

П.Д.Ломакин, Е.Е.Совга, Е.С.Щурова, Е.И.Овсяный

Морской гидрофизический институт, г.Севастополь

**ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
МОРСКОГО ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
В ВОСТОЧНОМ СИВАШЕ ВЕСНОЙ И ОСЕНЬЮ 2014 Г.**

Рассматриваются результаты экспедиционных исследований Морского гидрофизического института в акватории Восточного Сиваша в условиях изменившихся в 2014 г. антропогенных факторов: уменьшение площадей рисосеяния и перекрытие Северо-Крымского канала. Дается сравнение различных методов (экспрессных и лабораторных) определения солености рапы залива Сиваша.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ресурсный потенциал, мониторинг, соленость, рапа, антропогенные и природно-климатические факторы, Восточный Сиваш.*

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 Сиваш, охватывающий территорию между Бюк-Найманской дамбой на западе и Арабатской стрелкой на востоке.

Залив Сиваш (морской залив лагунного типа) – акватория, которая претерпела очень большие изменения в результате различных проявлений человеческой деятельности, а именно:

1. Многолетние попуски Северо-Крымского канала и строительство искусственных дамб с целью регулирования солености и гидрохимического режима залива в отдельных его частях.
2. Многолетнее использование большей части акватории соляного месторождения в качестве водоема для сбросных вод с рисовых полей, которые содержат пестициды и сбросных вод химических предприятий Западного Сиваша.
3. Использование Западного Сиваша в качестве накопителя промышленных стоков государственной акционерной компании «Титан».
4. Заболачивание особенно ценных для садки солей мелководных участков Центрального Сиваша.
5. Отсутствие в течение более 40 лет постоянно действующей системы мониторинга экологического состояния Сиваша.

В перечисленных пунктах не затронута природно-климатическая составляющая многолетней изменчивости Сивашского залива.

Следует отметить, что состояние некоторых видов ресурсного потенциала залива Сиваш (природа и люди, экономика региона) выполнялись при поддержке Международных организаций (*Wetland International – AEME*, Нидерланды) в 2000, 2005, 2007 гг. [1 – 3]. В рамках этой поддержки выполнялись исследования залива Сиваш, которые были посвящены описанию природы Сиваша, его ландшафтов, флоры и фауны, экономической деятельности, культурному наследию и общей Социально-экономической характеристике региона.

В плане решения задачи по созданию системы экологического мониторинга акватории залива Сиваш в 2013 г. проведены совместные с сотрудниками Института биологии южных морей экспедиционные исследования, результаты которых представлены в [4]. В настоящем сообщении приведены предварительные результаты двух экспедиций МГИ в акваторию Восточного Сиваша весной и осенью 2014 г.

Задача экспедиционных исследований 2014 г. – продолжение комплексных исследований залива Сиваш для оценки динамики солёности рапы в условиях изменившихся антропогенных (перекрытие Северо-Крымского канала, уменьшение площадей рисосеяния) и природно-климатических факторов с целью обоснования создания системы мониторинга и выработки практических предложений по использованию ресурсного потенциала Сиваша. В 2014 г. также решались методические задачи сравнительной оценки различных методов измерения солёности рапы.

Материалы и методы. Летом (с 30 июня по 2 июля) и осенью (с 16 по 18 октября) 2014 г. в рамках проекта «Ресурс» сотрудниками МГИ НАН Украины и ИнБЮМ НАН Украины вдоль западного побережья залива Сиваш были проведены две сухопутных экспедиция, включивших 4 станции, расположенные в северо-западной части залива (рис.1).

Отбор проб рапы и грунта вдоль западного берега Сиваша для дальнейшего лабораторного гидрофизического, гидрооптического и гидрохимического анализов. В ходе экспедиции на каждой станции фиксировалась температура воды. В летней экспедиции отбор проб на каждой станции производился в точках, располагавшихся непосредственно вдоль уреза воды на расстоянии 5 – 8 м от берега.

Осенью 2014 г. отбор проб на каждой станции производился в двух точках. Первая располагалась у уреза воды; вторая – мористее ее, примерно, на расстоянии 100 м.

Погодные условия. Во время проведения летней экспедиции наблюдалась малооблачная погода, преобладал северо-восточный ветер скоростью от 1 – 2 до 13 – 15 м/с, температура воздуха изменялась от 29 – 30 °С в послеполуденные часы до 19 – 20 °С ночью.

Во время проведения осенней экспедиции погода определялась прохождением теплого атмосферного фронта, что сопровождалось сплошной облачностью, дождем и умеренным ветром переменных направлений. Температура воздуха изменялась от 13,5 °С в ночные часы до 19,2 °С днем.

В результате выполнения экспедиционных работ осуществлялась отработка методики экспрессной оценки солёности рапы Сиваша с использованием биофизического зондирующего комплекса «Кондор», рефрактометра REF 203/213. Все полученные данные контролировались на берегу пикнометрическим методом и химическим титрованием.

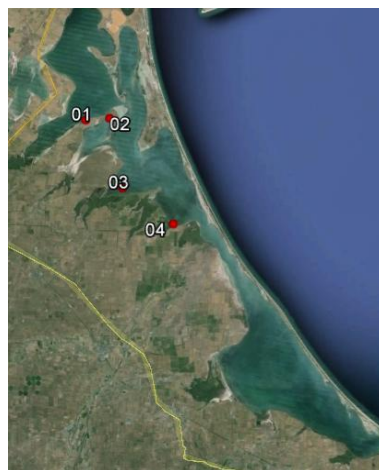


Рис. 1. Район проведения экспедиционных исследований.

Пробы воды и грунта отбирались в диапазоне глубин 0,2 – 0,8 м.

Для определения солёности могут быть использованы точные прямые способы определения солёности (плотности) – гравиметрическое определение [5, 6], определение рефрактометрическим методом [7 – 9], пикнометрическим методом [6, 7], а также по электропроводимости (при оснащении СТД-измерителей специальным датчиком с расширенным диапазоном измерения проводимости от 0 до 400 мСм·см⁻¹, позволяющий выполнять измерения в рассолах [10]).

В настоящем исследовании был применен пикнометрический метод измерения плотности [8, 9]. Принцип метода основан на определении массы пробы рассола, помещенной в пикнометр – специальный стеклянный сосуд определенной формы и с известным объёмом. Зная массу пробы рассола и объём пикнометра, рассчитывают плотность как массу единицы объёма вещества. Применение пикнометра и современных электронных аналитических весов позволяет определять относительную плотность с точностью до 0,0005 г/см³. Пикнометрический метод является одним из наиболее точных методов, позволяющий выполнять измерения плотности рассолов до четвертого-пятого знака после запятой при измерениях в лабораторных условиях. Метод не имеет ограничений в измерении предельных концентраций солей высокоминерализованных природных вод.

Для определения плотности растворов применяются пикнометры двух типов:

- пикнометр Рейсшауэра (ПЖ-1, по ГОСТ 22524-77) вместимостью от 5 до 50 см³;
- пикнометр Гей-Люссака (ПЖ-3, по ГОСТ 22524-77) вместимостью от 10 до 100 см³. При работе с рассолами более удобен пикнометр Гей-Люссака с капилляром в притертой пробке.

Измерение плотности выполнялось в термостатированных условиях при 20 °С. Для термостатирования проб использовался суховоздушный термостат охлаждающего типа, с пределом колебаний установочной температуры 19,9 – 20,1 °С. Температура лабораторного помещения составляла 20,8 – 21,4 °С.

Перед анализом пробы рассолов были отфильтрованы в фильтрационной установке под давлением. Для фильтрации использованы подготовленные мембранные фильтры диаметром 15 мм, с размером пор 0,45 мкм. Пикнометры предварительно были откалиброваны гравиметрическим методом при 20 °С. Другие средства измерений (аналитические электронные весы, термометр лабораторный тип ТЛ-4 с диапазоном измерений 0 – 50 и ценой деления 0,1 °С – по ГОСТ 28498-90) поверены метрологической службой и имеют сертификаты поверки.

Определение плотности рассолов пикнометрическим методом выполнялось в соответствии с методическими указаниями [11], разработанными в соответствии с рекомендациями [6 – 9], применительно к условиям гидрохимической лаборатории Отдела биогеохимии моря МГИ. Плотность каждой пробы измерялась в 2 – 3 повторностях и среднее принималось как измеренное значение. При этом выполнялось требование, что абсолютные допускаемые расхождения результатов двух параллельных определений не должны превышать 0,0004 г/см³.

Расчет плотности исследуемой рапы (рассола) выполняется по формуле:

$$\rho_P^t = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot \rho_w^t,$$

где ρ_P^t , ρ_w^t – плотности рассола и лабораторной воды при температуре измерений (t), г/см³; m_1 , m_2 , m_3 – массы пикнометров пустого, с дистиллированной водой, с исследуемой водой (рассолом) при температуре измерений (t) соответственно, г. Плотность дистиллированной (лабораторной) воды при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ составляет $\rho_w^{20} = 0,998232$.

Результаты и обсуждение. Результаты измерения плотности рассолов зал. Сиваш при 20°C по результатам весенней экспедиции представлены в табл.1. Здесь же приведены данные измерений солености рапы различными методами. Результаты расчета солености рассолов по плотности также представлены в табл.1.

Как следует из данных табл.1 и работы [4] во время экспедиции в 2013 и 2014 гг. значения по измерению солености отличались в зависимости от применяемой методики, поэтому в 2014 г. продолжилась работа по дальнейшей отработке методики с учетом расчета погрешности каждого метода и получением коэффициента пересчета при использовании экспрессных методов. Видно, что результаты экспрессной методики с использованием рефрактометра меньше отличаются от точных результатов полученных пикнометрическим методом, чем данные полученные с использованием биофизического комплекса «Кондор» (табл.1.)

Можно сделать вывод, что соленость по электропроводимости измеряемая биофизическим зондирующим комплексом «Кондор» существенно отличается от данных полученных другими методами (рефрактометрия, пикнометрия и химическое титрование). В целом прибор имеет узкий диапазон измерения проводимости, не пригодный для измерения солености рассолов, может в дальнейшем использоваться только для определения общего взвешенного вещества (ОВВ) и растворенного органического вещества (РОВ) и экспрессной оценки уровня солености.

Прибрежные воды третьего плеса Восточного Сиваша в июне 2014 года характеризовались высоким содержанием ОВВ (7,9 – 13,2 мг/л) и небольшой концентрацией РОВ (1,0 – 1,2 мг/л), что примерно в два раза меньше содержания РОВ в морской воде [12]. Анализировались также донные отложения Сиваша на содержание органического углерода и тяжелых металлов.

Весной (июнь 2014 г.) на тех же станциях были отобраны пробы донных отложений для определения содержания тяжелых металлов. Результаты представлены в табл.2.

Как следует из данных табл.2 в донных отложениях третьего плеса Восточного Сиваша отсутствуют такие опасные металлы как свинец и мышьяк. Отложения обогащены стронцием, ванадием, никелем и в меньшей мере кобальтом и хромом. В них незначительное содержание марганца. Тот факт, что в донных отложениях отсутствуют свинец и мышьяк говорит о возможной перспективе использования их как бальнеологического ресурса, однако, потребуются дополнительные исследования.

Т а б л и ц а 1. Результаты измерения плотности рассолов пикнометрическим методом и солености различными методами в зал. Сиваш (отбор проб – июнь – июль 2014 г.).

№ ст.	координаты, °		$T, ^\circ\text{C}$ <i>in situ</i>	плотность $\rho_r^{20}, \text{г/см}^3$		соленость $S, \text{‰}$			
	с.ш.	в.д.		пикнометрия	рефрактометрия	СТД «Кондор»	рефрактометрия	по хлорности	по плотности (пикнометрия)
1.	45,8733	34,68075	25,1	1,0201	1,021	25,92	27	25,39	27,96
2.	45,87635	34,744016	26,3	1,0241	1,025	17,47	33	32,84	33,47
3.	45,746666	34,78145	27,2	1,0242	1,025	16,66	33	33,16	33,64
4.	45,6801	34,915116	26,5	1,0252	1,028	18,07	34	33,76	35,06
вода стандартная					1,028		34		
* соленость ‰ по паспорту							34,993		

Примечание: Для калибровки рефрактометра портативного модели REF201/211/291 br использовалась вода для применения в лабораториях по ДСТУ ISO 3696 класс 2 электропроводность 0,1 мСм (вода бидистиллированная отвечает качеству воды класса 2).

* – вода стандартная (нормальная) IAPSO standart sea water, batch P152, практическая соленость 34,993 ‰.

Т а б л и ц а 2. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях Восточного Сиваша весной 2014 г.

№ ст.	<i>Pb</i> , Мкг/л	<i>Zn</i> , Мкг/л	<i>Cu</i> , Мкг/л	<i>Ni</i> , Мкг/л	<i>Co</i> , Мкг/л	<i>Cr</i> , Мкг/л	<i>V</i> , Мкг/л	<i>As</i> , Мкг/л	<i>Sr</i> , Мкг/л	<i>Ti</i> , Мкг/л	<i>Fe</i> , Мкг/л	<i>Mn</i> , Мкг/л
1	0	0	0	41861	174	241,4	1168	0	18782	5,22	15,53	0,034
2	0	373,3	25	33	2454	1276	4922	0	10548	16,77	92,2	0,05
3	0	0	45,5	41786	2094	1593	6237	0	19841	27,63	80	0,05
4	0	284,3	55	25,62	3168	1730	7982	0	17669	41848	120	0,05

Примечание: анализ донных отложений третьего плеса Восточного Сиваша на содержание тяжелых металлов выполнен в лаборатории ЧФ МГУ инж. Котельянец Е.А.

Т а б л и ц а 3. Температура, соленость, содержание ОБВ и РОВ (съемка октября 2014 г.)

дата отбора	№ ст.	координаты, °		время	глубина отбора проб, м	T, °C	зонд «Кондор»		
		с.ш.	в.д.				S, епс	ОВВ, мг/л	РОВ, мг/л
16.10.2014 г.	1	45,8733	34,68075	13:35	0,6	16,1	22,701	9,754	1,13
	1*	45,874030	34,679979	13,47	0,8	16,1	22,812	41,692	1,16
	2	45,87635	34,74401667	16:42	0,4	17,3	26,398	8,857	1,17
	2*	45,875724	34,742931	16,56	0,5	17,3	27,405	17,916	1,26
17.10.2014 г.	3	45,74666667	34,78145	06:07	0,5	17,5	32,606	4,402	1,23
	3*	45,744926	34,782826	06:17	0,8	17,5	33,350	4,820	1,26
18.10.2014 г.	4	45,6801	34,91511667	11:05	0,2	17,8	42,160	3,564	1,20
	4*	45,681077	34,914644	11:15	0,3	17,8	41,488	5,334	1,22

Т а б л и ц а 4. Сравнение значений солености различными методами в рассоле зал.Сиваш (отбор проб октябрь 2014 г.).

дата отбора	№ ст.	координаты, °		рефрактометрия		плотность воды по данным пикнометрии		зонд «Кондор»
		с.ш.	в.д.	ρ_r^{20}	S, ‰	ρ_r^{20} , г/см ³	S, ‰	S, епс
16.10.2014 г.	1	45,8733	34,68075	1,020	26	1,0175	24,26	22,701
	1*	45,874030	34,679979	1,020	26	1,0166	23,09	22,812
	2	45,87635	34,74401667	1,023	30	1,0200	27,74	26,398
	2*	45,875724	34,742931	1,024	32	1,0208	28,92	27,405
17.10.2014 г.	3	45,74666667	34,78145	1,029	38	1,0266	36,94	32,606
	3*	45,744926	34,782826	1,029	38	1,0260	36,12	33,350
18.10.2014 г.	4	45,6801	34,91511667	1,035	46	1,0317	44,07	42,160
	4*	45,681077	34,914644	1,035	46	1,0365	50,66	41,488

Примечание: в табл.3 и 4 мористые точки помечены символом «*».

Осенью воды Сиваша были относительно теплыми 16,1 – 17,8 °С. Их соленость, как и температура, повышалась в южном направлении (к устью р.Салгир) (по данным Кондора от 22 до 42 епс) (табл.3).

Как следует из данных табл.3 при сравнении с данными табл.4, результаты, полученные зондом «Кондор», также были ниже, чем полученные другими методами, хотя осенью эти различия меньше, чем весной.

Содержание ОВВ изменялось в широких пределах 3,6 – 41,7 мг/л. Высокие значения, скорее всего, не были связаны с природными явлениями, они обусловлены искусственным взмучиванием вод при отборе проб (табл.3). Преобладали концентрации 4 – 8 мг/л, что, примерно, соответствует летней ситуации.

Содержание РОВ также было близким к летней концентрации этого вещества и изменялось в интервале 1,13 – 1,26 (табл.3). Отметим, что зафиксированные значения содержания этого вещества существенно ниже по сравнению с соответствующими концентрациями в водах Черного и Азовского морей.

Выводы. Одним из значимых выводов осенней и летней экспедиций может быть обнаруженная тенденция резкого роста солености вод исследуемого участка залива Сиваш.

Этот ожидаемый эффект, который связывают с перекрытием Северокрымского канала и искусственным уменьшением стока р.Салгир, по-видимому, проявился достаточно быстро, поскольку от весны к осени в этих же точках соленость существенно возросла. Если весной от ст.1 до 4 соленость возросла от 26 до 35 ‰ (табл.1), то в октябре на тех же станциях она составила от 27 до 46 – 50 ‰. Если анализировать станции, отмеченных значком «*», осенью 2014 г., то соленость более высокая именно на этих станциях особенно на ст.2* и 4* (28,9 и 50,6 ‰ соответственно, табл.4.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сиваш: природа и люди* / Под ред. Марушевского Г.Б., Костюшина В.А., Сиохина В.Д.– Киев: Черноморская программа: Ветландс Интернешнал, 2005.– 78 с.
2. *Современное состояние Сиваша (как водно-болотного угодья)*.– Киев: Черноморская программа: Ветландс Интернешнал, 2000.– 107 с.
3. *Сивашский регион: краткая социально-экономическая характеристика* / Под ред. Костюшина В.А., Фесенко Г.В.– Киев: Черноморская программа: Ветландс Интернешнал, 2007.– 183 с.
4. *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.
5. *Morris A.W., Riley J.P.* The direct gravimetric determination of the salinity of sea water // *Deep Sea Res.*– 1964.– v.11.– P.899-904.
6. *Методы анализа рассолов и солей* / Под ред. Морачевского Ю.В. и Петровой Е.М.– М.-Л.: Химия, 1964.– 403 с.
7. *Данильченко П.Т., Понизовский А.М.* Гидрохимия Сиваша.– М.: Изд-во АН СССР, 1954.– 129 с.
8. *Мартин Д.Ф.* Химия моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1973.– С.39-42.
9. *Иоффе Б.В.* Рефрактометрические методы химии. 3-е изд., перераб.– Л.: Химия, 1983.– 352 с.

10. *Boldrin A., Rabitti S.* Hydrography of the brines in the Bannock and Tyro anoxic basins (eastern Mediterranean) // *Mar. Chemistry.*– 1990.– v.31, № 1-3.– P.21-33.
11. *Методические указания по определению плотности высокоминерализованных природных вод (рассолов).*– Севастополь: МГИ НАНУ, 2014.– 15 с. (рукопись).
12. *Ломакин П.Д., Совга Е.Е., Щурова Е.С. Овсяный Е.И.* Современный гидрохимический режим и ресурсный потенциал Восточного Сиваша // *Междунар. научн. конф. «Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала Юга России».* Казивели, 15-18.09.2014 г.– С.87-89.

Материал поступил в редакцию 20.11.2014 г.

АНОТАЦІЯ Розглядаються результати експедиційних досліджень Морського гідрофізичного інституту в акваторії Східного Сиваша, в умовах, зміни антропогенних факторів в 2014 р.: зменшення площі рисосіяння та перекриття Північно-Кримського каналу. Приведене порівняння різних методів (експресних та лабораторних) визначення солоності рапи Східного Сиваша.

ABSTRACT The results of research expeditions of the Marine Hydrophysical Institute in the water area of the Eastern Sivash under conditions of anthropogenic factors changing in 2014: a decrease in rice-growing areas and re-covering the North Crimean channel are considered. The different methods (express and laboratory) of the definition of Sivash brine salinity are compared.