

УДК 504+551.465

П. Д. Ломакин

Океанологическая характеристика прибрежной зоны залива Сиваш (Азовское море)

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация
e-mail: p_lomakin@mail.ru

Аннотация. На основе данных серии экспедиций, проведенных сотрудниками Морского гидрофизического института, рассмотрены особенности полей температуры, солёности, концентрации общего взвешенного вещества и растворенного органического вещества в прибрежных водах залива Сиваш. Отслежен ход солёности и содержания растворенного органического вещества в водах Сиваша за временной интервал с 2013 по 2016 годы, обусловленный перекрытием в 2014 году Северо-Крымского канала. Показано, что перекрытие Северо-Крымского канала сопровождалось резким ростом солёности в водах Сиваша. Максимальное увеличение солёности наблюдалось в течение 2014-2015 гг. По сравнению с 2013 г. средняя для северных регионов залива солёность в 2014 г. выросла на 14 PSU и достигла 31 PSU. В 2015 г. темп роста солёности снизился до 5 PSU за год и в конце этого года она равнялась 36 PSU. В течение 2016 г. рост солёности существенно замедлится до 0,7 PSU за год. Получены представления о содержании растворенного органического вещества на участках русла и в устье впадающей в залив Сиваш р. Победная.

Ключевые слова: температура, солёность, общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество, Северо-Крымский канал, залив Сиваш, Азовское море.

Введение

Сиваш — узкий изолированный мелководный залив (иногда его называют озером), расположенный вдоль западного берега Азовского моря. От моря он отделён меридионально ориентированной косой, — Арабатская Стрелка. В северо-восточной своей части, у Геническа, Сиваш соединен с Азовским морем проливом Тонкий [1]. В акваторию западного побережья залива Сиваш впадают крымские речки, среди которых наиболее полноводная р. Салгир (рис. 1).

В течение многих десятилетий Сиваш подвергался мощному антропогенному прессу. С советских времен сюда сбрасываются отходы химических предприятий северного Крыма. Западная часть Сиваша, прилегающая к Перекопскому перешейку, отделена дамбой и превращена в гигантский отстойник химических отходов, как и несколько озёр на перешейке [1].

Существенные изменения в экологической системе залива были также обусловлены притоком, а затем изъятием значительных объемов пресной воды, связанных со строительством (завершено 1971 г.) и перекрытием (2014 г.) Северо-Крымского канала.

Залив Сиваш недостаточно изучен в океанологическом плане, он никогда не исследовался в рамках более или менее ёмких научных программ.

В настоящей статье проанализирована собранная в экспедициях Морского гидрофизического института информация о состоянии прибрежных вод залива, — термохалинные свойства, содержание общего взвешенного (ОВВ) и растворенного органического (РОВ) веществ. Выявлены некоторые закономерности структуры и изменчивости полей исследуемых элементов, также прослежен ход солености за время с 2013 по 2016 годы, обусловленный перекрытием Северо-Крымского канала. Получены представления о степени современного загрязнения русла и приустьевых участков впадающей в залив Сиваш р. Победная.



Рис. 1. Схема станций экспедиций МГИ вдоль берега залива Сиваш. На врезке р. Победная с обозначением пунктов отбора проб воды на содержание растворенного органического вещества.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных для анализа использованы данные семи экспедиций (длительность каждой 2–3 суток), проведенных МГИ в прибрежную область залива Сиваш (таблица 1, рис.1).

Таблица 1

Данные экспедиционных исследований МГИ прибрежной зоны Залива Сиваш

Район	Дата	Количество станций
Восточный Сиваш	Июнь 2013 г.	14
Западный Сиваш	Июнь 2014 г.	6
Западный Сиваш	Октябрь 2014 г.	4
Западный Сиваш	Июнь 2015 г.	8
Западный Сиваш	Октябрь 2015 г.	4
Западный Сиваш	Июль 2016 г.	4
Западный Сиваш	Октябрь 2016 г.	4

За рассматриваемый временной интервал всего выполнено семь экспедиций. Первая была проведена в южную и восточную области залива, когда Северо-Крымский канал еще функционировал. Последующие экспедиции — в северо-западную часть Сиваша, в условиях перекрытого канала. Станции располагались по периметру залива. Диапазон исследованных глубин 0.1–0.8 м.

На всех станциях синхронно измерялись температура воды, соленость, концентрация ОВВ и РОВ. Данные параметры синхронно фиксировались при помощи биофизического зондирующего комплекса «Кондор» [2], который использовался в «точечном» режиме. Для этого датчики прибора помещались в сосуд с отобранными пробами воды.

Необходимо отметить, что значения солёности в Сиваше, определенные через электропроводность, в силу отсутствия знания о солевом составе вод залива, недостаточно точны. Вместе с тем, даже при систематической погрешности измерений солёности, выявленные временные тенденции изменения данного параметра среды (как разностные величины) представляются достаточно надежными и соответствуют природным.

Также рассмотрена отдельная задача, связанная с оценкой загрязнения вод речки Победная, впадающей в северо-западное побережье Сиваша, вдоль русла и дельты которой проходил участок экспедиционного маршрута. Эта небольшая речка, берущая начало ~ в 18 км к югу от ее заболоченной дельты (ст. 01, рис. 1), традиционно считалась крайне загрязненной [3]. В ее русле у сел Победное и Митюрино, которые расположены на расстоянии, соответственно, 9 и 4 км от дельты, непосредственно в дельте и на взморье (ст. 01) было отобрано 17 проб воды на определение концентрации РОВ, — элемента, который относят к одному из лучших показателей загрязнения природных водоемов [4, 5]. Эти сведения использованы для оценки степени современного загрязнения речки и прилегающих к ее устью участков залива Сиваш.

Обсуждение результатов

Анализ полученных экспедиционных данных позволил выявить некоторые закономерности в структуре и изменчивости полей гидрологических элементов в прибрежной зоне залива Сиваш, где вследствие особых физико-географических условий бассейна, его изолированности от моря, наличия мощного источника пресной (днепровской) воды и др., формируется не типичный для морских акваторий гидрологический режим.

Физико-географическая характеристика прибрежной зоны залива

Берега Сиваша преимущественно низкие, пологие, топкие, летом покрываются солью. Дно представляет собой слой ила толщиной до 5 м и больше [1]. Восточный берег залива покрыт густыми зарослями камыша шириною, примерно, от 0.1 до 1.5 км. Вдоль западного побережья плавнями заняты сравнительно небольшие участки, примыкающие к заболоченным устьям речек. Береговая линия Сиваша изрезана мелководными, глубиною 0.1–0.3 м, заболоченными заливами. В плавнях восточного Сиваша расположен ряд небольших озер, глубиною 0.5–1.5 м и диаметром от нескольких десятков до ~ 100 м, которые в разной степени изолированы от основного водного зеркала [6] (рис. 2).



Рис. 2. Характерные участки побережья залива Сиваш:
а — мелководный заболоченный залив, б — участок с приглубым дном,
в — озеро в плавнях [6].

Температура воды

В прибрежной зоне температура воды характеризуется существенной пространственной неоднородностью. В дневное время в илистых заливах с

глубиной 0.1–0.3 м температура воды на 0.4–2.3°С была выше температуры расположенных рядом приглубых участков (0.4–0.8 м) с песчаным или ракушечным дном. Подобная ситуация, например, постоянно наблюдалась в районе станций 01 и 02. Первая располагалась в области заболоченного устья р. Победная с глубиной 0.2 м. Вторая, отделенная от первой станции мысом, — на смежном участке с приглубым (0.5–0.8 м) ракушечным берегом и дном (рис. 1).

Временные вариации температуры воды, на основе качественного анализа имеющейся выборки, включают межгодовую, сезонную, синоптическую и суточную составляющие. В июне-июле прибрежные воды Сиваша отличались высокой температурой. В 2013 г. она изменялась в интервале 24.3–31.5°С. В 2016 г. в эти месяцы температура воды характеризовалась относительно низкими значениями 25.0–27.9°С. В октябре 2014 и 2016 гг. соответствующие показатели равнялись 16.1–17.8°С и 8.4–8.9°С.

Суточные колебания температуры воды в прибрежных водах Сиваша, связанные с суточным ходом составляющих радиационного баланса, более интенсивны по сравнению с морскими акваториями. Так, летом 2013 и 2014 гг., размах суточных колебаний температуры в прибрежных водах залива достигал 4–6°С. Температурный минимум фиксировался в 6–7 часов утра; максимум — в послеполуденное время, 14–15 часов.

Соленость вод

Очевидно, что один из наиболее значимых факторов, обуславливавших соленосный режим всего залива Сиваш до перекрытия Северо-Крымского канала, был связан с поступлением днепровской воды. Распресняющий эффект этих вод осуществлялся непосредственным их сбросом в западное побережье залива, дренированием с рисовых чеков и поливных прибрежных участков, также с прудов крупных рыбоводческих хозяйств.

Соленость — основной и наиболее показательный параметр водной среды, быстро отреагировавший на прекращение пресного стока в Сиваш. Тенденция ее резкого роста в водах залива была обнаружена уже по результатам первой после перекрытия канала экспедиции МГИ в 2014 году.

Материал экспедиции 2013 г. (таблица 1), реализованной до перекрытия канала, отражает фон рассматриваемых полей, позволяющий по данным последующих экспедиционных исследований оценить изменения, обусловленные этим событием.

Основные признаки меридиональной структуры халинного поля залива до перекрытия Северо-крымского канала показаны на рис. 3. В пространственном распределении солености очевидна тенденция ее уменьшения в направлении с юга на север. Северная область Сиваша, которая через пролив Тонкий имеет свободный водообмен с Азовским морем, отличалась минимальной соленостью. Здесь, как и на ближайших участках Азовского моря, она не превышала 9–10 PSU. Для южных, наиболее удаленных от этого пролива акваторий Сиваша, типична максимальная соленость, до 40 PSU.

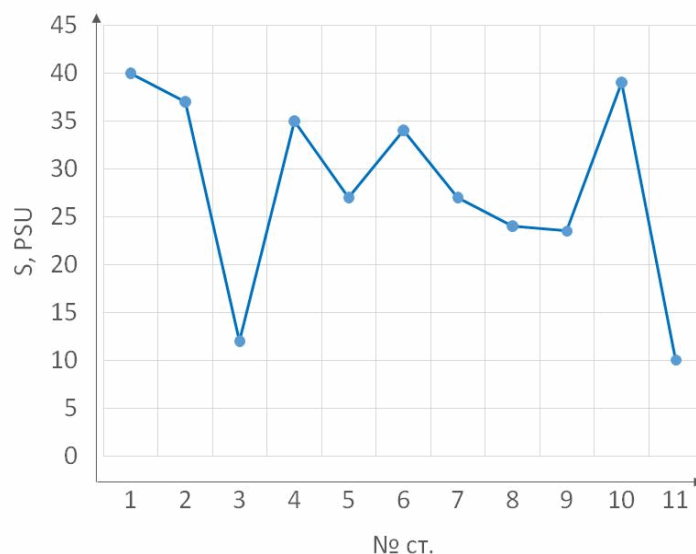


Рис. 3. Распределение солёности, PSU вдоль восточного берега залива Сиваш в июне 2013 года до перекрытия Северо-Крымского канала.

Составлено авторами

До сооружения Северо-Крымского канала солёность от 22‰ на севере увеличивалась до 87‰ на юге [1].

Исключительная локальная ситуация была отмечена на ст. 10, располагавшейся к югу от пролива Тонкий, на расстоянии около 10 км (рис. 3). Здесь, на фоне относительно небольшой и уменьшающейся в северном направлении солёности, был отмечен ее резкий рост до 39.2 PSU. Этот локальный максимум зафиксирован в водах обширного мелководного (глубина 0.1–0.2 м) залива, свободно сообщающегося с северо-восточной частью Сиваша. Возможная причина формирования данного экстремума — осолонение в результате интенсивного испарения с локализованного относительно небольшого объема вод при значительной площади поверхности его водного зеркала и низким альбедо за счет черно-коричневого цвета илистого дна.

В юго-восточной части побережья Сиваша на фоне высокой солёности отмечен ее локальный минимум, до 11 PSU (ст. 3, рис. 3). Эта станция была выполнена целенаправленно и находилась в плавнях, в водах изолированного небольшого (масштаб ~ 30×100 м) озера.

Солёносный режим отдельных относительно изолированных и наиболее мелководных участков побережья, заливов и озер в плавнях Сиваша (рис. 2), формируется под влиянием локальных условий (морфометрические параметры, локальный прогрев, интенсивное испарение, атмосферные осадки). С этим связана существенная неоднородность халинного поля рассматриваемой акватории, характеризующаяся перепадом до 10–30 PSU между соседними участками побережья (рис. 3).

Поскольку все последующие экспедиции были проведены в северо-западную часть Сиваша, то для определения временной тенденции изменения солёности, обусловленной прерыванием пресного стока, в качестве начального показателя халинного фона была принята средняя солёность северных станций, равная 17 PSU.

В течение 2014 года, когда канал был перекрыт, в северной части Сиваша наблюдался наиболее быстрый рост солености. Это иллюстрируют графики на рис. 4 а, где видно, что в течение четырех месяцев (с июня по октябрь) на станции 04, которая наиболее удалена к югу от пролива Тонкий, соленость выросла на 22 PSU.

Средняя для северных областей залива соленость в 2014 году равнялась 31 PSU. По сравнению с 2013 годом она увеличилась на 14 PSU. В 2015 году скорость прироста солености снизился до 5 PSU за год, и к концу года она достигла 36 PSU. В течение 2016 года рост солености замедлился до 0.7 PSU за год (рис. 4, б).

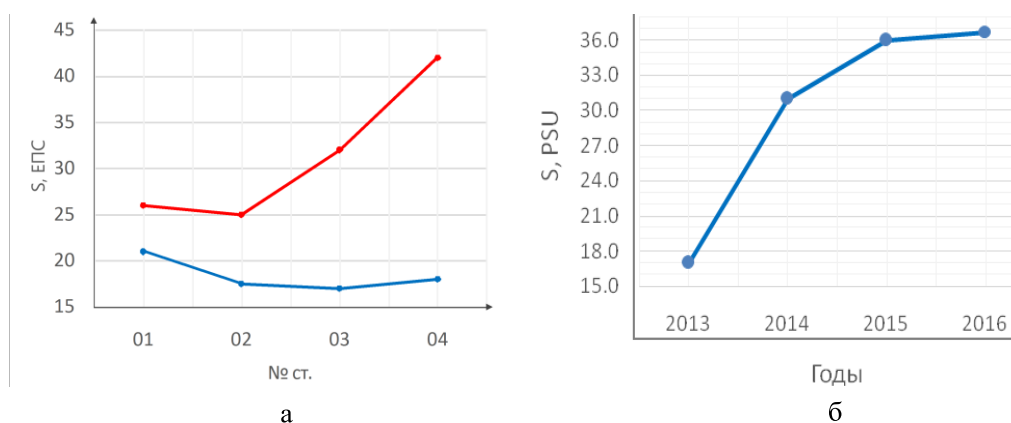


Рис. 4. Распределение солености, PSU вдоль северо-западного берега залива Сиваш в июне (синяя линия) и в октябре (красная) 2014 года — а. Временной ход средней годовой солености, PSU в северной части залива Сиваш — б.

Составлено авторами

Концентрации РОВ

Перекрытие Северо-Крымского канала сопровождалось заметным уменьшением содержания этого вещества в водах Сиваша. Это явление объясняется наличием в морской воде тесной обратной корреляционной связи между концентрацией РОВ и соленостью с коэффициентом -0.80 – -0.95 [7–9]. После перекрытия канала и последовавшего роста солености содержание РОВ на севере залива, где в 2013 г. оно равнялось 3.7–4.2 мг/л, снизилось до 1.2–3.0 мг/л — концентрации, типичной для открытых вод Азовского моря [8].

Концентрация ОБВ

На исследуемой акватории содержание ОБВ определяется двумя основными факторами – ветром и характером грунта. В маловетреную и штилевую погоду воды залива прозрачны и содержат 1–2 мг/л ОБВ. При умеренном и сильном ветре они становятся мутными, приобретают бурый цвет, насыщаются взвесью до 40–42 мг/л.

Речка Победная

Анализ концентрации РОВ в р. Победная показал, что в водах ее русла содержалось избыточное количество этого вещества. Если учесть, что природная норма РОВ в пресных водоемах изменяется в пределах 20–50 мг/л [10], то полученные данные (табл. 2) свидетельствуют об избыточном РОВ,

содержавшимся в русле. Превышение концентрации этого вещества относительно верхней границы природной нормы в русле р. Победная было около 10%. Это соотношение оставалось, примерно, неизменным в течение всего времени наблюдений, что указывает на наличие постоянно действующего источника, который загрязняет воды р. Победная органическим веществом антропогенного происхождения.

Таблица 2

**Содержание растворенного органического вещества, мг/л
на различных участках р. Победная**

Дата	Содержание РОВ, мг/л		
	Русло	Дельта	Взморье ст.1
Июнь 2014 г.	53.1	31.2	4.2
Октябрь 2014 г.	57.8	33.4	4.2
Июнь 2015 г.	50.5	30.1	3.4
Октябрь 2015 г.	59.0	32.8	4.1
Июль 2016 г.	53.2	31.4	3.2
Октябрь 2016 г.	57.4	–	3.7

Составлено авторами

В дельте рассматриваемой речки концентрация РОВ изменялась в пределах 30–33 мг/л и соответствовала природной норме содержания данного вещества в пресной воде.

От внешней кромки заболоченной и поросшей камышом речной дельты до мористой ее границы содержание РОВ резко падало до 3–4 мг/л (таблица 2). Перепад концентрации РОВ между границами дельты до 27 мг/л означает, что 90% содержащейся в речной воде растворенной органики, оседало в дельте.

В устьях, впадающих в океаны и моря рек, существуют природные барьерные зоны, получившие название естественных маргинальных фильтров, на которых задерживается значительное количество взвешенных и растворенных веществ и загрязнений речного стока [7, 9]. Явные признаки естественного маргинального фильтра по данным рассматриваемых экспедиционных исследований обнаружены в устьевой области р. Победная.

Выводы

На базе данных серии экспедиций, проведенных Морским гидрофизическим институтом, рассмотрены особенности полей температуры, солености, содержания ОВВ и РОВ в прибрежных водах залива Сиваш. Отслежен ход солености за временной интервал с 2013 по 2016 годы, обусловленный перекрытием в 2014 году Северо-Крымского канала. Получены представления о степени загрязнения вод впадающей в залив Сиваш р. Победная.

Выявлено, что для термохалинного поля прибрежной зоны Сиваша типична существенная пространственная неоднородность, определяемая морфометрическими характеристиками, неравномерным прогревом и интенсивностью испарения на различных участках побережья, а также значительные суточные колебания. На заболоченных мелководных заливах температура воды на 0.4–2.3° С была выше температуры расположенных рядом приглубых участков с песчаным или ракушечным дном. Перепад солености между соседними участками побережья достигал 10–30 PSU. Размах суточных колебаний температуры в прибрежных водах залива Сиваш достигал 4–6°С.

Показано, что перекрытие Северо-Крымского канала сопровождалось резким ростом солености в водах Сиваша. Максимальное увеличение солености наблюдалось в течение 2014–2015 гг. По сравнению с 2013 г. средняя для северных регионов залива соленость в 2014 г. выросла на 14 PSU и достигла 31 PSU. В 2015 г. темп роста солености снизился до 5 PSU за год и в конце этого года она равнялась 36 PSU. В течение 2016 г. рост солености существенно замедлился до 0,7 PSU за год.

Обнаружена тенденция сокращения содержания растворенного органического вещества в водах залива, как результат перекрытия Северо-Крымского канала. На севере Сиваша концентрация этого вещества снизилась от 3.7–4.2 до 1.2–3.0 мг/л — значений, типичных для вод Азовского моря.

Концентрация ОБВ в прибрежных водах Сиваша определяется двумя основными факторами — ветром и характером грунта. В маловетреную и штилевую погоду воды залива прозрачны и содержат 1–2 мг/л ОБВ. При умеренном и сильном ветре они становятся мутными, приобретают бурый цвет, насыщаются взвесью до 40–42 мг/л.

Выявлено, что в водах впадающей в Сиваш р. Победная содержится избыточное количество растворенной органики антропогенной природы. До 90% этого вещества оседает в речной дельте.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

Литература

1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Комплекс гидробиофизический мультипараметрический погружной автономный «КОНДОР». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 6 июня 2020г).
3. Победная_(река) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Победная_\(река\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Победная_(река)) (дата обращения: 6 июня 2020г).
4. Boss E., Pegau W. S., Zaneveld J. R. V. et al. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // Journal Geophysical Research. 2001. Vol. 106, no. C5. P. 9499–9507.
5. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N. and Goutx M. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean

- waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) // Environmental Chemistry. 2012. Vol. 9, no.5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081
6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.com/search?q> (дата обращения: 6 июня 2020г).
 7. Лисицын А. П. Маргинальный фильтр океанов. // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
 8. Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A. Field of the Colored Dissolved Organic Matter Concentration in the Sea of Azov and the Kerch Strait Waters Based on Optical Observations // Physical oceanography. 2016. №5. P. 71–83. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-5-71-83.
 9. Пугач С. П., Пипко И. И. Динамика растворенного окрашенного органического вещества на шельфе Восточносибирского моря. // Доклады академии наук. 2012. Т. 447. № 6. С. 671–674.
 10. Горшкова О. М., Пацаева С. В., Федосеева Е. В. и др. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: химия и экология. 2009. № 11. С. 31–37.

P. D. Lomakin

Oceanological characteristic of the coastal zone of Sivash gulf (Azov Sea)

Marine Hydrophysical Institute of RAS,
Sevastopol, Russian Federation
e-mail: p_lomakin@mail.ru

Abstract. *Based on the data of an expedition series carried by the Marine Hydrophysical Institute, the structure and variability of the fields of temperature, salinity and the content of total suspended matter (TSM) and dissolved organic matter (DOM) in the coastal waters of Sivash Bay are revealed. It is shown that the thermohaline field of the considered water area is characterized by significant spatial heterogeneity, determined by morphometric characteristics, uneven heating and evaporation rate in different parts of the coast, as well as significant daily fluctuations. The most pronounced differences in the studied values are observed in swampy bays and in the near-deep areas with a sandy or shell bottom. It is revealed that the overlap of the North Crimean canal was accompanied by a sharp increase in salinity in the Sivash waters. The maximum increase in salinity was observed during 2014–2015. Compared to 2013, the average salinity in the northern regions of the Gulf in 2014 increased by 14 PSU and reached 31 PSU. In 2015, the salinity growth rate decreased to 5 PSU per year and at the end of this year it was 36 PSU. During 2016, salinity growth was slow significantly to 0.7 PSU per year. As a result of the closure of the North Crimean canal, a tendency to a decrease in the content of DOM in the gulf waters was discovered. It is shown that the concentration of DOM in the coastal Sivash waters is determined by two main factors — the wind and the nature of the soil. In light and calm weather, the waters of the bay are transparent and contain 1–2 mg/l of organic matter. With a moderate and strong wind, they become cloudy, acquire a brown color, and saturated with a TSM of up to 40–42 mg/l. In the waters flowing into the Sivash r. Pobednaya found excess contained DOM.*

Keywords: *temperature, salinity, total suspended matter, dissolved organic matter, North Crimean canal, Sivash Bay, Azov Sea.*

References

1. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (In Russian)
2. Kompleks gidrobiofizicheskij mul'tiparametricheskij pogruzhnoj avtonomnyj «KONDOR». URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (data obrashcheniya: 6 iyunya 2020g). (In Russian)
3. Pobednaya_(reka) URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Pobednaya_\(reka\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Pobednaya_(reka)) (data obrashcheniya: 6 iyunya 2020g). (In Russian)
4. Boss E., Pegau W. S., Zaneveld J. R. V. et al. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // Journal Geophysical Research. 2001. Vol. 106, no. C5. P. 9499–9507. (In English)
5. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N. and Goutx M. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) // Environmental Chemistry. 2012. Vol. 9, no.5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081 (In English)
6. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.google.com/search?q> (data obrashcheniya: 6 iyunya 2020g). (In Russian)
7. Lisicyn A. P. Marginal'nyj fil'tr okeanov. // Okeanologiya. 1994. T. 34. № 5. S. 735–747. (In Russian)
8. Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A. Field of the Colored Dissolved Organic Matter Concentration in the Sea of Azov and the Kerch Strait Waters Based on Optical Observations // Physical oceanography. 2016. №5. P. 71–83. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-5-71-83. (In English)
9. Pugach S. P., Pipko I. I. Dinamika rastvorenogo okrashennogo organicheskogo veshchestva na shel'fe Vostochnosibirskogo morya. // Doklady akademii nauk. 2012. T. 447. № 6. S. 671–674. (In Russian)
10. Gorshkova O. M., Pacaeva S. V., Fedoseeva E. V. i dr. Fluorescenciya rastvorenogo organicheskogo veshchestva prirodnoj vody // Voda: himiya i ekologiya. 2009. № 11. S. 31–37. (In Russian)

Поступила в редакцию 23.11.2020 г.