

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОРТА ТЕМРЮК

Аглетдинов Р.Р., Матасова И.Ю.

*Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской
биологический центр КубГУ,
Россия, 353905, Новороссийск, ул. Набережная Адмирала Серебрякова, д. 43,
e-mail: biozentr@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 03.02.2021, одобрена к печати 20.04.2021.

Рассмотрена динамика изменения содержания нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd) в донных отложениях порта Темрюк в 2016–2020 гг. Выявлены колебания концентраций нефтепродуктов от 88 до 413 мг/кг, железа – 8.4–41.0 мг/кг, меди – 13.6–116.0 мг/кг, цинка – 58.2–415.0 мг/кг, свинца – 14.0–55.3 мг/кг, кадмия – от менее 0.1 до 0.2 мг/кг. Определены геохимические особенности донных отложений порта Темрюк относительно осадков Азовского моря. Статистическая обработка полученных данных позволила определить корреляционные связи между концентрацией рассматриваемых веществ в грунтах исследуемой акватории.

Ключевые слова: Азовское море, порт Темрюк, донные отложения, загрязнение, нефтепродукты, тяжелые металлы, фитопланктон, корреляция

Введение

Порт Темрюк расположен на побережье южной части Темрюкского залива Азовского моря, у левого берега реки Кубань, в 3 километрах к юго-западу от ее устья, в юго-восточной части Глухого канала, ранее являвшегося одним из рукавов р. Кубань и перекрытого каменно-земляной перемычкой. К порту ведет подходной канал длиной 5200 м и шириной 80–95 м. В настоящее время в порту осуществляется оказание услуг по перевалке генеральных, наливных (сжиженные углеводородные газы и химические грузы), навалочных и насыпных грузов.

Основные источники поступления загрязняющих веществ в акваторию порта Темрюк могут быть связаны как с технологическими процессами портовой деятельности (коррозия конструкционных материалов судов и береговых сооружений, потери груза при перевалке, внештатные аварийные ситуации), так и с природными процессами (привнос терригенного материала с поверхностным стоком, аэральный перенос и т.д.).

Важным источником поступления рассматриваемых металлов в акваторию порта с территории суши являются сельскохозяйственные угодья, представленные

в районе порта Темрюк пашнями с севооборотом однолетних культур и рисовыми чеками. Интенсивное богарное земледелие усиливает деструкцию органического вещества, эрозию почв, обеспечивает повышение доли подвижных форм металлов, а также водно-суспензионный вынос из ландшафта (Дьяченко и др., 2017). Так, низкое валовое содержание некоторых металлов (особенно Cu и Zn) в почвах пашен связано с увеличением (иногда более, чем трёхкратным) водорастворимых соединений.

Большая роль аэрального переноса и атмосферных выпадений в геохимии водоемов на юге России отмечалась рядом авторов (Приваленко, 1995; Дьяченко, 1996). Основное направление аэральной миграции на юге России обусловлено сильными восточными ветрами, связанными с так называемым «восточным переносом». Район расположения порта Темрюк находится в зоне фронтального ослабления ветровой эрозии и отложения эолового материала. Изучение геохимического спектра тонкодисперсной фракции (менее 0.1 мм) почв региона показало ее обогащение более, чем в 2 раза, цинком и медью, относительно более крупных фракций почв региона (Дьяченко и др., 2020).

Дальнейшие процессы погружения на дно взвешенных частиц, сорбции ионов металлов из воды, седиментация отмерших биологических объектов, накопивших в процессе жизнедеятельности загрязняющие вещества, приводят к захоронению загрязнений в донных отложениях. При этом они, в отличие от водной среды, характеризуются низкой подвижностью и высокой способностью к аккумуляции токсикантов, фиксируя внешнее воздействие и сохраняя сведения о загрязнении объекта за длительный период времени. В связи с этим донные отложения представляют собой информативный объект для мониторинга состояния водного объекта.

Уровень загрязнения донных отложений акватории Азовского моря, включая заливы, и его сезонная динамика достаточно изучены в ходе экспедиционных исследований, регулярно проводимых Южным научным центром и Мурманским морским биологическим центром РАН, Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО», ФГУ «Азовморинформцентром» (Корпакова и др., 2005; Польшин, 2010; Буфетова, Фень, 2016; Павленко Л.В. и др., 2018 и пр.). Однако опубликованные данные о концентрации загрязнителей в грунтах порта Темрюк отсутствуют.

Цель работы – оценка современного состояния донных отложений п. Темрюк, определение взаимосвязи между накоплением изучаемых поллютантов, возможных источников их поступления.

Материалы и методы

Донные отложения в порту Темрюк отбирали в подходном канале (станции 1–5) один раз в год (декабрь) и в затоне Газовиков (станции 6–8) ежеквартально в период 2016–2020 гг. (рис. 1).

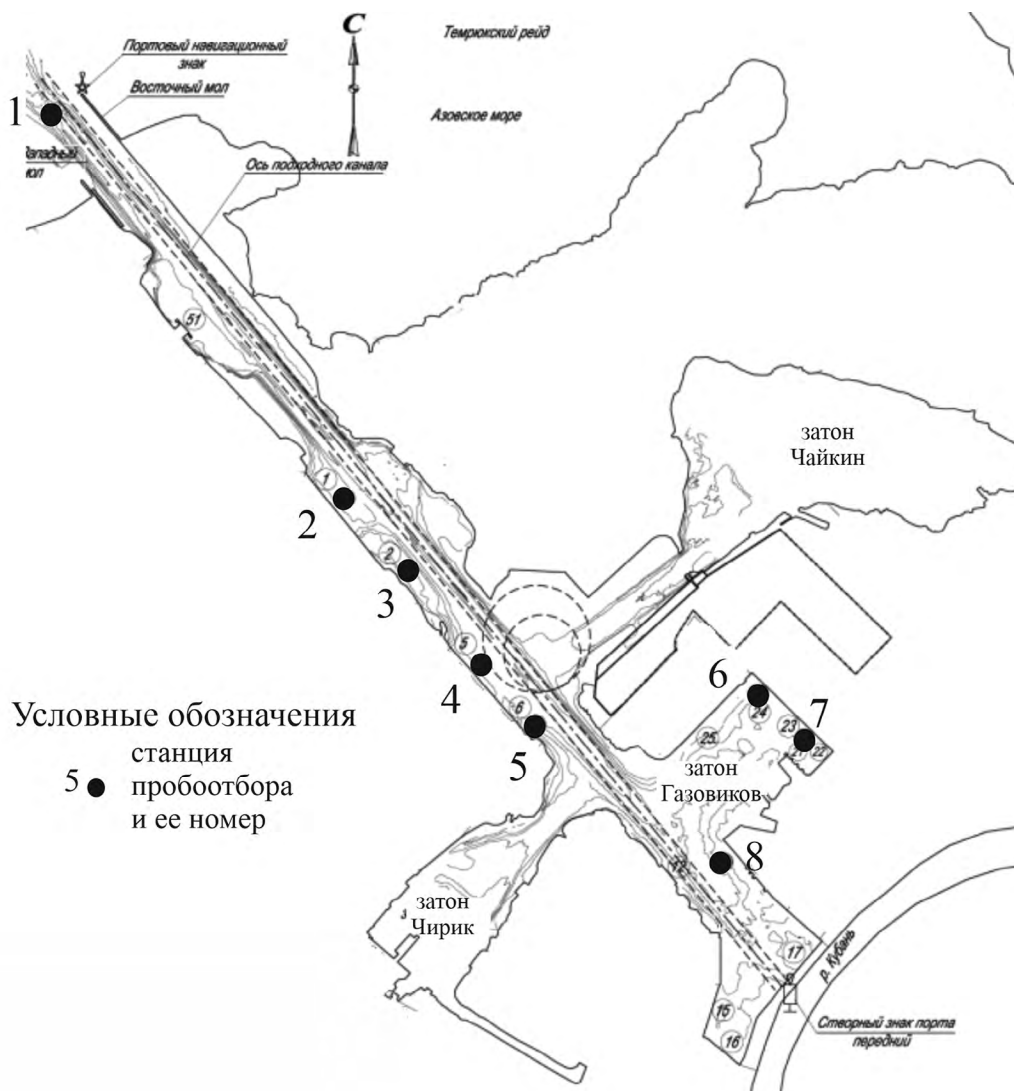


Рис. 1. Станции отбора проб донных отложений в порту Темрюк

Отбор проб грунтов производили дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.1 м² с поверхностного горизонта (0–25 см), точно, в количестве 1 кг. В образцах донных отложениях порта Темрюк, отобранных на станциях 1–8, определяли концентрацию нефтепродуктов, железа общего, меди, цинка, кадмия, на станциях 6–8 дополнительно исследовали содержание свинца.

Химический состав донных отложений определялся в испытательной лаборатории Новороссийского учебного и научно-исследовательского морского биологического центра (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». Определение нефтепродуктов проводилось методом инфракрасной спектроскопии на концентратоме КН-3 (аналитики Н.В. Лукина, А.А. Аглетдинов). Точность прибора – 5–10%. Воспроизводимость результатов анализа – 10%.

Определение содержания кислоторастворимых форм меди, цинка, свинца и кадмия в донных отложениях проводили на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu AA-7000F (аналитики Е.П. Ермакова, Л.В. Лужанская). Погрешность

прибора – 10%. Воспроизводимость результатов анализа – 6–12%. Для контроля правильности анализов использовались государственные стандартные образцы континентальных осадочных отложений ООКО 202 и ООКО 203 (Россия).

Фитопланктон отбирали пластиковым батометром в поверхностном горизонте на станциях, пространственно совпадающих со станциями отбора донных отложений. Первоначальный объем пробы (1.5 л) фиксировали формалином до конечной концентрации 2% и концентрировали методом обратной фильтрации через ядерный фильтр (размер пор 2 мкм) до объема 20–30 мл (Сорокин, 1979). Часть полученного концентрата просматривали под микроскопом с увеличением $\times 200$, $\times 400$, одновременно определяя линейные размеры клеток фитопланктона. Исходя из форм клеток, рассчитывали величины их объемов, используя формулы для вычисления объемов геометрических фигур и их комбинаций (Брянцева и др., 2003; Зотов, 2018).

В настоящее время предельно допустимые концентрации для донных отложений на территории Российской Федерации не разработаны, поэтому для оценки степени загрязнения донных отложений порта Темрюк нефтепродуктами и тяжелыми металлами использованы средние многолетние значения содержаний элементов в донных отложениях Азовского моря, полученные в результате наблюдений 1996–2004 гг. При этом учитывалось следующее: гранулометрический состав грунтов, определяющий, кроме прочего, сорбционные способность и емкость отложений в процессах накопления загрязняющих веществ (Корпакова, Кленкин и др., 2005).

При математической и статистической обработке данных использовали компьютерные программы Microsoft Office (Excel 2016), пакет программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждения

Грунты в пределах акватории порта Темрюк представлены преимущественно черно-, синевато-серыми глинистыми илами с включениями (до 3%) мелкого гравия.

Нефтепродукты. Концентрация нефтепродуктов в донных отложениях порта Темрюк по участкам и годам распределялась неравномерно и колебалась от 88 до 413 мг/кг при среднем значении 255.3 ± 12.7 мг/кг (здесь и далее указано среднее и стандартное отклонение от среднего).

В подходном канале содержание нефтепродуктов варьировало от 88 до 350 мг/кг, составляя в среднем 167.1 ± 14.5 мг/кг. Максимум их концентраций отмечен в 2020 г., минимум – в 2018 г. (таблица 1). В другие годы содержание нефтепродуктов в целом сопоставимо.

В затоне Газовиков среднегодовая концентрация нефтепродуктов изменялась от 219 до 413 мг/кг, при среднем значении – 259.0 ± 11.9 мг/кг. Наибольшие содержания выявлены в 2017 г., наименьшие – в 2018–2019 гг.

Таблица 1. Содержание нефтепродуктов (мг/кг) в донных отложениях порта Темрюк (2016–2020 гг.)

Станция	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	$C_{\text{ср}}^*$
Подходной канал						680–840
1	146	186	139	154	240	
2	162	175	130	137	350	
3	88	112	100	136	240	
4	149	134	117	153	170	
5	164	129	88	149	320	
Среднее	142	147	115	146	264	
Затон Газовиков**						
6	317	413	223	248	320	
7	260	375	223	219	293	
8	255	404	255	276	290	
Среднее	277	397	234	248	301	

Примечание: *Средние многолетние данные для илов Азовского моря (Корпакова и др., 2005);
** На станциях 6–8 приведены средние значения за год.

Динамика среднегодовых концентраций нефтепродуктов в осадках порта Темрюк и его отдельных районов в период 2016–2020 гг. характеризуется их волнообразным снижением и повышением, но общий тренд свидетельствует об увеличении загрязнения грунтов (рис. 2). Наиболее ярко этот тренд выражен для донных отложений подходного канала.

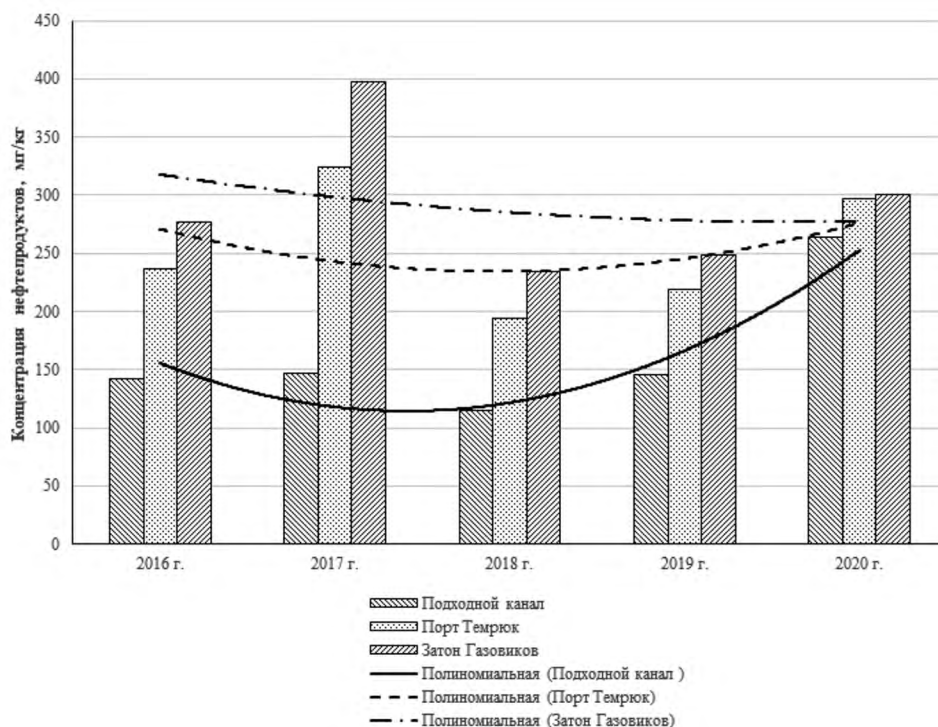


Рис. 2. Динамика нефтяного загрязнения донных отложений в порте Темрюк и его отдельных районах в период 2016–2020 гг.

Общее железо. Концентрация общего железа в донных отложениях порта Темрюк колебалась от 8.4 до 41.0 мг/кг при среднем значении 29.0 ± 0.7 мг/кг.

В подходном канале содержание общего железа в донных отложениях варьировало от 8.4 до 37.6 мг/кг, составляя в среднем 25.9 ± 1.6 мг/кг. Распределение металла в грунтах по годам относительно равномерное, за исключением 2018 г., когда его содержание в среднем было ниже 1.9–2.2 раза (таблица 2).

Таблица 2. Содержание общего железа (мг/кг) в донных отложениях порта Темрюк (2016–2020 гг.)

Станция	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	C_{cp}^*
Подходной канал						37–52
1	30.2	23.4	33.4	18.6	30.6	
2	27.9	32.1	28.6	17.4	34.8	
3	16.7	18.3	21.3	18.0	30.6	
4	30.8	37.6	35.8	8.4	31.2	
5	30.6	28.3	23.9	9.9	29.4	
Среднее	27.2	27.9	28.6	14.5	31.3	
Затон Газовиков**						
6	34.0	32.7	33.7	29.9	24.5	
7	31.0	31.5	34.7	30.3	28.6	
8	26.1	29.4	31.9	30.0	27.3	
Среднее	30.4	31.2	33.4	30.1	26.8	

Примечание: *Средние многолетние данные для илов Азовского моря (Корпакова и др., 2005);

** На станциях 6–8 приведены средние значения за год.

В затоне Газовиков концентрация общего железа изменялась от 14.0 до 41.0 мг/кг, при среднем значении – 30.4 ± 0.7 мг/кг. Значимых колебаний его среднегодовых содержаний в донных отложениях не отмечено (таблица 2). Незначительное уменьшение концентраций общего железа выявлено в 2020 г. (в 1.1–1.2 раза).

Медь. Распределение меди в донных отложениях порта Темрюк по участкам и годам было неоднородным и варьировало от 13.6 до 116.0 мг/кг при среднем значении 38.8 ± 1.5 мг/кг.

В подходном канале содержание меди колебалось от 13.6 до 46.0 мг/кг, составляя в среднем 30.8 ± 1.6 мг/кг. Распределение меди в грунтах подходного канала по годам относительно равномерное, за исключением периода 2018–2019 гг., когда ее содержание в среднем было выше в 1.2 раза (таблица 3).

В затоне Газовиков концентрация меди в донных отложениях изменялась от 15.1 до 116.0 мг/кг, при среднем значении – 42.3 ± 1.9 мг/кг. Максимум среднегодовых концентраций наблюдался преимущественно в 2016 г. (таблица 3). В период 2017–2020 гг. среднегодовые концентрации были в 1.2–1.4 раза ниже.

Таблица 3. Содержание меди (мг/кг) в донных отложениях порта Темрюк (2016–2020 гг.)

Станция	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	C_{cp}^*
Подходной канал						35–46
1	31.0	27.1	39.0	38.2	36.0	
2	29.6	25.3	29.7	37.4	36.0	
3	13.6	13.6	29.5	35.7	26.0	
4	35.5	46.0	37.9	28.6	21.0	
5	37.8	31.5	36.0	27.0	20.0	
Среднее	29.5	28.7	34.4	33.4	27.8	
Затон Газовиков**						
6	56.9	45.5	40.6	39.5	37.4	
7	60.1	39.1	40.9	36.6	34.6	
8	37.9	36.6	44.2	41.1	41.8	
Среднее	51.6	40.4	41.9	39.1	37.9	

Примечание: *Средние многолетние данные для илов Азовского моря (Корпакова и др., 2005);

** На станциях 6–8 приведены средние значения за год.

Цинк. Концентрация цинка в донных отложениях порта Темрюк по участкам и годам распределялась крайне неравномерно и колебалась от 58.2 до 415.0 мг/кг при среднем значении 138.5 ± 6.3 мг/кг.

В подходном канале содержание цинка варьировало от 60.0 до 154.0 мг/кг, составляя в среднем 106.9 ± 4.9 мг/кг. Максимум среднегодовых концентраций металла отмечен в 2019 г., минимум – в 2017 г. (таблица 4). В другие годы содержание цинка в целом сопоставимо.

Таблица 4. Содержание цинка (мг/кг) в донных отложениях порта Темрюк (2016–2020 гг.)

Станция	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	C_{cp}^*
Подходной канал						79–120
1	95.8	78.0	125.0	154.0	126.0	
2	80.5	86.2	95.0	113.0	126.0	
3	60.0	60.0	93.0	108.0	108.0	
4	102.0	89.0	123.0	137.0	96.0	
5	131.0	87.0	109.0	149.0	119.0	
Среднее	93.9	80.0	109.0	132.2	115.0	
Затон Газовиков**						
6	172.5	161.3	195.0	129.7	115.5	
7	235.2	137.0	184.5	152.7	113.0	
8	129.5	111.8	164.0	99.7	116.5	
Среднее	179.1	136.7	181.2	127.4	115.0	

Примечание: *Средние многолетние данные для илов Азовского моря (Корпакова и др., 2005);

** На станциях 6–8 приведены средние значения за год.

В затоне Газовиков содержание цинка изменялась от 99.7 до 235.2 мг/кг, при среднем значении – 148.9±8.2 мг/кг. Наибольшие среднегодовые концентрации металла в донных отложениях зафиксировано в 2016 г. и 2018 г., наименьшие – в 2020 г. (таблица 4).

Свинец. Концентрация свинца в донных отложениях варьировала от 14.0 до 55.3 мг/кг, составляя в среднем 22.6±0.8 мг/кг.

Максимальные концентрации зафиксированы в большинстве случаев в 2016 г., минимальные – в 2020 г. (таблица 5).

Таблица 5. Содержание свинца (мг/кг) в донных отложениях порта Темрюк (2016–2020 гг.)

Станция	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	C_{cp}^*
Затон Газовиков**						17.0-25.0
6	30,3	22,0	19,2	20,1	20,5	
7	22,5	23,5	22,6	24,2	18,9	
8	31,7	21,9	18,3	23,8	19,5	
Среднее	28.1	22.4	20.0	22.7	19.6	

Примечание: *Средние многолетние данные для илов Азовского моря (Корпакова и др., 2005);

** Приведены средние значения за год.

Кадмий. Концентрация кадмия в донных отложениях порта Темрюк на большинстве станций была ниже предела чувствительности (менее 0.10 мг/кг), лишь в 20% проб содержание элемента варьировало от 0.10 до 0.20 мг/кг.

Сравнение уровня загрязнения донных отложений в подходном канале и затоне Газовиков проводилось с использованием данных, полученных при единовременном отборе проб (декабрь). Средние содержания загрязняющих веществ в грунтах затона Газовиков относительно подходного канала в 1.2–2.8 раза выше (рис. 3). Вероятно, это связано с лучшим водообменом в подходном канале и особенностью и интенсивностью осуществляемых портовых операций в рассматриваемых районах порта.

Сравнительный анализ полученных результатов с таковыми, известными для Азовского моря (Корпакова и др., 2005), показал, что средние концентрации Cu, Pb и Zn в донных отложениях порта Темрюк находились в диапазоне средних значений, характерных для Азовского моря, или незначительно его превышали (рис. 3). Среднее содержание нефтепродуктов, железа общего и кадмия в 2.7 и более раз ниже таковых для Азовского моря. Тренд уровня нефтяного загрязнения донных отложений порта Темрюк в период 2016–2020 гг. (рис. 2), показывающий неравномерное увеличение средних концентраций нефтепродуктов, отличен от такового для осадков Азовского моря. Так, данные 1985–2016 гг. (Павленко и др., 2018) свидетельствуют об уменьшении загрязнения грунтов Азовского моря нефтепродуктами в среднем с 1.0 до 0.4 г/кг. Сопоставимые концентрации были получены исследователями в 2019 г. (Барабашин и др., 2020).

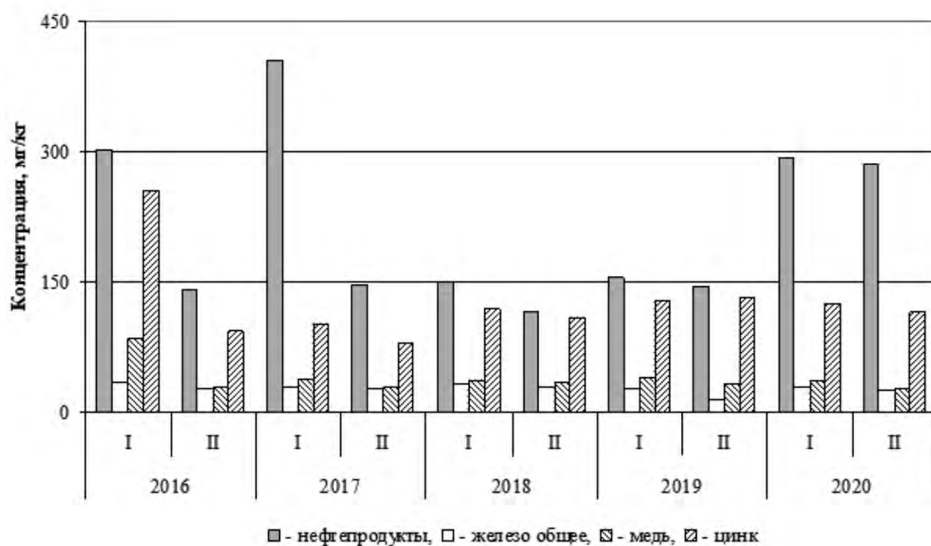


Рис. 3. Средние содержания загрязняющих веществ в донных отложениях затона Газовиков (I) и подходного канала (II) порта Темрюк в декабре 2016–2020 гг.

Для определения общих трендов загрязнения рассматриваемых веществ проведена статистическая обработка имеющегося массива данных. В целях проверки гипотезы о влиянии планктонных организмов на формирование геохимического спектра грунтов использованы численные характеристики фитопланктона акватории порта Темрюк, полученные НУНИМБЦ для тех же временных отрезков. Корреляционный анализ показал значимую связь между накоплением в донных отложениях ряда загрязняющих веществ (таблицы 6–8).

Для донных отложений порта Темрюк выявлена значимая связь между парами загрязняющих веществ, позволившая составить следующие ряды по убыванию коэффициента корреляции: Cu–Zn > Cu–Fe > Fe–нефтепродукты > Zn–Fe > Cu–нефтепродукты, для затона Газовиков: Cu–Zn > Cu–Pb > Zn–Pb > Cu–Fe > Zn–Fe. Для донных отложений подходного канала статистически значимая связь определена только для пары Cu–Zn.

Наличие корреляционной связи между халькофильными элементами (Cu, Zn, Pb) может быть связано с анаэробными условиями в донных отложениях порта Темрюк и их малой подвижностью из-за образования сульфидных форм элементов. Косвенным подтверждением формирования восстановительной обстановки в грунтах рассматриваемой акватории является их цвет и запах (черные илы с «глеевым» запахом). Также в теплые периоды года НУНИМБЦ в поверхностных слоях воды изучаемой акватории фиксировались жизнеспособные споры сульфатредуцирующих бактерий.

В связи с тем, что высокие значения коэффициента корреляции в донных отложениях как порта Темрюк в целом, так и в донных отложениях его отдельных районов, выявлены для пары Cu–Zn, с помощью метода аппроксимации проведена оценка характера их связи. Наилучший результат получен при использовании полинома второго порядка. Коэффициент детерминации в данном случае равен 0.533 (рис. 4).

Таблица 6. Результаты корреляционного анализа для донных отложений порта Темрюк

Показатели	Коэффициенты корреляции ($\alpha = 0.95, N = 82, r_{\text{крит}} = 0.23$)				
	Нефтепродукты	Fe	Cu	Zn	Фитопланктон, численность
Fe	0,33	1,00			
Cu	0,24	0,42	1,00		
Zn	0,20	0,28	0,73	1,00	
Фитопланктон, численность	0,15	0,20	0,51	0,34	1,00
Фитопланктон, биомасса	-0,01	0,16	0,35	0,36	0,50

Таблица 7. Результаты корреляционного анализа для донных отложений подходного канала

Показатели	Коэффициенты корреляции ($\alpha = 0.95, N = 82, r_{\text{крит}} = 0.23$)				
	Нефтепродукты	Fe	Cu	Zn	Фитопланктон, численность
Fe	0,34	1,00			
Cu	0,02	0,35	1,00		
Zn	0,33	-0,12	0,50	1,00	
Фитопланктон, численность	-0,29	-0,74	0,06	0,41	1,00
Фитопланктон, биомасса	0,01	0,17	-0,15	-0,15	0,15

Таблица 8. Результаты корреляционного анализа для донных отложений залива Газовиков

Показатели	Коэффициенты корреляции ($\alpha = 0.95, N = 82, r_{\text{крит}} = 0.23$)					
	Нефтепродукты	Fe	Cu	Zn	Pb	Фитопланктон, численность
Fe	0,06	1,00				
Cu	0,04	0,38	1,00			
Zn	-0,01	0,31	0,71	1,00		
Pb	-0,11	0,14	0,56	0,46	1,00	
Фитопланктон, численность	0,03	0,19	0,48	0,27	0,46	1,00
Фитопланктон, биомасса	-0,07	0,10	0,51	0,49	0,43	0,62

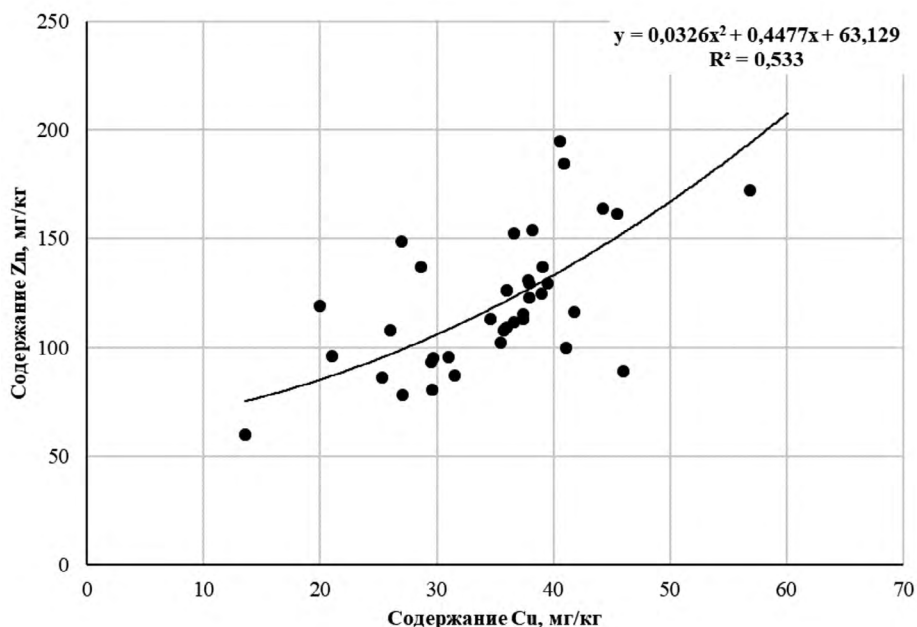


Рис. 4. Связь между содержанием меди и цинка (мг/кг) в донных отложениях порта Темрюк (по данным за 2016–2020 гг.)

Наличие корреляционной связи в паре Cu–Zn так же может быть сопряжено со способностью планктонных организмов (в первую очередь, фитопланктона) избирательно поглощать имеющие важное значение для процессов жизнедеятельности элементы. Так, А.П. Лисицын и др. показали, что содержание цинка в фитопланктоне – 93 мг/кг живой массы, зоопланктоне – 41 мг/кг живой массы. Также отмечается осаждение меди и цинка с отмершим фитопланктоном в огромных массах (10–100 мг/см³) в морских бассейнах (Лисицын, 1983).

Статистически значимая связь между концентрацией и численностью фитопланктона в морской воде и содержанием в донных отложениях Cu и Zn выявлена в порту Темрюк в целом и затоне Газовиков (таблицы 6, 8). В подходном канале такая связь с параметрами фитопланктона определена только для Zn (таблица 7). Таким образом, можно предположить, что определенную роль в формировании геохимического спектра донных отложений играют процессы концентрирования металлов гидробионтами, дальнейший перевод элементов в сульфидную форму в бескислородных условиях после отмирания клеток и накопление в осадках.

Выводы

1. Проведенные исследования позволили определить динамику изменения содержания нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd) в донных отложениях порта Темрюк в 2016–2020 гг. Выявлены колебания концентраций в грунтах нефтепродуктов в диапазоне 88–413 мг/кг, железа – 8.4–41.0 мг/кг, меди –

13.6–116.0 мг/кг, цинка – 58.2–415.0 мг/кг, свинца – 14.0–55.3 мг/кг, кадмия – от менее 0.1 до 0.2 мг/кг.

Общий тренд среднегодовых концентраций нефтепродуктов в осадках порта Темрюк и его отдельных районов свидетельствует о постепенном увеличении их нефтяного загрязнения в период с 2016 по 2020 гг.

2. Средние концентрации Cu, Pb и Zn в отложениях порта Темрюк в период наблюдений входили в диапазон средних значений, характерных для Азовского моря, или незначительно его превышали. Среднее содержание нефтепродуктов, железа общего и кадмия в 2.7 и более раз ниже таковых для Азовского моря.

4. Для донных отложений порта Темрюк выявлена значимая связь между некоторыми рассматриваемыми загрязняющими веществами, позволившая составить следующие ряды по убыванию коэффициента корреляции: Cu–Zn > Cu–Fe > Fe–нефтепродукты > Zn–Fe > Cu–нефтепродукты.

Наличие корреляционной связи в парах Cu–Fe и Zn–Fe позволяет предположить, что осаждение и накопление меди и цинка в донных осадках порта Темрюк в целом и затона Газовиков в определенной мере обусловлено их совместным осаждением в виде сульфидов в аноксидных условиях грунтов порта Темрюк.

5. Наличие корреляционной связи в паре Cu–Zn также может также быть сопряжено со способностью планктонных организмов (в первую очередь, фитопланктона) избирательно поглощать эти элементы, которые после отмирания клеток в бескислородных условиях будут переводиться в сульфидную форму и накапливаться в осадках. Статистически значимая связь между концентрацией и численностью фитопланктона в морской воде и содержанием в донных отложениях Cu и Zn выявлена в порту Темрюк в целом и затоне Газовиков, в подходном канале такая связь определена только для Zn.

Благодарности. Авторы выражают благодарность всему коллективу Новороссийского учебного и научно-исследовательского морского биологического центра в г. Новороссийске (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет» за помощь в отборе и аналитических исследованиях проб морской воды, а также предоставленные результаты исследований прошлых лет. Отдельно авторы выражают глубокую признательность рецензентам за ценные замечания по содержанию статьи, позволившие повысить ее качество.

Литература

- Барабашин Т.О., Рыжкова В.В., Савчук И.А.* Нефтяное загрязнение воды и донных отложений Азовского моря в 2019 г. // Материалы II Международной научно-практической конференции «Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование». Симферополь: Ариал, 2020. С. 260–263.
- Брянцева Ю.В., Курилов А.В.* Расчет объемов клеток микроводорослей и планктонных инфузорий Черного моря. Препринт. Севастополь: ИнБЮМ, 2003. 20 с.
- Буфетов М.В., Фень О.Н.* Оценка загрязнения донных отложений Азовского моря тяжелыми металлами // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 3. С. 45–51.
- Дьяченко В.В.* Особенности миграции химических элементов в почвах геохимических ландшафтов Центрального и Восточного Кавказа: Дис. ... канд. с.-х. наук: 04.00.03. Новороссийск.: НИИ ГБ, 1996. 115 с.
- Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А., Матасова И.Ю., Шеманин В.Г.* Результаты деятельности комиссии по геохимии ландшафта и техносферной безопасности КРОРГО // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. Краснодар: Изд-во: ИП Платонов Игорь, 2017. С. 214–225.
- Дьяченко В.В., Матасова И.Ю.* Геохимия техногенных и дефляционных аэрозолей // Труды XXVIII Международной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2020». Пенза: Изд-во Пензенского государственного университета, 2020. С. 299–303.
- Зотов А.Б.* Унификация расчета объема клеток микроводорослей Черного моря в соответствии стандартам ЕС // Альгология. 2018. Т. 28. № 2. С. 208–232.
- Корпакова И.Г., Кленкин А.А., Конев Ю.В., Елецкий Б.Д., Каталевский Н.И., Павленко Л.Ф.* Новый подход к оценке загрязнения донных отложений Азовского моря // Экологический вестник научных центров ЧЭС. Изд-во: Кубанский государственный университет, 2005. С. 44–53.
- Лисицын А.П.* Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983. 365 с.
- Павленко Л.Ф., Скрипник Г.В., Клименко Т.Л., Анохина Н.С., Экилик В.С., Севостьянова М.В., Барабашин Т.О.* Многолетняя динамика нефтяного загрязнения среды обитания гидробионтов Азовского моря // Вопросы рыболовства, 2018. Т. 19. № 4. С. 534–544.
- Польшин В.В.* Закономерности формирования современных отложений Азовского моря: Дис. ... канд. географических наук: 25.00.28. Ростов-на-Дону.: ЮНЦ РАН, 2010. 151 с.
- Приваленко В.В.* Техногенная геохимия и биогеохимия городов Нижнего Дона: Дис. ... д-ра. биол. наук: 04.00.03. Ростов-на-Дону.: ВГУ, 1995. 319 с.
- Сорокин Ю.И.* К методике концентрирования проб фитопланктона // Гидробиологический журнал. 1979. № 15. С. 71–76.
- Bowen H.Y.* Environmental Chemistry of the Elements. N.Y. Acad. Press, 1996, 316.

ASSESSMENT OF THE MODERN STATE OF THE BOTTOM SEDIMENTS IN PORT TEMRYUK

Agletdinov R.R., Matasova I.Yu.

*Novorossiysk educational and research marine biological center – branch of the Federal state budgetary educational institution of higher education «Kuban state University»,
43, Admiral Serebryakov Naberezhnaya Str., Novorossiysk, 353905, Russia,
e-mail: biozentr@yandex.ru*

Submitted 03.02.2021, accepted 20.04.2021.

The article analyzes the dynamics of changes in the content of petroleum products and a number of heavy metals (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd) in the bottom sediments of the port of Temryuk in 2016–2020. Fluctuations in the concentrations of petroleum products in the soil from 88 to 413 mg/kg, iron – 8.4–41.0 mg/kg, copper – 13.6–116.0 mg/kg, zinc – 58.2–415.0 mg/kg, lead – 14.0–55.3 mg/kg, cadmium from less than 0.1 to 0.2 mg/kg were revealed. The geochemical features of the bottom sediments of the port of Temryuk relative to the sediments of the Sea of Azov are determined. Statistical processing of the obtained data made it possible to determine the correlation between the concentration of the substances in question in the soils of the studied water area.

Keywords: Sea of Azov, port of Temryuk, bottom sediments, pollution, oil products, heavy metals, phytoplankton, correlation

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the entire team of the Novorossiysk educational and research marine biological center – branch of the Federal state budgetary educational institution of higher education «Kuban state University» for assistance in the selection and analytical studies of seawater samples, as well as the provided research results previous years. Separately, the authors express their deep gratitude to the reviewers for valuable comments on the content of the article, which made it possible to improve its quality.

References

- Barabashin, T.O., V.V. Ryzhkova, and I.A. Savchuk, 2020: Neftyanoe zagryaznenie vody i donnyh otlozhenij Azovskogo morya v 2019 g. *Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Biologicheskoe raznoobrazie: izuchenie, sohranenie, vosstanovlenie, racional'noe ispol'zovanie»*, Simferopol', 260–263.
- Brjanceva, Ju.V. and A.V. Kurilov, 2003: *Raschjot ob'emov kletok mikrovodoroslej i planktonnyh infuzorij Chernogo morja*. Preprint, Sevastopol, InBUM, 20.
- Bufetov, M.V. and O.N. Fen', 2016: Ocenka zagryazneniya donnyh otlozhenij Azovskogo morya tyazhelymi metallami. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geologiya i razvedka*, **3**, 45–51.
- D'yachenko, V.V., 1996: Osobennosti migracii himicheskikh elementov v pochvah geohimicheskikh landshaftov Central'nogo i Vostochnogo Kavkaza: *Dis. ... kand. s.-h. nauk*: 04.00.03, Novorossiysk, NII GB, 115.

- D'yachenko, V.V., L.G. D'yachenko, Yu.A. Malyhin, I.Yu. Matasova, and V.G. Shemanin, 2017: Rezul'taty deyatel'nosti komissii po geohimii landshafta i tekhnosfernoj bezopasnosti KRORGO. *Vestnik Krasnodarskogo regional'nogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, Krasnodar, 214–225.
- D'yachenko, V.V., I.Yu. Matasova, 2020: Geohimiya tekhnogennyh i deflyacionnyh aerozolej. *Trudy XXVIII Mezhdunarodnoj konferencii «Lazerno-informacionnye tekhnologii v medicine, biologii, geoekologii i na transporte–2020»*, Penza, Izd-vo Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 299–303.
- Korpakova, I.G., A.A. Klenkin, Yu.V. Konev, B.D. Eleckij, N.I. Katalevskij, and L.F. Pavlenko, 2005: Novyj podhod k ocenke zagryazneniya donnyh otlozhenij Azovskogo moray. *Ekologicheskij vestnik nauchnyh centrov CHES*, Krasnodar, Izd-vo: Kubanskij gosudarstvennyj universitet, 44–53.
- Lisicyn, A.P., 1983: *Biogeohimiya okeana*. Moscow, Nauka, 365 p.
- Pavlenko, L.F., G.V. Skrypnik, T.L. Klimenko, N.C. Anohina, V.S. Ekilik, M.V. Sevost'yanova, and T.O. Barabashin, 2018: Mnogoletnyaya dinamika neftyanogo zagryazneniya sredy obitaniya gidrobiontov Azovskogo moray. *Voprosy rybolovstva*, **19**(4), 534–544.
- Pol'shin, V.V., 2010: Zakonomernosti formirovaniya sovremennyh otlozhenij Azovskogo morya: *Dis. ... kand. geograficheskikh nauk*: 25.00.28. Rostov-na-Donu, YUNC RAN, 151.
- Privalenko, V.V., 1995: Tekhnogennaya geohimiya i biogeohimiya gorodov Nizhnego Dona: *Dis. ... d-ra. biol nauk*: 04.00.03. Rostov-na-Donu, VGU, 319.
- Sorokin, U.I., 1979: K metodike koncentrirovaniya prob fitoplanktona. *Gidrobiologicheskij zhurnal*, **15**, 71–76.
- Zotov, A.B., 2018: Unification of calculation the volume of alga for phytoplankton of the Black sea to the standards of the EU Marine Strategy. *Algologia*, **28**(2), 208–232.
- Bowen H.Y., 1996: *Environmental Chemistry of the Elements*, N.Y. Acad. Press, 316.