

Черноштан Дмитрий Вадимович

Аспирант, кафедра геоэкологии Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет имени И.М. Губкина) Россия, г. Москва

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХ БУХТ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО: БУХ. КОЗЬМИНА И БУХ. ВРАНГЕЛЯ

Аннотация: В статье представлен сравнительный геоэкологический анализ двух бухт залива Петра Великого (Японское море) — Козьмина и Врангеля, являющихся акваториями с интенсивной портовой деятельностью. На основе данных многолетнего мониторинга с использованием бурых водорослей-макрофитов и анализа донных отложений показана динамика загрязнения за период с 1995 по 2022 год. Установлено, что, несмотря на меньшую промышленную историю бухты Козьмина, содержание свинца и кадмия в макрофитах здесь выше, чем в бухте Врангеля, что обусловлено длительным накоплением судов, подлежащих утилизации, в изолированной бухте Озеро Второе. По данным 2021 года, концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях бухты Козьмина варьировала в диапазоне 90–120 мкг/г, тогда как в бухте Врангеля — 120–280 мкг/г. Выявлены разнонаправленные тренды: в бухте Врангеля за период 2013–2022 гг. отмечен рост среднегодовых концентраций фенолов, АПАВ, взвешенных веществ и БПК₅. Обсуждаются факторы, определяющие различия в геохимической нагрузке на акватории.

Ключевые слова: геоэкологический анализ, бухта Козьмина, бухта Врангеля, залив Петра Великого, тяжёлые металлы, макрофиты, донные отложения, нефтяные углеводороды, портовая нагрузка.

Annotation: The article presents a comparative geoecological analysis of two bays of Peter the Great Bay (Sea of Japan) — Kozmina and Vrangelya, which are water areas with intensive port activity. Based on long-term monitoring data using brown macroalgae and analysis of bottom sediments, the pollution dynamics for the

period from 1995 to 2022 is shown. It has been established that, despite the shorter industrial history of Kozmina Bay, the content of lead and cadmium in macroalgae is higher here than in Vrangelya Bay, which is due to the long-term accumulation of vessels to be scrapped in the isolated Ozero Vtoroye Bay. According to 2021 data, the concentration of petroleum hydrocarbons in the bottom sediments of Kozmina Bay ranged from 90 to 120 $\mu\text{g/g}$, while in Vrangelya Bay it ranged from 120 to 280 $\mu\text{g/g}$. Opposite trends have been revealed: in Vrangelya Bay, over the period 2013–2022, an increase in average annual concentrations of phenols, anionic surfactants, suspended solids and BOD₅ was recorded. The factors determining the differences in geochemical load on these water areas are discussed.

Key words: geoecological analysis, Kozmina Bay, Vrangelya Bay, Peter the Great Bay, heavy metals, macroalgae, bottom sediments, petroleum hydrocarbons, port load.

Введение

Залив Петра Великого Японского моря — одна из наиболее продуктивных и биологически разнообразных акваторий Дальнего Востока России. Вместе с тем его прибрежные воды испытывают значительную антропогенную нагрузку, обусловленную деятельностью портовых комплексов, судоходством и промышленными предприятиями. Среди наиболее активно развивающихся акваторий залива — бухты Козьмина и Врангеля, расположенные в восточной части залива Находка.

Бухта Козьмина приобрела стратегическое значение с вводом в эксплуатацию в 2009 году нефтеналивного терминала «Порт Козьмино» — конечной точки магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан» (ВСТО). К 2025 году перевалка нефти через терминал достигла 46 млн тонн при проектной мощности 30 млн тонн, а ПАО «Транснефть» планирует увеличить этот показатель до 50 млн тонн. Бухта Врангеля, в свою очередь, является акваторией с длительной историей портовой деятельности, включающей перевалку угля и других грузов. Как отмечается в открытых

источниках, бухта Врангеля относится к наиболее загрязнённым акваториям залива Петра Великого.

Обе бухты входят в залив Петра Великого — регион с высоким биоразнообразием, наличием нерестилищ промысловых рыб и уязвимых прибрежных биотопов. Это обуславливает необходимость постоянного геоэкологического мониторинга и сравнительной оценки состояния их экосистем.

Физико-географическая характеристика района исследования

Бухты Козьмина и Врангеля расположены в восточной части залива Находка, который, в свою очередь, входит в акваторию залива Петра Великого Японского моря. Обе бухты характеризуются полузамкнутой конфигурацией, что ограничивает водообмен с открытой частью залива и создаёт предпосылки для аккумуляции загрязняющих веществ.

Климат района — муссонный, с преобладанием северных и северо-западных ветров в холодный период и южных — в тёплый. Гидродинамический режим характеризуется нерегулярными полусуточными приливами (0,3–0,5 м) и сложной вихревой циркуляцией. В зимний период акватории частично замерзают.

Материалы и методы

В основу работы положены результаты многолетних исследований, выполненных с использованием биоиндикационного метода. В качестве индикаторов загрязнения морских вод тяжёлыми металлами использованы бурые водоросли-макрофиты двух видов: *Sargassum miyabei* и *Laminaria (Saccharina) japonica*. Выбор этих видов обусловлен их способностью аккумулировать тяжёлые металлы из растворённой и взвешенной форм, что делает их эффективными биоиндикаторами долговременного загрязнения.

Отбор проб проводился в 1995, 2008, 2012 и 2013 годах. Определялись концентрации следующих элементов: Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni. Химический анализ выполнялся стандартизированными методами атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для оценки современного состояния акваторий привлекались данные о содержании нефтяных углеводородов в донных отложениях за 2021 год, а также данные о динамике концентраций загрязняющих веществ в бухте Врангеля за период 2013–2022 гг. Дополнительно использовались результаты исследований загрязнения донных осадков залива Петра Великого тяжёлыми металлами за 2023 год.

Результаты

Сравнительная характеристика загрязнения тяжёлыми металлами

Анализ полученных данных выявил как общие черты, так и существенные различия в характере загрязнения двух бухт.

Свинец (Pb) и кадмий (Cd). Наиболее показательные различия выявлены по содержанию свинца и кадмия. Несмотря на значительно меньшую промышленную историю бухты Козьмина, содержание Cd и Pb в ламинарии (сахарине) из этой бухты выше, чем в макрофитах из бухты Врангеля. При этом содержание Pb в водорослях из вершины бухты Козьмина превышает предельно допустимую концентрацию в 2 раза. Концентрации свинца в ламинарии из бухты Козьмина выше в 4–5 раз по сравнению с водорослями из прикамчатских вод.

Это обусловлено в первую очередь длительным накоплением судов, предназначенных к утилизации, в мелководной бухте Озеро Второе, что привело к аккумуляции в донных отложениях тяжёлых металлов, особенно малоподвижных мигрантов, таких как железо и свинец. Из-за слабого водообмена с более открытой бухтой Козьмина грунты в бухте Озеро Второе ещё долгое время будут источником загрязнения.

Железо (Fe). Содержание железа в макрофитах по сравнению с другими тяжёлыми металлами, как правило, наибольшее. Максимальными концентрациями Fe отличаются ламинарии, собранные у строящегося пирса. В саргассах железа больше у мыса Петровского и у навигационного знака в куту бухты Козьмина.

Никель (Ni) и медь (Cu). В 2012 году наибольшее содержание Ni (4 мкг/г) отмечено в саргассах, собранных у скал напротив терминала в бухте Козьмина. В 2013 году возросло содержание данного металла в водорослях в вершине бухты Козьмина и у строящегося пирса в бухте Врангеля. Поскольку никель, как и ванадий, сопровождает все нефтепродукты, его повышенное содержание связывается с поступлением загрязнителей с судов.

Цинк (Zn). Концентрация цинка в ламинарии, собранной в 2012 году, была максимальной у строящегося пирса в бухте Врангеля, что, очевидно, обусловлено навалом свежепривезённых каменных глыб. В 2013 году максимальное содержание Zn выявлено в макрофитах на рифах перед угольным пирсом.

Динамика загрязнения (1995–2013 гг.)

Сравнение данных за 1995, 2008, 2012 и 2013 годы позволило выявить разнонаправленные тренды в двух бухтах.

Бухта Козьмина. С 1995 по 2008 г. в макрофитах бухты Козьмина произошло заметное снижение концентраций элементов техногенного воздействия — Ni и Cd, но возросло содержание Mn. Однако в 2012 г. зафиксирован рост концентраций Ni и Cu; в 2012–2013 гг. увеличилось также загрязнение Mn, Zn и Fe. Это свидетельствует о возрастающей техногенной нагрузке на акваторию в связи с интенсификацией портовой деятельности.

Бухта Врангеля. Здесь также отмечено снижение Ni в период 1995–2008 гг. Однако, по сравнению с бухтой Козьмина, в бухте Врангеля наблюдается более устойчивая тенденция к снижению концентраций элементов-трассеров техногенного воздействия.

Современное состояние (данные 2021–2023 гг.)

Нефтяные углеводороды в донных отложениях (2021 г.). По данным мониторинга залива Находка, содержание нефтяных углеводородов в целом по заливу варьировало в диапазоне 20–2480 мкг/г сухого грунта, составив в среднем 311,7 мкг/г (6,2 ДК). В бухте Козьмина концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях в 2021 году составила 90–120 мкг/г (в

среднем 105 мкг/г), в бухте Врангеля — 120–280 мкг/г (в среднем 145 мкг/г). Максимальные значения традиционно отмечаются в пробах из бухты Находка (1720–3890 мкг/г), в остальных районах залива они меньше на порядок и более.

Динамика загрязнения в бухте Врангеля (2013–2022 гг.). Анализ данных за период 2013–2022 гг. показывает устойчивый рост антропогенной нагрузки в бухте Врангеля. Среднегодовые концентрации таких компонентов, как фенолы, АПАВ, взвешенные вещества и БПК₅, увеличились в 2 и более раза. В частности, среднегодовые концентрации АПАВ в бухте Врангеля выросли с 5,2 мг/дм³ в 2013 году до 10 мг/дм³ в 2022 году, что свидетельствует о прогрессирующем загрязнении акватории органическими веществами.

Тяжёлые металлы в донных осадках (2023 г.). По данным исследований 2023 года, в донных осадках мелководных бухт залива Петра Великого отмечено превышение фоновых значений для Cu, Cd и Pb на всех станциях мониторинга. Превышение уровня ПДК отмечено в ряде соседних акваторий.

Индекс загрязнения вод. По данным на 2021 год, индекс загрязнения воды бухты Врангеля составлял 1,07 (класс качества — III, «умеренно загрязненная»); бухты Козьмина — 0,92. Для сравнения, в бухте Находка индекс составил 1,38 (IV класс, «загрязненные»).

Обсуждение

Полученные результаты позволяют выявить комплекс факторов, определяющих различия в геоэкологическом состоянии бухт Козьмина и Врангеля.

Исторический фактор. Парадоксальная ситуация, при которой бухта с меньшей промышленной историей (Козьмина) демонстрирует более высокие концентрации свинца и кадмия, объясняется спецификой её использования в прошлом. Длительное накопление судов, предназначенных к утилизации, в мелководной бухте Озеро Второе привело к аккумуляции в донных отложениях тяжёлых металлов. В 2020 году в бухте Козьмино при разделке на металл затонул военный корабль, что привело к попаданию в воду

нефтепродуктов и других загрязняющих веществ. Этот инцидент свидетельствует о сохраняющейся проблеме утилизации судов в акватории.

Гидродинамический фактор. Сложная вихревая циркуляция и ограниченный водообмен в обеих бухтах создают условия для аккумуляции загрязняющих веществ. Однако в бухте Козьмина эта проблема усугубляется наличием изолированной бухты Озеро Второе, где водообмен с основной акваторией минимален. Это обуславливает более высокую степень накопления тяжёлых металлов в донных отложениях и биоте.

Фактор портовой деятельности. В бухте Козьмина основным источником загрязнения является нефтеналивной терминал и связанное с ним танкерное судоходство. В бухте Врангеля основная нагрузка связана с перевалкой угля и другими грузовыми операциями.

Динамика загрязнения. В бухте Врангеля за период 2013–2022 гг. наблюдается устойчивый рост концентраций фенолов, АПАВ, взвешенных веществ и БПК₅. Это свидетельствует о нарастающем антропогенной нагрузке, связанном с интенсификацией портовой деятельности и отсутствием достаточных природоохранных мер. Для бухты Козьмина, к сожалению, аналогичные долговременные ряды данных за последние годы отсутствуют в открытых источниках, что затрудняет оценку современной динамики загрязнения.

Интегральная оценка. По данным 2021 года, концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях бухты Козьмина (в среднем 105 мкг/г) ниже, чем в бухте Врангеля (145–275 мкг/г). Однако по содержанию тяжёлых металлов в макрофитах бухта Козьмина демонстрирует более высокие показатели, что отражает разные типы антропогенного воздействия: нефтяное загрязнение в бухте Козьмина и загрязнение, связанное с угольной пылью и строительными материалами, в бухте Врангеля.

Заключение

Проведённый сравнительный геоэкологический анализ бухт Козьмина и Врангеля позволяет сделать следующие выводы:

Несмотря на меньшую промышленную историю, бухта Козьмина характеризуется более высокими концентрациями свинца и кадмия в макрофитах по сравнению с бухтой Врангеля, что обусловлено длительным накоплением судов, подлежащих утилизации, в изолированной бухте Озеро Второе и слабой гидродинамикой акватории.

По данным 2021 года, концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях бухты Козьмина составила в среднем 105 мкг/г (90–120 мкг/г), а бухты Врангеля — 145–275 мкг/г (120–280 мкг/г).

В бухте Врангеля за период 2013–2022 гг. зафиксирован устойчивый рост среднегодовых концентраций фенолов, АПАВ, взвешенных веществ и БПК₅, что свидетельствует о прогрессирующем загрязнении акватории органическими веществами.

Индекс загрязнения воды в 2021 году составил для бухты Врангеля 1,07 (III класс, «умеренно загрязненная»), для бухты Козьмина — 0,92.

Обе бухты испытывают значительное антропогенное воздействие, однако его характер различается: в бухте Козьмина преобладает нефтяное загрязнение (никель, нефтяные углеводороды), в бухте Врангеля — загрязнение, связанное с перевалкой угля и органическими веществами.

Полученные результаты подтверждают необходимость дифференцированного подхода к геоэкологическому мониторингу бухт с учётом их гидродинамических особенностей и характера портовой деятельности, а также важность долговременных наблюдений для оценки динамики загрязнения.

Использованные источники:

1. Гамаюнова О.А., Христофорова Н.К., Афанасьев А.П. Состояние бухт Козьмина и Врангеля (залив Петра Великого, Японское море): динамика загрязнения тяжелыми металлами // Известия ТИНРО. 2015. Т. 180. С. 278–292.

2. Гамаюнова О.А., Христофорова Н.К., Дроздова О.А. Химико-экологическая и микробиологическая характеристика вод бухты Козьмина (залив Петра Великого, Японское море) // Дальневосточное отделение РАН. Владивосток, 2017.
3. Григорьева Н.И., Питрук Д.Л. Оценка состояния водной среды и донных отложений бухт Козьмина — Озеро Второе (Залив Находка, Залив Петра Великого, Японское море) // Водные ресурсы. 2010. Т. 38, № 3. С. 359–372.
4. Тихонова О.А. Химико-экологический мониторинг состояния бухт Козьмина и Врангеля (залив Петра Великого, Японское море). Дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2017.
5. Христофорова Н.К., Гамаюнова О.А. Оценка загрязнения бухт Козьмина и Врангеля залива Петра Великого тяжелыми металлами // Научная библиотека ДВФУ.
6. Рюмина А.А., Мазур М.А. Интегральная оценка экологического состояния донных осадков мелководных бухт залива Петра Великого // Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, 2024.
7. Тяжелые металлы и органический углерод в донных осадках мелководных бухт залива Петра Великого // Геохимия. 2023. Т. 68, № 7. С. 709–719.
8. Состояние вод и донных отложений залива Находка в 2021 году // Oceanography.institute.
9. Сравнение значений среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в бухтах Врангеля и Находка за 2013–2022 гг. // Дальрыбвтуз.
10. Оценка экологических последствий деятельности морского порта для прибрежной территории // Ученые заметки ТОГУ.
11. Чернова Е.Н. и др. Анализ данных с использованием КГА макрофитов // Океанология. 2020. Т. 60, № 1. С. 49–56.
12. Органическое вещество и загрязнение нефтепродуктами донных отложений залива Петра Великого (Японское море) // ИТиГ ДВО РАН.