

Водный баланс залива Сиваш в условиях изменчивости природно-климатических и антропогенных факторов

Е. Е. Совга*, Е. С. Ерёмина, Т. В. Хмара

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: esovga@mhi-ras.ru*

Поступила в редакцию 08.09.2017 г.

Изучена динамика приходных и расходных статей водного баланса залива Сиваш (Азовское море) в условиях изменения природно-климатических (атмосферные осадки, водообмен с Азовским морем, речной сток, испарение) и антропогенных (перекрытие Северо-Крымского канала в 2014 г., изменение системы природопользования) факторов. Основные составляющие водного баланса залива Сиваш оценены за различные периоды: до введения в строй Северо-Крымского канала (период условно-естественного режима залива Сиваш, 1939–1971 гг.) по историческим данным, в период активной эксплуатации канала при различных режимах работы существующих оросительных систем (1972–2013 гг.) и после его перекрытия (2014–2016 гг.) по данным экспедиционных исследований МГИ с учетом изменившихся природно-климатических факторов. Оценена интенсивность водообмена залива с Азовским морем после перекрытия канала на основе расчета изменения уровня вод указанных акваторий с учетом ветровой ситуации летом 2014 г. Показано, что ветры восточных направлений способствуют интенсификации притока азовских вод в Сиваш и его осолонению.

Показано, что перекрытие Северо-Крымского канала в 2014 г. способствует полной перестройке гидрологического режима залива и постепенному переходу его в условно-естественное состояние.

Ключевые слова: залив Сиваш, сток рек, атмосферные осадки, водный баланс, соленость, Северо-Крымский канал, Генический пролив, водообмен с Азовским морем, уровень вод.

Для цитирования: 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

Water balance in the Sivash Bay as a result of variability of the natural-climatic and anthropogenic factors

E. E. Sovga, E. S. Eremina, T. V. Khmara

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

**e-mail: esovga@mhi-ras.ru*

Dynamics of the Sivash Bay (the Sea of Azov) water balance under the conditions of varying natural and climatic (precipitation, water exchange with the Sea of Azov, river flow and evaporation), and anthropogenic factors (overlap of the North-Crimean Canal in 2014 and change of nature management) is studied. The basic water balance components in the Sivash Bay are assessed for three periods: the first one (1939–1971) – before the North-Crimean Canal was put into operation (conditionally natural mode of the Sivash Bay waters) – is studied using historical data; the second one (1972–2013) – during active exploitation of the canal under various functioning regimes of the irrigation systems, and the third period (2014–2016) – after the Canal was overlapped – are studied using in situ data obtained by Marine Hydrophysical Institute and allowing for the modified natural and climatic factors. Intensity of water exchange between the Sivash Bay and the Sea of Azov after the Canal was overlapped and the Sivash or the Azov currents became predominant is assessed using the calculation of the water level variations in the indicated areas and taking into account the wind conditions in summer, 2014. It is shown that the eastern winds promote intensification of the Azov water inflow to the Sivash Bay, hence, increasing salinity of its waters.

It is revealed that overlap of the North-Crimean Canal in 2014 makes for a complete reconstruction of the hydrological water regime in the bay and its gradual transition to the conditionally natural state.

Keywords: Sivash Bay, river flow, atmospheric precipitation, water balance, salinity, North-Crimean Canal, the Genichesk Strait, water exchange with the Sea of Azov, water level.

For citation: 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. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, 34(1), pp. 71–81. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-71-81 (in Russian).

Введение

Залив Азовского моря Сиваш представляет собой наиболее антропогенно и техногенно нагруженную акваторию прибрежной зоны Крыма с интенсивно происходящими здесь специфическими гидродинамическими и гидрохимическими процессами, обусловленными изменчивостью как природно-климатических (орография берегов, особенности рельефа дна, малые глубины, взаимодействие с водами Азовского моря, атмосферные осадки, речной сток), так и антропогенных (функционирование и перекрытие Северо-Крымского канала (СКК), изменение системы природопользования) факторов.

Основной причиной нарушения естественного гидрологического режима залива стал СКК, построенный в период с 1961 по 1971 гг. и создавший определенные экологические проблемы.

В соответствии с данными предыдущих исследований [1, 2], наиболее сильно пострадал от сбросов пресной воды Восточный Сиваш – самый крупный по площади (1650 км², или свыше 60 % общей площади Сиваша) и более глубоководный (глубины до 1 м занимают 41 % площади) участок залива. Увеличение объема пресных вод, поступающих в залив, привело к уменьшению солености, росту уровня Сиваша и в результате – к снижению объема поступления азовских вод.

Аналізу некоторых составляющих водного баланса залива Сиваш посвящено ограниченное количество работ. Следует отметить труды А. М. Познизовского [3, 4] и работы, выполненные при поддержке международной организации *Wetlands International – АЕМЕ* в 2000, 2005 и 2007 гг. [1, 2, 5], а также исследования Севастопольского отделения «ГОИН» [6–8]. Состоянию акватории залива Сиваш в период функционирования СКК посвящена также наша работа [9]. Анализ приведенных работ показал, что они имеют следующие недоработки.

Во-первых, в перечисленных работах были учтены не все компоненты водного баланса. Так, в работе [7] не учитывалась такая важная его составляющая, как испарение, а анализировались те статьи водного баланса, которые, по мнению авторов, в большей степени определяются природно-климатическими факторами (атмосферные осадки, сток рек, водообмен с Азовским морем).

Во-вторых, в указанных выше работах не был осуществлен расчет объема залива, что не позволило оценить изменчивость объема в зависимости от изменения природно-климатических и антропогенных факторов в различные периоды функционирования СКК. Кроме того, в работах [6–8] при расчетах составляющих водного баланса анализировались и осреднялись данные за очень большой временной отрезок с 1939 по 2010 гг., который включает периоды условно-естественного состояния залива (1939–1971 гг.) и антропогенно измененного, связанного с введением в строй СКК (1972–2010 гг.). При этом ни в одной из работ не рассмотрен период после перекрытия СКК в 2014 г. В настоящей статье сделана попытка по возможности учесть указанные недоработки.

Цель настоящего исследования – оценить основные составляющие водного баланса залива Сиваш за различные периоды: до вступления в строй СКК – период условно-естественного режима залива Сиваш (1939–1972 гг.),

период активной эксплуатации канала при различных режимах работы существующих оросительных систем (1972–2013 гг.) и после перекрытия канала (2014–2016 гг.).

Материалы и методы исследования

Приходные и расходные статьи водного баланса Сиваша анализировались на основе исторических и литературных данных, полученных до вступления в строй СКК [3, 4], во время активной эксплуатации канала [1, 2, 5, 9], а также данных, полученных в результате экспедиционных исследований после перекрытия канала (2014–2016 гг.) [10, 11], и расчетов с использованием доступной гидрометеорологической информации [12].

Водный баланс Сиваша включает следующие приходные и расходные статьи.

I. Приходные статьи:

- 1) поступление воды Азовского моря через пролив Генический (проливы Тонкий и Промойна),
- 2) атмосферные осадки,
- 3) дренажно-сбросные воды СКК и Каховской оросительной системы,
- 4) поверхностный и подземный сток бассейна Сиваша,
- 5) фильтрация Азовских вод через Арабатскую стрелку (в настоящей работе этот фактор не учитывается).

II. Расходные статьи:

- 1) испарение с акватории Сиваша,
- 2) поступление воды Сиваша в Азовское море.

Для расчета водного баланса использовалось уравнение, приведенное в работе [7, с. 440], «в виде

$$F + Q_{AS} - Q_{SS} = \Delta B, \quad (1)$$

$$F = V_p + V_{скк} + V_{ос} - V_{исп}, \quad (2)$$

где ΔB – изменение объема залива, км³; F – пресноводная составляющая баланса; $Q_{AS} - Q_{SS}$ – водообмен через Генический пролив (Q_{AS} – приток воды из Азовского моря, Q_{SS} – сток сивашской воды в Азовское море), км³; $V_p, V_{скк}, V_{ос}, V_{исп}$ – сток рек, приток дренажных вод с СКК и Каховской оросительной системы, осадки и испарение с поверхности залива соответственно, км³».

Речной сток оценивался по материалам наблюдений на основных реках, впадающих в залив Сиваш, – Салгире, Сухом Индоле и Чорох-Су – за период с 1936 по 2010 гг. Суммарный сток малых рек в Сиваш и сброс дренажных вод с СКК и Каховской оросительной системы оценивался по данным работ [1, 5]. Количество атмосферных осадков, выпавших на поверхность залива Сиваш, рассчитывалось при использовании массива данных осадков *GPCP* (*Global Precipitation Climatology Center*) за 1910–2010 гг. [13], а за период 2014–2016 гг. расчет атмосферных осадков осуществлялся по данным морской гидрометеорологической станции (МГ) Геническ [12].

Интенсивность водообмена залива Сиваш с Азовским морем за период 1972–2010 гг. оценивали по данным [14], а после перекрытия СКК в 2014 г.

в связи с отсутствием в этот период информации от МГ Геничск оценивали косвенно по анализу ветровой ситуации и расчетным данным по изменению уровня залива Сиваш и Азовского моря.

Испарение рассчитывали по формуле Дальтона, методика расчета описана в работе [15], показатели средней скорости ветра и относительной влажности воздуха были получены из базы данных МГ Геничск [12], для оценки среднемесячных температур поверхности моря использовали спутниковые данные, полученные с сайта архива спутниковых данных NASA [16].

Результаты и обсуждение

Наиболее полно некоторые составляющие водного баланса Сиваша представлены в работе [7], где объединены данные и расчеты фактически за два периода наблюдений залива Сиваш: условно-естественного его состояния (1936–1974 гг.) и в условиях работы СКК и Каховской оросительной системы (1974–2010 гг.).

В соответствии с данными работы [7], приходные составляющие водного баланса залива Сиваш указывают на то, что в его распреснении за 1970–2010 гг. наряду с антропогенным воздействием (сбросом дренажно-сточных вод СКК и Каховской оросительной системы) важную роль играли климатические факторы: увеличение количества атмосферных осадков, выпадавших на поверхность залива, и сокращение притока солей в Сиваш с азовскими водами. Таким образом, приходная часть водного баланса залива Сиваш связана с увеличением количества атмосферных осадков и стока рек, обусловленным региональными проявлениями глобальных климатических изменений.

Проведенные в настоящей работе расчеты приходных и расходных статей водного баланса и объема залива Сиваш представлены в таблице. Следует отметить, что, поскольку данные по водному балансу залива варьируют в довольно широких пределах в зависимости от изменения природно-климатических и антропогенных факторов, расчет осуществлялся по минимальным, максимальным и средним значениям составляющих водного баланса за все периоды. Поэтому полученные значения объема залива позволяют оценить только относительное его изменение в зависимости от существующих в определенном периоде условий.

В соответствии с данными таблицы, за период функционирования СКК как антропогенный (дренажно-сбросные воды СКК и Каховской оросительной системы), так и природно-климатический (увеличение объема атмосферных осадков и уменьшение поступления солей с водами Азовского моря) факторы привели к опреснению акватории залива. В итоге объем вод залива ΔV (км³) был существенно большим – от 1,17 до 1,67 км³ – в сравнении с объемами вод залива до введения в строй СКК (0,63–0,81 км³) (таблица).

После перекрытия СКК в 2014 г. уменьшилась пресноводная приходная составляющая баланса в виде дренажно-сбросных вод СКК, что, как показали экспедиционные данные МГИ за 2014–2016 гг., привело к увеличению солености в акватории восточной части залива. Подробно динамика солености вод залива приведена в работах [10, 11].

**Водный баланс залива Сиваш и изменение объема залива (ΔB)
за исследуемые периоды**
**Water balance of the Sivash Bay and variation of its volume (ΔB) over the investigated
periods**

Значения / Values	Приходные статьи баланса, км ³ / Water budget input items, km ³				Расходные статьи баланса, км ³ / Water budget expenditure items, km ³		ΔB^1 , км ³ / ΔB^1 , km ³
	Приток Азовского моря / The Sea of Azov inflow, Q_{as}	Сток рек / River runoff, V_p	Атмосферные осадки / Precipitation, V_{oc}	Дре- наж / Drai- nage, $V_{скк}$	Сток си- вашской рапы / The Sivash gara runoff, Q_{ss}	Испаре- ние / Евапога- tion, $V_{исп}$	
период до постройки канала (1939–1971 гг.) (по данным работ [3, 4]) / the period before the construction of the canal (1939–1971) (according to data of [3, 4])							
минимальное / minimum	0,650	0,250	0,89	–	0,060	1,10	0,63
максимальное / maximum	1,960	0,250	0,89	–	0,430	1,86	0,81
среднее / mean	1,000	0,250	0,89	–	0,370	1,24	0,53
период функционирования СКК (1971–2007 гг.) (по данным работ [1, 2, 5]) / the period of NCC functioning (1971–2007) (according to data of [1, 2, 5])							
минимальное / minimum	0,883	0,119	0,89	0,681	0,430	1,10	1,04
максимальное / maximum	1,887	0,310	0,89	0,773	0,807	1,24	1,73
среднее / mean	1,220	0,240	0,89	0,630	0,607	1,20	1,17
объединены два периода: условно-естественный и период функционирования СКК (по данным статьи [7]) two periods are combined: conditionally-natural one and the period of NCC functioning (according to data of [7])							
среднее / mean	1,220	0,083	0,96	0,630	0,410	1,20	1,28
1936–1970 гг. ² / 1936 – 1970 ²							
среднее / mean	1,510	0,063	0,82	–	0,324	1,10	0,97
1974–2010 гг. ² / 1974 – 2010 ²							
среднее / mean	0,960	0,111	1,08	0,772	0,463	1,24	1,25
период после перекрытия СКК (2014–2016 гг.) / the period after NCC overlapping (2014–2016)							
максимальное / maximum	1,560	0,240	1,08	–	0,460	1,86	0,56
среднее / mean	1,220	0,119	0,85	–	0,320	1,24	0,63

¹рассчитано в настоящей работе / calculated in the present work

²рассчитано в настоящей работе по данным статьи [7] / calculated in the present work according to data of [7]

Значения объема залива после перекрытия СКК (0,56–0,63 км³) (таблица) рассчитывались с учетом изменения объемов стока рек и атмосферных осадков, а также с учетом оценок интенсивности водообмена с Азовским морем в зависимости от преобладающего ветра и расчетных данных по изменению уровня залива. Полученные нами данные подтверждают наступление переходного периода в состоянии залива и постепенное приближение к режиму условно-естественного состояния, характерного для периода 1939–1971 гг.

Количество выпадающих на поверхность залива Сиваш атмосферных осадков имеет выраженный сезонный ход с максимумом в теплый сезон года (май – июль) и минимумом в холодный период. Такое распределение осадков (континентального типа) типично для западного побережья Крыма и Северного Причерноморья [17].

С момента перекрытия СКК (с 2014 по 2016 гг.) среднее значение количества выпавших осадков составило 361 мм/год, учитывая, что площадь водного зеркала составляет 2540 км², объем пресной воды, поступающей в залив Сиваш с осадками, составляет 0,85 км³ в год.

При расчете водного баланса залива очень важной приходной составляющей является интенсивность водообмена залива с Азовским морем до перекрытия СКК, что подробно описано в работах [8, 14] с учетом изменяющейся по годам динамики объемов пресных вод в результате функционирования существующих оросительных систем (рис. 1) [5].

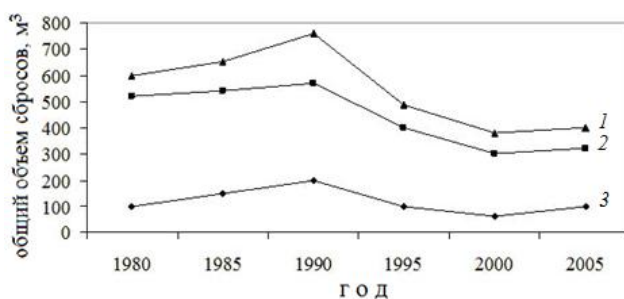


Рис. 1. Динамика объемов пресной воды, поступающей в залив Сиваш [5]: 1 – из всех источников; 2 – из СКК; 3 – из Каховской оросительной системы

Fig. 1. The dynamics of fresh water volumes getting into the Sivash Bay [5]: 1 – from all sources; 2 – from the NCC; 3 – from the Kakhovskaya irrigation system

Интенсивность водообмена через Генический пролив находится под влиянием климатических изменений в бассейне Азовского моря и залива Сиваш, которые проявляются в особенностях ветровой активности на побережье Азово-Черноморского бассейна и изменениях уровня залива и моря [13, 16, 17].

Следует отметить, что в период условно-естественного режима залива Сиваш наблюдались максимальные значения скоростей течений и расходов воды в проливе Тонком [1, 2]. В этот период среднегодовые превышения уровня моря над заливом составляли 14 см, в отдельные годы (1950, 1957 гг.) увеличивались до 19–20 см.

Согласно мнению авторов работы [14, с. 249], «в 1966–1975 гг., вследствие сооружения Бююк-Найманской дамбы, отделившей Западный Сиваш от Восточного, и начала эксплуатации СКК – среднегодовые величины превышения уровня Азовского моря над уровнем зал. Восточный Сиваш уменьшились до 6 см. В период 1976–2006 гг., когда сброс сточных и дренажных вод в Сиваш достиг наибольших значений, перепад уровня между МГ Геническ и МГП Чонгарский мост сократился до 3 см, и наблюдалось максимальное распреснение Сиваша».

Вследствие природно-климатических причин (уменьшения количества выпадающих атмосферных осадков на поверхность залива), а также в результате уменьшения подачи воды каналом (рис. 1) среднегодовые превышения уровня Азовского моря над заливом с 2009 г. увеличились до 10–13 см и начался процесс постепенного осолонения Сиваша.

Среднегодовые значения солёности вод залива у МГП Чонгарский мост с минимального значения 15,61 ‰ в 2009 г. повысились до 21,42 ‰ к 2012 г. [14]. С 2014 г. после перекрытия СКК и, соответственно, изменения системы природопользования (прекращения рисосяения) и уменьшения сбросов сточных вод в залив Сиваш наблюдалось дальнейшее повышение солёности [11]. По нашим данным от 5 июля 2017 г., солёность вод в районе влияния Чонгарского пролива (45°53'33.0" с. ш. 34°28'39.2" в. д.) составила 53 ‰.

Чтобы оценить интенсивность водообмена через пролив Тонкий после перекрытия СКК, осуществлен анализ ветровой активности в акватории Азово-Черноморского бассейна за 2014–2016 гг. [12]. Ветровой режим определяет циркуляцию вод, ветровое волнение, сгонно-нагонные явления, колебание уровня Азовского моря. В ходе работы проанализированы регулярные метеоданные МГ Геническ с 2014 по 2016 гг., построены розы повторяемости ветров (в процентах) для каждого сезона на основе среднесуточных данных (рис. 2). Показано, что во все сезоны преобладает ветер восточного направления – от 20 % весной до 31 % осенью. Ветер западного направления, способствующий сгону сивашской воды в Азовское море, повторяется значительно реже – от 8 % осенью до 15 % весной. Наибольшие средние значения скорости ветра наблюдаются в осенний и зимний периоды – 4,9 м/с и 4,5 м/с соответственно, весной скорость ветра уменьшается до 4 м/с, летом – до 3,1 м/с. Анализ показал, что на МГ Геническ в 2014 г. преобладают слабые ветры (до 4 м/с) и составляют 78 %, повторяемость сильных ветров (10–24 м/с) – 10,5 %. Нужно отметить, что на протяжении всего года преобладают ветры северо-восточного и восточного направлений (70 %). Делается вывод о том, что ветровые условия, а именно преобладание ветров восточного направления, способствуют повышению уровня воды в Сиваше за счет нагона азовских вод через пролив Тонкий.

Расходная статья водного баланса Сиваша – испарение – является одним из трудно определяемых параметров, возможно поэтому в некоторых публикациях приводятся только приходные статьи баланса. После перекрытия СКК, по нашим расчетам, испарение с поверхности Сиваша составило примерно 1,86 км³ в год.

Главной особенностью гидродинамического режима Сиваша (особенно наиболее мелководных его частей) являются сгонно-нагонные явления, непосредственно связанные с воздействием ветра на водную толщу мелководья.

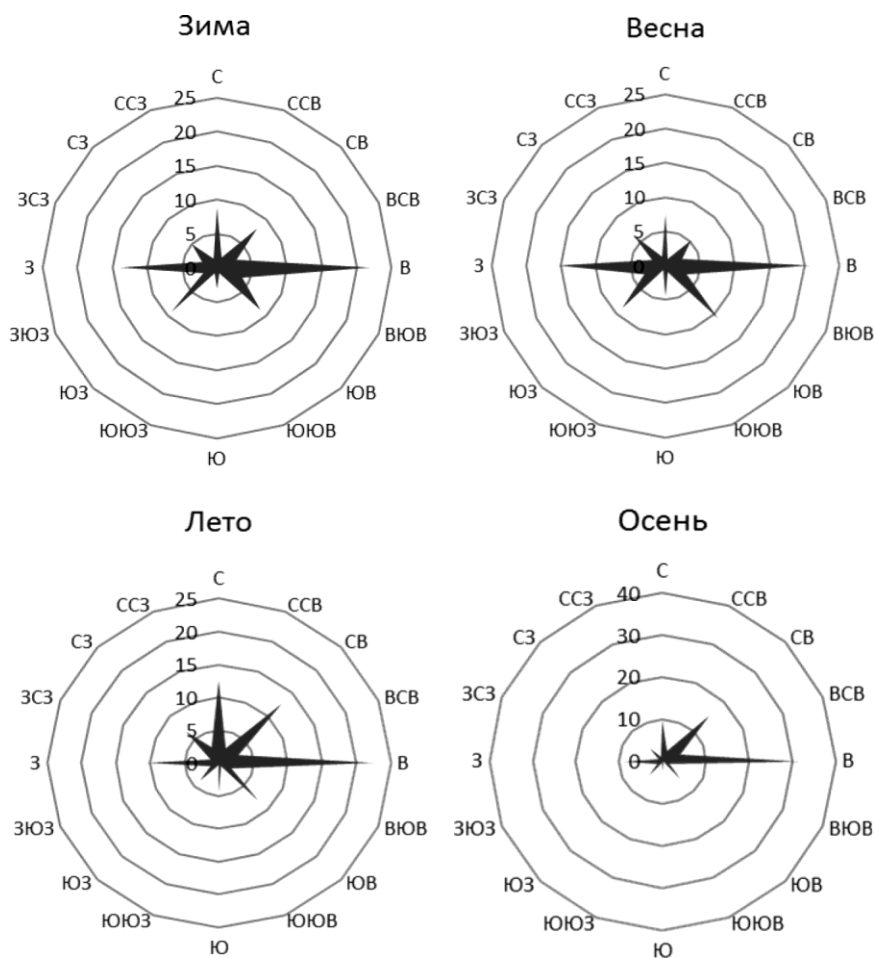


Рис. 2. Сезонные розы повторяемости (%) ветра на МГ Геническ с 2014 по 2016 гг.
Fig. 2. Seasonal frequency roses (%) of the wind at МН Genichesk from 2014 to 2016

В Сиваше существует собственная система течений. Дрейфовые течения возникают при трении ветра о воду и носят переменчивый характер в зависимости от его направления. Стоковые течения возникают из-за разности уровней отдельных частей Сиваша вследствие сгонно-нагонных явлений, стока рек и временных водотоков.

Снижению уровня воды залива по отношению к поверхности Азовского моря способствуют мелководность акватории Сиваша, особенности его гидродинамического режима и испарение с поверхности водного зеркала. Сезонная изменчивость уровня Восточного Сиваша [17] характеризуется высокими значениями в апреле фактически на всей акватории при существенном снижении летом вследствие испарения и повышении с августа по октябрь благо-

даря осадкам. При этом общая тенденция снижения уровня воды в весенне-летний период связана еще и с длительным устойчивым воздействием ветров западных румбов в акватории Восточного Сиваша.

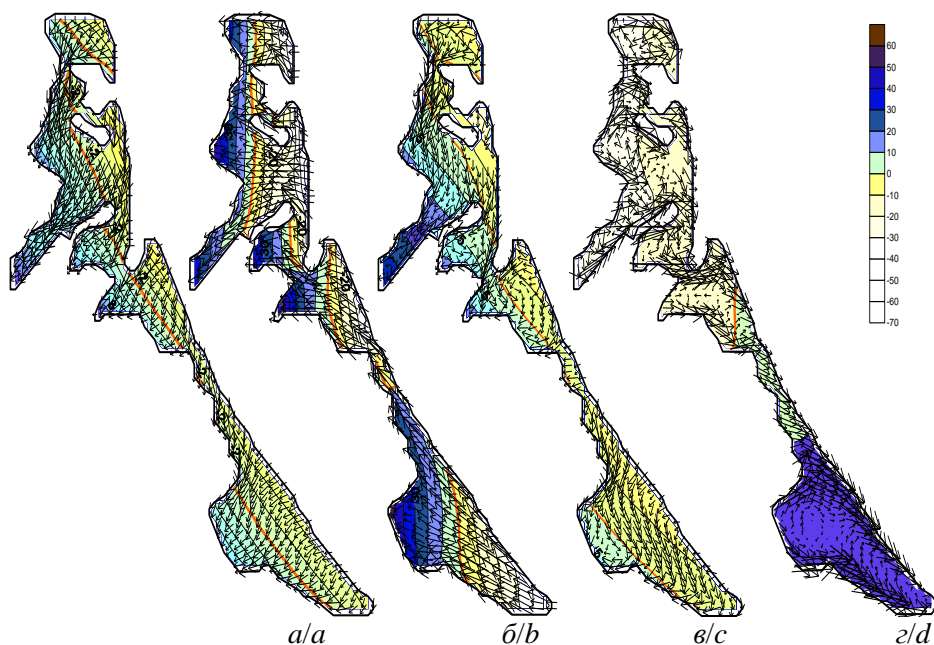


Рис. 3. Схема поверхностных течений и колебаний уровня (см) в заливе Восточный Сиваш при ветрах восточных направлений: *a* – при северо-восточном ветре скоростью 8 м/с (31 мая 2014 г.); *б* – при восточном-северо-восточном ветре скоростью 10 м/с (3 июня 2014 г.); *в* – при восточном ветре скоростью 8 м/с (18 июля 2014 г.); *г* – при западном ветре скоростью 4 м/с (9 июня 2014 г.)

Fig. 3. Patterns of surface currents and level fluctuations (cm) in the Eastern Sivash Bay at the winds of eastern directions: *a* – at northeastern wind of 8 m/s (May 31, 2014); *b* – at an east-north-eastern wind of 10 m/s (June 3, 2014); *c* – at an eastern wind of 8 m/s (July 18, 2014); *d* – with a western wind of 4 m/s velocity (June 9, 2014)

Для изучения особенностей водообмена Восточного Сиваша и Азовского моря через пролив Тонкий была использована численная нестационарная гидротермодинамическая модель, подробное описание структуры которой приведено в работе [19]. При расчетах акватория Восточного Сиваша покрывалась горизонтальной расчетной сеткой 76×99 узлов с шагом 1000 м. Значения направления и скорости ветра (с дискретностью 3 ч) были заданы на основе данных наблюдений, выполненных на МГ Геническ [12].

Были проведены расчеты изменчивости течений и колебаний уровня в Восточном Сиваше при метеоситуации, соответствующей маю – июлю 2014 г. На рис. 3 представлены примеры схем поверхностных течений и колебаний уровня (см) в заливе Сиваш при ветрах восточных (31 мая, 3 июня и 18 июля 2014 г.) и западных (9 июня 2014 г.) румбов. Видно, что при преобладающих ветрах восточных направлений возможна интенсификация притока азовских вод в Сиваш, что в конечном итоге может способствовать его осолонению.

Выводы

1. На основе анализа составляющих водного баланса залива Сиваш в периоды условно-естественного состояния залива (1939–1971 гг.) и активного функционирования СКК при различных режимах работы Крымской и Каховской оросительных систем (1972–2013 гг.) показано, что опреснение залива и увеличение его объема обусловлено влиянием как антропогенных (функционирование СКК), так и природно-климатических факторов.

2. Оценки интенсивности водообмена залива с Азовским морем после перекрытия СКК получены на основе анализа сезонной динамики ветровой ситуации в акватории залива Сиваш за 2014–2016 гг. и теоретических расчетных данных изменения уровня залива Сиваш и Азовского моря. Показано, что в указанный период в акватории преобладали ветры восточных румбов, увеличивающие поступление в залив Сиваш азовских вод, что ведет к его осолонению.

3. После перекрытия СКК в 2014 г. действующие антропогенные (изменение системы природопользования) и природно-климатические факторы способствуют постепенному осолонению залива, уменьшению его объема и переходу в условно-естественное состояние.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гридтехнологий», а также частично при поддержке РФФИ, грант № 16-45-910582р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное состояние Сиваша: сб. статей / Ред. Г. А. Городиская. Киев : Wetlands International – АЕМЕ, 2000. 104 с.
2. Сивашский регион: краткая социально-экономическая характеристика / Под общ. ред. В. А. Костюшина, Г. В. Фесенко; Black Sea Programme of Wetlands International. Киев : Черноморская программа Ветландс Интернешнл, 2007. 178 с.
3. *Понизовский А. М.* Соляные ресурсы Крыма. Симферополь : Крым, 1965. 163 с.
4. *Понизовский А. М., Чернышев М. П.* О гидрологической и гидрохимической характеристике Азовского моря и Сиваша в связи с освоением водоема // Вопросы комплексной переработки рассолов морского типа и получение рапных стройматериалов. Симферополь : Крымиздат, 1963. С. 77–83.
5. *Марушевский Г. Б., Костюшин В. А., Сиохин В. Д.* Сиваш: природа и люди. Киев : Черноморская программа Ветландс Интернешнл, 2005. 80 с.
6. Современный метод расчета количества атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Азовского моря / Н. Н. Дьяков [и др.] // Сб. докладов и статей Всеукр. научно-практич. конф. "Экология городов и рекреационных зон": материалы конференции. Одесса : ИНВАЦ, 2012. С. 60–61.
7. *Дьяков Н. Н., Белогудов А. А., Тимошенко Т. Ю.* Оценка составляющих водного баланса залива Сиваш // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 439–445.
8. Современный водообмен Азовского моря с заливом Сиваш через пролив Тонкий / Н. Н. Дьяков [и др.] // Всеукр. научно-практич. конф. "Экология городов и рекреационных зон": [материалы конференции]. Одесса : ИНВАЦ, 2011. С. 80–83.

9. *Совга Е. Е., Щурова Е. С.* Ресурсный потенциал озера Сиваш и современное экологическое состояние его акватории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 276–284.
10. О методах оценки современного состояния акватории залива Сиваш в условиях перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году / Е. А. Позаченюк [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Вып. 4. С. 41–49.
11. Изменения ресурсного потенциала залива Сиваш (Азовское море) после перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году / Е. С. Щурова [и др.] // Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования: сборник материалов III Всероссийской конференции. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. С. 296–307.
12. Расписание погоды: [сайт]. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 06.09.2017).
13. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present) / R. F. Adler [et al.] // J. Hydrometeorol. 2003. Vol. 4, no. 6. P. 1147–1167. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2)
14. *Дьяков Н. Н., Белозудов А. А.* Водобмен залива Сиваш с Азовским морем через пролив Генический (Тонкий) // Труды ГОИН. М., 2015. Вып. 216. С. 240–253.
15. *Матвеев Л. Т.* Курс общей метеорологии: Физика атмосферы. Л. : Гидрометеоиздат, 1984. С. 341–346.
16. Giovanni. The Bridge Between Data and Science. v 4.23 Release Notes Browser Compatibility Known Issues: [сайт]. URL: <https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 06.09.2017).
17. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2: Черное море / Ю. П. Ильин [и др.]. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. 421 с.
18. *Альтман Э. Н.* Водобмен через Керченский пролив в условиях зарегулированного стока рек Азовского бассейна // Океанология. 1973. Т. XIII, вып. 3. С. 416–423.
19. *Иванов В. А., Тучковенко Ю. С.* Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 368 с.

Сведения об авторах:

Совга Елена Евгеньевна, ведущий научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа ФГБУН МГИ (Севастополь, Россия), доктор географических наук, ResearcherID: A-9774-2018, esovga@mhi-ras.ru.

Хмара Татьяна Викторовна, младший научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа ФГБУН МГИ (Севастополь, Россия), ResearcherID: C-2358-2016, xmara@mhi-ras.ru.

Ерёмина Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа ФГБУН МГИ (Севастополь, Россия), ResearcherID: E-8676-2018.