

Водные биоресурсы и среда обитания
2020, том 3, номер 3, с. 7–16
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2020, vol. 3, no. 3, pp. 7–16
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 504.5:546.3(262.5)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАВКАЗСКОГО РАЙОНА ЧЕРНОГО МОРЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

© 2020 А. И. Евсева, И. В. Кораблина, Ж. В. Геворкян,
Н. И. Каталевский, Л. Г. Горгола

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
E-mail: evseeva_a_i@azniirkh.ru*

Аннотация. Приведены результаты исследований содержания девяти тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni) и мышьяка в воде и донных отложениях северо-восточной части Черного моря в современный период (2018–2019 гг.). Обобщены результаты анализа проб, отобранных в ходе комплексных экспедиций в весенне-раннелетний и летне-раннеосенний периоды. Всего отобрано и проанализировано 204 пробы воды и 60 проб донных отложений. Определение массовых концентраций тяжелых металлов и мышьяка проведено в соответствии с методиками, принятыми и разработанными в Азово-Черноморском филиале ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»). Оценены уровни загрязненности среды обитания водных биологических ресурсов в соответствии с нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в морских водах рыбохозяйственного значения и среднемноголетними показателями. В отдельных районах, подверженных повышенной антропогенной нагрузке, зафиксировано превышение ПДК железа, марганца, цинка и никеля. Показано, что обнаруженные концентрации тяжелых металлов и мышьяка в воде и донных отложениях обследованной акватории Кавказского района Черного моря в целом не представляют опасности для водных биологических ресурсов в настоящее время.

Ключевые слова: Черное море, загрязнение, водная среда, донные отложения, тяжелые металлы, мышьяк, концентрация

ASSESSMENT OF WATER AND BOTTOM SEDIMENT POLLUTION WITH HEAVY METALS AND ARSENIC IN THE CAUCASUS REGION OF THE BLACK SEA AT THE PRESENT TIME

A. I. Evseeva, I. V. Korablina, Zh. V. Gevorkyan, N. I. Katalevsky, L. G. Gorgola

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: evseeva_a_i@azniirkh.ru*

Abstract. The content of nine heavy metals (Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni) and arsenic in the water and bottom sediments of the North-Eastern Black Sea at the present time (2018–2019) has been estimated, and the results of this investigation are presented. The analyses of samples, collected during the multi-purpose expeditions of the Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”) in the spring – early summer and summer – early autumn seasons, are summarized. Altogether, 204 water samples and 60 bottom sediment samples have been collected. Estimation of mass concentrations of heavy metals and arsenic has been conducted according to the methods, developed and adopted by the Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”). Pollution levels in the habitat of aquatic living resources have been assessed based on the standards for maximum allowable concentrations (MAC) of harmful substances in water bodies of fisheries importance and on the average long-term values. In some areas, subjected to the increased anthropogenic pressure, exceedance in MAC of iron, manganese, zinc, and nickel is recorded. It is shown that, at present, the revealed content of heavy metals and arsenic in the water and bottom sediments of the investigated area of the Caucasus Region of the Black Sea does not pose a threat for the aquatic living resources.

Keywords: Black Sea, marine pollution, aquatic environment, bottom sediments, heavy metals, arsenic, concentration

ВВЕДЕНИЕ

В современный период Черное море испытывает сильную антропогенную нагрузку, складывающуюся из множества факторов. Один из основных — активное судоходство.

За последнее десятилетие уровень судоходства в Азово-Черноморском бассейне резко вырос. Большую опасность для экологического состояния Черного моря представляют сброс балластных вод, нарушение санитарных норм и аварийные ситуации на судах. В результате работы судовых двигателей происходит механический вынос донных отложений в районы, сопредельные с фарватером, что приводит к заиливанию дна и иным негативным последствиям [1]. Другим существенным источником загрязнения воды и донных отложений являются морские порты. В акватории Черного моря находится около 20 крупных морских портов, деятельность которых негативно влияет на экосистему Азово-Черноморского бассейна [2]. Порты располагаются по всему побережью Кавказского района Черного моря (Тамань, Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи) и Керченского пролива (порт Кавказ и Керченский морской торговый порт), здесь же расположены крупные рейдовые стоянки судов. Немаловажными факторами, ежегодно вносящими негативный вклад в экологию Черного моря, являются сточные воды промышленных предприятий, коммунальных и сельских хозяйств, расположенных на прибрежной территории, а также многочисленные рекреационные зоны.

Тяжелые металлы, среди прочих приоритетных загрязнителей, являются одной из самых распространенных групп загрязняющих веществ в водной

среде. Эти компоненты представляют опасность для морской экосистемы, так как многие из них токсичны и способны накапливаться в органах и тканях гидробионтов, приводя к нарушениям их развития, функционирования и жизнедеятельности в целом [3, 4]. В перечне загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, указаны следующие металлы: цинк, хром, свинец, никель, медь и марганец — как токсичные, а кадмий, ртуть и мышьяк — как высокотоксичные [5].

В задачу настоящего исследования входила оценка условий среды обитания водных биоресурсов в северо-восточной части Черного моря по показателям загрязнения воды и донных отложений тяжелыми металлами в 2018–2019 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований послужили пробы воды и донных отложений, отобранные в ходе комплексных экспедиций Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в весенне-раннелетний и летне-раннеосенний периоды 2018–2019 гг. Пробы воды и донных отложений отбирались согласно ГОСТ 31861-2012 [6] и ГОСТ 17.1.5.01-80 [7], соответственно, на 17 станциях северо-восточной части Черного моря, на участке моря от траверза м. Панагия до устья р. Мзымта (рис. 1).

На каждой из станций отбор воды проводился с трех контрольных горизонтов: поверхностного — глубина 0–0,5 м, промежуточного — глубина 10 м, придонного — глубина станции или 200 м (для

глубоководных станций). Всего отобрано и проанализировано 204 пробы воды и 60 проб донных отложений.

Уровень загрязнения Кавказского района Черного моря оценивался по содержанию девяти тяжелых металлов и мышьяка в толще воды и донных отложениях в соответствии с нормативами предельно допустимых концентраций вредных веществ в морских водах рыбохозяйственного значения [8] и среднелетними показателями.

Несмотря на учтенную важность контроля за состоянием донных отложений и утверждение Министерством природных ресурсов и экологии РФ методических указаний по организации и проведению наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов (Приказ МПР РФ от 24.02.2014 № 112) в целях осуществления государственного экологического мониторинга водных объектов (постановление Правительства РФ от 10.04.2007 г. № 219), в настоящее время в системе нормирования содержа-

ния загрязняющих веществ в окружающей среде отсутствуют документы, регламентирующие на федеральном уровне допустимое содержание этих веществ в донных отложениях.

При отсутствии нормативов на содержание загрязняющих веществ в донных осадках простая констатация абсолютной загрязненности отдельных районов исследуемой акватории затрудняет корректную интерпретацию результатов анализа. Она становится возможной только при нивелировании различий, связанных с гранулометрическим составом донных отложений конкретных районов. Для получения обобщающего показателя качества донных отложений после проведения анализа результатов многолетнего мониторинга загрязненности, полученных ФГУП «АзНИИРХ», предложена величина — средняя (для современного периода) характерная концентрация (СХК) приоритетных загрязняющих веществ в различных типах грунта исследуемого объекта. Определение уровня загрязненности донных отложений комплексом

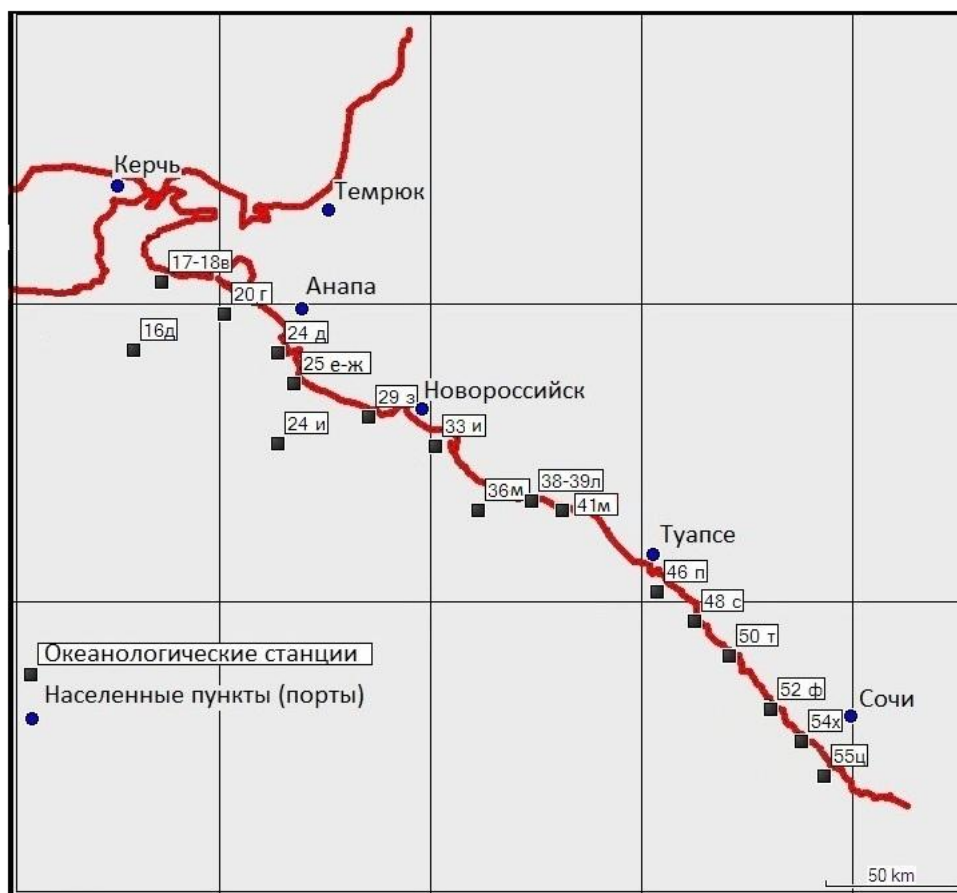


Рис. 1. Схема станций отбора проб воды и донных отложений в северо-восточной части Черного моря, 2018–2019 гг.

Fig. 1. The outline map of water and bottom sediments sampling stations in the North-Eastern Black Sea, 2018–2019

тяжелых металлов проводилось по сумме кратностей средних характерных концентраций (СХК), рассчитываемых как отношение абсолютных концентраций отдельных элементов к их средним концентрациям, характерным для каждого из типов донных осадков и установленным по многолетним наблюдениям. Кратность СХК характеризует подверженность конкретного района антропогенному воздействию в исследуемый период времени. Кратность СХК <1 показывает, что в данном районе практически отсутствовало свежее поступление определяемого металла вне зависимости от абсолютных значений концентраций и типа грунта; СХК >1 — район подвержен повышенному антропогенному воздействию [4, 9].

Оценка загрязнения воды тяжелыми металлами проводилась методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией (кислоторастворимые формы железа, марганца, цинка, хрома, меди, свинца, никеля, мышьяка) и «в холодном паре» (общая растворенная ртуть). В донных отложениях оценивалось валовое содержание железа, марганца, цинка, хрома, меди, свинца, никеля и мышьяка методом рентгенфлуоресцентного анализа, кислоторастворимая форма кадмия и общее содержание ртути — методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией и «в холодном паре», соответственно. При определении тяжелых металлов использовались методики, принятые и утвержденные

в Аналитическом испытательном Центре, аккредитованном Госкомитетом РФ по стандартизации и метрологии (Аттестат аккредитации аналитической лаборатории (центра) № RA.RU.510217 от 09 февраля 2016 г.) [10, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вода. В оба периода наблюдений в 2018 г. было выявлено превышение ПДК_{р/х} марганца в воде глубоководных горизонтов (200 м). В весенне-ранне-летний период на «Анапской банке» отмечено превышение ПДК_{р/х} марганца в 1,1 раза (единственный выявленный случай превышения ПДК_{р/х} тяжелых металлов в данный сезон), а в летне-раннеосенний период здесь же — в 2,4 раза. Также превышение ПДК_{р/х} этого металла в 3,7 раза обнаружено на траверзе Геленджикской бухты. В воде поверхностного горизонта на траверзе устья р. Шахе отмечалось превышение ПДК_{р/х} железа и цинка, соответственно, в 2,4 и 1,3 раза. В придонном слое вод на траверзе устья р. Мзымта концентрация никеля превысила величину ПДК_{р/х} в 1,5 раза. Содержание хрома, меди, свинца, кадмия, мышьяка и ртути в течение 2018 г. было ниже предельно допустимых концентраций (табл. 1).

Распределение концентраций индивидуальных тяжелых металлов по высоте водяного столба в каждый из сезонов 2018 г. различалось крайне мало:

Таблица 1. Диапазоны концентраций тяжелых металлов и мышьяка (мкг/л) в водной толще северо-восточной части Черного моря в 2018–2019 гг. (P=0,95)

Table 1. The ranges of concentrations of heavy metals and arsenic ($\mu\text{g/l}$) in the water column of the North-Eastern Black Sea, 2018–2019 (P=0.95)

Металл Metal	Весенне-раннелетний период Spring – early summer		Летне-раннеосенний период Summer – early autumn		ПДК _{р/х} MAC for water bodies of fisheries importance
	2018	2019	2018	2019	
Fe	5,8–18	5,1–169	8,8–118	7,2–2,9	50
Mn	<1,0–55	<1,0–207	<1,0–187	<1,0–390	50
Zn	<2,0–5,9	<2,0–12	<2,0–63	<2,0–10	50
Cr	<1,0–1,4	<1,0	<1,0–1,8	<1,0–1,6	20
Ni	<2,0–4,5	<2,0–26	<2,0–15	<2,0–13	10
Cu	<1,0–1,6	<1,0–2,9	<1,0–2,1	<1,0–1,1	5
Pb	<0,40–1,4	<0,40–2,0	<0,40–2,6	<0,40–12	10
Cd	<0,10–0,20	<0,10–0,47	<0,10–0,35	<0,10–2,0	50
Hg	<0,01–0,08	<0,01	<0,01–0,02	<0,01–0,02	0,1
As	<2,5–3,2	<2,5	<2,5	<2,5	10

отмечено лишь более высокое содержание марганца в придонном слое (табл. 2).

В весенне-раннелетний сезон 2019 г. исследования выявили повышенные концентрации железа в пробах воды с различных горизонтов, отобранных в районе Керченского предпроливья – Абрауского полуострова. Максимум в 3,9 ПДК_{р/х} наблюдался в поверхностном горизонте на траверзе м. Панагия. Величина в 1,8 ПДК_{р/х} обнаружена на 10-метровой глубине на «Анапской банке» и здесь же, но в поверхностном горизонте — 1,3 ПДК_{р/х}. В районе м. Железный Рог превышение ПДК_{р/х} железа составило 1,3 раза на 10-метровой глубине и 1,2 раза — в придонном слое вод. Так же, как и в 2018 г., ранней осенью 2019 г. было обнаружено превышение ПДК_{р/х} марганца в воде придонного слоя в районе «Анапской банки» (7,8 ПДК_{р/х}), а в пробах с поверхностных горизонтов — 4,1 ПДК_{р/х} на траверзе м. Железный Рог весной и 1,9 — на траверзе устья р. Мзымта летом.

В 2019 г. в воде Кавказского района Черного моря отмечены 3 случая превышения ПДК_{р/х} никеля: в весенне-раннелетний период в глубоководном горизонте района «Анапской банки» в 2,6 раза, в поверхностном горизонте на траверзе устья р. Шахе

в 2,5 раза и ранней осенью в придонном горизонте на траверзе р. Туапсе в 1,3 раза. Единичное превышение ПДК_{р/х} свинца в 1,2 раза зафиксировано на 10-метровой глубине на траверзе Абрауского полуострова. Концентрации цинка, хрома, меди, кадмия, ртути и мышьяка в течение обоих сезонов наблюдения 2019 г. были ниже нормативов для водоемов рыбохозяйственного назначения (табл. 1).

В 2019 г. выявлены незначительные отличия в распределении концентраций индивидуальных тяжелых металлов по высоте водяного столба. Более высокие концентрации железа, марганца и цинка отмечались в поверхностном горизонте в весенне-раннелетний период, марганца и никеля — в придонном слое вод летом и ранней осенью (табл. 3).

В целом в течение исследуемого периода суммарная загрязненность тяжелыми металлами воды северо-восточной части Черного моря была низкой и составила в максимуме 0,42 ПДК в 2018 г. (в летний и раннеосенний период на траверзе р. Шахе) и 0,85 ПДК в 2019 г. (в раннеосенний сезон в районе «Анапской банки»).

Обнаружение повышенных концентраций марганца в глубоководных горизонтах исследуемой

Таблица 2. Средние концентрации тяжелых металлов и мышьяка (мкг/л) в водной толще северо-восточной части Черного моря (по горизонтам) в 2018 г.

Table 2. Average concentrations of heavy metals and arsenic ($\mu\text{g/l}$) in the water column of the North-Eastern Black Sea (by depth horizons) in 2018

Горизонт, м Depth horizon, m	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg	Ni	As
<i>Весенне-раннелетний период / Spring – early summer</i>										
Поверхностный, 0–0,5 Surface layer, 0–0.5	12 ±2	1,0 ±0,3	2,3 ±1,4	1,0 ±0,6	1,2 ±0,1	0,91 ±0,27	0,12 ±0,06	0,01 ±0,005	2,5 ±0,4	2,5 ±0,8
Промежуточный, 10 Intermediate layer, 10	11 ±2	<1,0	2,5 ±1,4	1,0 ±0,6	1,0 ±0,1	0,83 ±0,25	0,16 ±0,07	0,01 ±0,005	2,3 ±0,3	<2,5
Придонный (на глубоководных станциях), 200 Bottom layer (at deep-sea stations), 200	10 ±3	5,4 ±0,8	2,4 ±1,4	1,0 ±0,6	1,0 ±0,1	0,71 ±0,21	0,11 ±0,06	0,01 ±0,005	2,4 ±0,4	2,6 ±0,8
<i>Летне-раннеосенний период / Summer – early autumn</i>										
Поверхностный, 0–0,5 Surface layer, 0–0.5	21 ±2	1,1 ±0,3	9,3 ±2,6	1,1 ±0,6	1,1 ±0,1	1,1 ±0,3	0,16 ±0,07	0,01 ±0,005	2,0 ±0,3	<2,5
Промежуточный, 10 Intermediate layer, 10	19 ±4	1,0 ±0,3	4,3 ±1,7	1,0 ±0,6	1,0 ±0,1	0,84 ±0,25	0,18 ±0,07	<0,01	2,3 ±0,3	<2,5
Придонный (на глубоководных станциях), 200 Bottom layer (at deep-sea stations), 200	14 ±3	19 ±3	4,1 ±1,7	1,0 ±0,6	1,0 ±0,1	0,98 ±0,29	0,16 ±0,07	<0,01	2,9 ±0,4	<2,5

Таблица 3. Средние концентрации тяжелых металлов и мышьяка (мкг/л) в водной толще северо-восточной части Черного моря (по горизонтам) в 2019 г.

Table 3. Average concentrations of heavy metals and arsenic ($\mu\text{g/l}$) in the water column of the North-Eastern Black Sea (by depth horizons) in 2019

Горизонт, м Depth horizon, m	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg	Ni	As
<i>Весенне-раннелетний период / Spring – early summer</i>										
Поверхностный, 0–0,5 Surface layer, 0–0.5	45 ± 5	15 ± 2	5,0 $\pm 1,9$	<1,0	<1,0	<0,40	<0,10	<0,01	3,7 $\pm 0,6$	<2,5
Промежуточный, 10 Intermediate layer, 10	11 ± 2	<1,0	3,8 $\pm 1,6$	<1,0	<1,0	<0,40	<0,10	<0,01	2,1 $\pm 0,3$	<2,5
Придонный (на глубоководных станциях), 200 Bottom layer (at deep-sea stations), 200	18 ± 4	<1,0	2,5 $\pm 1,4$	<1,0	<1,0	0,40 $\pm 0,12$	<0,10	<0,01	3,0 $\pm 0,5$	<2,5
<i>Летне-раннеосенний период / Summer – early autumn</i>										
Поверхностный, 0–0,5 Surface layer, 0–0.5	16 ± 3	13 ± 2	3,2 $\pm 1,5$	<1,0	<1,0	<0,40	<0,10	<0,01	3,0 $\pm 0,5$	<2,5
Промежуточный, 10 Intermediate layer, 10	13 ± 3	<1,0	<2,0	<1,0	<1,0	0,99 $\pm 0,30$	<0,10	<0,01	2,9 $\pm 0,4$	<2,5
Придонный (на глубоководных станциях), 200 Bottom layer (at deep-sea stations), 200	13 ± 3	24 ± 3	<2,0	<1,0	<1,0	<0,40	<0,10	<0,01	4,7 $\pm 0,7$	<2,5

акватории связано с уникальными природными особенностями Черного моря в целом, а именно с его двухслойной структурой. Характерными чертами Черного моря является отсутствие кислорода на глубинах более 150–200 м, сероводородное заражение данных слоев воды и затрудненный водообмен между прибрежными и открытыми водами, а также между слоями [12].

Уже примерно на глубине 100 м наблюдается появление сероводорода и формируется так называемый субокисильный слой между кислородными и сероводородными водами. Их взаимодействие проявляется резкой сменой окислительно-восстановительного потенциала в этом слое [13, 14]. Двумя противоположными потоками — направленным вверх потоком восстановленных форм и направленным вниз потоком окисленных форм химических элементов — создается редокс-зона [15]. В целом в редокс-слое наблюдается цикличность в распределении марганца. Поднимаясь из сероводородной зоны вверх благодаря диффузии и попадая в кислородную зону, растворенный марганец окисляется и переходит во взвешенную форму, которая

из-за большей плотности опускается вниз в сероводородную зону, где растворяется. Распределение марганца в водной толще Черного моря характеризуется практически полным отсутствием его растворенных форм в кислородной среде за счет образования в данных условиях нерастворимых оксидов. А возможными причинами повышенного содержания марганца в верхних горизонтах кислородной зоны в прибрежных районах могут являться речные и шельфовые сносы [13]. Обнаружение повышенных концентраций других тяжелых металлов (Fe, Zn, Ni, Pb) в отдельных районах моря связано, очевидно, с влиянием интенсивного судоходства и популярностью черноморских курортов (в период с мая по сентябрь). Значительная часть загрязняющих веществ поступает в море в результате повышенной деятельности объектов коммунального хозяйства, и резко возрастает поверхностный сток с застроенных территорий.

Донные отложения. В 2018–2019 гг. гранулометрический состав донных отложений варьировал от крупно- до мелкодисперсных фракций. В оба сезона наблюдений 2018 г. преобладал илистый мелко-

дисперсный песок с примесью ракушечника; в 2019 г. соотношение различных фракций было более равномерным (табл. 4).

За весь период наблюдений ракушечник и ракушечная крошка встречались преимущественно в районе м. Железный Рог – «Анапская банка», а чисто илистые донные отложения — только по траверзу устья р. Шахе – р. Мзымта (рис. 2).

Концентрации отдельных тяжелых металлов в пробах различных типов донных осадков северо-восточной части Черного моря в оба сезона исследований в 2018–2019 гг. варьировали в довольно широких диапазонах (табл. 5). Наибольшие концентрации железа (30–42 г/кг) и марганца (0,8–

1,3 г/кг) обнаружены в илистых, самых мелкодисперсных донных осадках, а наименьшие концентрации (2,1–10 г/кг железа и 57–181 мг/кг сухой массы марганца) — в крупнодисперсном ракушечнике (табл. 5).

Аналогичная ситуация отмечена с содержанием хрома, наибольшие концентрации которого встречались в мелкодисперсных илах на траверзе устья р. Дагомыс Западный (114–172 мг/кг), на траверзе устья р. Шахе (110–124 мг/кг) и на траверзе устья р. Сочи (89–124 мг/кг сухой массы). В илистых донных отложениях на траверзе устья рек Шахе и Сочи концентрации никеля также были наиболее высокими (49–56 мг/кг сухой массы). Максимальное

Таблица 4. Типы донных отложений северо-восточной части Черного моря в 2018–2019 гг.

Table 4. Types of bottom sediments in the North-Eastern Black Sea in 2018–2019

Тип грунта Type of bottom sediments	Характеристические признаки Distinctive characteristics	Частота встречаемости, % Frequency of occurrence, %			
		Весенне-раннелетний период Spring – early summer		Летне-раннеосенний период Summer – early autumn	
		2018	2019	2018	2019
		2018	2019	2018	2019
1	Ракушечник, ракушечная крошка с примесью песка Shell, broken shell with admixed sand	14	20	27	27
2	Ракушечник, ракушечная крошка, песок с примесью ила Shell, broken shell, sand with admixed silt	29	26	13	20
3	Илистый мелкодисперсный песок с примесью ракушечника Silty fine sand with admixed shell	43	27	33	26
4	Ил светло-серый Light gray silt	14	27	27	27

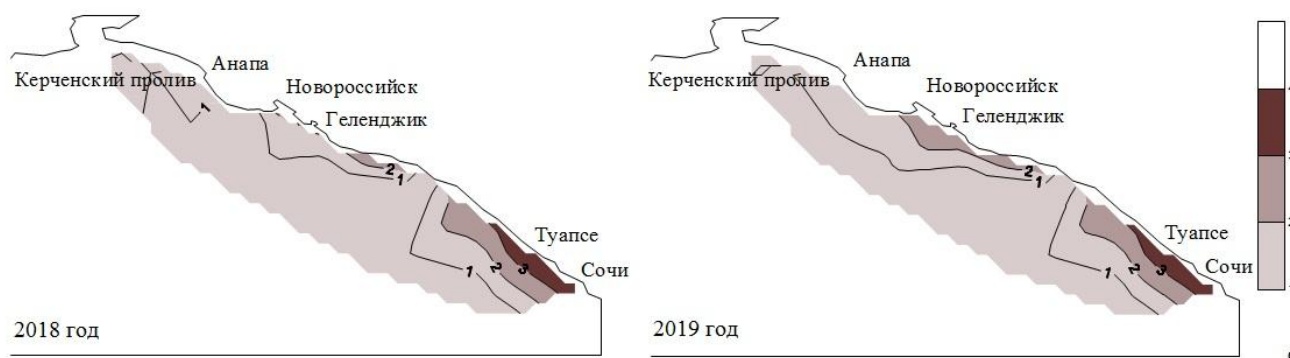


Рис. 2. Усредненное пространственное распределение различных типов донных отложений прибрежной акватории северо-восточной части Черного моря в 2018–2019 гг.

Fig. 2. The averaged spatial distribution of various types of bottom sediments in the coastal waters of the North-Eastern Black Sea, 2018–2019

Таблица 5. Диапазоны концентраций тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях северо-восточной части Черного моря в 2018–2019 гг., мг/кг сухой массы

Table 5. Ranges of concentrations of heavy metals and arsenic in the bottom sediments of the North-Eastern Black Sea in 2018–2019, mg/kg dry weight

Металл Metal	Весенне-раннелетний период Spring – early summer		Летне-раннеосенний период Summer – early autumn	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Fe	4074–28086	4564–42035	2101–38800	6295–39797
Mn	95–1781	50–1281	57–1157	93–1324
Zn	14–72	15–105	11–396	14–104
Cr	11–177	26–124	17–135	34–110
Ni	17–54	8,4–51	15–55	7,6–56
Cu	17–33	19–33	9,0–30	18–32
Pb	3,6–21	13–23	2,7–16	11–24
Cd	<0,05–0,08	<0,05–0,12	<0,05–0,10	<0,05–0,08
Hg	0,10–0,22	0,10–0,23	0,10–0,22	0,10–0,20
As	2,8–13	3,3–11	1,6–10	3,8–9,8

содержание хрома (177 мг/кг сухой массы) выявлено весной 2018 г. в смешанных донных осадках (ракушечник+песок+ил) на «Анапской банке», а цинка (396 мг/кг сухой массы) — осенью в песчано-ракушечных донных осадках Керченского предпроливья (ст. Благовещенская). Содержание кадмия и ртути в пробах донных отложений за весь рассматриваемый период находилось примерно на одном низком уровне.

Сравнительная характеристика загрязненности донных осадков тяжелыми металлами на различных участках северо-восточного побережья Черного моря позволила выявить наиболее проблемные районы. В весенне-раннелетний период 2018 г. это были участки дна в районах «Анапская банка» – Абрауский полуостров (пос. Большой Утриш) и устье р. Сочи – р. Мзымта; суммарная кратность тяжелых металлов и мышьяка составляла здесь ~1,2 СХК. В летне-осенний период к проблемным отнесены районы Керченское предпроливье (ст. Благовещенская) – «Анапская банка» (до 2 СХК). Весной – летом 2019 г. наиболее загрязненными вновь оказались районы «Анапская банка» – Абрауский полуостров (пос. Большой Утриш) и устье р. Шахе – р. Мзымта (~1,1 СХК). Летом – осенью участки дна с суммарной кратностью тяжелых металлов и мышьяка до 1,2 СХК отмечены на траверзе Абрауского полуострова – устья р. Вулан.

В целом индекс загрязненности донных осадков северо-восточной части Черного моря тяжелыми металлами и мышьяком в 2018 и 2019 гг. составил

около 1 СХК (главным образом, за счет высокого содержания цинка, хрома и марганца в 2018 г. и цинка, хрома и свинца — в 2019 г.), что позволило отнести их к категории «умеренно загрязненные».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в воде и донных отложениях обследованной акватории Черного моря в весенне-раннелетний и летне-раннеосенний периоды в 2018 и 2019 гг. показал, что обнаруженные концентрации в целом не представляют опасности для водных биологических ресурсов. Однако в некоторых пробах воды и донных отложений районов, испытывающих повышенную антропогенную нагрузку, зафиксированы повышенные концентрации тяжелых металлов. В воде выявлено 6 случаев превышения ПДК тяжелых металлов в 2018 г. и 12 случаев — в 2019 г. в районе Керченского предпроливья, «Анапской банки», а также на участках моря на траверзе р. Анапки, Геленджикской бухты, устья рек Шахе и Мзымта. Высокие концентрации марганца в глубоководных слоях имеют естественную природу и связаны с уникальными особенностями Черного моря. Высокое содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях северо-восточной части Черного моря приурочено к станциям с мелкодисперсным составом осадков, а сравнение со средне-многолетними показателями позволяет отметить умеренный характер их загрязнения. Наиболее подверженными загрязнению районами оказались сле-

дующие участки: «Анапская банка», Абрауский полуостров – устье р. Вулан, траверз устья рек Шахе – Мзымта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрипка Г.И. Экологические проблемы развития судоходства в Азово-Черноморском бассейне и пути их решения // Транспорт Российской Федерации. 2010. № 2 (27). С. 60–61.
2. Виноградов А.К., Богатова Ю.И., Синегуб И.А. Роль портов и судоходства в формировании морских биот (неполносолёные моря Европы). Одесса: Астропринт, 2018. 500 с.
3. Панасюк Н.В. Влияние антропогенного загрязнения на жизнеспособность двусторчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) в курортных зонах Черного моря // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Т. 1. Экологическая физиология и биохимия водных организмов : сб. науч. статей. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2010. С. 226–230.
4. Кленкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко Л.Ф., Темердашев З.А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар: Изд-во АзНИИРХ, Просвещение-Юг, 2007. 324 с.
5. Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды : справочник. Раздел 2. Для водных объектов. Пермь: Изд-во УралНИИ «Экология», 2016. 296 с.
6. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во Стандартиформ, 2019. 35 с.
7. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 7 с.
8. Соколова С.А. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 257 с.
9. Корпакова И.Г., Кленкин А.А., Конев Ю.В., Елецкий Б.Д., Каталевский Н.И., Павленко Л.Ф. Новый подход к оценке загрязненности донных отложений Азовского моря // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2005. № 2. С. 45–53.
10. Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах / Под ред. Т.О. Барабашина. Ростов-н/Д.: Мини-Тайп, 2018. 436 с.
11. Барабашин Т.О., Кораблина И.В., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Короткова Л.И. Методическое обес-

печение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 3–4. С. 9–27.

12. Часовников В.К. Особенности гидрохимической структуры северо-восточной части Черного моря : автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: Изд-во Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2002. 24 с.
13. Пахомова С.В., Розанов А.Г., Якушев Е.В. Растворенные и взвешенные формы железа и марганца в редокс-зоне Черного моря // Океанология. 2009. Т. 49, № 6. С. 835–850.
14. Скопинцев Б.А., Попова Т.П. О накоплении марганца в водах сероводородных бассейнов на примере Черного моря // Геохимия осадочных месторождений марганца : Сб. науч. тр. Геологического института АН СССР. 1963. Т. 97. С. 165–181.
15. Lewis B.L., Landing W.M. The biogeochemistry of manganese and iron in the Black Sea // Deep-Sea Research. 1991. Vol. 38, suppl. issue 2. Pp. S773–S803. doi:10.1016/S0198-0149(10)80009-3.

REFERENCES

1. Skripka G.I. Ekologicheskie problemy razvitiya sudokhodstva v Azovo-Chernomorskom bassejne i puti ikh resheniya [Environmental problems of navigation development in the Black Sea and the Sea of Azov, and the ways to solve them]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2010, no. 2 (27), pp. 60–61. (In Russian).
2. Vinogradov A.K., Bogatova Yu.I., Sinegub I.A. Rol' portov i sudokhodstva v formirovanii morskikh biot (nepolnosolenye morya Evropy) [Role of ports and shipping traffic in development of marine biotas (brackish seas of Europe)]. Odessa: Astroprint, 2018, 500 p. (In Russian).
3. Panasyuk N.V. Vliyanie antropogennogo zagryazneniya na zhiznesposobnost' dvustvorchatogo mollyuska *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) v kurortnykh zonakh Chernogo morya [The influence of the man-caused pollution on viability of mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) in resort areas of the Black Sea]. In: *Sovremennye problemy fiziologii i biokhimii vodnykh organizmov. T. 1. Ekologicheskaya fiziologiya i biokhimiya vodnykh organizmov : sbornik nauchnykh statey* [Current problems of physiology and biochemistry of aquatic organisms. Vol. 1. Ecological physiology and biochemistry of aquatic organisms. Collected scientific papers]. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 2010, pp. 226–230. (In Russian).
4. Klenkin A.A., Korpakova I.G., Pavlenko L.F., Temerdashev Z.A. Ekosistema Azovskogo morya: antropogennoe zagryaznenie [Ecosystem of the Sea of Azov: anthropogenic pollution]. Krasnodar: AzNIIRKH Publ., Prosveshchenie-Yug [Awareness-South], 2007, 324 p. (In Russian).

5. Perechen' zagryaznyayushchikh veshchestv, v otnoshenii kotorykh primenyayutsya меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды : справочник. Раздел 2. Для водных объектов [List of the polluting substances, subject to the measures of state regulation concerning environmental protection. Reference book. Section 2. For water bodies]. Perm: UralNII "Ekologiya" [Ural Scientific Research Institute "Ecology"] Publ., 2016, 296 p. (In Russian).
6. GOST 31861-2012 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob [State Standard 31861-2012 Water. General requirements for sampling]. Moscow: Standartinform [Russian Scientific and Technical Centre for Information on Standardization, Metrology and Conformity Assessment] Publ., 2019, 35 p. (In Russian).
7. GOST 17.1.5.01-80 Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnykh otlozheniy vodnykh ob"ektov dlya analiza na zagryaznennost' [State Standard 17.1.5.01-80 Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov [IPC Publishing House of Standards], 2002, 7 p. (In Russian).
8. Sokolova S.A. Normativy kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativy predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya [Standards for water quality in the water bodies of fisheries importance, including standards for maximum allowable concentrations of harmful substances in the water of the water bodies of fisheries importance]. Moscow: VNIRO Publ., 2011, 257 p. (In Russian).
9. Korpakova I.G., Klenkin A.A., Konev Yu.V., Eletskiy B.D., Katalovskiy N.I., Pavlenko L.F. Novyy podkhod k otsenke zagryaznennosti donnykh otlozheniy Azovskogo morya [A new approach to assessing the pollution of the Azov Sea bottom sediments]. *Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2005, no. 2, pp. 45–53. (In Russian).
10. Prakticheskoe rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidrobiontakh [Practice guidelines for chemical analysis of the components of aquatic ecosystems. Priority toxicants in water, bottom sediments, and hydrobionts]. T.O. Barabashin. (Ed.). Rostov-on-Don: Mini-Tayp [Mini-Type], 2018, 436 p. (In Russian).
11. Barabashin T.O., Korablina I.V., Pavlenko L.F., Korotkova L.I. Metodicheskoe obespechenie monitoringa zagryazneniya vodnykh ob"ektov Azovo-Chernomorskogo basseyna [Methodological support of pollution monitoring of the Azov and Black Seas water bodies]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment], 2018, vol. 1, no. 3–4, pp. 9–27. (In Russian).
12. Chasovnikov V.K. Osobennosti gidrokhimicheskoy struktury severo-vostochnoy chasti Chernogo morya : avtoref. dis. kand. geogr. nauk [Special features of hydrochemical structure of the north-eastern part of the Black Sea. Extended abstract of Candidate's (Geography) Thesis]. Moscow: Institut okeanologii im. P.P. Shirshova RAN [Shirshov Institute of Oceanology of the RAS] Publ., 2002, 24 p. (In Russian).
13. Pakhomova S.V., Rozanov A.G., Yakushev E.V. Dissolved and particulate forms of iron and manganese in the redox zone of the Black Sea. *Oceanology*, 2009, vol. 49, no. 6, pp. 773–787. doi: 10.1134/S0001437009060046.
14. Skopintsev B.A., Popova T.P. O nakoplenii margantsa v vodakh serovodorodnykh basseynov na primere Chernogo morya [On the accumulation of manganese in the waters of hydrogen sulphide basins as exemplified by the Black Sea]. *Geokhimiya osadochnykh mestorozhdeniy margantsa : trudy Geologicheskogo instituta AN SSSR* [Geochemistry of sedimentary manganese deposits. Transactions of the Geological Institute of the Academy of Sciences of the USSR], 1963, vol. 97, pp. 165–181. (In Russian).
15. Lewis B.L., Landing W.M. The biogeochemistry of manganese and iron in the Black Sea. *Deep-Sea Research*, 1991, vol. 38, suppl. issue 2, pp. S773–S803. doi: 10.1016/S0198-0149(10)80009-3.

Поступила 11.06.2020

Принята к печати 02.07.2020