

Научная статья
УДК 504.422(261.243)

EDN UICWCM

DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(3).579-584



ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

М.А. Синякова^{1, 2}, А.М. Пономаренко², Л.В. Бронникова¹

¹ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Лаборатория рыбохозяйственной экологии, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
4 марта 2022 г.

Дата принятия к печати
3 октября 2022 г.

Дата онлайн-размещения
8 ноября 2022 г.

Ключевые слова

Мониторинг; донные отложения;
гидрохимические исследования;
фосфор; аммоний; нефтяные
углеводороды

Аннотация

Работа выполнена в 2020 г. в рамках ежегодно проводимых мониторинговых исследований восточной части Финского залива. Контроль состояния вод и донных отложений в этом регионе, испытывающем значительную антропогенную нагрузку, является важным направлением природоохранной деятельности. Объектом настоящего исследования были донные отложения в северо-восточной части Финского залива; предметом — содержание в них нефтяных углеводородов, общего фосфора и ионов аммония. Произведено сопоставление полученных результатов с выводами экспериментальных исследований, проводившихся в том же районе в предыдущие годы, а также с показателями анализа проб воды. Учтены особенности химического состава и структуры отложений, влияющие на их способность к накоплению нефтяных углеводородов и соединений азота и фосфора. По итогам сравнительного анализа совокупной информации дана оценка динамики состояния донных отложений северо-восточной части Финского залива.

На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что количественные значения исследованных параметров находятся в пределах допустимого. Однако также отмечается необходимость дальнейшего контроля за состоянием донных отложений в районе потенциального воздействия портовых сооружений.

Original article

ECOLOGICAL STATE OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE EASTERN GULF OF FINLAND

Maria A. Sinyakova^{1, 2}, Anna M. Ponomarenko², Liliya V. Bronnikova¹

¹ Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, the Russian Federation

² Laboratory of Fisheries Ecology, Saint Petersburg branch of VNIRO (GosNIORKH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation

Article info

Received
March 4, 2022

Accepted
October 3, 2022

Available online
November 8, 2022

Abstract

The work is carried out as part of the annual monitoring studies of the eastern part of the Gulf of Finland in 2020. Monitoring the state of water transport in this region. The objects of this study were bottom sediments in the northeastern part of the Gulf of Finland; they contain the content of petroleum hydrocarbons, phosphorus and ammonium. The results were compared with the results of experimental studies carried out in the same area in previous years, as well as with the results of studies of water samples. The features of the chemical composition

Keywords

Monitoring; bottom sediments;
hydrochemical research;
phosphorus; ammonium;
petroleum hydrocarbons

Введение

Необходимость переориентации российских внешнеторговых перевозок из портов стран Прибалтики в отечественные стимулировала интенсивное развитие нефтеналивных портов на российских берегах Балтийского моря. Можно только приветствовать технологическое и экономическое развитие отечественного балтийского побережья, однако нефтеперевозка, судостроение и портовые хозяйства в целом — отрасли, потенциально опасные для окружающей среды. При авариях морских судов, перевозящих нефть и нефтепродукты, может быть нанесен огромный ущерб окружающей среде [1; 2]. Например, утечка нефти в Мексиканском заливе в 2010 г. повлекла за собой катастрофические последствия [3]. В результате подобных событий происходит крупномасштабное и быстрое распространение нефтепродуктов по поверхности и внутри водоемов, массовая гибель рыбы и водоплавающих птиц, загрязнение прибрежных территорий и дна. Небезопасно и штатное, безаварийное функционирование предприятий нефтяной отрасли и судостроения: оно, как и любая человеческая деятельность, сопровождается выделением загрязняющих веществ в окружающую среду. Попадание нефтепродуктов в окружающую среду вызывает изменения в ее физических, химических и биологических свойствах и характеристиках, нарушает ход естественных биохимических процессов. Компоненты нефти могут находиться в воде в растворенном состоянии или в виде пленки, эмульсии на поверхности или в донных отложениях, что зависит от концентрации и свойств конкретных веществ. Даже в небольших количествах они токсичны для живых организмов, в том числе рыб: меняется скорость транспортировки биологически активных веществ, развиваются патологии тканей, органов и различных систем; особенно страдают репродуктивная и нервная системы [4–6]. Образовавшиеся поверхностные пленки из нефтепродуктов меняют альбедо воды, мешают нормальному обмену веществом и энергией между водой и воздухом,

and structure of sediments, which affect their ability to accumulate petroleum hydrocarbons and nitrogen and phosphorus compounds, are taken into account. Based on the results of a comparative analysis of the aggregate information, an assessment of the state of bottom sediments in the north-eastern part of the Gulf of Finland is given. Based on the studies carried out, we concluded that the quantitative values of the investigated parameters are within the permissible limits. At the same time, there is a need to control the state of bottom sediments in the potential impact of port services in the future.

облепляют перья птиц и т.д. При трансформации нефтяных углеводородов могут образоваться стойкие к биодegradации и еще более токсичные соединения, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. Также в природные воды в результате транспорта нефти и нефтепродуктов могут попадать и другие загрязняющие вещества: соединения азота и фосфора, взвешенные вещества и т.д.

Фосфор присутствует в воде в виде растворимых соединений и является необходимым фактором развития живых организмов. Недостаток соединений фосфора и азота в природных водах часто выступает фактором, лимитирующим развитие органического вещества. В то же время избыток соединений фосфора может привести к эвтрофированию водоема. Согласно критериям трофности [7], для олиготрофных водоемов характерны концентрации фосфатов по фосфору от 0 до 0,012 мг Р/дм³, для мезотрофных — от 0,012 до 0,024 мг Р/дм³, для эвтрофных — от 0,024 до 0,096 мг Р/дм³. Более высокие значения соответствуют гиперэвтрофным водам. В природных водоемах растворенные формы фосфора содержат как минеральную, так и органическую часть. Нужно учитывать, что органическая часть может быть потенциально минеральной, так как из-за быстрого обмена между биотой и средой ее обитания первая может легко перейти во вторую и наоборот. В случае с фито- и бактериопланктоном время обращения может быть около 5 мин. Содержащийся в донных отложениях фосфор также можно с некоторой долей условности разделить на обменный и органический [8]: эти формы будут обладать разной подвижностью.

Соотношение между расходом растворимых форм фосфора на химические и биохимические процессы, включая фотосинтез, и поступлением их в водоем в результате природных и антропогенных процессов определяет концентрацию его соединений в воде в каждый конкретный момент времени [6]. Азот, в свою очередь, является четвертым по значению элементом биомассы.

В целях минимизации негативного воздействия портов, нефтеналивных баз и судостроительных предприятий на окружающую среду, в том числе на природные водоемы, необходимо обеспечить проведение комплекса мероприятий по модернизации и техническому перевооружению указанных предприятий — в первую очередь в части внедрения средств очистки сточных вод и атмосферного воздуха. Указанные мероприятия должны быть предусмотрены планами технико-экономического развития и природоохранной деятельности судостроительных и других промышленных предприятий, а также обеспечены необходимыми объемами финансирования.

Материалы и методы

В соответствии с требованиями природоохранного законодательства РФ в районах с окружающей средой, потенциально подверженной негативному воздействию, требуется осуществление постоянного контроля за состоянием водных объектов, для чего должен проводиться экологический мониторинг в местах их возможного загрязнения. Одним из таких мест является северо-восточная часть Финского залива, где расположено несколько российских портов и судостроительных верфей [9]. В 2014–2020 гг. в рамках ежегодных мониторинговых исследований здесь производился отбор проб донных отложений и определялось содержание нефтяных углеводородов (НУВ). За данный период содержание НУВ в районе Выборгского залива в донных отложениях изменялось от 50 до 720 мг/кг. В некоторые годы превышение целевого уровня для донных отложений г. Санкт-Петербурга (180 мг/кг) составляло 1,9–4,0 раза [6]. За эти семь лет не наметилась тенденция к накоплению НУВ в донных отложениях. В 2019 г. зафиксировано уменьшение их содержания в изучаемом районе по сравнению с 2014–2015 гг., когда были отмечены наибольшие концентрации нефтепродуктов. Концентрация НУВ в донных отложениях на выходе из Выборгского залива в 2019 г. была 85,6 мг/кг при характере грунта, выраженном черным илом с сероводородом. Сероводород указывает на восстановительные процессы, что связано с разлагающимся органическим веществом.

В 2020 г. программа исследований была несколько расширена: в донных отложениях определялись не только НУВ, но также общий фосфор и аммоний. Для анализа были взяты образцы грунта из двух точек:

в районе возможного влияния портовых мощностей (точка 1) и в акватории порта на расстоянии около 4 км (точка 2). Несмотря на то что донные отложения в точке 1 могут испытывать более сильную антропогенную нагрузку в результате влияния порта, нежели в точке 2, необходимо было учесть различие в характере грунта. В первом случае грунт состоял из песка, во втором — из глинистых частиц и серого ила, что априори указывало на потенциальную разницу в возможности аккумуляции нефтяных углеводородов: глинистые минералы обладают гораздо более выраженными сорбционными и ионообменными свойствами, чем пески. Образно говоря, глинистые грунты могли сыграть роль ловушки для примесей воды.

С химической точки зрения глинистые минералы являются алюмосиликатами и обладают слоистой или волокнистой структурой. Они способны к набуханию и поглощению органических молекул (в том числе и компонентов нефтепродуктов), которые внедряются в межслоевое пространство. Ионообменная же способность глинистых минералов обеспечивается двумя основными причинами: зарядом каркаса и диссоциацией поверхностных ионообменных групп. Первый, как правило, отрицателен и обеспечивает способность к катионному обмену. Поверхностные же группы могут быть способны как к катионному, так и анионному обмену. Как следствие, ионообменная и сорбционная емкость глинистых минералов и, следовательно, содержащих их грунтов может варьироваться в широких пределах.

Песок же состоит преимущественно из α -кварца (SiO_2), который относится к неорганическим ионообменникам с нейтральным зарядом каркаса; его ионообменные свойства определяются диссоциацией поверхностных групп и дефектами структуры. Как следствие, с большой долей вероятности можно ожидать, что способность к поглощению ионов и молекул различных веществ, в том числе нефтепродуктов, ионов аммония и соединений фосфора, в точке с глинистым грунтом будет выражена сильнее, чем в точке с песчаным.

Для определения нефтепродуктов использовался метод ИК-спектрофотометрии в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Определение фосфора общего (в пересчете на фосфаты) производилось фотометрически, с персульфатом, в соответствии с ГОСТ 18309-2014, метод Г, и РД 52.24.382-2019, а аммонийного азота — фотометриче-

ски, с реактивом Несслера, в соответствии с РД 52.24.486-2009¹.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты (табл. 1) показывают, что с формальной точки зрения уровень загрязнения в точке 1 намного ниже, чем в точке 2: по общему фосфору — в 1,17 раза, по нефтяным углеводородам — в 5,21 раза, концентрация аммония в грунте из точки 1 ниже пределов обнаружения. Это можно было бы расценивать как проявление низкого

¹ Массовая концентрация фосфора общего и фосфора валового в водах. Методика измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия : РД 52.24.387-2019 / Росгидромет. Ростов-н/Д., 2019. 28 с. ; Массовая концентрация фосфатного фосфора в водах. Методика измерений фотометрическим методом : РД 52.24.382-2019 / Росгидромет. Ростов-н/Д., 2019. 31 с. ; Массовая концентрация аммиака и ионов аммония в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Несслера : РД 52.24.486-2009 / Росгидромет. Ростов-н/Д., 2009. 40 с.

антропогенного воздействия на грунты в зоне размещения производственных объектов, если бы свойства самих грунтов не вносили определенную коррекцию в интерпретацию результатов.

Можно также соотнести результаты исследования донных отложений с результатами анализов проб воды, которые проводились на Финском заливе в июне 2020 г. Эта работа была выполнена в 2020 г. в ходе ежегодных мониторинговых исследований восточной части Финского залива в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-20-02 [10].

Пробы были отобраны на 15 станциях; из них в зоне возможного влияния портовых мощностей находится точка на станции в районе влияния портов (точка А на рис.). Результаты исследования проб воды, отобранной на этой станции, представлены в табл. 2.

Из представленных результатов видно, что значения концентрации НУВ и общего

Таблица 1

Результаты исследования проб донных отложений

Определяемый показатель	Точка отбора	Концентрация компонента в донных отложениях (в расчете на воздушно-сухое вещество)	Погрешность (при $P = 0,95$)
Фосфор общий (в пересчете на Р), мг Р/кг	1	53	+0,006
	2	62	
Аммоний, мг NH ₄ ⁺ /кг	1	< 0,01	+0,006
	2	42,5	
Нефтяные углеводороды, мг/кг	1	52,0	+0,020
	2	271,2	



Станции отбора проб в восточной части Финского залива

Таблица 2

Результаты исследований проб воды*

Горизонт отбора пробы	НУВ, мг/л	Р _{общ} , мг Р/л	NH4+, мг/л
Поверхность	0,04	0,027	6,72
Дно		0,072	11,54
ПДК _{вр} / другие критерии	0,05	0,2 / 0 — 0,012**; 0,012 — 0,024***; 0,024 — 0,096****	0,50

*Составлена по: [7].

** Концентрация общего фосфора для олиготрофных водоемов.

*** Концентрация общего фосфора для мезотрофных водоемов.

**** Концентрация общего фосфора для эвтрофных водоемов.

фосфора находятся в пределах предельно допустимой концентрации (ПДК), но концентрация общего фосфора соответствует эвтрофному типу. Концентрация аммонийного азота в воде превышает ПДК. Возможно, это является последствием деятельности портовых сооружений, но и не исключено, что это сочетание природных и антропогенных факторов. Накопление НУВ, соединений азота и фосфора происходит в точке 2 с глинистым грунтом в большей степени, чем в точке 1 с песчаным грунтом, т.е., судя по всему, свойства грунта играют большую роль, чем близость к портовым сооружениям. Не исключено также влияние морских течений, способствующих переносу воды.

Заключение

Таким образом, можно зафиксировать наличие определенного влияния производственных мощностей портов и судостроительных верфей Ленинградской области на состояние северо-восточной части Финского залива, однако оно находится в настоящее время в пределах допустимого.

Результаты проведенных исследований вносят новые сведения в описание гидрохимии Финского залива в районе портов и судоверфей. Продолжение данных работ позволит контролировать воздействие производственных объектов на воды и грунты Финского залива и синхронизировать процессы технологического развития Северо-Западного региона России с охраной окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупнейшие мировые катастрофы при транспорте нефти танкерным флотом во второй половине XX века / Б.Н. Мастобаев, Е.М. Муфтахов, И.Т. Айдагулов [и др.]. — DOI 10.24411/0131-4270-2018-10508. — EDN ZGZRKX // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — 2018. — № 5-6. — С. 52–59.
2. Писаренко Д. Страшная нефть. Самые страшные экологические катастрофы в океане / Д. Писаренко // Аргументы и факты. — 2019. — 9 янв. — URL: https://aif.ru/society/ecology/smertonosnaya_neft_samye_strashnye_ekologicheskie_katastrofy_v_okeane.
3. Гусаров А. 10 лет назад произошла самая страшная экологическая катастрофа в истории США / А. Гусаров // Российская газета. — 2020. — 20 апр. — URL: <https://rg.ru/2020/04/20/10-let-nazad-proizoshla-samaia-krupnaia-ekologicheskaja-katastrofa-v-istorii-ssha.html>.
4. Лейкин Ю.А. Основы экологического нормирования / Ю.А. Лейкин. — Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2009. — 396 с.
5. Вольф И.В. Химия окружающей среды. Химия гидросферы / И.В. Вольф, М.А. Синякова. — Санкт-Петербург, 2013. — 90 с.
6. Оценка экологического состояния восточной части Финского залива по токсикологическим показателям / Ю.В. Крылова, Е.С. Светашова, А.М. Пономаренко [и др.]. — EDN DIXQEH // День Балтийского моря: сб. материалов XX Междунар. экол. форума. — Санкт-Петербург, 2019. — С. 251–257.
7. Carlson R.E. Estimating Trophic State / R.E. Carlson // Lake Line. — 2007. — Vol. 27, no. 1. — P. 25–28.
8. Третьякова Е.И. Фосфор в донных отложениях водных экосистем / Е.И. Третьякова, Е.Г. Ильина, Е.В. Бурлуцкая // Известия Алтайского государственного университета. — 2010. — № 3-2. — С. 168–184.
9. Шахвердов В.А. Типы и факторы загрязнения восточной части Финского залива и его береговой зоны / В.А. Шахвердов, М.В. Шахвердова. — EDN UHLGGJ // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. — 2015. — № 176. — С. 101–113.
10. Оценка экологического состояния восточной части Финского залива по токсикологическим и гидрохимическим показателям / Ю.В. Крылова, Е.С. Светашова, А.М. Пономаренко [и др.] // День Балтийского моря: сб. материалов XXI Междунар. экол. форума. — Санкт-Петербург, 2021. — С. 61–67.

REFERENCES

1. Mastobaev B.N., Muftakhov E.M., Aidagulov I.T., Yanbarisov T.A. The Largest World Oil Transport Catastrophes by the Tanker Fleet in the Second Half of the XX Century. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* = *Transportation and storage of oil products and hydrocarbon raw materials*, 2018, no. 5–6, pp. 52–59. (In Russian). EDN: ZGZRKX. DOI: 10.24411/0131-4270-2018-10508.
2. Pisarenko D. Terrible oil. The worst environmental disasters in the ocean. *Argumenty i fakty* = *Arguments and facts*, 2019, January 9. Available at: https://aif.ru/society/ecology/smertonosnaya_neft_samye_strashnye_ekologicheskie_katastrofy_v_okeane. (In Russian).
3. Gusarov A. 10 years ago, the worst environmental disaster in US history occurred. *Rossiiskaya gazeta* = *Rossiiskaya gazeta*, 2020, April 20. Available at: <https://rg.ru/2020/04/20/10-let-nazad-proizoshla-samaia-krupnaia-ekologicheskaja-katastrofa-v-istorii-ssha.html>. (In Russian).
4. Leikin Yu.A. *Fundamentals of environmental regulation*. Moscow, Mendeleev University of Chemical Technology Publ., 2009. 396 p.
5. Vol'f I.V., Sinyakova M.A. *Environmental Chemistry. Hydrosphere Chemistry*. Saint Petersburg, 2013. 90 p.
6. Krylova Yu.V., Svetashova E.S., Ponomarenko A.M., Arshanitsa N.M., Ekimova S.B. [et al.]. Assessment of the ecological state of the eastern part of the Gulf of Finland according to toxicological indicators. *Baltic Sea Day. Thesis Collection XX International Environmental Forum*. Saint Petersburg, 2019, 251–257. (In Russian). EDN: DIXQEH.
7. Carlson R.E. Estimating Trophic State. *Lake Line*, 2007, vol. 27, no. 1, pp. 25–28.
8. Tretyakova E.I., Ilyina E.G., Burlutskaya E.V. Phosphorus in Bottom Sediments of Water Ecosystems. *Izvestiya Altaiskogo Gosudarstvennogo Universiteta* = *Izvestiya of Altai State University*, 2010, no. 3–2, pp. 168–184. (In Russian).
9. Shakhverdov V.A., Shakhverdova M.V. Types and Factors of the Contamination the Eastern Gulf of Finland and its Coastal Zone. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gertsena* = *Herzen University Journal of Humanities & Science*, 2015, no. 176, pp. 101–113. (In Russian). EDN: UHLGGJ.
10. Krylova J.V., Svetashova E.S., Ponomarenko A.M., Arshanitsa N.M., Ekimova S.B. [et al.]. Environmental Assessment of the Eastern Gulf of Finland by Toxicological and Hydrochemical Indicators. *Baltic Sea Day. Thesis Collection XXI International Environmental Forum*. Saint Petersburg, 2021, pp. 61–67. (In Russian).

Информация об авторах

Синякова Мария Александровна — кандидат химических наук, доцент, кафедра эргономики, экологии и трудового права, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, ведущий научный сотрудник, лаборатория рыбохозяйственной экологии, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: kafischem@yandex.ru.

Пономаренко Анна Михайловна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория рыбохозяйственной экологии, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» имени Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: annaponom1@yandex.ru.

Бронникова Лилия Васильевна — кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой эргономики, экологии и трудового права, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: bronnikova.lili@gmail.com.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования

Синякова М.А. Экологическое состояние донных отложений восточной части Финского залива / М.А. Синякова, А.М. Пономаренко, Л.В. Бронникова. — DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(3).579-584. — EDN UICWCM // Известия Байкальского государственного университета. — 2022. — Т. 32, № 3. — С. 579–584.

Authors

Maria A. Sinyakova — Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, Department of Ergonomics, Ecology and Labor Law, Saint Petersburg State Marine Technical University, Leading Researcher, Laboratory of Fisheries Ecology, Saint Petersburg branch of VNIRO (GosNIORKH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: kafischem@yandex.ru.

Anna M. Ponomarenko — Ph.D. in Biology, Leading Researcher, Laboratory of Fisheries Ecology, Saint Petersburg branch of VNIRO (GosNIORKH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: annaponom1@yandex.ru.

Liliya V. Bronnikova — Ph.D. in Economics, Associate Professor, Head of the Department of Ergonomics, Ecology and Labor Law, Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: bronnikova.lili@gmail.com.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

For Citation

Sinyakova M.A., Ponomarenko A.M., Bronnikova L.V. Ecological State of Bottom Sediments in the Eastern Gulf of Finland. *Izvestiya Baikalskogo gosudarstvennogo universiteta* = *Bulletin of Baikal State University*, 2022, vol. 32, no. 3, pp. 579–584. (In Russian). EDN: UICWCM. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(3).579-584.