

Е.Е.Совга<sup>1</sup>, Е.С.Ерёмина<sup>1</sup>, Н.Н.Дьяков<sup>2</sup><sup>1</sup>*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь*<sup>2</sup>*Севастопольское отделение Государственного океанографического института им.Н.Н.Зубова, г.Севастополь*

## СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗАЛИВА СИВАШ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

На основе анализа информации о состоянии акватории залива Сиваш после перекрытия Северо-Крымского канала, прекращения орошаемого земледелия в северном Крыму и отсутствия сброса с полей орошения (рисовых чеков) большого объема пресных вод в залив выявлены основные тенденции изменения его гидрологического и гидрохимического режимов в современных условиях, которые постепенно приближаются к естественным.

Предложены практические рекомендации по организации системы экологического мониторинга залива Сиваш с учетом целей и задач единой системы государственного экологического мониторинга Российской Федерации. Представлена новая научно обоснованная схема расположения пунктов наблюдений на акватории залива, включая водно-болотные угодья международного значения «Восточный Сиваш».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *система экологического мониторинга, гидрологический режим, залив Сиваш, водно-болотные угодья «Восточный Сиваш»*

doi:10.22449/2413-5577-2018-2-22-38

Залив Сиваш представляет собой обширный (площадь залива ~ 2540 км<sup>2</sup>) мелководный (глубины 0,5 – 3 м) соленый залив Азовского моря [1 – 3]. На западе границей Сиваша является Перекопский перешеек, на востоке – Арабатская стрелка. Залив состоит из ряда мелководных соленых водоемов, существенно различающихся между собой по гидрологическому и гидрохимическому режимам, разделенных большим числом островов, засух, дамб. Залив Сиваш принято разделять на два больших района – Западный Сиваш и Восточный Сиваш – общей площадью 1110 и 1433 км<sup>2</sup> соответственно [2]. Площадь непосредственно водного зеркала составляет 581 км<sup>2</sup> для Западного Сиваша и около 1300 км<sup>2</sup> для Восточного, остальная площадь приходится на острова и засухи. Объем воды в заливе Сиваш в зимние месяцы по данным [4] составляет 1,93 км<sup>3</sup>.

Сооруженная в 1959 г. в связи с планом реконструкции Красно-Перекопского бромного завода Кутаранская глухая земляная дамбы делит Западный Сиваш на два изолированных водоема: Западный (Кутаранский залив) с площадью водной акватории 202 км<sup>2</sup> и Средний (353 км<sup>2</sup>) (рис.1). В результате интенсивных процессов испарения и затрудненного водообмена и ранее (до строительства Кутаранской дамбы) большую часть года здесь преобладали засухи. Вода (рапа) поступала преимущественно при интенсификации течений при ветровых нагонах. Глубина Западного водоема обыч-

© Е.Е.Совга, Е.С.Ерёмина, Н.Н.Дьяков, 2018

*Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. вып.2. С.22-38.*

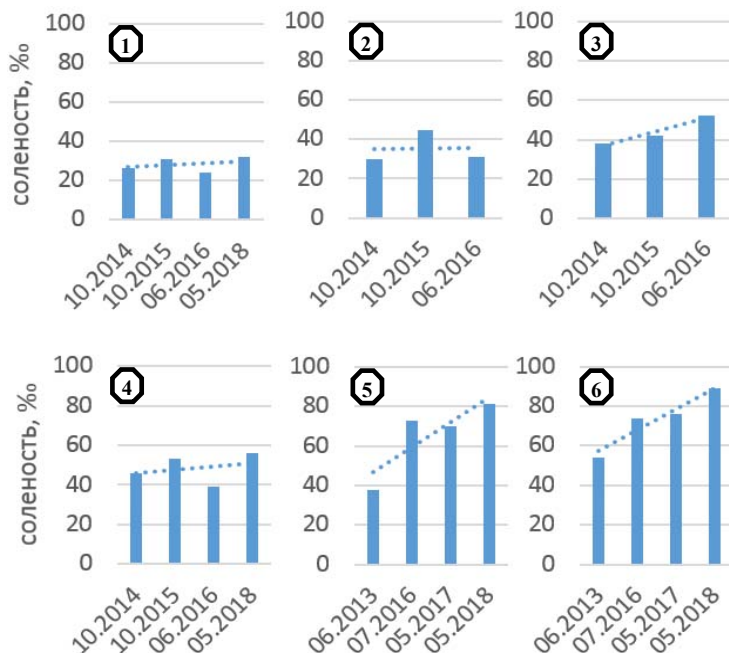
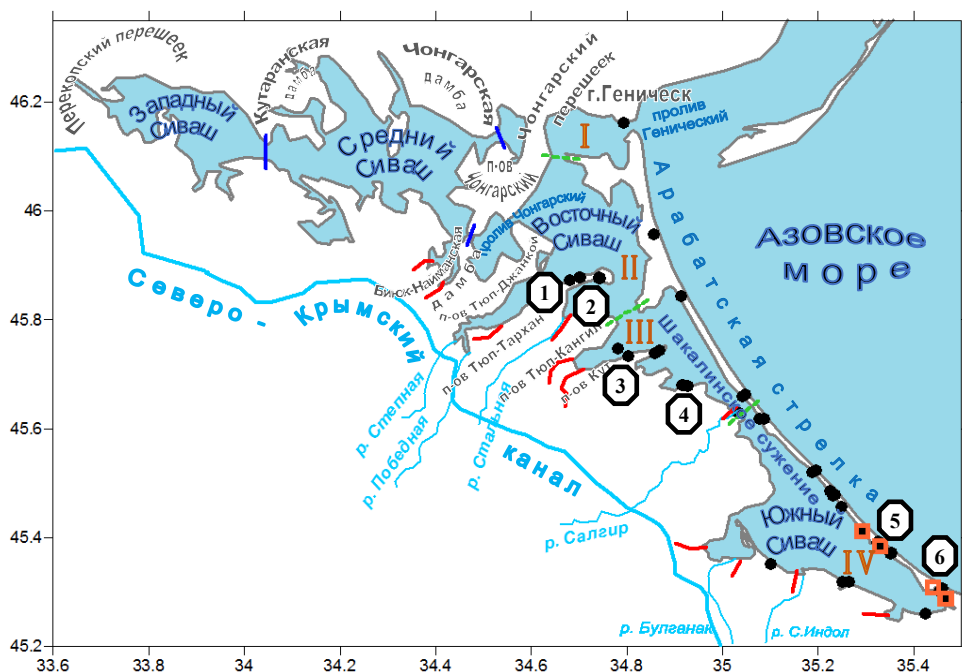


Рис. 1. Схема станций экспедиционных исследований Восточного Сиваша за период 2013 – 2018 гг.

Условные обозначения: ● – станции МГИ РАН, ■ – станции СО ГОИН), — — места санитарно-экологических попусков пресных вод (по [4]), — — дамбы. Римскими цифрами обозначены плесы. Цифрами в кружочках обозначены места отбора проб, ниже – соответствующие им графики изменения солености.

но не превышала 30 – 40 см; при этом здесь наблюдались интенсивные сгонно-нагонные колебания уровня. Западный водоем в настоящее время представляет практически изолированный испарительный водоем, уровень воды полностью регулируется Кутаранской дамбой и поддерживается в том объеме, который необходим для функционирования бромного завода.

Гидрологический и гидрохимический режимы Среднего (Центрального) водоема также зарегулированы сооружением ряда дамб со шлюзами (Биюк-Найманской, Чонгарской). Система дамб, созданная здесь, позволяет в настоящее время поддерживать рассолы высокой концентрации для нужд химической промышленности [4]. Водообмен Центрального Сиваша с Восточным существует и в настоящее время. Он осуществляется в ограниченном объеме через Чонгарский пролив, длина которого 1 – 1,2 км, ширина 200 – 300 м и глубина 0,5 – 1,5 м [2, 5].

Водообмен залива Сиваш с Азовским морем осуществляется через пролив Генический (Тонкий) [2, 5], который в настоящее время состоит из двух рукавов – Тонкий и Промойна (Арабатский). Основной водообмен залива Сиваш с Азовским морем осуществляется через пролив Тонкий. Он имеет вид узкой речной дельты с вершиной, обращенной к Азовскому морю, длина пролива 4 км, средняя ширина 100 м, максимальная глубина 4,7 – 5 м, площадь сечения на гидростворе вблизи мареографа морской гидрометеостанции (МГ) Геническ при среднемноголетней величине уровня 482 см в этом пункте составляет 276 м<sup>2</sup> [5].

Восточный Сиваш на востоке ограничен Арабатской стрелкой, на западе – Биюк-Найманской дамбой, на юге – Шакалинским сужением, на севере он соединяется с Азовским морем проливом Геническим. По направлению от пролива Тонкого у Геническа на юг к Шакалинскому сужению к устью Салгира Восточный водоем или залив Восточный Сиваш обычно разделяется на несколько плесов (I – IV), принципиально различающихся по своим термохалинным условиям [6] (рис. 1):

- плес I (площадь 106 км<sup>2</sup>, средняя глубина 1,5 м) расположен к северу от п-ова Семеновский кут на Арабатской стрелке – между проливами Тонкий и Ворота;

- плес II (площадь 263 км<sup>2</sup>, средняя глубина 1,6 м) с севера и востока ограничен берегами Генического п-ова, о-ва Коянлы, а также цепью островов (Птичий, Низменный) и отмелей, тянущихся к северной оконечности п-ова Тюп-Тархана. На западе отчленяется обрывистыми берегами Чонгарского п-ова и Тюп-Джанкоем, а на юго-западе в виде Рогачинского залива вдается вглубь крымского берега, ограничен проливами Ворота на севере, Чонгарским на западе и Протока на юге;

- плес III (площадь 364 км<sup>2</sup>; средняя глубина 1,1 м) на севере ограничен п-овом Тюп-Тархан, а на юге – Шакалинским сужением. Заливы этого плеса (Булгановский и Княжевичи) омывают полуострова Тюп-Тархан, Тюп-Кангил и Кут;

- плес IV (площадь 475 км<sup>2</sup>; средняя глубина 1,5 м) – Южный Сиваш, на севере ограничен Шакалинским сужением.

В Сивашском регионе расположен Азово-Сивашский национальный природный парк с водно-болотными угодьями международного значения.

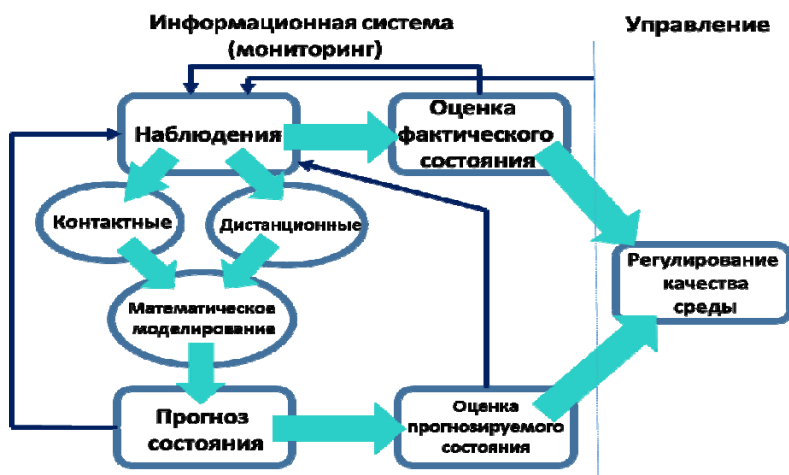
На побережье залива функционирует Северо-Крымская специальная экономическая зона «Сиваш» с развитой химической промышленностью и сельским хозяйством.

В целом, залив Сиваш представляет собой наиболее антропогенно и техногенно преобразованную акваторию прибрежной зоны Крыма с интенсивно происходящими здесь специфическими гидродинамическими и гидрохимическими процессами, обусловленными изменчивостью как природно-климатических, так и антропогенных факторов.

Ранее залив Сиваш являлся крупнейшей сырьевой базой промышленности Крыма (большие запасы хлоридов натрия, калия, магния). Начиная с 1970 г., с развитием орошаемого земледелия в северном Крыму, в залив Сиваш регулярно сбрасывалась часть стоков с полей орошения (~ 0,6 км<sup>3</sup>/год) [4]. 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 км<sup>3</sup>/год [7]. В результате за 1970 – 2006 гг. произошли существенные изменения в водообмене Сиваша с Азовским морем через Генический пролив [5]. Средняя величина стока сивашских вод в море за 1970 – 2006 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1936 – 1969 гг.) увеличилась на 0,18 км<sup>3</sup>, а приток азовских вод в залив уменьшился на 0,53 км<sup>3</sup>, величину, сопоставимую с объемом сброса дренажных вод. Вследствие сокращения притока азовских вод в Сиваш и уменьшения их солености из-за распреснения Азовского моря за период 1977 – 2006 гг., поступление солей в залив через Генический пролив за последние 40 лет в среднем сократилось на 5,4 млн. т/год по сравнению с 1936 – 1969 гг. [3]. В итоге средняя соленость Сиваша по данным [4] снизилась с 141,0 ‰ в 1955 г. до 22,6 ‰ к 1989 г, а в 1997 г. достигла минимального значения 17,0 ‰. В результате Сивашское месторождение минеральных солей практически утратило свое промышленное значение.

С 2007 по 2013 гг. начался процесс постепенного осолонения залива Восточный Сиваш вследствие климатических причин (уменьшения стока рек и количества выпадающих атмосферных осадков на поверхность залива) [7]. Прекращение с 2014 г. орошаемого земледелия в Северном Крыму (из-за перекрытия подачи воды Украиной через Северо-Крымский канал (СКК)) ускорило процесс осолонения залива Сиваш. Выполненные сотрудниками Морского гидрофизического института (МГИ) РАН и Севастопольским отделением Государственного океанографического института (СО ГОИН) в 2015 – 2018 гг. экспедиционные исследования термохалинных условий в южном (IV) плесе залива Восточный Сиваш показали, что в настоящее время соленость здесь повысилась до 60,0 – 80,0 ‰, т.е. увеличилась с 1997 г. почти в 3 – 4 раза [8].

**Система экологического мониторинга в РФ.** Под экологическим мониторингом понимается [9] система повторяющихся наблюдений за состоянием окружающей природной среды (ОС), поверхностных и подземных вод, растительного и животного мира, приземного слоя атмосферы, а также за санитарно-гигиеническими факторами, воздействующими на здоровье человека (радиация, шум, особо опасные инфекции и т.д.). Цель экологического



Р и с . 2 . Схема функционирования системы мониторинга природных объектов.

мониторинга – получение информации о состоянии окружающей среды и разрабатываемых на ее основе вариантов управленческих решений в области охраны ОС, рационального природопользования и обеспечения экологической безопасности.

В экологическом мониторинге по способу получения данных выделяются блоки дистанционного зондирования и контактных измерений (рис.2). В качестве дистанционных методов предлагается дешифровать космические снимки, которые являются средством наблюдения за водоемами с переменным режимом, сокращения или расширения их площади, ледовой обстановки, температурного режима, качества вод.

Контактные методы наблюдений предполагают непосредственный контакт с изучаемым объектом окружающей среды, взятие и подготовку проб, их обработку непосредственно в поле или их консервацию и передачу в стационарную лабораторию.

Любая система мониторинга природного объекта всегда основывается на возможностях получения той или иной информации о данном объекте с применением различных методов и существующих методик. Это и расположение сети пунктов наблюдений, и очередность проведения экспедиционных исследований, их привязка к сезону и обоснование места расположения станций отбора проб, а также обоснование применения современных дистанционных методов и методов математического моделирования, особенно при необходимости осуществления прогнозных оценок.

В Советском Союзе в 1972 г. была создана Общегосударственная служба наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (ОГСНК). Организация и обеспечение функционирования этой службы были возложены на Госкомгидромет.

В 1993 г. Постановлением правительства РФ на основе ОГСНК была сформирована Единая государственная система экологического мониторинга России (ЕГСЭМ), которая была введена Федеральным законом от 21 ноября 2011 г. № 331-ФЗ [9]. Основными задачами ЕГСЭМ являются:

– регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, изменениями состояния окружающей среды;

– хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;

– анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;

– обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды.

Единая государственная система экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) включает в себя множество подсистем, из которых следует отметить подсистему государственного мониторинга внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации; в рамках этой подсистемы можно рассматривать и залив Сиваш.

**Система мониторинга залива Сиваш.** Исходя из особенностей географического строения залива Сиваш и различий в практическом использовании его акваторий, можно рассматривать несколько видов мониторинга:

1. Импактный мониторинг – Западный Сиваш, находящийся под влиянием максимальной антропогенной нагрузки;

2. Локальный мониторинг – Восточный Сиваш с наибольшей по площади и глубине акваторией;

3. Фоновый мониторинг – акватории и территория с минимальным антропогенным влиянием, это Средний Сиваш и часть Восточного Сиваша, акватории и острова, составляющее водно-болотные угодья Международного значения [10];

4. Регулярные гидрометеорологические и гидрохимические наблюдения, проводимые подразделениями Росгидромета (СО ГОИН и Крымским УГМС).

Данные об утвержденной сети пунктов наблюдения экологического мониторинга залива Сиваш не найдены. Предложения по созданию сети экологического мониторинга залива Сиваш, представленные в работе [11], фактически не были реализованы.

В соответствии с предложениями [11] пункты стационарной сети наблюдений предлагалось разделить на четыре категории, которые охватывают Восточный, Средний и Западный Сиваш.

Посты наблюдения I-й категории предлагалось расположить вблизи города Красноперекоск, где на базе минеральных богатств Сиваша построены заводы, которые сбрасывают свои промышленные отходы в озеро Старое и Красное.

Посты II-й категории предлагалось расположить на запирающих створах устьев рек Салгир, Победная, Индол [12], потому что это наибольшие реки, которые впадают в Сиваш.

Посты III-й категории по рекомендации [11] должны располагаться в рекреационных зонах: вблизи города Геническа, на косе Арабатская стрелка.

Сеть постов наблюдения IV-й категории предлагалось расположить вблизи заповедных территорий, где отсутствует прямая антропогенная нагрузка. Такими заповедными территориями являются острова Чурюк и Куюк-Тук – Азово-Сивашский национальный природный парк.

В соответствии с [11] на Сиваше должно быть: один пост I-й категории, шесть – II-й категории, три – III-й категории и два – IV-й категории. Всего двенадцать стационарных постов наблюдения.

Предложенная в [11] схема в настоящее время не может быть рассмотрена и реализована, поскольку не учитывает современного положения границы между Украиной и РФ с учетом вхождения Крыма в экономическое и социально-правовое поле РФ. В ней не учтены процессы, связанные с перекрытием СКК в 2014 г. и требующие более подробного изучения динамики солености в Восточном и Южном Сиваше.

Задачи экологического мониторинга залива Сиваш и его примерная структура рассмотрены в работе [13]:

- полноценная информация о его состоянии как основа для корректирования хозяйственной деятельности;
- быстрое информирование органов, принимающих решения в случае техногенных катастроф, на основе современных технологий сбора, обработки и сохранения информации (ГИС, компьютерные сети, автоматизированный сбор информации, включая дистанционное зондирование и т.д.);
- создание системы мониторинга состояния биологических объектов как части общей системы экологического мониторинга;
- разработка математической модели водного и солевого баланса Сиваша;
- включение информации о международной значимости водно-болотных угодий Сиваша и его биоразнообразия, а также о факторах угрозы и экологических проблемах в курсы обучения в местных школах, колледжах, университетах и других учебных заведениях;
- создание возможностей свободного доступа общественности к экологической информации;
- поддержка создания и функционирования местных общественных организаций и других форм объединения граждан, которые активно участвовали бы в принятии решений по экологическим вопросам и в управлении территориями природно-заповедного фонда.

Схема экологического мониторинга и его структура, предложенная в [13], также не была практически реализована и не может быть реализована особенно в современных условиях.

Предложенные в [11, 13] структуры мониторинга не учитывают большой объем наблюдений, выполненных ранее подразделениями Гидрометслужбы на сети морских гидрометеорологических станциях и постах (МГП) побережья залива.

Цель настоящего исследования – на основании полного анализа имеющейся информации о состоянии акватории залива Сиваш, полученной после перекрытия СКК как авторами настоящей работы, так учреждениями и организациями различной ведомственной подчиненности с применением современных методов и методик, предложить первый предварительный вариант системы экологического мониторинга залива Сиваш в условиях вхождения

Крыма в социально-правовое поле РФ с учетом современных границ водно-болотного угодья международного значения «Восточный Сиваш» в соответствии с [14]. Дать полное научное обоснование расположения предлагаемых пунктов наблюдений и применяемых современных методов и методик.

**Материалы и методы.** Координация научно-исследовательских работ в заливе Сиваш осуществляется СО ГОИН. На основе накопленных и систематизированных материалов в Севастопольском отделении создан новый банк океанографической информации о заливе Сиваш, наиболее обеспеченный в настоящее время результатами экспедиционных и прибрежных наблюдений. Банк океанографической информации состоит из следующих блоков:

- экспедиционные гидрологические, метеорологические и гидрохимические наблюдения в заливе Сиваш;
- комплекс регулярных прибрежных наблюдений на морских гидрометеорологических станциях и постах;
- наблюдения над ледовым покровом;
- наблюдения за течениями в проливе Тонком;

*Экспедиционные наблюдения.* Массив экспедиционных и рейдовых наблюдений в заливе Сиваш (за температурой и соленостью воды, гидрохимическими характеристиками) сформирован преимущественно на основе архивных данных СО ГОИН (табл.1) [15]. В настоящее время банк океанографической информации залива Сиваш включает около 7300 гидрологических станций, выполненных за период 1962 – 2018 гг. Наибольшее количество гидрологических станций выполнено в северных плесах залива Восточный Сиваш. Большинство экспедиционных работ осуществлялось в апреле – ноябре (700 – 900 станций в месяц).

*Массив прибрежных гидрометеорологических наблюдений* содержит информацию, полученную на основе комплекса регулярных гидрометеорологических исследований на 5-и морских гидрометеорологических станциях и постах, расположенных на побережье залива Восточный Сиваш.

Наиболее продолжительные ряды данных (температура воздуха, осадки, уровень моря) собраны на МГ Геническ (действует с 1878 г.) и на МГП Чонгарский мост (с 1935 по 2014 гг.). В настоящее время прибрежные регуляр-

Т а б л и ц а 1. Периоды лет рядов среднемесячных и срочных наблюдений на береговых станциях залива Сиваш.

станция	соленость	температура		ветер	осадки	уровень
		воды	воздуха			
Геническ	1926 – 2013 гг.*	1924 – 2013 гг.	1911 – 2013 гг.	1912 – 2013 гг.	1911 – 2013 гг.	1878 – 2013 гг.
Чонгарский мост	1946 – 2013 гг.*	1934 – 2013 гг.*	1934 – 2013 гг.*	1934 – 2013 гг.*	1948 – 2013 гг.*	1934 – 2013 гг.*
Соляное		1936 – 1957 гг.*	1940 – 1957 гг.*	1940 – 1957 гг.*	1952 – 1957 гг.*	1936 – 1957 гг.*

Примечание: \* означает перерывы в наблюдениях



Т а б л и ц а 2. Сведения о пунктах ледовых наблюдений в заливе Восточный Сиваш.

пункт	период наблюдений	район (плес залива)	число ледовых сезонов	дальность видимого горизонта, км
Геническ	1937 – 1994 гг.	I, пр-в Тонкий	44	15,4
Чонгарский мост	1947 – 1990 гг.	II	43	9,8
Стрелковое	1934 – 1973 гг.	II – III	21	9,0

ные наблюдения Росгидрометом на побережье залива Сиваш не проводятся, последний наблюдательный пункт МГП Чонгарский мост был закрыт в 2014 г.

*Наблюдения над ледовым покровом.* Банк данных наблюдений за ледовыми условиями залива Восточный Сиваш содержит:

- ледовые наблюдения на станциях и постах;
- данные авиационных разведок и спутниковую информацию.

Информационной основой оценки состояния ледового покрова в прибрежной зоне залива является массив данных регулярных наблюдений за ледовым покровом на морских гидрометеорологических постах побережья Восточного Сиваша (Чонгарский мост, Стрелковое) и пролива Генический (Тонкий) – МГ Геническ [7]. Периоды и условия наблюдений на них даны в табл.2.

Для оценки ледового режима открытых районов залива Сиваш был создан массив ледовых авиационных наблюдений, выполненных в 1950 – 1990 гг. ледовыми авиаразведками Азовского моря, в которых наблюдались и ледовые условия залива (всего было выбрано 37 карт). Информация ледовых разведок была дополнена массивом геокодированных изображений ледовой обстановки с искусственных спутников Земли, обработанных ГУ НИЦ «Планета» (~ 120 карт-схем ледовой обстановки в Азово-Сивашском бассейне за 1997 – 2018 гг.).

*Наблюдения за течениями в проливе Тонком.* Всего в архиве СО ГОИН содержится ~ 20 тыс. измерений течений в проливе Тонком за 1938 – 2008 гг. [5]. Большая часть наблюдений (17,4 тыс.) за течениями и расходами выполнена на гидростворе у мареографа МГ Геническ, в наиболее удобной для расчета водообмена восточной части пролива, вблизи его впадения в Азовское море. Наблюдения выполнялись при различных гидрометеорологических условиях: ветрах всех направлений и различных градаций скорости, включая штормовые; во время сильных сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря и залива Сиваш; наличии льда в проливе в холодный период года [5].

С целью обоснования оптимального расположения постов наблюдений в заливе Сиваш в работе привлекались результаты экспедиционных исследований Восточного Сиваша в пределах существующей в настоящее время границы между Украиной и РФ, проведенных МГИ и СО ГОИН в 2014 – 2018 гг. Выполненные работы включали определение термохалинных и гидрохимических показателей. Кроме наших работ, использовались материалы экспеди-

ционных исследований ПАО «Крымский содовый завод» выполненные в районе Западного, Среднего и Восточного Сиваша в 2000 – 2017 гг., которые включали определение содержания в морской воде хлорности, магния и брома, и были предоставлены главным геологом завода Соколыч И.П.

Предлагаемая система мониторинга на основе работ, проводимых МГИ, СО ГОИН и Таврическим национальным университетом им.В.И.Вернадского, позволит оценить различные явления и процессы, происходящие в заливе Сиваш в современных условиях.

С помощью спутниковых методов оценивалась динамика береговой линии, осуществлялся анализ и дешифрирование материалов аэрокосмических съемок при использовании спутниковых снимков высокого разрешения серии *Landsat* [16]. Для оценки и выделения участков береговой зоны Сиваша, подвергшихся затоплениям и осушениям при действии СКК и после его перекрытия, применялась методика *RGB* комбинирования снимков одной территории, сделанных в разное время. Этот метод и его преимущества были описаны в работе [17]. Анализ аккумуляционных процессов в береговой зоне на современном этапе (2014 – 2017 г.) и оценки динамики фитогенных берегов выполнялись по разновременным многозональным космическим снимкам, полученным со спутников *Landsat 5* и *Landsat 8* [18]. Анализ температурного и ледового режимов залива Сиваш основывался на снимках сканеров *MODIS* спутников *Terra (EOS AM)* и *Aqua (EOS PM)*, сенсоров спутников серии *Landsat, NOAA, MetOp (AVHRR)*, результаты приведены в работах [3, 19, 20]. Спутниковые данные также могут применяться для исследования процессов фильтрации вод Азовского моря через Арабатскую стрелку [16, 19].

**Результаты и обсуждения.** В настоящей работе предлагается предварительная структура системы экологического мониторинга применительно к природным условиям и хозяйственному использованию акватории Восточного Сиваша, базируемая как на экспедиционных исследованиях, так и на данных дистанционных спутниковых наблюдений.

Схема расположения станций отбора проб воды в экспедиционных исследованиях МГИ и СО ГОИН представлена на рис.1. Сотрудниками МГИ совместно с СО ГОИН в 2014 – 2018 гг. были выполнены 15 экспедиций в районах Восточного и Южного Сиваша. Отбор проб на каждой станции производился непосредственно вдоль уреза воды на расстоянии 5 – 8 м от берега, где глубины составляли 0,2 – 0,8 м.

Следует отметить, что в 2013 г. МГИ была проведена сухопутная экспедиция, включившая 20 станций, расположенных по обе стороны Арабатской стрелки, вдоль западного (сивашского) и восточного (азовоморского) ее берегов, результаты которой рассмотрены в работе [21], в настоящем исследовании не анализируются, поскольку были получены во время работы СКК.

В 2014 г. Крым вошел в социально-правовое поле РФ, после чего часть станций района Шакалинского сужения и севернее его стали недоступны для проведения исследований, кроме того, работы в приграничной зоне стали невозможны без специальных пропусков и согласований, что ограничило проведение полевых работ. В результате чего в 2014, 2015 и 2016 гг. был исследован только III-й плес Восточного Сиваша, примыкающий к Шакалинско-

му сужению, а в 2016 и 2017 гг. была исследована еще и акватория южного (IV-го плеса) залива, примыкающая к Арабатской стрелке (рис.1). За период 2014 – 2016 гг. МГИ проведено еще 5 полевых экспедиций, но количество выполненных гидрологических станций по сравнению с 2013 г. было существенно сокращено. Работы выполнялись в заливах: Рогачинском, Княжевича, Балгановском, а также в районе севернее Шакалинского сужения. Весной и летом 2016 г. СО ГОИН были проведены еще две экспедиции в районе Южного Сиваша, а в 2017 г. Севастопольским отделением было выполнено еще 6 экспедиций во все сезоны года (схема станций представлена на рис.1). В мае 2018 г. МГИ проведена экспедиция в III-й и IV-й плес Восточного Сиваша, выполнено 17 станций (схема станций рис.1).

По результатам проведенных экспедиций была проанализирована динамика солёности воды в III-м и IV-м плесах Восточного Сиваша с момента перекрытия СКК. В результате перекрытия канала, прекращения орошаемого земледелия в Северном Крыму и, соответственно, прекращения сбросов пресных вод в залив с рисовых чеков, а также зарегулированием стока рек, впадающих в Сиваш (в частности, р.Салгир) весной во II-м и III-м плесах залива Восточный Сиваш (район точек 1 – 4, рис.1) солёность вод возросла от 26 до 46 – 50 ‰.

В проведенных после перекрытия СКК экспедициях анализировалась также динамика солёности в IV-м плесе в Южном Сиваше, при этом станции отбора проб располагались вблизи Арабатской стрелки и в районе Арабатской крепости. Многолетняя динамика солёности IV-го плеса залива Восточный Сиваша за период с 1936 по 2016 гг. представлена в работах [22, 15].

В предлагаемую в настоящей работе систему мониторинга необходимо включить пункты наблюдений в IV-м плесе залива Восточный Сиваш. В проведенных ранее экспедициях гидрологические станции выполнялись на Арабатской стрелке, в частности, вблизи Арабатской крепости, на участке бывшего Сольпрома. В этом районе ранее Гидрометслужбой проводились регулярные наблюдения на МГП Соляное. Представляется необходимым Крымскому УГМС восстановить здесь регулярные наблюдения (с дискретностью по времени 12 часов) за солёностью и температурой воды, уровнем моря, метеорологическими условиями. Сезонные съемки гидрологических и гидрохимических условий IV-го плеса залива Восточный Сиваш может выполнять МГИ в рамках соответствующего Госзадания и СО ГОИН, обладающие необходимыми кадрами, оборудованием, транспортными средствами и аккредитованной химической лабораторией.

Предлагаемая схема пунктов отбора проб рапы Восточного Сиваша и Южного Сиваша в пределах современной юрисдикции республики Крым представлена на рис.3.

Во втором плесе залива Восточный Сиваш Крымскому УГМС рекомендуется восстановить регулярные наблюдения на МГП Чонгарский мост, прерванные в 2014 г. Наблюдения на этом посту проводились почти 80 лет, их восстановление позволит получать оценки изменений гидрометеорологических и гидрологических условий этой части залива на различных масштабах (от синоптического до межгодового).



Рис. 3. Предлагаемая схема мониторинга в районе Восточного и Южного Сиваша, красная линия – граница водно-болотного угодья (ВБУ) международного значения «Восточный Сиваш», черная линия – государственная граница, ▲ – места станции, цифрами обозначены наиболее ценные участки территории ВБУ по [14]: Калиновский полигон с прилегающими акваториями (1); устьевая зона р.Победная (2); система островов и заливов Коянлы у м.Тюп-Тархан (3); участок между Арабатской стрелкой и с.Дмитровка (4); отдельные участки Индольского залива (5); Арабатская стрелка, МГП Соляное (6); Арабатская стрелка, острова Сольпрома (7); МГП Чонгарский мост (8).

Поскольку доступ ко всей акватории залива Сиваш как объекту исследования в настоящее время в значительной степени ограничен, что связано с его приграничным расположением, систематические наблюдения всей акватории залива могут выполняться только с применением дистанционных методов исследования.

В [19] с использованием спутниковых методов показана возможность фильтрации азовских вод через Арабатскую стрелку. Исследования этого малоизученного процесса на основе анализа спутниковых снимков выявили существование в ряде случаев особенностей пространственного распределения температуры воды, ее оптических свойств в заливе Сиваш. Наблюдавшиеся аномалии температуры воды в заливе, как правило, проявлялись в виде локальных областей (направленных от берега струй), а в оптическом диапазоне в виде зон с пониженным рассеянием (мутностью). Возможной причиной таких проявлений, согласно [19], может быть фильтрация азовских вод через бар Арабатской стрелки, обусловленная перепадом между уровнями Сиваша и Азовского моря, вследствие ветрового воздействия и сезонной изменчивости водного баланса этих бассейнов. Данная ситуация может служить научным обоснованием необходимости дополнительного контроля солености воды Сиваша путем расположения станций отбора проб в заливе вблизи Арабатской стрелки.

Согласно нашим рекомендациям, кроме восстановления наблюдений на МГ Чонгарский мост, следует разместить одну – две дополнительные станции севернее по Арабатской стрелке (рис.3). Следует отметить, что именно в этих районах на спутниковых снимках наблюдаются изменения в гидро-

оптических свойствах воды, что, возможно, вызвано фильтрацией вод через тело Арабатской стрелки. Интрузии Азовских вод могут вносить существенный вклад в водный баланс Сиваша, поэтому контроль солености именно в этом районе необходим.

На основе проведенного анализа информации о состоянии акватории залива Сиваш в предлагаемой нами системе мониторинга учтены те изменения, которые произошли в акватории и в береговой зоне залива Сиваш после перекрытия СКК. Очень важным для оценки пресноводной составляющей баланса залива Сиваш является контроль за поступлением вод реки Салгир в залив Сиваш особенно в период паводков.

Салгир – самая длинная река Крыма. Вместе со своим притоком Биюк-Карасу она представляет собой самую большую в Крыму водную систему. Многолетний расход воды ниже впадения притока Кучук-Карасу составляет в среднем  $1,83 \text{ м}^3/\text{с}$  [24].

В предлагаемой системе мониторинга целесообразно осуществлять оценку возможного поступления вод Салгира в Сиваш весной, станция должна быть расположена в районе устья реки в Шакалинском сужении (рис.3).

В соответствии с данными работы [18], одним из проявлений влияния сбросов пресных вод с полей орошаемого земледелия на экологическую ситуацию в заливе Сиваш считалось формирование зон развития тростниковой растительности т.н. фитогенных берегов. Значительному развитию тростниковой растительности способствовало трансформация русел балок в коллекторы (по которым в Сиваш поступали дренажные воды, стоки с канализационных очистных сооружений населенных пунктов). Обогащенные биогенными элементами сточные воды способствовали массовому развитию высшей растительности. Анализ карт, выполненный в [18], показал, что общая площадь тростниковой растительности по данным дешифрирования спутниковых снимков составляет чуть более  $15 \text{ км}^2$ , при этом наибольшую площадь эта растительность занимает в Рогачинском заливе – более  $8 \text{ км}^2$ , Балагановском заливе –  $5 \text{ км}^2$ , заливе Княжевичи – около  $1 \text{ км}^2$ . В рамках данной системы мониторинга предполагается продолжить анализ спутниковых снимков указанных акваторий с целью дальнейшей оценки возможной деградации тростниковой растительности после перекрытия СКК.

В качестве информационной основы исследования ледовых условий в прибрежной зоне залива до 2014 г., кроме спутниковых снимков, использовались данные регулярных наблюдений за ледовым покровом на морских гидрометеорологических постах побережья Восточного Сиваша (Чонгарский мост, Стрелковое) и пролива Генический – МГ Геническ [3]. На сегодняшний день данные наблюдений в МГ Геническ (Украина) получить не представляется возможным, поэтому мониторинг ледовой обстановки предлагается вести с помощью восстановленных наблюдений на МГП Чонгарский мост и спутниковой информации. Анализ данных сканеров *MODIS* спутников *Terra (EOS AM)* и *Aqua (EOS PM)*, которые существуют в открытом доступе, позволяет оценить продолжительность ледового режима и пространственное распределение ледового покрова. Данные сканеры выполняют съемку местности 1 – 2 раза в день, что во многом решает задачу мониторинга термических и ледовых условий в Сиваше.

В рамках системы мониторинга предлагается осуществлять расчёты площадей водного зеркала Восточного Сиваша, прибрежных водоемов и положения береговой линии затопляемых и осушаемых территорий с целью отслеживания динамики их изменений после перекрытия СКК в 2014 г. Анализ спутниковых снимков позволяет получить описательно-распознавательные образы водоемов, для этого необходимо проводить выборку спутниковых снимков серии *Landsat-8* сканеров *OLI/TIRS TM*, полученных в безоблачную погоду. При отборе снимков должны учитываться гидрологические характеристики объекта изучения, отбираются снимки, полученные во время различных сезонов года. Для минимизации эффекта подтопления и осушения территорий при сгонно-нагонных явлениях отбираются снимки, полученные при штилевых условиях или при скорости ветра не более 2 м/с согласно данным ближайших гидрометеостанций. Далее проводится оцифровка береговой линии Восточного Сиваша, прибрежных лагун, водоемов и рисовых чеков, заливавшихся водой во время действия СКК и сопоставляется со снимками, сделанными до 2014 г.

Важной составляющей системы экологического мониторинга, которая дополняет информационную систему мониторинга и позволяет осуществить прогноз (рис.2), являются результаты математического моделирования по расчету ряда необходимых параметров состояния залива, которые не всегда возможно получить экспериментальными методами.

Для изучения особенностей динамики вод мелководных акваторий используется численная нестационарная гидротермодинамическая модель *MECCA (Model for Estuarine and Coastal Current Assessment)*, подробно структура модели дана в [24]. В [25] приведены результаты расчета схем поверхностных течений залива Сиваш, а также расчет колебаний уровня в заливе при ветрах различных направлений за период 2014 – 2016 гг.

**Выводы.** Основная задача предлагаемой для обсуждения системы экологического мониторинга залива Сиваш заключается в постоянном контроле тех природных и антропогенных факторов, которые, как показали наши исследования, наиболее сильно проявились в результате функционирования и перекрытия СКК. Система мониторинга должна включать:

1. Экспедиционные данные по контролю гидрологического режима залива. Восточный Сиваш в соответствии со схемой расположения станций отбора проб Восточного и Южного Сиваша с учетом современных границ водно-болотного угодья «Восточный Сиваш».

2. Восстановление сети наблюдений Росгидромета на МГП Чонгарский мост и Соляное. Проведение сезонных гидролого-гидрохимических съемок южной части зал. Восточный Сиваш СО ГОИН и МГИ.

3. Для подтверждения обнаруженной по космическим снимкам возможной фильтрации вод Азовского моря через тело Арабатской стрелки увеличить количество станций отбора проб в Южном Сиваше вдоль Арабатской стрелки.

4. Данные расчета с использованием современных методов математического моделирования, позволяющие дать количественную оценку интенсивности водообмена залива с Азовским морем, а также информацию о

преобладающей при определенных гидрометеоситуациях системе течений в заливе и колебаний уровня вод.

5. Данные дистанционного зондирования акватории залива для получения информации о ледовом режиме залива и его изменения после перекрытия СКК, о температурном режиме залива и динамике его береговой зоны, особенно в акваториях формирования тростниковой растительности.

6. Полученные в рамках предлагаемой системы мониторинга данные должны составить основу постоянно пополняющейся базы данных, которая может быть использована как заинтересованными научными организациями, так и органами местного самоуправления, принимающими решения в вопросах рационального природопользования в регионе и его экономического развития.

7. Прогнозы тенденций изменения состояния мелководных акваторий, полученные из экспериментальных данных, спутниковой информации и по результатам моделирования, позволят учитывать вероятные последствия той или иной хозяйственной программы и искать научно-обоснованный вариант комплекса природоохранных мероприятий, являясь, таким образом, связующим звеном между экологической теорией, научными исследованиями и управлением.

Работа выполнена в рамках темы 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

#### 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. *Дьяков Н.Н., Белогудов А.А., Тимошенко Т.Ю.* Оценка составляющих водного баланса залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– 2013.– вып.27.– С.439-445.
4. *Сивашский регион: краткая социально-экономическая характеристика /* Под ред. Костюшина В.А., Фесенко Г.В.– Киев: Черноморская программа «Ветландс Интернешнал», 2007.– 178 с.
5. *Дьяков Н.Н., Белогудов А.А.* Водообмен залива Сиваш с Азовским морем через пролив Генический (Тонкий) // Труды ГОИН.– 2015.– вып.216.– С.240-253.
6. *Стацук М.Ф., Супрычев В.Л., Хитрая М.С.* Минералогия, геохимия и условия формирования донных отложений Сиваша.– Киев: Наукова думка, 1964.– 174 с.
7. *Дьяков Н.Н., Тимошенко Т.Ю.* Ледовый режим залива Восточный Сиваш // Труды ГОИН.– 2015.– вып.216.– С.188-196.
8. *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 // 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.

9. *Единая система государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)*. Статья 63.1 Федерального закона от 21 ноября 2011 г. № 331-ФЗ.
10. *Современное состояние Сиваша (как водно-болотного угодья) / Сборник статей.*– Киев: Черноморская программа «Ветландс Интернешнал», 2000.– 107 с.
11. *Збереження і моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття в Україні.* – Київ: Національний екологічний центр України, 2000.– 244 с.
12. *Природно-ресурсний аспект розвитку України. Програма сприяння сталому розвитку в Україні.* Наук. керівник напрямку М.М.Коржнев.– Київ: Вид. дім КМ Academia, 2001.– 112 с.
13. *Сиваш: природа и люди / Под ред. Марушевського Г.Б., Костюшина В.А., Сиохи-на В.Д.*– Киев: Черноморская программа «Ветландс Интернешнал», 2005.– 78 с.
14. *Приказ Министерства экологии и природных ресурсов республики Крым от 18 декабря 2017 года № 2919 "Об утверждении Положения о водно-болотном угодье «Восточный Сиваш»".*
15. *Дьяков Н.Н., Липченко А.Е., Рябинин А.И.* Современные гидрометеорологические условия в Черном и Азовском морях // Труды ГОИН.– 2016.– вып.217.– С.222-240
16. *Shchurova E.S., Stanichnaya R.R., Stanichny S.V.* Satellite data for investigation of recent state and processes in the Sivash Bay // Proc. Intern. Conf. "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMEC'S'11-SeaCoasts XXVI, St. Petetsburg, 22-27.08.2016).– Moscow: RIOR Publ., 2016.– P.341.
17. *Станичная Р.Р., Станичний С.В., Горячкин Ю.Н.* Методика анализа изменчивости береговой линии по спутниковым данным // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016.– вып.1.– С.22-28.
18. *Михайлов В.А., Калинчук И.В.* Морфология и динамика берегов природного парка «Калиновский» // Всероссийская научная конференция «Научные исследования на заповедных территориях», посвященная 160-ю основателя Карадагской научной станции Т.И.Вяземского и году экологии в России. 9-14 октября 2017 г. пгт. Курортное, г.Феодосия.– 2017.– С.68.
19. *Щурова Е.С., Станичная Р.Р., Станичний С.В.* Использование спутниковых данных для исследования современного состояния залива Сиваш // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.– 2016.– вып.3.– С.61-64.
20. *Щурова Е.С.* Анализ ледового режима залива Сиваш по спутниковым данным // Международная научная конференция «Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России». 15-18 сентября 2014 г., пгт. Кацивели.– Севастополь: ЭКОСИ- Гидрофизика, 2014.– С.148-151.
21. *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.
22. *Позаченюк Е.А., Совга Е.Е., Хмара Т.В., Харитоновна Л.В., Щурова Е.С.* О методах оценки современного состояния акватории залива Сиваш в условиях перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 году // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.– 2016.– вып.4.– С.41-49.
23. *Слудский А.Ф.* Древние долины реки Салгир // Изв. Крымского отдела Географического общества Союза ССР. Вып.2.– Симферополь: Крымский филиал АН СССР, Крымский отдел Географического общества Союза ССР, 1953.– 136 с.



24. *Иванов В.А., Тучковенко Ю.С.* Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 368 с.
25. *Совга Е.Е., Ерёмкина 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.72-82.

Материал поступил в редакцию 5.05.2018 г.  
После доработки 28.05.2018 г.

E.E.Sovga, E.S.Eremina, N.N.D'yakov

#### SYSTEM OF THE ECOLOGICAL MONITORING IN THE SIVASH BAY IN THE MODERN CONDITIONS

Analyzing the state of the Sivash Bay water area after the North-Crimean Canal overlapping, the discontinuation of irrigated farming in the northern Crimea and the absence of dumping from the irrigation fields (rice checks) of a large volume of fresh water into the bay, the main trends in hydrological change and chemical regime in modern conditions, which are gradually approaching the natural ones.

Practical recommendations on the organization of the ecological monitoring system of the Sivash Bay are proposed taking into account the goals and objectives of the unified system of state environmental monitoring of the Russian Federation. A new scientifically proved scheme for the location of observation points in the water area, including the wetlands of international importance "East Sivash", is presented.

**KEYWORDS:** system of ecological monitoring, hydrological regime, the Sivash Bay, wetlands "East Sivash"