



Научная статья
УДК 550.43; 551.464
DOI: 10.35735/26870509_2025_22_6
EDN: SHYNYO

Тихоокеанская география. 2025. № 2. С. 66–76
Pacific Geography. 2025;(2):66-76

Комплексный гидрохимический мониторинг поверхностных вод бухты Парис (залив Петра Великого, Японское море) в 2021–2022 гг.

София Евгеньевна ОСТАНИНА^{1,2}
аспирант, старший специалист
sofika171833@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-1501-5715>

Кристина Руслановна МАСАЛЕВА³
ассистент
masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Василий Юрьевич ЦЫГАНКОВ¹
доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
tsig_90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

² «Приморский океанариум» – филиал ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток, Россия

³ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Аннотация. Бухта Парис является одной из наименее изученных среди всех акваторий о-ва Русский и залива Петра Великого. Начиная с 2009 г., с началом активного освоения о-ва Русский, растет и антропогенная нагрузка на его прибрежную зону. В работе рассмотрены пространственное распределение и сезонная динамика основных гидрологических и гидрохимических показателей в поверхностных водах бухты Парис за период с ноября 2021 по октябрь 2022 г. Результаты показывают комплекс взаимосвязей между биологическими процессами и условиями окружающей среды, а также указывают на различные источники поступления органического вещества в зависимости от сезона, года и географического положения в акватории. Уровни растворенного кислорода, биологическое потребление кислорода (БПК₅) и концентрации биогенных веществ, нефтепродуктов и фенолов отражают увеличение антропогенного воздействия на исследуемую бухту, существенный вклад в которое вносит и морской транспорт. Наблюдалась положительная корреляция между высоким содержанием растворенного кислорода и величиной БПК₅, указывающая на разнообразие источников органического вещества. Концентрации таких веществ, как NO²⁻, NO³⁻, NH⁴⁺ и PO₄³⁻, не превышали предельно допустимых концентраций (ПДК), что является положительным признаком для экосистемы. Актуальность изучения сезонной динамики и пространственного распределения этих параметров обусловлена наличием в этом заливе морских млекопитающих. С 2015 г. в бухте функционирует база по исследованию морских млекопитающих, где круглогодично содержатся открытые садки с белухами и дальневосточной нерпой. Исследование показывает наличие антропогенного пресса, но в целом ситуация остается благоприятной для возможного содержания морских млекопитающих в бухте Парис.

Ключевые слова: бухта Парис, залив Петра Великого, Японское море, гидрохимические показатели, жидкостная хроматография

Для цитирования: Останина С.Е., Масалева К.Р., Цыганков В.Ю. Комплексный гидрохимический мониторинг поверхностных вод бухты Парис (залив Петра Великого, Японское море) в 2021–2022 гг. // Тихоокеанская география. 2025. № 2. С. 66–76. https://doi.org/10.35735/26870509_2025_22_6.

Original article

Comprehensive hydrochemical monitoring of surface waters of the Paris Bight (Peter the Great Bay, Sea of Japan) in 2021–2022

Sofia E. OSTANINA^{1,2}.

Postgraduate student, senior specialist

sofiika171833@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-1501-5715>

Kristina R. MASALEVA³

Assistant Professor

masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Vasiliy Yu. TSYGANKOV¹

Doctor of Biological Sciences, professor, Leading research associate

tsig_90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹ Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

² Primorsky Aquarium – Branch of the NSCMB FEB RAS, Vladivostok, Russia

³ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. Paris Bight is one of the least studied among all the bights of Peter the Great Bay, which makes it of particular value for scientific research. Since 2009, with the beginning of active development of Russky Island, the area has been subject to certain impacts that have affected the marine ecology. The aim of this study was to conduct a comprehensive chemical-ecological analysis of Paris Bight between November 2021 and October 2022. The results highlight the complex relationships between biological processes and environmental conditions, and reveal differences in organic matter sources depending on season and geographic location in the water area. Recent hydrochemical observations have shown that dissolved oxygen levels, biological oxygen demand, and concentrations of nutrients, petroleum products, and phenols indicate increasing anthropogenic impacts on the Bight. The relationships between dissolved oxygen and biochemical oxygen demand (BOD₅) in Paris Bight indicate their interrelationship as well as the diversity of metabolite sources. Concentrations of nutrients such as NO²⁻, NO³⁻, NH⁴⁺ and PO₄³⁻ did not exceed the maximum permissible concentrations, which is a positive sign for the ecosystem. The relevance of the study of seasonal dynamics and spatial distribution of these parameters is due to the presence of marine mammals in this bight. Since 2015, a marine mammal research base has been operating in the inner part of the bay, where open cages are maintained, with 4 individuals of *Delphinapterus leucas* and 6 individuals of *Phoca largha* year-round. In addition to the importance of not exceeding the maximum permissible concentrations of the investigated parameters for marine mammals, it is also necessary to assess the impact of the life activities of these large animals on the water area. In addition, marine transport also makes a significant contribution, which further emphasizes the need to monitor the state of the ecosystem. As a result, of the studies conducted, the increasing negative impact on Paris Bight was confirmed, however, in general, a favorable ecological situation is preserved, which allows keeping marine mammals in this bay.

Keywords: Paris Bight, Peter the Great Bay, Sea of Japan, hydrological indicators, dissolved oxygen, BOD₅, nutrients, phenols, petroleum products

For citation: Ostanina S.E., Masaleva K.R., Tsygankov V. Yu. Comprehensive hydrochemical monitoring of surface waters of the Paris Bight (Peter the Great Bay, Sea of Japan) in 2021–2022. Pacific Geography. 2025;(2):66-76. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2025_22_6.

Введение

Человеческая деятельность может оказывать определенное влияние на прибрежные морские акватории. Часть акваторий зал. Петра Великого в Японском море подвергается значительному воздействию хозяйственной деятельности, поскольку на берегах залива расположены населенные пункты, в т.ч. такие крупные, как г. Владивосток.

Гидрохимические исследования вод зал. Петра Великого проводятся с 1970–1980 гг. [1, 2]. Их результаты позволяют детально охарактеризовать уровень загрязненности и общее экологическое состояние акватории [3–5]. В рамках этих исследований изучаются ключевые гидрохимические показатели, такие как растворенный кислород, БПК₅, биогенные элементы, позволяющие достаточно точно отслеживать сезонные колебания уровня органического загрязнения [6–10].

Активное освоение территории о-ва Русский, расположенного в зал. Петра Великого и являющегося частью Владивостокского городского округа, вносит существенный вклад в увеличение антропогенной нагрузки на прибрежные акватории острова. Согласно последним данным, бухта Парис, которая находится между мысом Балка и мысом Житкова в проливе Босфор Восточный, испытывает существенную антропогенную нагрузку из-за сбросов бытовых и промышленных стоков, а также интенсивного движения морского транспорта [11, 12]. Во внутренней части бухты расположена база исследования морских млекопитающих (БИММ) Научно-образовательного комплекса «Приморского океанариума» – филиала ННЦМБ ДВО РАН. На расстоянии около 30 м от берега находятся открытые вольеры, в которых круглогодично обитают 4 белухи *Delphinapterus leucas* и 6 тюленей *Phoca largha* [13]. Это обосновывает актуальность проведения ежегодного мониторинга степени загрязненности бухты Парис.

Целью работы явилось проведение комплексного гидрохимического мониторинга поверхностных вод бухты Парис в период с ноября 2021 по октябрь 2022 г. Основное внимание уделялось прибрежным зонам бухты, на которые, предположительно, антропогенная нагрузка оказывает наибольшее влияние [14].

Материалы и методы

Отбор проб воды проводился с ноября 2021 по октябрь 2022 гг. на 8 станциях с интервалом 2 месяца со льда зимой, с катера и маломерного плавсредства в остальные сезоны. Работы выполнялись в северо-восточной части о-ва Русский в бухте Парис, которая является местом постоянного пребывания морских млекопитающих. Карта-схема района работ и расположения станций отбора проб представлены на рис. 1. Отбор проб и пробоподготовка проводились согласно методикам [15–17].

Все анализы проб морской воды проводились в гидрохимической лаборатории «Приморского океанариума». Работа частично выполнена на базе ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (г. Владивосток).

Гидрохимические исследования проводились с использованием универсального многопараметрового портативного измерительного прибора WTW Multi 3320 SET 1 (Германия). Температура и соленость определялись с помощью кондуктометрической ячейки TetraCon® 325, оборудованной графитовыми электродами. Калибровка ячейки проводилась непосредственно перед началом измерений методом автоматического определения константы ячейки, с использованием контрольного стандартного раствора KCl с концентрацией 0.01 моль/л. Измерение pH осуществлялось с применением датчика SenTix® 41 (WTW, Германия). Калибровка проводилась по трем точкам, с использованием стандартных буферных растворов с pH 4.00, 7.00 и 10.00. Концентрация растворенного кислорода определялась с использованием прибора MT FiveGo DO (Mettler Toledo, Швейцария). Калибровка гальванического датчика растворенного кислорода LE611 выполнялась с помощью

дегазированной воды, при этом устанавливался нулевой уровень. Все измерения проводились в соответствии со стандартными методиками в момент пробоотбора.

Определение массовой концентрации аммония проводилось фотометрическим методом с использованием реактива Несслера [18]. Оптическая плотность образца измерялась на однолучевом спектрофотометре фирмы Unicо (США) при длине волны 425 нм, соответствующей максимальной абсорбции окрашенного комплекса, образованного реакцией аммония с реактивом Несслера. Градуировочный график строился по принципу зависимости оптической плотности от концентрации анализируемого вещества.

Определение концентраций нитритов и нитратов в морской воде проводилось методом Грисса на ВЭЖХ LC-20 Shimadzu Prominence в ионном исполнении. Разделение анионов в пробах неразбавленной морской воды проводилось на обращенно-фазовой колонке TSKgel ODS-120A (150 × 4.6 мм, зернение 5 мкм TOSOH, Япония), модифицированной додециламина гидрохлоридом (DDA) с подвижной фазой, содержащей 0.3 mM NaCl и 0.05 mM DDA в 0.5 mM фосфатном буфере. Хроматограмма регистрировалась при 210–230 нм.

Сумма PO_4^{3-} измерялась по модифицированному методу Морфи – Райли с реакцией образования фосфорномолибденового комплекса с последующим его восстановлением до соединения, окрашенного в голубой цвет. Измерение проводилось на однолучевом спектрофотометре (Unico, США) при длине волны 880 нм [19]. Количественное содержание PO_4^{3-} в пробах определялось по созданным посредством программного обеспечения UV Probe 2.61 градуировкам в диапазоне концентраций от 0.05 до 3.00 мг/л.

Определение БПК₅ проводилось с использованием системы OxiTop Control (WTW, Германия). Измерение осуществлялось автоматически пьезорезистивными электронными датчиками давления и термостата при стабильной температуре 20° С с сохранением ежедневных результатов в течение 5 дней. Метод основан на измерении разницы давлений в закрытой системе, вызванной потреблением кислорода микроорганизмами при окислении органических веществ в воде.

Определение массовой концентрации фенолов проводилось на основании их извлечения из воды бутилацетатом, рекстракции в водный раствор гидроксида натрия и из-

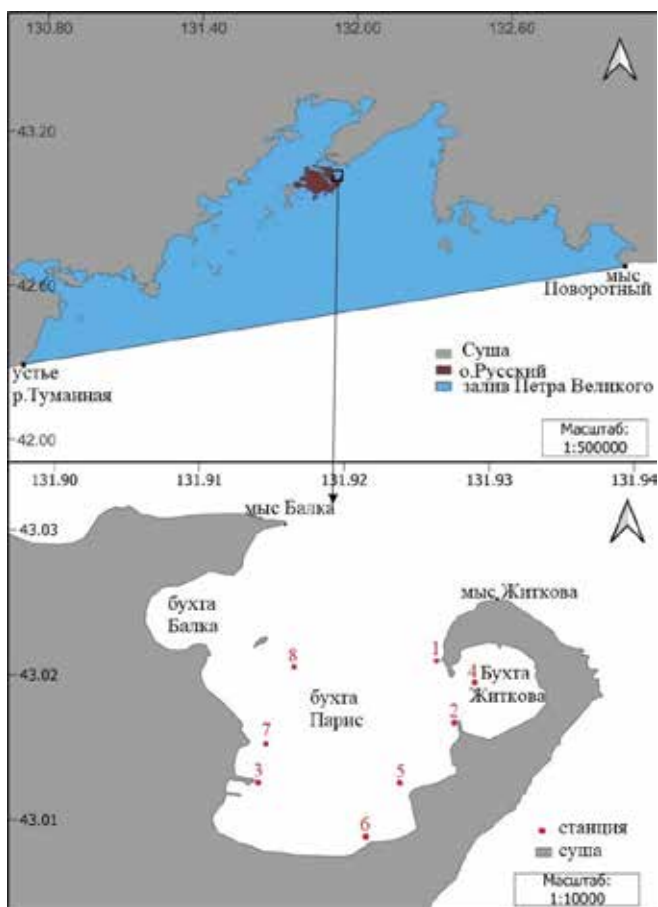


Рис. 1. Карта-схема района работ (карта выполнена автором в программе QGIS)

Fig. 1. Map-scheme of the work area (map made by the author in QGIS program)

мерении содержания по интенсивности флуоресценции фенолов после подкисления ре-экстракта [20]. Интенсивность флуоресценции измерялась на флуориметре «Панорама» при длине волны возбуждения 270 нм и длине волны регистрации 300 нм. Концентрация фенолов определялась по калибровочному графику, построенному на основе стандартных растворов.

Определение массовой концентрации нефтепродуктов осуществлялось на основе экстракции гексаном с последующим измерением интенсивности его флуоресценции, возникающей в результате оптического возбуждения [21]. Измерение проводилось на флуориметре «Панорама» при длине волны возбуждения 270 нм и длине волны регистрации 300 нм. Интенсивность флуоресценции пропорциональна концентрации нефтепродуктов в пробе. Концентрация рассчитывалась по калибровочному графику, построенному на основе стандартных растворов.

Весь объем полученных данных обрабатывался с использованием программы MS Excel.

1. Результаты и их обсуждение

Диапазоны изменений гидрологических и гидрохимических характеристик морской воды в бухте Парис, полученные в результате исследований, проведенных в 2021–2022 гг., представлены в таблице 1.

Таблица 1

Диапазоны изменения гидролого-гидрохимических характеристик в морской воде бухты Парис в 2021–2022 г.

Table 1. Ranges of variation of hydrologic-hydrochemical characteristics in seawater of the Paris Bight in 2021-2022

Параметр среды	Сезон				
	2021	2022			
	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
pH, ед	7.93–8.12	8.05–8.13	8.06–8.16	8.06–8.1	7.91–8.02
T, °C	8.7–10.0	–0.5	4.4–4.8	19.4–20.1	11.8–12.1
S, ‰	32.8–33.3	33.8–34.3	32.5–33.03	30.6–31.3	32.37–32.5
O ₂ , мг/л	6.2–9.62	7.66–11.08	6.96–8.68	4.49–7.42	6.1–6.77
БПК ₅ , мг/л	1.0–3.0	0	1.17–2.33	2.67–4	0–1.0
NO ²⁻ , мг/л	<0.001	<0.001–0.001	<0.001	<0.001	<0.001
NO ³⁻ , мг/л	<0.01	<0.01–0.127	0.019–0.036	<0.01	<0.01
NH ⁴⁺ , мг/л	0.02–0.05	0.01–0.03	0.02–0.03	0.03–0.06	0.01–0.03
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0.01–0.04	0.01–0.07	<0.01–0.01	0.01–0.01	0.03–0.12
Фенолы, мг/л	–	<0.0005	<0.0005	0.0005–0.002	<0.0005–0.001
НП, мг/л	–	<0.005–0.014	<0.005–0.005	0.005–0.021	0.006–0.019

* Предельно допустимая концентрация.

pH. Этот показатель является ключевым для оценки кислотно-щелочного баланса водных экосистем. Осенью 2021 г. на станциях 1, 5, 7 и 8, а также в 2022 г. значение pH было низким из-за поверхностного стока с территории бассейна бухты. Минимальным его значение было осенью 2022 г. на станции 1 (рис. 2). Весной активный фотосинтез водорослей повышал pH, значение которого достигало максимума в открытой части бухты. Летом значения оставались стабильно высокими благодаря теплой погоде. Зимой, с понижением температуры, величина pH снижалась из-за уменьшения фотосинтеза, на что указывает изменение значения в прибрежной южной части. Таким образом, уровень pH демонстрирует чувствительность экосистемы к сезонным изменениям и увеличению антропогенного воздействия.

Температура. Сезонная динамика температуры воды в бухте Парис соответствовала изменениям температуры воздуха и характеризовалась минимумом средних значений зи-

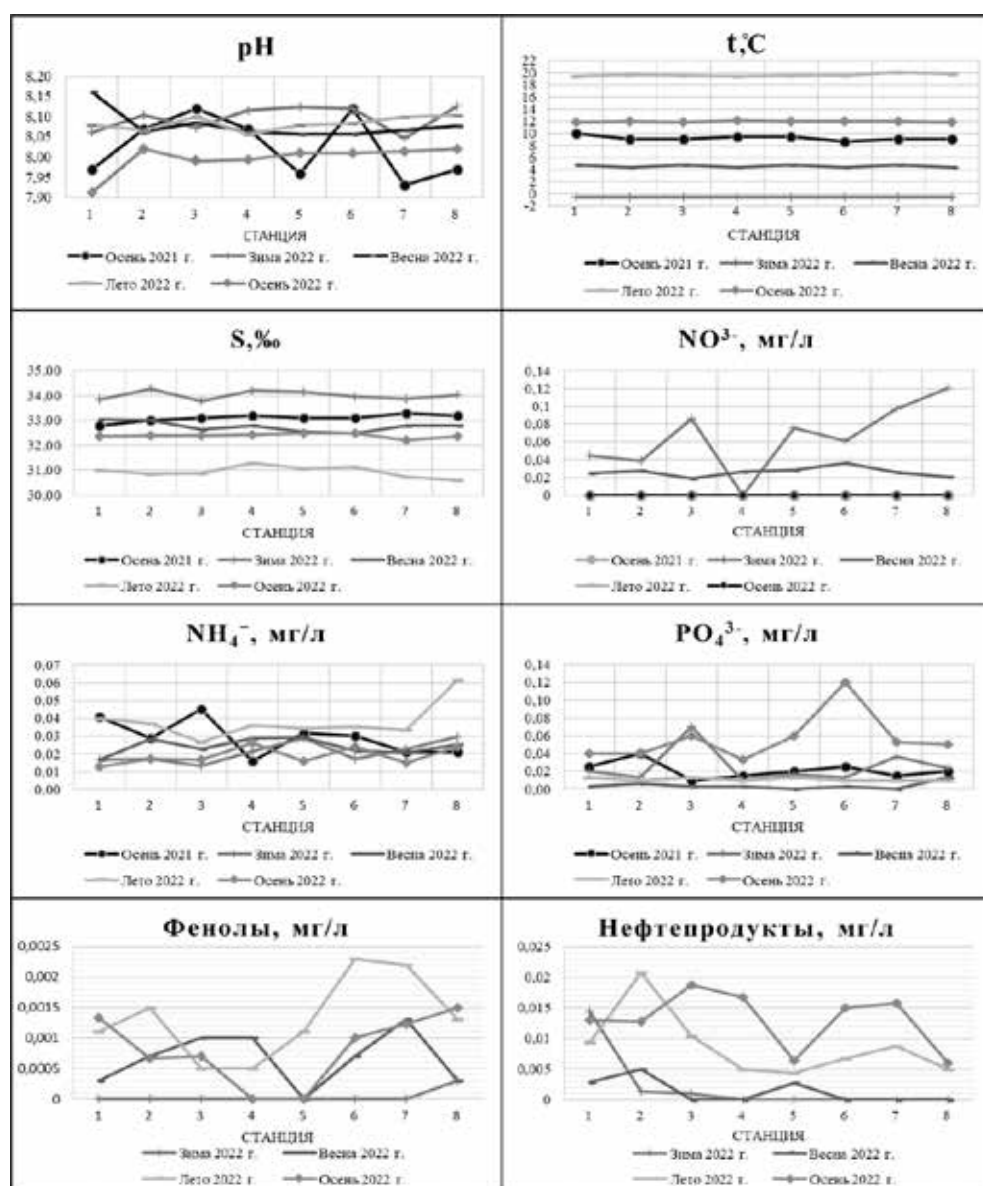


Рис. 2. Сезонная изменчивость значений pH, температуры, солености, органических показателей и биогенных элементов в морской воде бухты Парис в 2021–2022 гг.

Fig. 2. Seasonal variability of pH, temperature, salinity, organic indicators and nutrients in seawater of the Paris Bight in 2021–2022.

мой и повышением летом (рис. 2). Зимой температура практически не изменялась из-за ледяного покрова. Весной самые холодные воды отмечались у восточного берега бухты, летом максимальные значения фиксировались в мелководной части у западного берега, в то время как минимальные наблюдались у мыса Житкова из-за активного водообмена с проливом Босфор Восточный. Осенью происходило охлаждение и выравнивание температур. Теплые воды наблюдались у восточного берега, в то время как в открытой части бухты происходило охлаждение. Примечательно, что осенью 2022 г. средняя температура воды была на 2 °C выше, чем в 2021 г.

Соленость. Значения солености, как и значения температуры, значительно изменялись в зависимости от сезона (см. рис. 2). Минимальные значения солености зафиксированы

летом (30.6 ‰) из-за распресняющего влияния стока с территории суши в сезон тайфунов. Осенью 2022 г. значение солёности оказалась ниже на 0.5 ‰ по сравнению с аналогичным периодом 2021 г. Максимальные значения наблюдались зимой, что связано с интенсивным льдообразованием. Минимальные значения солёности во все сезоны фиксировались в прибрежной зоне, вероятно, из-за стока с суши. Зимой солёность воды у мыса Житкова имела пониженные значения по сравнению с закрытой частью бухты, что объясняется замерзанием поверхности бухты и активным судоходством в открытой акватории.

Нитраты и нитриты. Концентрации нитритов вод бухты Парис находились ниже предела обнаружения (см. таблицу). Сезонную их динамику характеризует зимний максимум, что согласуется с данными исследования, проведенного в период с 2018 по 2020 гг. [21]. Это увеличение, вероятно, связано с деструкцией органических веществ, накопленных в течение вегетационного периода. К началу весны среднее содержание нитратов снизилось из-за активного потребления их микробиотой, в остальные сезоны оставалось ниже предела обнаружения. Распределение средних концентраций по акватории показало, что зимой максимальные значения фиксировались в северо-западной части бухты, в непосредственной близости от базы исследования морских млекопитающих (станция 3). Продукты жизнедеятельности этих млекопитающих способствовали поступлению органических веществ в воды бухты, особенно в условиях отсутствия активного водообмена из-за льдообразования. С таянием льдов и активизацией водообмена весной повышенные концентрации нитратов отмечались в более закрытой части бухты в районе станций 5 и 6, где происходило осаждение биогенных веществ за счет течений.

Аммоний. Сезонная динамика содержания аммония характеризовалась максимумом в летний период (см. рис. 2), что при отсутствии нитритов и нитратов может указывать на недавнее поступление органических веществ. Примечательно то, что осенью 2021 г. наблюдалось повышение средней концентрации аммония в сравнении с аналогичным периодом в 2022 г. на фоне более низкой, чем в 2022 г., температуры. Это может свидетельствовать об активизации процессов деструкции органических веществ в условиях повышения температуры воды. Во все сезоны максимальные значения наблюдались в районе станции 3, что объясняется процессами жизнедеятельности морских млекопитающих. В весеннее время максимум отмечался в восточной части бухты Парис (станции 2, 4, 5). Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) не обнаружено ни в один из сезонов.

Фосфаты. Среднее содержание фосфатов в водах бухты Парис на протяжении всех сезонов оставалось на относительно низком уровне. Максимальная концентрация была зафиксирована осенью 2022 г. Важно отметить, что в аналогичный период 2021 г. концентрации фосфатов были в 3 раза ниже, что может свидетельствовать о значительном поступлении биогенных элементов с поверхностным стоком в осенние месяцы 2022 г. Минимальные значения наблюдались в весенний период (см. рис. 2). Следует подчеркнуть, что превышение ПДК не было зарегистрировано ни в один из сезонов. Анализ распределения фосфатов выявил повышенные концентрации в прибрежной зоне. Максимумы наблюдались в закрытых участках бухты в осенне-зимний период, что связано с адвекцией из открытой части зал. Петра Великого [22]. Наибольшие значения весной фиксировались в районе базы исследования морских млекопитающих. В летние месяцы отмечено выравнивание концентраций по всей акватории, что, вероятно, связано с воздействием тайфунов и активным перемешиванием водных масс.

Фенолы. Средние концентрации фенолов в воде бухты Парис варьировались от аналитического нуля в зимний период до максимальных значений в летние месяцы (см. рис. 2). Эти изменения, вероятно, связаны с обменными процессами в водных организмах и растениях и с биохимическим распадом органических веществ в толще воды [23]. Зимой наблюдалось минимальное содержание фенолов на 5 станциях, тогда как весной их уровень увеличился на станции 6, демонстрируя рост по сравнению с зимними показателями. В летние месяцы наибольшие значения концентрации фенолов были на станции 7, в то время как осенью 2022 г. их уровень варьировался, достигая пика на станции 3. При анализе

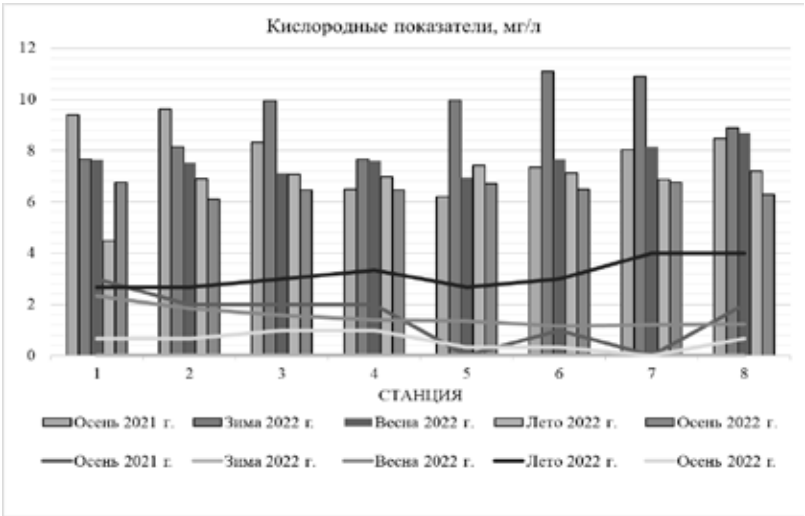
распределения фенолов по акватории было отмечено, что в летний период в результате увеличения поверхностного стока с суши из-за действия тайфуна фиксировался абсолютный максимум в кутовой зоне бухты. С понижением температуры в осенне-зимний период максимальные значения, хотя и не превышающие ПДК (1 мг/л), были зарегистрированы в открытой части бухты Парис.

Нефтепродукты. Сезонная динамика нефтепродуктов характеризовалась выраженным максимумом в осенний период. В течение зимних и весенних месяцев наблюдалось постепенное снижение средних значений (см. рис. 2). При этом средние концентрации нефтепродуктов не превышали ПДК, что свидетельствует о сравнительно безопасных условиях для экосистемы данной акватории. Анализ пространственного распределения нефтепродуктов показал, что их распространение в водах бухты изменялось по направлению от открытой северной ее части вдоль восточного побережья и далее на юго-запад. В зимний период содержание нефтепродуктов оставалось стабильным и низким на всех станциях. Весной отмечен незначительный рост на станциях 2 и 5. В летние месяцы содержание нефтепродуктов значительно увеличивалось, особенно на станциях 2 и 7, где фиксировались максимальные значения. Осенью концентрации еще более возрастали – в закрытых зонах бухты максимумы наблюдались на станциях 3 и 7.

Кислородные показатели. Зависимости между показателями растворенного кислорода и биохимического потребления кислорода (БПК₅) в бухте Парис указывают на их взаимосвязь и разнообразие источников метаболитов (рис. 3). В течение всех сезонов, кроме весны, наблюдалась положительная корреляция между высоким содержанием растворенного кислорода и величиной БПК₅. Например, зимой 2022 г. на станциях 1 и 2 фиксировались высокие уровни кислорода, что сопровождалось увеличением БПК₅. Аналогичная тенденция наблюдалась и летом, когда значения кислорода на станциях 5 и 6 достигали 8–9 мг/л, а БПК₅ изменялся в пределах 2–3 мг/л, что свидетельствует об активных процессах разложения органических веществ. Весной ситуация изменилась: на станциях в западной части бухты, а также на станции 6 основными источниками кислорода, вероятно, были водоросли, активно продуцирующие кислород. Здесь уровень кислорода достигал 9 мг/л, но значение БПК₅ осталось ниже, поскольку в этот период легкоокисляемая органика поступает в основном от растительных организмов. В то же время на станциях 3 и 4 источником легкоокисляемой органики являются животные, что влияет на уровень БПК₅, значение которого составляло 4 мг/л, несмотря на более низкие уровни растворенного кислорода (около 5–6 мг/л). Анализ кислородных показателей в бухте Парис за 2021–2022 гг. показал, что его средние концентрации соответствуют данным, представленным в литературе за 1981–1985 и 2010–2013 гг. [24].

Рис. 3. Сезонная изменчивость кислородных показателей морской воды бухты Парис в 2021–2022 гг.

Fig. 3. Seasonal variability of seawater oxygen indices of the Paris Bight in 2021–2022



Таким образом, зависимость между растворенным кислородом и БПК₅ в бухте Парис подчеркивает сложные взаимодействия между биологическими процессами и условиями окружающей среды, а также различия в источниках органических веществ в зависимости от сезона и местоположения в акватории.

Заключение и выводы

Проведенный гидрохимический мониторинг поверхностных вод бухты Парис за период с ноября 2021 по октябрь 2022 г. подтвердил наличие влияния антропогенной деятельности на прибрежные зоны, что подтверждается исследованиями прошлых лет. Рассматривая тенденцию изменения определяемых параметров, можно отметить значительные колебания, которые, вероятно, связаны с природными факторами. Это подчеркивает важность проведения регулярной оценки состояния прибрежных акваторий. Полученные данные об уровне загрязнения вод бухты представляют ценную информацию для оценки состояния окружающей среды и могут стать основой для разработки эффективных стратегий охраны прибрежных территорий для минимизации негативного воздействия человеческой деятельности и обеспечения устойчивого использования природных ресурсов. Очевидна необходимость продолжения исследований и комплексного подхода к поддержанию оптимального состояния бухты Парис, что позволит достичь баланса между экономическим развитием и защитой окружающей среды.

Благодарности. Выражаем благодарность сотрудникам «Приморского океанариума» Игуменовой О.В. и Онищенко Е.Г. за содействие в обработке материала, а также ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток). Работа выполнена в рамках госзадания № 125021302113-3.

Acknowledgments. Thanks are expressed to the employees of the Primorsky Aquarium – Branch of the NSCMB FEB RAS, Igumenova O.V. and Onishchenko E.G. for their assistance in processing the material, as well as to the Central Research and Development Center Primorsky Aquarium – Branch of the NSCMB FEB RAS (Vladivostok). The work was carried out within the framework of a state assignment No. 125021302113-3.

Литература

1. Пахомова А.С., Ревина С.К. Обзор состояния загрязненности дальневосточных морей СССР в 1970 г. / под ред. А.И. Симонова. М.: ГОИН, 1971. 87 с.
2. Подорванова Н.Ф., Чернов Б.Б. Химический анализ природных вод. Владивосток: ДВО РАН, 1997. 122 с.
3. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 199 с.
4. Еремина Т.Р., Максимов А.А., Волощук Е.В. Влияние изменчивости климата на кислородный режим глубинных вод восточной части Финского залива // Океанология. 2012. Т. 52, № 6. С. 836–845.
5. Христофорова Н.К., Галышева Ю.А., Коженкова С.И. Оценка антропогенного воздействия на залив Восток (Японского моря) по флористическим показателям макробентоса // Докл. РАН. 2005. Т. 405, № 6. С. 819–821.
6. Babbitt A.R., Bianchi D., Jayakumar A., Ward B.B. Nitrogen cycling. Rapid nitrous oxide cycling in the suboxic ocean // Science. 2015. Vol. 348, N. 6239. P. 1127–1129.
7. Helm R.C., Costa D.P., DeBruyn T.D., O'Shea T.J., Wells R.S., Williams T.M. Overview of Effects of Oil Spills on Marine Mammals // Handbook of Oil Spill Science and Technology, M. Fingas (Ed.). USA: John Wiley & Sons, 2014. P. 455–475.
8. Richmond R., Buesseler K. The future of ocean health // Science. 2023. Vol. 381, N. 6661. P. 927.
9. Siedlecki S.A., Banas N.S., Davis K.A., Giddings S., Hickey B.M., MacCready P., Connolly T., Geier S. Seasonal and interannual oxygen variability on the Washington and Oregon continental shelves // J. Geophys. Res. Oceans. 2015. Vol. 120. P. 608–633.
10. Dressing S., Meals D., Harcum J., Spooner J., Stribling J., Richards R.P., Millard C.J., Lanberg S., O'Donnell J. Monitoring and evaluating nonpoint source watershed projects. Report of Developed under Contract to U.S. Environmental Protection Agency. 2016. 522 p.
11. Дулепов В.И., Кочеткова О.А. Эколого-гидрохимические исследования акваторий залива Петра Великого // Подводные исследования и робототехника. 2012. № 2 (14). С. 69–73.

12. Григорьева Н.И. Исследование содержания растворенного в воде кислорода в проливе Босфор Восточный (залив Петра Великого, Японское море) // *Океанология*. 2017. Т. 57, № 5. С. 731–737.
13. Пономарева А.А. Структура и динамика фитопланктона в бухте Парис: залив Петра Великого, Японское море: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2017. 23 с.
14. Калинин В.В., Мишуков В.Ф., Елисафенко Т.Н., Аксентов К.И. Комплексные химико-экологические исследования прибрежной зоны северо-восточной части острова Русский // *Вестн. ДВО РАН*. 2010. № 5. С. 96–106.
15. ГОСТ 17.1.3.08-82. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества морских вод. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200008295?marker=7D20K3> (дата обращения: 18.12.2025).
16. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200024103?marker=7D20K3> (дата обращения: 18.12.2025).
17. ГОСТ 31861–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200097520> (дата обращения: 18.12.2025).
18. ПНД Ф 14.1:2.4.262-10. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Нesslera. М.: ФБУ «ФЦАО», 2010. 24 с.
19. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 118 с.
20. Измерение массовой концентрации химических веществ люминесцентными методами в объектах окружающей среды: Сборник методических указаний. М.: Федеральный центр гос. санэпиднадзора Минздрава России, 2003. 272 с.
21. Леоненко И.И., Антонович В.П., Андрианов А.М., Безлуцкая И.В., Цымбалюк К.К. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) // *Методы и объекты хим. анализа*. 2010. Т. 5, № 2. С. 58–72.
22. Tishchenko P.Ya., Talley L.D., Lobanov V.B. et al. Seasonal variability of the hydrochemical conditions in the Sea of Japan // *Oceanology*. 2003. Vol. 43, N. 5. P. 643–655.
23. Шевченко О.Г., Тевс К.О., Шулькин В.М., Шульгина М.А. Мониторинг фитопланктона и гидрохимических параметров прибрежных вод острова Русский (залив Петра Великого, Японское море) // *Биология моря*. 2022. Т. 48, № 1. С. 44–52.
24. Григорьева Н.И. Характеристика вод пролива Босфор Восточный (залив Петра Великого, Японское море) по кислородным показателям // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45, № 1. С. 62–67.

References

1. Pakhomov, A.S.; Revin, S.K. Review of the State of Pollution of the Far Eastern Seas of the USSR in 1970. A.I. Simonov (ed.). GOIN: Moscow, Russia, 1971; 87 p. (In Russian)
2. Podorvanova, N.F.; Chernov, B.B. Chemical analysis of natural waters. FEB RAS: Vladivostok, Russia, 1997; 122 p. (In Russian)
3. Gagarina, O.V. Assessment and standardization of natural water quality: criteria, methods, existing problems. “Udmurt University” Publishing: Izhevsk, Russia, 2012; 199 p. (In Russian)
4. Eremina, T.R.; Voloshchuk E.V.; Maximov A.A. The influence of the climate’s variability on the deep-water oxygen conditions in the east of the Gulf of Finland. *Oceanology*. 2012, 52(6), 836–845. (In Russian)
5. Khristoforova, N.K.; Galysheva, Yu.A.; Kozhenkova, S.I. Assessment of anthropogenic impact on Vostok Bay (Sea of Japan) based on floristic indicators of macrobenthos. *Doklady RAN*. 2005, 405, 1423–1425. (In Russian)
6. Babbitt, A.R.; Bianchi, D.; Jayakumar, A.; Ward, B.B. Nitrogen cycling. Rapid nitrous oxide cycling in the sub-oxic ocean. *Science*. 2015, 348(6239), 1127–1129.
7. Helm, R.C.; Costa, D.P.; DeBruyn, T.D.; O’Shea, T.J.; Wells, R.S.; Williams, T.M. Overview of Effects of Oil Spills on Marine Mammals. In *Handbook of Oil Spill Science and Technology*. John Wiley & Sons: USA, 2014, 455–475.
8. Richmond, R.; Buesseler, K. The future of ocean health. *Science*. 2023, 381(6661), 927.
9. Siedlecki, S.A.; Banas, N.S.; Davis, K.A.; Giddings, S.; Hickey, B.M.; MacCreedy, P.; Connolly, T.; Geier S. Seasonal and interannual oxygen variability on the Washington and Oregon continental shelves. *J. Geophys. Res. Oceans*. 2015, 120, 608–633.
10. Dressing, S.; Meals, D.; Harcum, J.; Spooner, J.; Stribling, J.; Richards, R.P.; Millard, C.J.; Lanberg, S.; Odonnell, J. Monitoring and evaluating nonpoint source watershed projects. Report of Developed under Contract to U.S. Environmental Protection Agency, 2016; 522 p.
11. Dulepov, V.I.; Kochetkova, O.A. Ecological and hydrochemical studies of the Peter the Great Bay water areas. *Underwater research and robotics*. 2012, 2(14), 69–73. (In Russian)
12. Grigorjeva, N.I. Investigation of dissolved oxygen content in water in the Eastern Bosphorus Strait (Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Oceanology*. 2017, 57(5), 731–737. (In Russian)
13. Ponomareva, A.A. Structure and dynamics of phytoplankton in Paris Bight: Peter the Great Bay, Sea of Japan: abstract of the dissertation ... candidate of biological sciences: 03.02.10. Vladivostok, 2017; 23 p. (In Russian)

14. Kalinchuk, V.V.; Mishukov, V.F.; Elisafenko, T.N.; Aksentov, K.I. Complex chemical and ecological studies of the coastal zone of the north-eastern part of Russky Island. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010, 5, 96–106. (In Russian)
15. GOST 17.1.3.08-82 Nature Protection (SSOP). Hydrosphere. Rules of sea water quality control. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/1200008295?marker=7D20K3> (accessed on 18.12.2021). (In Russian)
16. GOST 17.1.5.04-81 Nature protection. Hydrosphere. Instruments and devices for sampling, primary processing and storage of natural water samples. General technical conditions. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/1200024103?marker=7D20K3> (accessed on 18.12.2021). (In Russian)
17. GOST 31861-2012: Interstate standard. Water. General requirements for sampling. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/1200097520> (accessed on 18.12.2021). (In Russian)
18. Federal Environmental Regulation 14.1:2:4.262-10. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of ammonium ions in drinking, surface (including sea) and waste waters by the photometric method with Nessler reagent. FBU “FCAO”: Moscow, Russia, 2010; 24 p. (In Russian)
19. Methods of hydrochemical studies of the main biogenic elements. RFRIFO: Moscow, Russia, 1988; 118 p. (In Russian)
20. Measurement of mass concentration of chemical substances by luminescent methods in environmental objects: Collection of methodical instructions. Federal Center of State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia: Moscow, Russia, 2003; 272 p. (In Russian)
21. Leonenko, I.I.; Antonovich, V.P.; Andrianov, A.M.; Bezlutskaya, I.V.; Tsymbalyuk, K.K. Determination of petroleum products in water and other environmental objects. (the review). *Methods and objects of chemical analysis*. 2010, 5, 58–72. (In Russian)
22. Tishchenko, P.Ya.; Talley, L.D.; Lobanov, V.B. et al. Seasonal variability of the hydrochemical conditions in the Sea of Japan. *Oceanology*. 2003, 43(5), 643–655.
23. Shevchenko, O.G.; Tevs, K.O.; Shulkin, V.M.; Shulgina, M.A. Monitoring of phytoplankton and hydrochemical parameters of coastal waters of Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Russian Journal of Marine Biology*. 2022, 48(1), 44–52. (In Russian)
24. Grigorieva, N.I. Characterization of waters of the Eastern Bosphorus Strait (Peter the Great Bay, Sea of Japan) by oxygen indicators. *Water resources*. 2018, 45(1), 62–67. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 12.03.2025; одобрена после рецензирования 4.04.2025; принята к публикации 10.04.2025.

The article was submitted 12.03.2025; approved after reviewing 4.04.2025; accepted for publication 10.04.2025.

