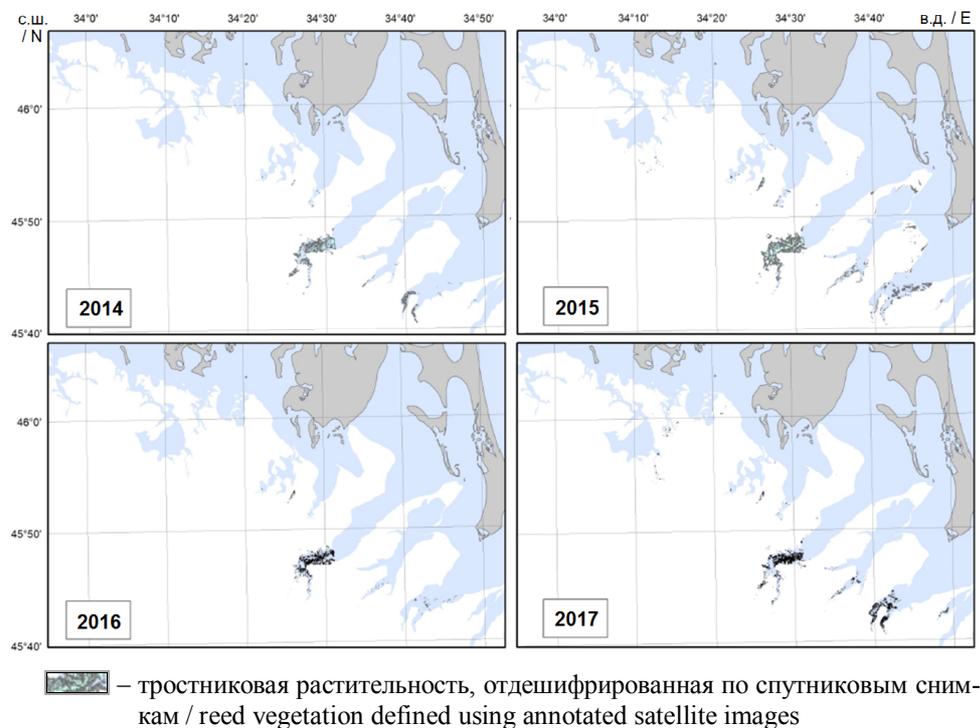


Рис. 1. Распространение тростниковой растительности (выделена темно-серым цветом) в 2014–2016 гг. в пределах береговой зоны Центрального Присивашья (по спутниковым снимкам *Landsat*)

Fig. 1. Reed vegetation spread (highlighted in dark grey) in the coastal area of the Central Prisivashie in 2014–2016 (according to *Landsat* satellite images)

и до 2018 г. сильного роста зафиксировано не было, однако уже в 2019 г. соленость возросла до 50 ‰, а летом 2020 г. составила 74 ‰.

В Балагановском заливе (между п-овами Тюп-Кангил и Кут) площадь тростниковой растительности в 1995 г. составляла 15 км², а в 2017 г. – всего 5 км². В этом заливе сокращение ее площади с 2014 г. было наиболее значительным. Это связано с тем, что вблизи залива ранее располагались районы

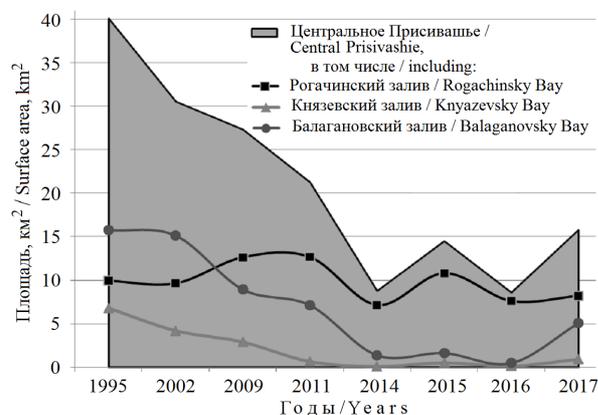
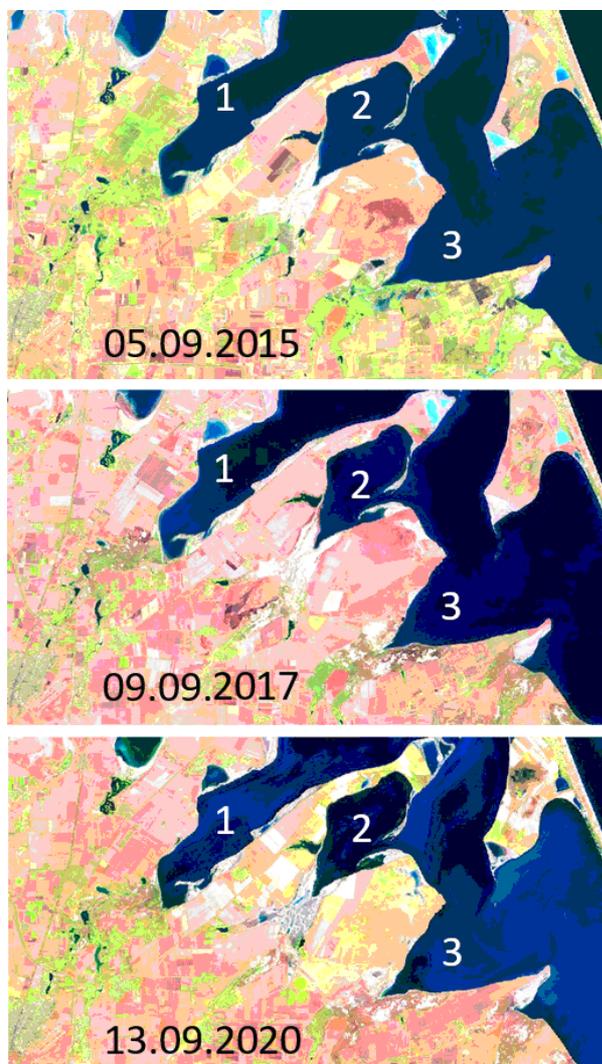


Рис. 2. Изменение площади распространения тростниковой растительности в пределах береговой зоны Центрального Присивашья (по спутниковым снимкам *Landsat*)

Fig. 2. Change of the reed vegetation spread area in the coastal area of the Central Prisivashie (according to *Landsat* satellite images)



Р и с . 3 . Тростниковая растительность (темно-зеленый цвет) в акватории Восточного Сиваша на спутниковых снимках *Sentinel-2 L1C* (1 – Рогачинский залив; 2 – Князевский залив; 3 – Балагановский залив)

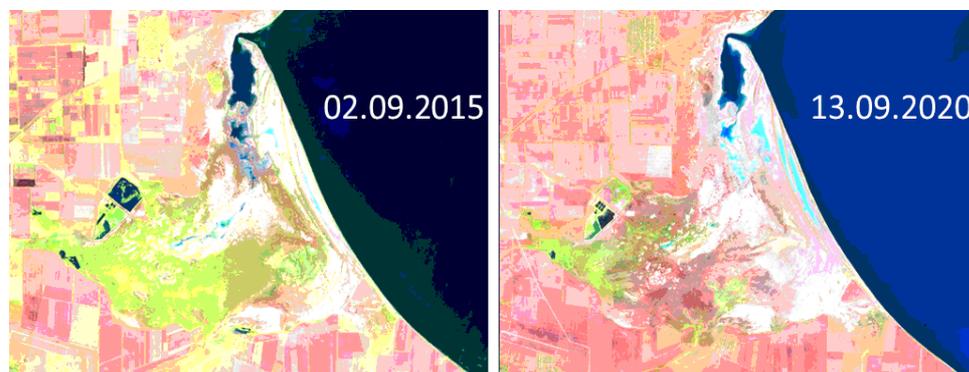
Fig. 3. Reed vegetation (marked in dark green) in the East Sivash water area in satellite *Sentinel-2 L1C* images (1 – Rogachinsky Gulf; 2 – Knyazevsky Gulf; 3 – Balaganovsky Gulf)

момент представляют собой ветровую осушку, как это было до начала работы СКК.

Таким образом, сокращение площади, занятой тростниковой растительностью (плавнями), в верховьях заливов Восточного и Южного Сиваша в целом коррелирует с ростом солености, вызванным снижением пресной составляющей в его водном балансе. Однако эта связь имеет сложный характер

рисосеяния, на которых использовалось значительное количество поливной воды, сбрасываемой в виде дренажных вод в Сиваш. Поэтому и соленость вод в заливе возросла с 33 ‰ в 2014 г. до 62 ‰ в 2020 г. Пространства прибрежной территории залива, где ранее произрастала тростниковая растительность, трансформировались в ветровую осушку («засуху»).

В Южном Сиваше был рассмотрен район Алексеевской засухи (рис. 4). В этой части лагуны отмечена самая высокая динамика солености после перекрытия СКК. Весной 2018 г. соленость здесь составляла 75 ‰, в 2019 г. – 87 ‰, а летом 2020 г. доросла до отметки 108 ‰. Поэтому сокращение тростниковой растительности здесь происходило особенно интенсивно (рис. 4). Отмирание тростникового берега в этом районе было отмечено визуально во время экспедиционных исследований. На спутниковом снимке видно, что полностью пересох пресный искусственный водоем в северо-западной части засухи. Значительные пространства, ранее занятые растительностью, в настоящий



Р и с . 4. Тростниковая растительность (темно-зеленый цвет) в акватории Алексеевской засухи Южного Сиваша на спутниковых снимках *Sentinel-2 L1C*

Fig. 4. Reed vegetation (marked in dark green) in the Alekseevskaya extinct lake area of the South Sivash in satellite *Sentinel-2 L1C* images

и зависит от современного поступления пресных вод (сбросных канализационных и дренажных), солености, конфигурации побережья и удаленности от пролива Тонкого. Уменьшение площади тростниковой растительности на современном этапе продолжает тенденцию, начавшуюся с конца 90-х гг.

Выводы

Площадь, занятая тростниковой растительностью, определенная по спутниковым снимкам, в Восточном и Южном Сиваше после перекрытия СКК в 2014 г. испытывает тенденцию к уменьшению. Основной причиной этого явилось сокращение сброса пресной воды по дренажно-коллекторной сети. Это подтверждается постоянным ростом солености в акватории Восточного и Южного Сиваша, который впервые был зафиксирован в 2014 г. и продолжается в настоящее время. Сокращение площади тростниковой растительности продолжает тенденцию, наметившуюся в конце 90-х гг. На рассматриваемом участке Присивашья максимальное сокращение площади характерно для Князевского и Балагановского заливов, а также Алексеевской засухи (Южный Сиваш). В Рогачинском заливе, несмотря на прекращение сброса дренажных вод, сохраняется сток сточных вод, поэтому здесь тростниковые сообщества сохранились лучше всего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В. А. Береговые аккумулятивные формы залива Сиваш // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5, № 2. С. 80–88.
2. Михайлов В. А. Абразия как фактор деградации земельных ресурсов Крымского Присивашья // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2015. Т. 1, № 2. С. 52–58.
3. Михайлов В. А. Свободные и отчлененные береговые аккумулятивные формы залива Сиваш // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. География. 2014. Т. 27, № 2. С. 65–74.

4. *Ерёмина Е. С., Харитонова Л. В., Станичный С. В.* Оценки влияния перекрытия Северо-Крымского канала на изменчивость морфометрических характеристик залива Сиваш по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 7. С. 175–183. doi:10.21046/2070-7401-2018-15-7-175-183
5. *Багрикова Н. А.* Современное состояние растительного покрова Крымского Присивашья и перспективы охраны // Современное состояние Сиваша. Киев : Wetlands International – АЕМЕ, 2000. С. 27–37.
6. *Костин С. Ю.* Динамика населения птиц Крыма под влиянием гидромелиорации. Сообщение 2. Плавневый комплекс // Наука Юга России. 2019. Т. 15, № 4. С. 78–87. doi:10.7868/S25001640190410
7. *Марушевский Г. Б., Костюшин В. А., Сиохин В. Д.* Сиваш: природа и люди. Киев : Черноморская программа Wetland International, 2005. 80 с.
8. *Громов В. В.* Водная и прибрежно-водная растительность северного и западного побережья Азовского моря // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2012. Т. 5, № 2. С. 121–137.
9. *Совга Е. Е., Ерёмина Е. С., Хмара Т. В.* Водный баланс залива Сиваш в условиях изменчивости природно-климатических и антропогенных факторов // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 1. С. 71–81. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-71-81
10. The political decision caused the drastic ecosystem shift of the Sivash Bay (the Sea of Azov) / N. V. Shadrin [et al.] // Quaternary International. 2018. Vol. 475. P. 4–10. doi:10.1016/j.quaint.2017.12.009
11. Macrostructure of benthos along a salinity gradient: The case of Sivash Bay (the Sea of Azov), the largest hypersaline lagoon worldwide / N. Shadrin [et al.] // Journal of Sea Research. 2019. Vol. 154. 101811. doi:10.1016/j.seares.2019.101811
12. *Совга Е. Е., Ерёмина Е. С., Латушкин А. А.* Экспедиционные исследования, проведенные Морским гидрофизическим институтом в акватории залива Сиваш весной и осенью 2018 года // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 2. С. 176–185. doi:10.22449/0233-7584-2020-2-176-185
13. Экспедиционные исследования Морского гидрофизического института в Восточном Сиваше весной и осенью 2014 г. / П. Д. Ломакин [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 138–145.

Об авторах:

Ерёмина Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 5891-9884, ORCID ID: 0000-0002-5596-2691, ResearcherID: E-8676-2018, shchurova88@gmail.com**

Совга Елена Евгеньевна, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **SPIN-код: 8675-2443, ORCID ID: 0000-0002-0670-4573, ResearcherID: A-9774-2018, esovga@mhi-ras.ru**

Михайлов Владислав Анатольевич, доцент кафедры физической географии, океанологии и ландшафтоведения, Таврическая академия (структурное подразделение), Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (295007, Россия, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, д. 4), кандидат географических наук, **SPIN-код: 2449-4229, mikhailov_vl@mail.ru**

Станичный Сергей Владимирович, заведующий отделом дистанционных методов исследования, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 8146-9454, ORCID ID: 0000-0002-1033-5678, ResearcherID: F-8915-2014, stanichny@mail.ru**

Заявленный вклад авторов:

Ерёмина Екатерина Сергеевна – определение значений солёности воды за 2014–2020 гг., анализ спутниковых снимков *Sentinel-2 L1C*, подготовка текста статьи

Совга Елена Евгеньевна – постановка задачи исследования, анализ литературных данных, анализ динамики солёности в заливе Сиваш, подготовка текста статьи

Михайлов Владислав Анатольевич – разработка методики обработки спутниковой информации для определения тростниковой растительности на многоспектральных снимках

Станичный Сергей Владимирович – анализ спутниковых снимков *Landsat* в программном комплексе *ENVI*, описание результатов работы

REFERENCES

1. Mykhailov, V.A., 2019. Coastal Accumulative Forms of Sivash Bay. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 5(2), pp. 80–88 (in Russian).
2. Mykhailov, V.A., 2015. The Abrasion as a Factor of Land Resources Degradation of the Crimean Sivash Bay Area. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 1(2), pp. 52–58 (in Russian).
3. Mykhailov, V.A., 2014. Free and Detached Coastal Accumulative Forms of Sivash Bay. *Scientific Notes of Tavrida National V.I. Vernadsky University. Geography*, 27(2), pp. 65–74 (in Russian).
4. Eremina, E.S., Kharitonova, L.V. and Stanichny, S.V., 2018. Estimates of the North-Crimean Canal Cut-Off Effect on the Variability of the Sivash Bay Morphometric Characteristics on Satellite Data. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa = Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 15(7), pp. 175–183. doi:10.21046/2070-7401-2018-15-7-175-183 (in Russian).
5. Bagrikova, N.A., 2000. The Status of the Vegetation in the Crimean Region Adjacent to the Sivash Gulf and Prospects for Its Conservation. In: Wetlands International – AEME, 2000. *Current Status of Sivash*. Kyiv: Wetlands International – AEME, pp. 27–37 (in Russian).
6. Kostin, S.Yu., 2019. Dynamics of Fauna and Bird Population of Crimea under the Influence of Irrigation. Report 2. Floodplains Complex. *Nauka Yuga Rossii = Science in the South of Russia*, 15(4), pp. 78–87. doi:10.7868/S25001640190410 (in Russian).
7. Marushevsky, G.B., Kostyushin, V.A. and Siokhin, V.D., 2005. *The Sivash: Nature and People*. Kiev: Wetlands International Black Sea Programme, 80 p. (in Russian).
8. Gromov, V.V., 2012. Aquatic and Coastal Vegetation of the Northern and Western Coast of the Azov Sea // *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 5(2), pp. 121–137. doi:10.17516/1997-1389-0140 (in Russian).
9. Sovga, E.E., Eremina, E.S. and Khmara, T.V., 2018. Water Balance in the Sivash Bay as a Result of Variability of the Natural-Climatic and Anthropogenic Factors. *Physical Oceanography*, 25(1), pp. 67–76. doi:10.22449/1573-160X-2018-1-67-76

10. Shadrin, N.V., Anufrieva, E.V., Kipriyanova, L.M., Kolesnikova, E.A., Latushkin, A.A., Romanov, R.E. and Sergeeva, N.G., 2018. The Political Decision Caused the Drastic Ecosystem Shift of the Sivash Bay (the Sea of Azov). *Quaternary International*, 475, pp. 4–10. doi:10.1016/j.quaint.2017.12.009
11. Shadrin, N., Kolesnikova, E., Revkova, T., Latushkin, A., Chepyzhenko, A., Dyakov, N. and Anufrieva, E., 2019. Macrostructure of Benthos along a Salinity Gradient: The Case of Sivash Bay (the Sea of Azov), the Largest Hypersaline Lagoon Worldwide. *Journal of Sea Research*, 154, 101811. doi:10.1016/j.seares.2019.101811
12. Sovga, E.E., Eremina, E.S. and Latushkin, A.A., 2020. Research Expeditions Performed by Marine Hydrophysical Institute in the Sivash Bay Waters in Spring and Autumn, 2018. *Physical Oceanography*, 27(2), pp. 161–170. doi:10.22449/1573-160X-2020-2-161-170
13. Lomakin, P.D., Sovga, E.E., Shchurova, E.S. and Ovsyany, E.I., 2014. [MHI Field Research in the East Sivash in Spring and Autumn 2014]. In: MHI, 2014. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 28, pp. 138–145 (in Russian).

About the authors:

Ekaterina S. Eremina, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **SPIN-код: 5891-9884**, **ORCID ID: 0000-0002-5596-2691**, **ResearcherID: E-8676-2018**, *shchurova88@gmail.com*

Elena E. Sovga, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), **SPIN-code: 8675-2443**, **ORCID ID: 0000-0002-0670-4573**, **ResearcherID: A-9774-2018**, *esovga@mhi-ras.ru*

Vladislav A. Mikhailov, Associate Professor, Taurida Academy, V. I. Vernadsky Crimean Federal University (4 Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **SPIN-код: 2449-4229**, *mikhailov_vl@mail.ru*

Sergey V. Stanichny, Head of Remote Sensing Department, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Phys.-Math.), **SPIN-code: 8146-9454**, **ORCID ID: 0000-0002-1033-5678**, **ResearcherID: F-8915-2014**, *stanichny@mail.ru*

Contribution of the authors:

Ekaterina S. Eremina – determination of water salinity for 2014–2020, analysis of Sentinel-2 L1C satellite images, article text preparation

Elena E. Sovga – research task setting, literature data analysis, analysis of salinity dynamics in the Sivash Gulf, article text preparation

Vladislav A. Mikhailov – development of methods for satellite information processing to determine reed vegetation in multispectral pictures

Sergey V. Stanichny – analysis of Landsat satellite images in ENVI software, work result description

All the authors have read and approved the final manuscript.