

УДК 556.54

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИДОННОГО СЛОЯ СРЕДНЕГО КАСПИЯ В РЕЙСЕ НИС “ИССЛЕДОВАТЕЛЬ КАСПИЯ” В СЕНТЯБРЕ 2022 г.

© 2024 г. Л. А. Духова^{1*}, А. С. Суворова¹, А. К. Грузевич¹,
Е. В. Оганесова¹, А. Д. Кудяков²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

²Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Астрахань, Россия

*e-mail: dukhova@vniro.ru

Поступила в редакцию 15.04.2023 г.

После доработки 24.04.2023 г.

Принята к публикации 18.07.2023 г.

Представлена информация о комплексных исследованиях гидролого-гидрохимической структуры вод Северного и Среднего Каспия на НИС “Исследователь Каспия” в сентябре 2022 г. Показано, что, несмотря на продолжающееся снижение уровня моря, аэрация глубинных слоев отсутствует, сероводородный слой сохраняется с тенденцией увеличения концентрации сероводорода в придонном слое, наблюдается увеличение толщины слоя с минимальным содержанием кислорода. Происходящие изменения в экосистеме Каспийского моря привели к ослаблению выноса биогенных элементов из фотического слоя в придонные слои и, как следствие, уменьшению концентрации кремния в придонном слое. Полученные результаты позволят оценить тенденции происходящих изменений.

Ключевые слова: Каспийское море, глубоководная котловина, гипоксия, сероводородный слой

DOI: 10.31857/S0030157424020131 **EDN:** RUCVKG

В период с 11 по 17 сентября 2022 г. в рейсе НИС “Исследователь Каспия” была выполнена традиционная океанографическая съемка Северного и Среднего Каспия в рамках выполнения программы мониторинга экологического состояния Каспийского моря. На рис. 1 приведен район исследований, который охватывал различные части акватории Каспийского моря от прибрежных отмелей до глубоководных впадин. Исследования проводились по классической схеме на 22 океанологических станциях, расположенных на 4 “вековых” разрезах (рис. 1а).

В экспедиции получены современные данные по вертикальному распределению гидролого-гидрохимических параметров на «вековых» разрезах, развитию гипоксии и динамике содержания сероводорода в глубинных водах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для зондирования водной толщи и отбора проб воды использовалась розетка с 12 батометрами Нискина объемом 5 литров каждый, на которой был

установлен зонд SeaBird SBE 19 plus. По результатам зондирования были получены непрерывные вертикальные профили температуры, солёности, рН, содержания растворенного кислорода, относительного насыщения вод кислородом и интенсивности флуоресценции фитопигментов. Для исследования развития гипоксии и сероводородного заражения в глубинных водах были отобраны пробы, в которых спектрофотометрическим методом по реакции с диметил-п-фенилендиаминном определяли содержание сероводорода [2]. Гидрохимические определения содержания биогенных элементов выполняли спектрофотометрическими методами, принятыми при анализе морских вод [2]. Содержание растворенного органического углерода (РОУ) в пробах определялось методом каталитического высокотемпературного сжигания при 680°C на приборе Shimadzu TOC-Vcph в стационарной лаборатории ФГБНУ “ВНИРО”.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экосистема Среднего Каспия переживает в настоящее время сложные времена. Уровень

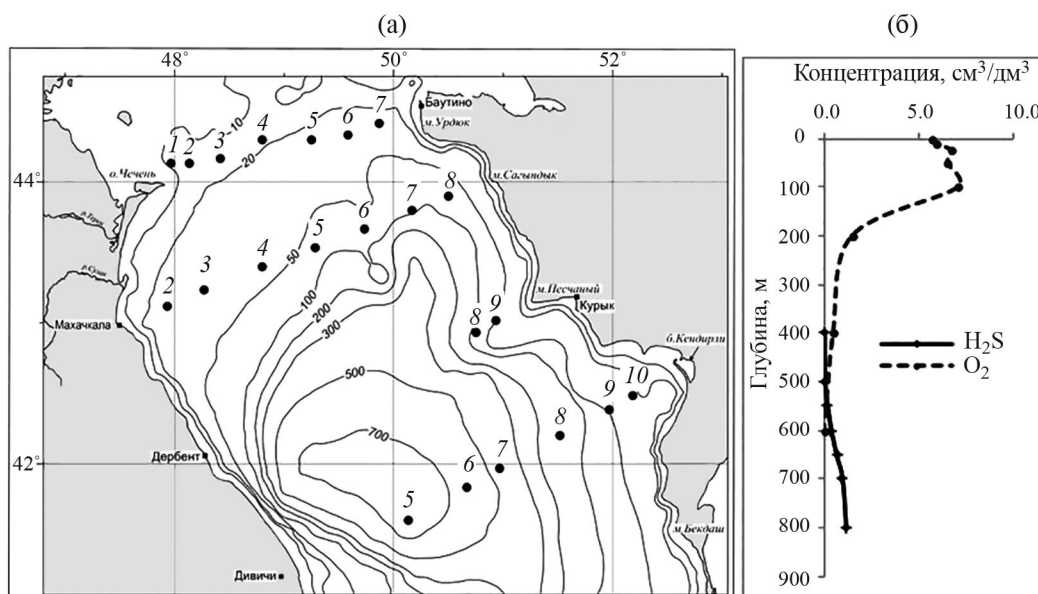


Рис. 1. Расположение гидрологических станций (а) и распределение растворенного кислорода и сероводорода на ст. 5 на разрезе п. Дивичи-б. Кендерли (б) в рейсе НИС «Исследователь Каспия» 11–17.09.2022 г.

Каспийского моря продолжил тенденцию снижения и в июне 2022 г. составил -28.51 м (-28.26 м в 2021 г.). Резкое падение уровня на 0.2 м также произошло в 2021 г. по сравнению с 2020 г. Существует связь между уровнем Каспийского моря, термохалинной структурой и вертикальной гидролого-гидрохимической структурой вод глубоководных котловин.

Результаты исследований, проведенных в 2022 г., показали, что развитие гипоксии в глубинных водах Среднего Каспия и накопление сероводорода в придонном слое продолжают. Глубоководная область Среднего Каспия по вертикали делится на две зоны — аэробную и анаэробную или зону с минимальным содержанием кислорода. Это обусловлено устойчивой стратификацией вод, приведшей к изоляции глубинных вод и длительному отсутствию их аэрации.

Аэробная зона располагается от поверхности до 400 м. Максимальное содержание растворенного кислорода характерно для верхнего 100 -метрового слоя. С глубиной насыщение вод кислородом снижается (рис. 1б) и уже на 400 м концентрация растворенного кислорода составила 0.47 мл/л (5.4%), а на 600 м кислород отсутствовал. В анаэробной зоне резко возрастала ко дну концентрация сероводорода (рис. 1б). Максимальное содержание сероводорода, отмеченное в придонном слое Дербентской котловины Среднего Каспия в сентябре 2022 г., составляло 1.17 мл/л. Таким образом, концентрации сероводорода в придонных водах Дербентской котловины значительно возросли по сравнению с со-

держанием сероводорода в июле-августе 2019 г., составляющим 0.57 мл/л [3], и превысили значения, отмеченные Книповичем (1919 г.) и Бруевичем (1937 г.) в 4 раза. Процессы деструкции органического вещества в Среднем Каспии, начиная с 400 м, происходят при почти полном отсутствии кислорода за счет бактериального окисления нитратами и сульфатами, что и приводит к накоплению продуктов нитрат и сульфат редукции.

Слой нитратного максимума располагался на горизонтах 200 – 300 метров. В придонных водах нитраты отсутствуют, что происходит в результате процессов денитрификации (нитрат редукции), при которых азот используется в качестве акцептора электронов для окисления органических соединений. В придонных анаэробных водах минеральный азот восстановлен до иона аммония, концентрации которого в самых глубоких точках достигали 5.5 мкМ.

В поверхностном и подповерхностном слое в сентябре 2022 г. концентрация кремния не превышала 10 мкМ. В придонных слоях глубоководной котловины (ст. 5 разреза п. Дивичи-б. Кендерли) шло накопление растворенного кремния, концентрация которого достигала 145 мкМ. В сентябре 2013 г. концентрация кремния в придонном слое Дербентской котловины достигала 180 мкМ [1]. Активное потребление биогенных веществ в фотической зоне различными видами фитопланктона, не включенными в трофические цепи, в основном *Pseudosolenia calcar avis*, было характерно для экосистемы Каспийского моря в 2000-х гг., что приводило к выносу этих соедине-

ний в составе детрита в придонные слои. В 2021 г. по биоразнообразию и массе клеток стали доминировать зеленые и динофитовые водоросли. Вероятно, снижение количества *Pseudosolenia calcaravis* повлияло на накопление кремния в придонном слое и уменьшение его содержание в 2022 г.

Концентрация растворенного органического углерода (РОУ) в Среднем Каспии изменялась в поверхностном слое от 9.5 до 24.9 мг/л, в придонном — от 8.9 до 9.6 мг/л. Наблюдалось локальное увеличение содержания РОУ в подповерхностном слое (50 м) в Дербентской котловине. На границе Среднего и Северного Каспия (разрез о. Чечень-м. Урдюк) в поверхностном слое концентрации органического углерода максимальные, что связано с влиянием трансформированных волжских вод.

По результатам экспедиционных исследований подготовлена электронная база гидрохимических данных, включающая показатели, характеризующие развитие гипоксии в придонных слоях. Дальнейшее падение уровня моря может привести к нарушению устойчивой стратификации вод, аэрации глубинных слоев и разрушению сероводородного слоя.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят научную группу ФГБНУ “КаспНИРХ” и экипаж НИС “Исследователь Каспия” за помощь в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Духова Л.А., Серебrenникова Е.А., Амбросимов А.К. и др. Гидрохимические исследования глубоководных котловин Каспийского моря в августе–сентябре 2013 г. на научно-исследовательском судне “Никифор Шуреков” // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 162–164.
2. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. Сапожникова В.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
3. Торгунова Н.И., Аржанова Н.В., Хурсанов А.С. и др. Гидролого-гидрохимические исследования в Среднем Каспии в июле–августе 2019 г. // Труды ВНИРО. 2020. Т. 180. С. 174–178.

STUDIES OF HYDROGEN SULFIDE CONTAMINATION OF THE DEEP-WATER BASIN OF THE MIDDLE CASPIAN SEA DURING CRUISE OF THE R/V “ISSLEDOVATEL KASPIYA” SEPTEMBER 2022

L. A. Dukhova^{a, #}, A. S. Suvorova^a, A. K. Gruzevich^a, E. V. Oganessova^a, and A. D. Kudiyakov^b

^a Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

^bVolga-Caspian Branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Astrakhan, Russia

[#]e-mail: dukhova@vniro.ru

Results of the comprehensive studies of hydrological and chemical structure of the Middle and Northern Caspian Sea carried out aboard r/v “Issledovatel Kaspiya” in September 2022 are presented. It is shown, despite the continuing decrease in sea level, there is no aeration of the deep layers, the hydrogen sulfide layer persists with a tendency to increase the concentration of hydrogen sulfide in the bottom layer. There is an increase of the oxygen minimum zone. The changes of the Caspian Sea ecosystem have led to a weakening of the removal of nutrients from the photic layer into the bottom layers and, as a consequence, a decrease in the concentration of silicon in the bottom layer. The results obtained will allow to evaluate the trends of ongoing changes.

Key words: Caspian Sea, the deep-water basin, hypoxia, the layer of hydrogen sulfide contamination