Оценки влияния перекрытия Северо-Крымского канала на изменчивость морфометрических характеристик залива Сиваш по спутниковым данным

Е. С. Ерёмина, Л. В. Харитоновна, С. В. Станичный

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mails: shchurova88@gmail.com, kharitonova.dntmm@gmail.com, sstanichny@mail.ru*

Работа посвящена исследованию изменчивости береговой зоны залива Сиваш после перекрытия Северо-Крымского канала, который являлся основным источником пресной воды в северном и восточном Крыму с 70-х гг. XX в. до 2014 г. Поступавшая по каналу днепровская вода использовалась для производственно-технических нужд, сельского хозяйства, в том числе для орошения рисовых полей. Новые условия водопользования определили изменение состояния озёр-лагун и пресных водоёмов в береговой зоне Сиваша. В работе на основе сопоставлений спутниковых изображений высокого разрешения серии Landsat в инфракрасных каналах проанализированы изменения береговой линии Среднего и Восточного Сиваша. Проведена оцифровка береговой линии и рассчитаны площади водного зеркала, объёмы и удельные поверхности для Восточного Сиваша, озёр-лагун, рисовых чеков и искусственных мелиоративных сооружений во время функционирования и после перекрытия Северо-Крымского канала. Характерными современными процессами для Среднего Сиваша являются сезонные осушения обширных мелководий в летний период. Площадь непосредственно акватории залива Восточный Сиваш практически не изменилась, осушению подверглись прибрежные мелководные лагуны и заливы. Отмечены процессы увеличения площади осушек в дельте Генического пролива, при этом основные протоки не меняют своего положения и размера.

Ключевые слова: залив Сиваш, лагуна, береговая линия, дистанционные методы, спутниковые изображения, спутниковые снимки, Северо-Крымский канал

Одобрена к печати: 12.10.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-175-183

Введение

Определяющим фактором изменчивости гидрологического и гидрохимического режимов залива Сиваш за последние 50 лет является сложившаяся концепция природопользования Присивашья. Введение в эксплуатацию Северо-Крымского канала (СКК) в 1963 г. привело к поднятию уровня грунтовых вод, появлению большого числа пресноводных водоёмов, снижению минерализации залива. В 2014 г. СКК был перекрыт в связи с изменением системы водопользования, что отразилось на прибрежных экосистемах. В данной работе с помощью спутниковых изображений проводится анализ этих изменений: рассчитываются площади пресноводных водоёмов региона во время работы канала и после его перекрытия, сопоставляются площади водного зеркала Восточного и Южного Сиваша в условиях изменившегося водного баланса, выделяются районы подтопления и обмеления берегов залива.

Мониторинг состояния прибрежных районов Сиваша чрезвычайно важен с точки зрения необходимости формирования новой концепции природопользования Присивашья. Современные условия развития региона северного Крыма привели к смене культур в кластере растениеводства: прекращено выращивание риса, сократились площади орошаемого земледелия, увеличилась составляющая засухоустойчивых культур. Понимание изменений параметров береговой зоны залива Сиваш и прибрежных водоёмов в новой гидрологической обстановке является актуальным при планировании развития экономики региона.

Характеристика района исследования

Залив Сиваш представляет собой гиперсолёную лагуну со сложным очертанием береговой линии, расположенную в северо-западной части Азовского моря. Сиваш связан с Азовским морем Геническим проливом. Залив условно делят на четыре части (рис. 1): Западный, Средний (или Центральный), Восточный и Южный Сиваш. Восточный и Средний водоёмы разделены Чонгарским проливом; Западный и Средний наиболее мелководны и обособлены, что позволяет развивать промышленность на базе солевых ресурсов. В Восточном и Южном Сиваше преобладают глубины от 1 до 2 м, солёность в них ниже, чем в западной части. Мелководность лагуны, затруднённый водообмен, сложная орография побережья делают Сиваш природным испарителем — месторождением минеральных и бальнеологических ресурсов, важнейшим очагом жизни редких птиц и растений.

Залив Сиваш является приграничным. По нему проходит государственная граница Российской Федерации, разделяющая Западный, Средний и Восточный водоёмы (см. рис. 1). Акватория Южного Сиваша расположена полностью на территории РФ.

В работе (Понизовский, 1965) наиболее полно описывается физико-географическая характеристика Сиваша до введения Северо-Крымского канала. В этот период солёность в районе посёлка Счастливцево (Восточный Сиваш) достигала 69 ‰, в Южном Сиваше солёность изменялась в пределах 110–142 ‰. Для Среднего и Западного Сиваша до строительства дамб были характерны резкие колебания солёности, которые происходили в результате сгонно-нагонных течений и влияния поверхностного стока.

На берегах Сиваша сосредоточены как объекты природно-заповедного фонда («Восточный Сиваш» является водно-болотным угодьем международного значения), так и предприятия химической промышленности, крупные массивы сельскохозяйственных угодий. В 2000 г. объёмы поступления пресных вод в залив составляли около 400 млн м³ (Марушевский и др., 2005). В связи с перекрытием в 2014 г. СКК природные равновесия нарушились. Это привело к изменениям в гидрохимическом и гидрологическом режимах залива, что подтвердил анализ данных экспедиционных исследований 2014–2016 гг. (Щурова и др., 2016). После перекрытия СКК выращивание риса стало экономически нецелесообразным.

Современных масштабных исследований залива Сиваш не проводится. Не разработана система мониторинга этого уникального природного объекта. Работавшие ранее гидрологические станции Чонгарский мост и Соляное прекратили свою работу.

Рис. 1. Карта-схема залива Сиваш (красная линия — государственная граница)

В 2013–2016 гг. Морским гидрофизическим институтом РАН, Севастопольским отделением ГОИН и Институтом морских биологических исследований РАН проведено восемь совместных экспедиций в районы Восточного и Южного Сиваша. На 38 станциях были отобраны пробы воды и грунта, выполнены замеры температуры воды в заливе и в прибрежной морской акватории, проведено панорамное фотографирование и описание состояния береговой зоны района исследования. Сложность измерения солёности *in situ* воды Сиваша сопряжена с погрешностями приборов при работе с гиперсолёной водой, поэтому измерения солёности проб воды проводилось в ФГБУН МГИ в лабораторных условиях (Ломакин и др., 2014). Анализ результатов позволил обнаружить тенденцию роста солёности вод исследуемого района после перекрытия СКК весной 2014 г.

Материалы и методы

Ввиду того, что в связи с приграничным положением объекта исследования доступ к нему в настоящее время в значительной степени ограничен, систематические наблюдения за всей акваторией залива Сиваш могут выполняться только с применением дистанционных методов исследования.

В данной работе для анализа изменения положения береговой линии затопляемых и осушаемых территорий залива Сиваш во время функционирования СКК (период с 1984 по 2013 г.) и после его перекрытия (с 2014 г.) была проведена выборка спутниковых изображений серии Landsat сканеров TM (Landsat-5), OLI/TIRS TM (Landsat-8), полученных в безоблачную погоду. При отборе изображений учитывались гидрологические характеристики объекта изучения. Отбирались снимки, полученные во время летнего сезона и, соответственно, минимального уровня воды, а также во время весеннего сезона, когда уровень в Сиваше наибольший. Для минимизации эффекта подтопления и осушения территорий при сгонно-нагонных явлениях брались изображения, полученные при штилевых условиях или при скорости ветра не более 2 м/с согласно данным морской гидрометеорологической станции «Геническ» (<https://gp5.ru/>). Изображения привязаны к системе координат WGS 84/UTM, район исследования целиком попадает в 36-ю зону северного полушария.

Анализ спутниковых изображений позволяет получить описательно-распознавательные образы водоёмов, главным образом в виде морфометрических характеристик: площади водного зеркала S_3 и её контура. Зная площадь, максимальную и среднюю глубину $H_{\text{ср}}$, можно получить объём водного тела $V = S_3 \cdot H_{\text{ср}}$. Характеристики V и S_3 позволяют рассчитать так называемую удельную поверхность S_3/V . Этот параметр характеризует обмен веществом и энергией между водоёмом и окружающей средой (Ястреб и др., 2007).

Для решения поставленной задачи с помощью свободной геоинформационной системы QGIS (Quantum GIS) проводилось RGB-комбинирование изображений из каналов: ближнего инфракрасного (ИК) SWIR 3 (2,100–2,300 мкм), ближнего ИК SWIR 2 (1,560–1,660 мкм) и красного видимого канала (0,630–0,680 мкм). Излучение ближнего инфракрасного участка спектра практически полностью поглощается тонкой плёнкой воды, не проникая в глубину, что даёт резкий контраст между акваториями и объектами суши. В данном диапазоне хорошо отслеживается береговая линия, что позволяет достаточно чётко выделить границу «суша – море» (Лабутина, 2004). Представленная комбинация изображений позволяет с большой точностью дешифровать как пресные, так и гиперсолёные водные объекты внутри суши (Ястреб и др., 2012). Далее проводилась оцифровка береговой линии Восточного Сиваша, прибрежных лагун, водоёмов и рисовых чеков, заливавшихся водой во время действия СКК. Полученные данные позволили рассчитать площади водного зеркала (S_3), объёмы вод (V) и удельную поверхность (S_3/V) рассматриваемых водных объектов.

Также проводилось RGB-комбинирование изображений, сделанных в разное время для одной территории. Этот метод и его преимущества были описаны в работе (Станичная и др., 2016). Некоторые результаты исследования сезонной и многолетней динамики береговой линии залива Сиваш приведены в статье (Shchurova et al., 2016). Данная методика по-

звояет выделить изменение береговой линии во времени. Для чёткого выделения границы «суша — водная поверхность» использовалось сопоставление изображений в ИК-каналах, так как излучение инфракрасного участка спектра практически полностью поглощается тонкой плёнкой воды, не проникая в глубину, что даёт резкий контраст между водоёмами и объектами суши (Станичная и др., 2016). Обработка снимков осуществлялась в свободно распространяемой программе BEAM VISAT 5.0. В ходе обработки изображения интерполировались на сетку с шагом, соответствующим 30-метровому разрешению, затем комбинировались в форме RGB-изображения, где на красный канал подавались снимки, сделанные в более позднее время, а на синий и зелёный — в более ранние периоды. Полученные композиты позволили выделить обмелевшие участки суши, появившиеся острова и засухи красным цветом, а участки суши, которые со временем стали затопленными, — голубым.

Результаты и обсуждение

На основе данных оцифровки спутниковых изображений серии Landsat рассчитаны значения морфометрических характеристик площадей водного зеркала Восточного Сиваша, прибрежных водоёмов и рисовых чеков. Полученные результаты представлены в *таблице*.

Морфометрические характеристики Восточного Сиваша, полученные по данным спутниковых изображений серии Landsat-08

	Площадь, км ²		Средняя глубина, м		Объём, км ³		Удельная поверхность, км ² /км ³	
	10.08.2013	02.08.2016	10.08.2013	02.08.2016	10.08.2013	02.08.2016	10.08.2013	02.08.2016
Восточный Сиваш	1262,2	1,5	1,89	667,83	1262,2	1,5	1,89	667,83
Водоёмы	72,09	0,3	0,0216	3337,50	69,64	0,3	0,0208	3348,08
Рисовые чеки	76,79	0,7	0,053	1448,87	—	—	—	—
Сумма	1411,08	—	1,96	5454,2	1331,84	—	1,9108	4015,46

Сопоставление ИК-каналов разновременных изображений до и после 2014 г. и их анализ позволили выделить участки прибрежной зоны Среднего и Восточного Сиваша, подвергшиеся наибольшим изменениям после прекращения работы СКК. Для иллюстрации приведены RGB-композиты ИК-каналов изображений сканера Landsat-5 и Landsat-8 в периоды половодья (май) и межени (август) для районов Среднего Сиваша и северной части Восточного Сиваша (*рис. 2–3*, см. с. 179), а также центральной части Восточного Сиваша (*рис. 4*, см. с. 179). Красным цветом обозначены обмелевшие участки суши, голубым — области подтопления.

Для береговой зоны Среднего Сиваша, отделённого от остальной части залива дамбами, прекращение поступления вод по СКК привело к перестройке водного режима. В период половодья (см. *рис. 2*) за счёт дождевой и снеговой влаги происходит заполнение чаши водоёма и прибрежных лагун в тех же границах, что и ранее, с незначительными вариациями от года к году. Активное испарение в летний период приводит к осушению в первую очередь отмелей участков водоёма. Без дополнительной подпитки водами СКК площади осушаемых участков значительно увеличились. На *рис. 3*, отражающем изменения в меженный период, обращают на себя внимание обширные области красного цвета в западной части Среднего Сиваша — практически полностью высохли прибрежные отмели, заливы и проливы, отделяющие острова, сократились площади прибрежных водоёмов. Согласно картам Генштаба по состоянию местности на 1988 г., их глубины составляли до 0,4 м.

Рис. 2. RGB-композит ИК-каналов изображений сканера Landsat-8 от 22 мая 2013 г. и 12 мая 2015 г. Среднего Сиваша и северной части Восточного Сиваша. Красным цветом обозначены обмелевшие участки суши, голубым — области подтопления

Рис. 3. RGB-композит ИК-каналов изображений сканера Landsat-8 от 10 августа 2013 г. и 2 августа 2016 г. Среднего Сиваша и северной части Восточного Сиваша. Красным цветом обозначены обмелевшие участки суши, голубым — области подтопления

Рис. 4. RGB-композит ИК-каналов изображений сканера Landsat-5 и Landsat-8: *слева* — 22 мая 2013 г. и 12 мая 2015 г., *справа* — 10 августа 2013 г. и 2 августа 2016 г. Красным цветом обозначены обмелевшие участки суши, голубым — области подтопления

Восточный Сиваш имеет ограниченный водообмен с Азовским морем через Генический пролив, представляющий собой открывающуюся в залив разветвлённую дельту в северной части Арабатской стрелки. Основное поступление вод осуществляется через два главных рукава: Большое и Малое Гирло. Недосток приходной составляющей вод из СКК в водном балансе Восточного Сиваша частично компенсируется увеличением притока вод из Азовского моря (Совга и др., 2018). В настоящее время происходит перестройка дельты, отражающаяся в увеличении площади осушек как в период межени (см. *рис. 2*), так и в период половодья (см. *рис. 3*). При этом основные пути поступления воды из моря в залив, имея большую глубину, чем окружающие участки, пока не меняют своего положения и размера.

Анализ RGB-композиций ИК-каналов разновременных изображений показал, что залив Восточный Сиваш после перекрытия СКК практически не изменил своих границ, изменения площади водного зеркала незначительны (см. *таблицу*). Осушению подверглись отделённые от залива пересыпями и косами прибрежные мелководные лагуны и заливы (*рис. 2–4*). В Северной части Восточного Сиваша в летний период за счёт интенсификации испарения увеличились площади осушек. В районе Шакалинского сужения сезонные изменения высохших участков осушек не отмечены.

Существенным изменениям подверглись площади водоёмов Восточного Присивашья, рисовых чеков и искусственных мелиоративных сооружений, полное или частичное питание которых осуществлялось за счёт вод СКК. Так, к северо-западу от Шакалинского сужения интенсивным красным цветом отображён накопительный водоём (см. *рис. 4*), существовавший до 2014 г. В период максимального поступления вод СКК в Сиваш (до середины 90-х гг. XX в.) он имел в несколько раз большую площадь.

При наложении изображений до и после 2014 г. отчётливо идентифицируются поля для выращивания риса (рисовые чеки), затоплявшиеся водой по технологии выращивания данной культуры (см. *рис. 4*). Анализ серии изображений в период половодья показал, что рисовые чеки по-прежнему заполняются водой за счёт дождевой влаги в весенний период, которая испаряется к середине лета.

Сопоставление полученных значений морфометрических характеристик Восточного и Южного Сиваша и Присивашья показало, что общие площади озёр-лагун, рисовых чеков и водоёмов мелиоративной системы в меженный период (июль – август) сократились на 79,24 км² (5,6 %), при этом 2,45 км² приходится на пресные и солёные водоёмы, 76,79 км² — на рисовые чеки.

Заключение

Спутниковые изображения высокого разрешения фиксируют состояние водоёма в определённый момент времени; другим ключевым преимуществом дистанционных методов исследования является возможность наблюдать за труднодоступными природными объектами, к которым является залив Сиваш в связи с его приграничным положением.

Сопоставление изображений Landsat-8 в инфракрасном канале, сделанных до и после перекрытия СКК, позволили выделить районы Восточного и Северного Сиваша, подвергшиеся подтоплению и обмелению после изменения водного баланса исследуемого района. Оцифровка береговой линии Восточного Сиваша, прибрежных лагун, водоёмов и рисовых чеков по RGB-композициям спутниковых изображений серии Landsat-5, -8 позволила получить значения морфометрических характеристик водоёмов до и после 2014 г. Подсчитаны площади, объёмы и удельные поверхности для акватории Сиваша, рисовых чеков и водоёмов прибрежной части во время функционирования и после перекрытия Северо-Крымского канала.

Анализ полученных результатов показал, что после 2014 г. площадь непосредственно акватории залива Восточный Сиваш практически не изменилась. В дельте Генического пролива увеличились площади островов, при этом основные протоки пока не меняют своего положения и размера. Существенным изменениям подверглись площади водоёмов Присивашья,

имеющих ограниченный водообмен с заливом: озера-лагуны, рисовые чеки и искусственные мелиоративные сооружения, использовавшие воды канала. Так, в меженный период (июль — август) их площади сократились на 79,24 км² (5,6 %), из которых 2,45 км² приходится на пресные и солёные водоёмы, 76,79 км² — на рисовые чеки. Значительны изменения в береговой зоне Среднего Сиваша, где в летний период осушаются отмели глубинами до 0,4 м.

В дальнейших работах предполагается исследование водного режима залива Сиваш на основе спутниковых данных и натурных наблюдений, в том числе плюмов азовоморских вод, проникающих через Арабатскую стрелку, отслеживаемых на отдельных изображениях высокого разрешения. Планируется обоснование системы комплексного мониторинга российского сектора Сиваша, поскольку в настоящее время проходит полная перестройка всей его экосистемы, что важно учитывать при формировании новой концепции природопользования северного Крыма.

Работа выполнена в Морском гидрофизическом институте РАН в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Чёрного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»). Обработка данных спутников Landsat проведена при поддержке РФФИ (проект № 17-05-41102).

Литература

1. *Лабутина И. А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
2. *Ломакин П. Д., Совга Е. Е., Щурова Е. С., Овсяный Е. И.* Экспедиционные исследования МГИ в восточном Сиваше весной и осенью 2014 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 138–145.
3. *Марушевский Г. Б., Костюшин В. А., Сионих В. Д.* Сиваш: природа и люди. Киев: Черноморская программа Ветландс Интернешнл, 2005. 80 с.
4. *Понизовский А. М.* Соляные ресурсы Крыма. Симферополь: Крым, 1965. 163 с.
5. *Станичная Р. Р., Станичный С. В., Горячкин Ю. Н.* Методика анализа изменчивости береговой линии по спутниковым данным // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. № 1. С. 22–29.
6. *Совга Е. Е., Ерёмкина Е. С., Хмара Т. В.* Водный баланс залива Сиваш в условиях изменчивости природно-климатических и антропогенных факторов // Морской гидрофиз. журн. 2018. Т. 34. № 1. С. 72–82.
7. *Щурова Е. С., Совга Е. Е., Хмара Т. В., Ломакин П. Д.* Изменения ресурсного потенциала залива Сиваш (Азовское море) после перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году // 3-я Всерос. конф. «Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Чёрном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования»: сб. тр. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. С. 296–307.
8. *Ястреб В. П., Иванов В. А., Хмара Т. В.* К вопросу о классификации водоёмов зоны сопряжения суши и моря Азово-Черноморского побережья // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С. 326–346.
9. *Ястреб В. П., Харитонова Л. В., Хмара Т. В.* Морфометрические характеристики озёр-лиманов Керченской группы для оценки изменчивости их бальнеологического ресурсного потенциала // Морские ресурсы прибрежной зоны Украины / под ред. акад. НАНУ П. Ф. Гожики, акад. НАНУ В. А. Иванова. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2012. С. 248–256.
10. *Shchurova E. S., Stanichnaya R. R., Stanichny S. V.* Satellite data for investigation of recent state and processes in the Sivash Bay // Intern. Conf. “Managing Risks to Coastal Regions and Communities in a Changing World” (EMECs’11 — SeaCoasts XXVI): Proc. Conf. St. Petersburg, 2016. P. 773–780. DOI: 10.21610/conferencearticle_58b43159b0693.

Estimates of the North-Crimean Canal cut-off effect on the variability of the Sivash Bay morphometric characteristics on satellite data

E. S. Eremina, L. V. Kharitonova, S. V. Stanichny

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mails: shchurova88@gmail.com, kharitonova.dntmm@gmail.com,
sstanichny@mail.ru

The study is devoted to the variability of the Sivash Bay coastal area after the North-Crimean Canal, the main fresh water source in the northern and eastern Crimea from 1970s to 2014, that has been cut off. The Dnieper water flowed in the Canal and was used for industrial needs, agriculture, including irrigation of rice fields. New conditions for water consumption have changed the state of lagoon lakes and freshwater reservoirs in the coastal area of Sivash. In this paper, the shoreline changes in the Middle and Eastern Sivash are analyzed by comparison of high-resolution Landsat satellite images in infrared channels. Digitizing of the shoreline is carried out, and the water surface areas, volumes and specific surfaces for the Eastern Sivash, lagoon lakes, rice checks and artificial irrigation constructions are calculated for the time when the North-Crimean Canal was functioning and after its cutoff. At present, the seasonal draining of extensive shallow areas in the summer is a typical process in the Middle Sivash. The East Sivash Bay has changed a little; coastal shallow lagoons and bays have been drained. The draining area is noted to increase in the Genichesk Strait delta, while the main ducts have not changed their location and dimension.

Keywords: Sivash Bay, lagoon, coastline, remote methods, satellite images, North-Crimean Canal

Accepted: 12.10.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-175-183

References

1. Labutina I. A., *Deshifirovanie aerokosmicheskikh snimkov* (Aerospace images interpretation), Moscow: Aspekt Press, 2004, 184 p.
2. Lomakin P. D., Sovga E. E., Shchurova E. S., Ovsyanyi E. I., *Ekspeditsionnye issledovaniya MGI v vostochnom Sivashe vesnoi i osen'yu 2014 goda* (Spring and autumn of 2014 MHI expedition research of Eastern Sivash), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2014, Issue 28, pp. 138–145.
3. Marushevskii G. B., Kostyushin V. A., Sionikh V. D., *Sivash: priroda i lyudi* (The Sivash: Nature and People), Kiev: Chernomorskaya programma Wetlands International, 2005, 80 p.
4. Ponizovskii A. M., *Solyanye resursy Kryma* (Salt resources of the Crimea), Simferopol: Krym, 1965, 163 p.
5. Stanichnaya R. R., Stanichnyi S. V., Goryachkin Yu. N., *Metodika analiza izmenchivosti beregovoi linii po sputnikovym dannym* (The methodology for analyzing the variability of the shoreline from satellite data), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, No. 1, pp. 22–29.
6. Sovga E. E., Eremina E. S., Khmara T. V., *Vodnyi balans zaliva Sivash v usloviyakh izmenchivosti prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh faktorov* (Water balance in the Sivash Bay as a result of variability of the natural-climatic and anthropogenic factors), *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal*, 2018, Vol. 34, No. 1, pp. 71–81.
7. Shchurova E. S., Sovga E. E., Khmara T. V., Lomakin P. D., *Izmeneniya resursnogo potentsiala zaliva Sivash (Azovskoe more) posle perekrytiya Severo-Krymskogo kanala v 2014 godu* (Changes in the resource potential of the Sivash Bay (the Sea of Azov) after the closure of the North-Crimean Canal in 2014), *3-ya Vserossiiskaya konferentsiya "Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Azovskoe more, Kerchenskii proliv i predprolivnye zony v Chernom more: problemy upravleniya pribrezhnymi territoriyami dlya obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti i ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya"* (3rd All-Russia Conf. "Ecology. Economy. Computer science. The Sea of Azov, the Kerch Strait and the Straits Zones in the Black Sea: Problems of Coastal Territory Management for Ensuring Ecological Safety and Rational Nature Management), Proc., Rostov-on-Don: Izd. YuFU, 2016, pp. 296–307.

8. Yastreba V. P., Ivanov V. A., Khmara T. V., K voprosu o klassifikatsii vodoemov zony sopryazheniya суши i morya Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya (On the issue of classification of water bodies in the zone of conjugation of land and sea of the Azov-Black Sea coast), *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2007, Issue 15, pp. 326–346.
9. Yastreba V. P., Kharitonova L. V., Khmara T. V., Morfometricheskie kharakteristiki ozer-limanov Kerchenskoi gruppy dlya otsenki izmenchivosti ikh bal'neologicheskogo resursnogo potentsiala (Morphometric characteristics of the lacustrine limes of the Kerch group for assessing the variability of their balneological resource potential), In: *Morskie resursy pribrezhnoi zony Ukrainy* (Marine resources of the coastal zone of Ukraine), Sevastopol: MGI, 2012, pp. 248–256.
10. Shchurova E. S., Stanichnaya R. R., Stanichny S. V., Satellite data for investigation of recent state and processes in the Sivash Bay, *Intern. Conf. "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMECS'11 — SeaCoasts XXVI)*, Proc. Conf., St. Petersburg, 2016, pp. 773–780, DOI: 10.21610/conferencearticle_58b43159b0693.