

Н.Н.Дьяков, А.А.Белогудов, Т.Ю.Тимошенко

*Морское отделение Украинского гидрометеорологического института,
г. Севастополь***ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА ЗАЛИВА СИВАШ**

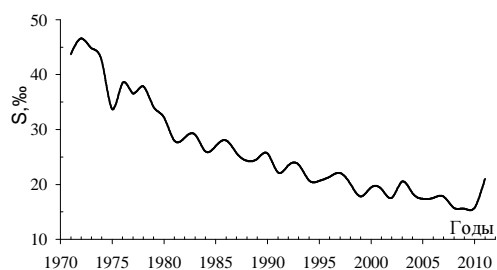
Представлены результаты исследования межгодовых изменений составляющих водного баланса залива Сиваш. Получены оценки многолетних изменений стока рек в залив. Выполнены расчеты количества атмосферных осадков выпадающих на поверхность зал. Сиваш, составляющих водообмена залива с Азовским морем через Генический пролив и проанализирована их многолетняя изменчивость. Рассмотрен вклад приходных составляющих водного баланса в уменьшение солености залива в 1970 – 2010 гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *залив Сиваш, сток рек, атмосферные осадки, водный баланс, соленость, Северо-Крымский канал, Генический пролив, водообмен.*

Введение. Залив Сиваш представляет собой обширный (площадь залива ~2540 км²) мелководный (глубины 0,5 – 3 м) соленый залив Азовского моря [1, 2]. На западе границей Сиваша является Перекопский перешеек, а на востоке – Арабатская стрелка. Залив состоит из ряда мелководных соленых водоемов, существенно различающихся между собой по гидрологическому и гидрохимическому режимам, разделенных большим числом островов и засух. Чонгарский полуостров разделяет залив Сиваш на два больших водоема – Западный и Восточный Сиваш, общей площадью 1110 и 1433 км² соответственно [1]. Площадь непосредственно водного зеркала составляет 581 км² для Западного Сиваша и около 1300 км² для Восточного, остальная площадь приходится на острова и засухи. Объем воды в зал. Сиваш в зимние месяцы составляет 1,93 млрд. м³ [3]. Водообмен залива Сиваш с Азовским морем осуществляется через пролив Генический (Тонкий).

В Сивашском регионе расположен Азово-Сивашский национальный природный парк, с водно-болотными угодьями международного значения. На побережье залива функционирует Северо-Крымская специальная экономическая зона «Сиваш», с развитой химической промышленностью и сельским хозяйством. Ранее залив Сиваш являлся крупнейшей сырьевой базой промышленности Крыма (большие запасы хлоридов натрия, калия, магния). Начиная с 1970 года с развитием орошаемого земледелия в северном Крыму, в зал. Сиваш регулярно сбрасывается часть стоков с полей орошения. Вследствие этого по данным [3] средняя соленость Сиваша снизилась с 141,00 ‰ в 1955 г. до 22,60 ‰ к 1989 г, а в 1997 г. достигла минимального значения 17,00 ‰. В результате Сивашское месторождение минеральных солей практически утратило свое промышленное значение. На рис.1 приведено изменение солености воды в северной части Восточного Сиваша за 1970 – 2012 гг. по данным наблюдений на морском гидрометеорологическом посту (МГП) Чонгарский мост. Как следует из рис.1, соленость этой части залива за последние 40 лет уменьшилась почти в 3 раза, с 46,60 ‰ в 1972 г. до 15,59 ‰ в 2009 г. С 2010 г. соленость в зал. Восточный Сиваш стала возрастать.

© Н.Н.Дьяков, Т.Ю.Тимошенко, А.А.Белогудов, 2013



Р и с . 1 . Изменение солености воды (‰) в заливе Восточный Сиваш (МГП Чонгарский мост) за 1975 – 2011 гг.

Следует отметить, что исследования [1, 2], где приводились оценочные величины компонентов водного и солевого балансов залива выполнены давно и характеризуют условия до изменений гидрологического режима залива Сиваш. В [3] приведены данные по объему дренажно-сбросовых вод поступающих в залив с Северо-Крымского канала, Каховской оросительной

системы, рисовых чеков, других сельскохозяйственных угодий и промышленных предприятий. Вместе с тем, без оценки вклада в итоговую величину баланса пресных вод Сиваша межгодовой изменчивости других его компонентов (прежде всего стока рек и атмосферных осадков, выпадающих на поверхность залива, а также составляющих водообмена через Генический пролив) невозможно в действительности оценить вклад антропогенного и климатических факторов в распределение залива в последние годы.

Основной задачей данной статьи является оценка величин многолетних изменений тех приходных компонентов водного баланса (атмосферных осадков, стока рек, водообмена с Азовским морем через Генический пролив), изменчивость которых в большей степени обусловлена климатическими причинами и которые могут ослаблять или усиливать влияние антропогенного фактора (сброса в залив дренажно-сточных вод). Расчету и анализу основного расходного компонента водного баланса залива – испарения будет посвящена в дальнейшем отдельная работа.

Материалы и методы. Уравнение водного баланса залива Сиваш может быть записано 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 Северо-Крымского канала и Каховской оросительной системы, осадки и испарение с поверхности залива соответственно, км³. Фильтрация воды через Арабатскую стрелку по данным [2] незначительна и в уравнение (1) не включена.

Для оценки речного стока были использованы материалы наблюдений на основных реках впадающих в залив Сиваш – Салгир, Сухой Индол и Чорох-Су – за период с 1936 по 2010 гг. При расчёте суммарного притока в Сиваш сток малых рек и сбросы дренажных вод с Северо-Крымского канала и Каховской оросительной системы учитывались по [3].

Для расчета количества атмосферных осадков выпадающих на поверхность зал. Сиваш использовался массив данных осадков *GPCP* (*Global Precipitation Climatology Center*) за 1910 – 2010 гг. Массив представляет собой интерполяцию данных наблюдений на метеостанциях на сетку 0,5° × 0,5°,

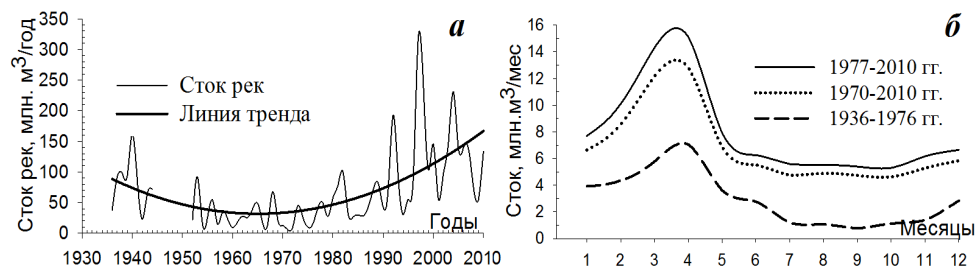
Т а б л и ц а 1. Среднегодовое приток речных вод в залив Сиваш, млн. м³/год.

название водотока	расположение поста	расстояние от устья, км	площадь водосбора, км ²	кол-во расходов, лет	годовой сток, млн. м ³ /год
р. Салгир	с. Двуречье	37	3540	69	61,45
Р. Су-Индол	с. Тополевка	9,7	71	75	7,40
р. Чорох-Су	с. Изюмовка	50	46	6	2,63
малые реки [3]			1453	–	11,94
итого сток рек					83,42
Северо-Крымский канал, сброс дренажных вод, [3]					630,0
итого приток речных вод					713,42

выполненную в рамках проекта WCRP (*World Climate Research Program*) [4]. Ранее, этот массив использовался в [5] для расчета количества осадков выпадающих на акваторию Азовского моря, и дал близкие результаты к расчетам по традиционной методике [6].

Расчет составляющих водообмена через Генический пролив осуществлялся по эмпирическим зависимостям расходов воды в проливе от влияющих факторов (уровня и скорости ветра в пунктах Геническ и Чонгарский мост) [6].

Результаты и обсуждение. *Приток речных вод* (сток рек и сбросы вод с оросительных систем) в залив Сиваш как считается [3] является основным фактором распреснения залива. Суммарный сток речных вод в залив Сиваш складывается из стока рек Салгира, Сухого Индола и стока малых рек. Основную часть речного притока в Сиваш составляет сток р. Салгир (73,7 %). Сток р. Сухой Индол и малых рек составляет соответственно 8,9 и 17,4 % суммарного стока рек в залив. Данные по среднегодовому притоку речных вод сведены в табл.1. Заметно, что сток рек в зал. Сиваш примерно в 8 раз меньше сброса дренажного и поверхностного стока поступающего в Сиваш с зоны Северо-Крымского канала и Каховской оросительной системы, составившего за период 1985 – 2002 гг. в среднем 630 млн. м³/год (0,63 км³/год). В табл.2, на рис.2 приведены данные по многолетней и сезонной изменчивости стока рек в зал. Сиваш из которых следует, что за последние 30 – 40 лет объем стока существенно увеличился. Выявлены значимые положительные тренды стока рек в залив, составляющие за период 1936 – 2010 гг. величину 1,131 млн. м³/год, за 1970 – 2010 гг. – 3,539 млн. м³/год. Всего за 1977 – 2010 гг.



Р и с . 2. Многолетний (а) и сезонный (б) ход суммарного за год стока рек Салгир и Сухой Индол в зал. Сиваш, млн. м³/год.

Т а б л и ц а 2. Среднеголетний сток рек в зал. Сиваш за различные периоды и параметры линейных трендов его изменений.

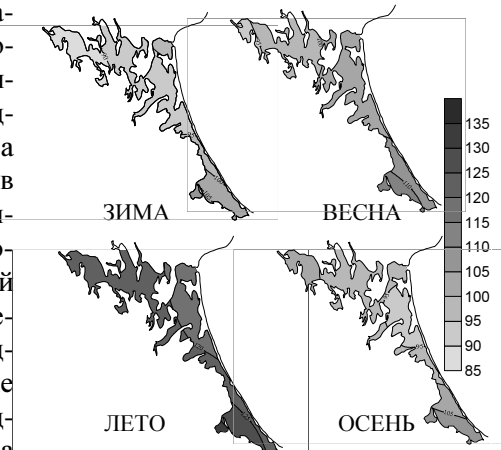
период, годы	средний сток, млн. м ³	параметры линейного тренда				
		<i>b</i> , млн. м ³ /год	ΣΔ, млн.м ³	<i>R</i> ²	<i>P</i> ₀	<i>F</i>
1936 – 2010	83,42	1,131	84,82	0,155	0,001	12,141
1936 – 1969	62,95	-2,068	-70,31	0,370	0,001	14,706
1970 – 2010	97,25	3,539	141,58	0,369	< 0,001	22,811
1977 – 2010	110,60	3,354	110,69	0,233	0,004	9,704

Примечание: Жирным шрифтом выделены угловые коэффициенты трендов (*b*) значимые на 95 %-ном уровне, ΣΔ – общее изменение ("размах" тренда) за расчетный период стока.

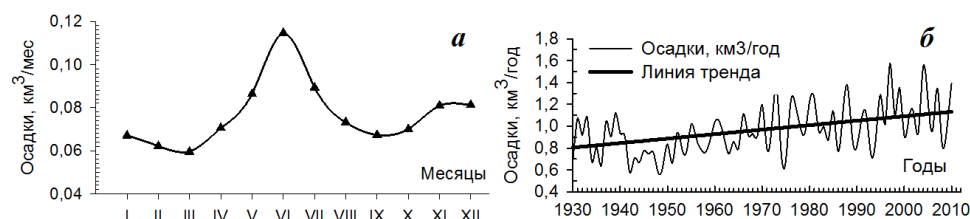
средний объем годового стока рек в зал. Сиваш по сравнению с 1936 – 1969 гг. вырос почти в 2 раза – на 47,65 млн. м³/год (0,05 км³/год), но в целом эта величина не сопоставима с величиной других составляющих пресноводного баланса зал. Сиваш (сброса дренажных вод, атмосферных осадков, испарения) и существенную роль в распреснении залива не играет.

Атмосферные осадки. Пространственное распределение сезонных сумм осадков (мм), вычисленных по данным *GPCP* за 1970 – 2010 гг. приведено на рис.3. График годового хода количества атмосферных осадков (мм/мес) за многолетний период (1910 – 2010 гг.) показан на рис.4, *a*. Как следует из рисунков, количество выпадающих на поверхность залива осадков имеет выраженный сезонный ход с максимумом в теплый сезон года (май-июль). Минимум осадков выпадает в холодный период года. Такое распределение осадков (континентального типа) типично для западного побережья Крыма и Северного Причерноморья Украины [7].

В пространственном распределении количества сезонных осадков больше всего их выпадает в южной части залива Сиваш. Область минимума осадков расположена в Западном Сиваше, рис.3. В многолетнем ходе количества атмосферных осадков, выпадающих на акваторию залива за вековой период (рис.4, *b*), заметна тенденция к увеличению количества осадков. Параметры линейных трендов за различные периоды представлены в табл.3. За период 1910 – 2010 гг. выявлен значимый на 99 % уровне положительный тренд, составляющий 0,004 мм/10 лет. Выполненные расчеты, показали, что атмосферные осадки являются наибольшим по величине приходным компонентом пресноводного баланса Сиваша. В среднем за многолетний период количество выпадающих на поверхность залива осадков за год составляет 0,72 км³/год



Р и с . 3. Пространственное распределение сезонных сумм осадков (мм), осредненных за период 1970 – 2012 гг.



Р и с . 4 . Внутригодовой (а) и многолетний (б) ход количества осадков, выпадавших на поверхность зал Сиваш за 1936 – 2012 гг.

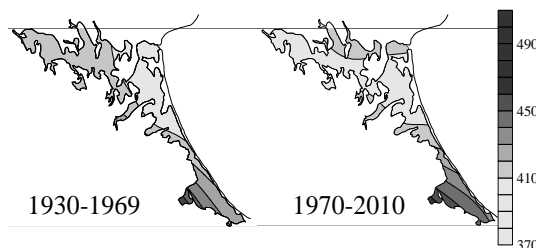
Т а б л и ц а 3 . Среднемноголетнее количество атмосферных осадков, выпавших на поверхность зал. Сиваш за различные периоды и параметры линейных трендов их изменений.

период, годы	сезон	среднее, км ³	параметры линейного тренда				
			<i>b</i> , км ³ /год	$\Sigma\Delta$, км ³	<i>R</i> ²	<i>P</i> ₀	<i>F</i>
	год	0,924	0,0041	0,414	0,259	< 0,001	31,721
	зима	0,209	0,0011	0,111	0,124	0,001	12,692
1910 – 2010	весна	0,217	0,0011	0,111	0,159	< 0,001	17,166
	лето	0,277	0,0008	0,081	0,045	0,041	4,316
	осень	0,218	0,0011	0,111	0,107	0,001	10,938
1936 – 2010	год	0,968	0,0057	0,422	0,308	< 0,001	32,437
1910 – 1969	год	0,822	0,0010	0,060	0,005	0,630	0,235
1970 – 2010	год	1,073	0,0042	0,168	0,052	0,153	2,128
1977 – 2010	год	1,089	0,0042	0,139	0,039	0,266	1,283

(изменяясь от 0,57 км³/год в 1929 г. до 1,57 км³/год в 1997 г.).

За период распреснения залива Сиваш (1970 – 2010 гг.) средняя величина количества осадков увеличилась до 1,07 км³/год, и почти на 1/3 превышает приток речных вод в залив (включая сброс дренажных вод Северо-Крымского канала). Пространственное распределение осадков за период условно естественного гидрологического режима зал. Сиваш (1910 – 1969 гг.) и за время его распреснения с 1970 г. по настоящее время приведено на рис.5.

Водообмен с Азовским морем через Генический пролив. По расчетным данным за многолетний период (1936 – 2010 гг.) – приток сивашских вод в Азовское море составил 0,41 км³/год, отток азовских вод в Сиваш 1,22 км³/год (табл.4). В отдельные годы величины стока в Сиваш (или из Сиваша в море) могут существенно отличаться от среднемноголетних значений. Максимальный результирующий сток в Сиваш наблюдался, как правило, в условиях естественного водообмена (2,4 км³ в 1970 г.). В целом, как расчетные



Р и с . 5 . Пространственное распределение осредненных за различные периоды годовых сумм осадком (мм), выпадавших на акваторию зал. Сиваш.

Т а б л и ц а 4. Среднемноголетние величины компонентов водообмена через Генический пролив и параметры линейных трендов их изменений

период, годы	среднее, км ³	параметры линейного тренда				
		b , км ³ /год	$\Sigma\Delta$, км ³	R^2	P_0	F
азовская составляющая						
1936 – 2010	1,220	– 0,0119	– 0,893	0,235	<0,001	20,575
1936 – 1969	1,518	0,0170	0,578	0,365	0,052	4,146
1970 – 2010	1,007	– 0,0169	– 0,676	0,214	0,003	10,373
1977 – 2010	0,963	– 0,0186	– 0,614	0,237	0,004	9,611
сивашская составляющая						
1936 – 2010	0,409	0,0024	0,180	0,091	0,012	6,727
1936 – 1969	0,324	– 0,0008	– 0,027	0,004	0,753	0,101
1970 – 2010	0,470	– 0,0025	– 0,100	0,035	0,247	1,386
1977 – 2010	0,463	– 0,0035	– 0,131	0,059	0,173	1,948

величины, так и данные, полученные в результате натурных наблюдений [6], однозначно свидетельствуют о произошедших существенных изменениях за 1970 – 2010 гг. в водообмене Сиваша с Азовским морем через Генический пролив. Средняя величина стока сивашских вод в море за 1970 – 2010 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1936 – 1969 гг.) увеличилась на 0,15 км³, а притока азовских вод в залив уменьшилась на 0,51 км³, величину сопоставимую с объемом сброса дренажных вод. За последние 40 лет (1970 – 2010 гг.) отмечено три случая (в 1976, 1992 и 2000 гг.), когда результирующий сток из Сиваша оказался больше 0,2 км³; за предыдущий период (1936 – 1969 гг.) такой случай наблюдался лишь один раз – в 1949 г. За 1936 – 2010 гг. в притоке сивашских вод в Азовское море выявлен значимый положительный тренд (0,0024 км³/год), а в оттоке азовских вод через Генический пролив отмечается значимая тенденция к уменьшению (– 0,0119 км³/год). Очевидным является факт, что на изменения в величинах обмена сивашскими и азовскими водами через пролив оказал воздействие антропогенный фактор – сброс дренажно-сточных вод с оросительных систем. Тем не менее, на снижение объема поступления азовских вод в залив Сиваш оказывают влияние климатические изменения, связанные с уменьшением средней скорости ветра восточных направлений в районе пролива [6]. Вследствие сокращения притока азовских вод в Сиваш и уменьшения их солености из-за распреснения Азовского моря 1977 – 2010 гг., поступление солей в залив через Генический пролив в среднем за последние 40 лет по сравнению с 1936 – 1969 гг. сократилось на 5,4 млн. т/год.

Заключение. Анализ приходных компонентов водного баланса залива Сиваш показал, что в распреснении залива за 1970 – 2010 гг. наряду с антропогенным фактором (сбросом дренажно-сточных вод Крымского канала и Каховской оросительной системы) важную роль играет увеличение количества атмосферных осадков выпадающих на поверхность залива и сокращения притока солей в Сиваш с азовскими водами.

Вклад антропогенного источника (сброса дренажно-сточных вод), может быть оценен в 0,6 км³/год. Увеличение количества атмосферных осадков и стока рек, обусловленное региональными проявлениями глобальных климатических изменений, дало дополнительно в приходную часть водного баланса залива Сиваш еще ~0,3 км³/год. Совместное действие климатического и антропогенного фактора привело к сокращению притока солей через Генический пролив на 5,4 млн. т/год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидрометеорологический справочник* Азовского моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1962.– 853 с.
2. *Понизовский А.М.* Соляные ресурсы Крыма.– Симферополь: Крым, 1965.– 166 с.
3. *Сивашский регион: краткая социально-экономическая характеристика.*– Киев: Черноморская программа Ветландс Интернешнл, 2007.– 178 с.
4. *Adler R.F., Huffman G.J., Chang A. et al* The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present) // *J. Hydro-meteor.*– 2003.– 4.– P.1147-1167.
5. *Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Горбач С.Б., Тимошенко Т.Ю.* Современный метод расчета количества атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Азовского моря // Всеукр. научно-практич. конф. "Экология городов и рекреационных зон".– Одесса: ТОВ "ИНВАЦ", 2012.– С.60-61.
6. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР.* Т.V. Азовское море.– Л., 1991.– 236 с.
7. *Гидрометеорологические условия морей Украины.* Т.2. Черное море.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.– 402 с.

Материал поступил в редакцию 28.08.2013 г.

АНОТАЦІЯ. Представлені результати дослідження міжрічних змін складових водного балансу затоки Сиваш. Отримано оцінки багаторічних змін стоку рік в затоку. Виконано розрахунки кількості атмосферних опадів що випадають на поверхню зат. Сиваш, складових водообміну затоки з Азовським морем через Геничеську протоку і проаналізована їх багаторічна мінливість. Розглянуто внесок прибуткових складових водного балансу у зменшення солоності затоки в 1970 – 2010 рр.

ABSTRACT. Results of research of interannual changes of components of water balance of a gulf Sivash are presented. Estimations of long-term changes of a drain of the rivers in a gulf are received. Calculations of quantity of an atmospheric precipitation of halls dropping out on a surface are executed. Sivash, components of water exchange of a gulf with sea of Azov through Genichesk straight their long-term variability also is analyzed. The contribution of receipts components of water balance of reduction of salinity of a gulf in 1970 – 2010.