

## Биогенные элементы в водах восточной части Финского залива по результатам исследований 2020–2022 годов

М. А. Синякова<sup>1,2\*</sup>, Ю. В. Крылова<sup>3</sup>, Л. В. Бронникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского  
института рыбного хозяйства и океанографии

(Государственный научно-исследовательский институт озерного  
и речного рыбного хозяйства им. Л. С. Берга), Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина  
Российской академии наук, Борок, Россия

\* e-mail: kafischem@yandex.ru

### Аннотация

Изучена динамика содержания биогенных элементов (минерального (фосфатного) и общего фосфора и аммония) по результатам ежегодных мониторинговых исследований воды восточной части Финского залива, проводившихся в 2020–2022 гг. Анализировалась информация о распределении показателей по горизонтали и по вертикали, поэтому пробы отбирали в поверхностном, придонном, а на глубоководных станциях и в срединном слоях воды. Содержание элементов определяли спектрофотометрическим методом. Сопоставляются и анализируются результаты по среднедиагональным значениям. В период исследований концентрация фосфатного фосфора в абсолютном большинстве случаев не превышала ПДК (0.15 мг/дм<sup>3</sup>), концентрации общего фосфора в среднем соответствовали мезотрофному статусу, хотя наблюдались случаи повышения его концентрации до значений, характерных для эвтрофного статуса водоема: в 2020 г. в придонном и поверхностном слоях воды (в июне в основном на прибрежных станциях (0.091 мг Р/дм<sup>3</sup>) и в сентябре преимущественно в придонном слое на центральных станциях, удаленных от берега), в 2021 г. летом концентрации достигали 0.147 мг Р/дм<sup>3</sup> (поверхностный слой) и 0.171 мг Р/дм<sup>3</sup> (придонный слой) на прибрежных станциях, 0.163 мг Р/дм<sup>3</sup> на центральной станции. Концентрации аммонийного азота в основном находились в пределах ПДК (0.5 мг/дм<sup>3</sup>). В июне 2021 г. выделялись локальные области вдоль южного и северного берега Финского залива с относительно высоким содержанием аммонийного азота (до 0.285 мг/дм<sup>3</sup>) в поверхностном и придонном слоях воды. В целом, несмотря на высокую антропогенную нагрузку, концентрации минерального фосфора и аммония в водах Финского залива находились в пределах ПДК, превышения фиксировались редко, обычно в Невской губе, Копорской губе, у побережья Курортного района. Повышенные концентрации общего фосфора на центральных станциях, по-видимому,

© Синякова М. А., Крылова Ю. В., Бронникова Л. В., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0  
International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0  
International (CC BY-NC 4.0) License

можно объяснить переносом вещества из западной части залива и диффузией из донных отложений. В среднем в придонных слоях воды обнаруживается более высокое содержание общего фосфора, чем в поверхностных. В целом концентрации биогенных элементов соответствуют мезотрофному статусу водоема.

**Ключевые слова:** фосфор минеральный, фосфор общий, ионы аммония, Финский залив, биогенные элементы, трофность

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-20-02.

**Для цитирования:** Синякова М. А., Крылова Ю. В., Бронникова Л. В. Биогенные элементы в водах восточной части Финского залива по результатам исследований 2020–2022 годов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 2. С. 91–106. EDN EDSGSE.

## Biogenic Elements in the Waters of the Eastern Gulf of Finland According to the Results of Studies 2020–2022

M. A. Siniakova<sup>1,2\*</sup>, J. V. Krylova<sup>3</sup>, L. V. Bronnikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg branch of VNIRO (GosNIORKH named after L.S. Berg), Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

\* e-mail: kafischem@yandex.ru

### Abstract

The paper studies the dynamics of biogenic element (mineral (phosphate) and total phosphorus and ammonium) content based on the results of annual monitoring surveys of water in the eastern Gulf of Finland conducted in 2020–2022. Information on the horizontal and vertical distribution of the indicators was analysed, so samples were taken in the surface, bottom and middle (at deep-water stations) layers of water. The content of elements was determined by the spectrophotometric method. The results are compared and analysed by median values. During the study period, phosphate phosphorus concentrations in the absolute majority of cases did not exceed the maximum permissible concentration (0.15 mg/dm<sup>3</sup>), total phosphorus concentrations on average corresponded to the mesotrophic status, although there were cases of its concentration increase to values characteristic of the eutrophic status of a water body. Namely, in 2020, the concentrations amounted up to 0.091 mg P/dm<sup>3</sup> in the bottom and surface water layers in June (mainly at the coastal stations) and in September (mainly in the bottom layer at the central offshore stations). In summer 2021, the concentrations reached 0.147 mg P/dm<sup>3</sup> (surface layer) and 0.171 mg P/dm<sup>3</sup> (bottom layer) at the coastal stations and 0.163 mg P/dm<sup>3</sup> at the central station. Ammonia nitrogen concentrations were mainly within the MPC (0.5 mg/dm<sup>3</sup>). In June 2021, local areas along the southern and northern shores of the Gulf of Finland with relatively high levels of ammonia nitrogen (up to 0.285 mg/dm<sup>3</sup>) in surface and bottom water layers were identified. In general, despite the high anthropogenic load, concentrations of mineral phosphorus and ammonium in the waters of the Gulf of Finland were within the MPC, with exceedances recorded rarely, usually in Neva Bay, Koporye Bay and near the coast of the Kurortny district. Elevated concentrations of total phosphorus at the central stations can apparently be explained by transport of the substance from the western part of the Gulf and diffusion from bottom sediments. On average, higher concentrations of total phosphorus were found in bottom water layers than in surface water layers. In general, biogenic element concentrations correspond to the mesotrophic status of the water body.

**Keywords:** mineral phosphorus, total phosphorus, ammonium ions, Gulf of Finland, biogenic elements, trophic state

**Acknowledgments:** The work was carried out under state assignment of VNIRO no. 076-00005-20-02.

**For citation:** Siniakova, M.A., Krylova, J.V. and Bronnikova, L.V., 2024. Biogenic Elements in the Waters of the Eastern Gulf of Finland According to the Results of Studies 2020–2022. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 91–106.

### Введение

Балтийское море принадлежит к бассейну Атлантического океана. Оно глубоко врезано в сушу, имеет большую протяженность береговой линии, сложные очертания берегов <sup>1)</sup>.

В пределах Балтийского моря можно выделить несколько относительно обособленных зон, к числу которых относится Финский залив. Площадь Финского залива – 29.5 тыс. км<sup>2</sup>; средняя глубина – 38 м, максимальная – 115 м. В залив впадают реки Нева, Луга, Нарва, Сестра. Часть залива между устьем р. Невы и островом Котлин называют Невской губой; по ее дну прорыт фарватер для прохода судов <sup>1)</sup>. Для побережья Финского залива характерна высокая плотность антропогенных объектов: населенных мест, портов, агрокомплексов, а также природных заказников и исторических памятников. В г. Сосновый Бор находится атомная электростанция, в устье р. Невы расположен второй по значению город России – Санкт-Петербург.

Таким образом, Финский залив имеет большое значение для функционирования экономики Северо-Западного региона России и испытывает высокую антропогенную нагрузку. Это обуславливает необходимость тщательного контроля его экологического состояния. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области регулярно выпускает сборники, в которых содержатся сведения о состоянии атмосферного воздуха и воды водных объектов региона, в том числе и сведения о состоянии вод Финского залива <sup>2), 3), 4), 5)</sup>. Гидрохимические характеристики залива исследуются в работах ученых [1–5].

К числу контролируемых параметров относятся концентрации фосфора общего, фосфора минерального и аммонийного азота. Фосфор и азот входят в число элементов, необходимых для развития живых организмов, что видно, например, из формулы органического вещества по Редфилду  $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$  и соотношения С:N:P как 106:16:1 [6]. В природных условиях именно недостаток фосфора нередко лимитирует развитие гидробионтов. В то же время при поступлении фосфора в водные объекты начинается неконтролируемый рост

---

<sup>1)</sup> Балтийское море : энциклопедия / И. С. Зонн [и др.]. Москва : Международные отношения, 2015. 570 с.

<sup>2)</sup> Состояние окружающей среды в Ленинградской области. Санкт-Петербург, 2018. 372 с.

<sup>3)</sup> Состояние окружающей среды в Ленинградской области в 2018 году. Санкт-Петербург, 2019. 448 с.

<sup>4)</sup> Состояние окружающей среды в Ленинградской области. Санкт-Петербург, 2022. 528 с.

<sup>5)</sup> Состояние окружающей среды Ленинградской области в 2022 году. Санкт-Петербург : Папирус, 2023. 320 с.

растительной биомассы, происходит эвтрофирование водоема, меняется и трофический статус водоема, увеличивается численность фитопланктона и бактерий. Согласно критериям трофности [7], для олиготрофных водоемов характерны концентрации фосфатов (по фосфору) от 0 до 0.012 мг P/дм<sup>3</sup>, для мезотрофных – от 0.012 до 0.024 мг P/дм<sup>3</sup>, для эвтрофных – от 0.024 до 0.096 мг P/дм<sup>3</sup>. Более высокие значения соответствуют гиперэвтрофным водам.

Содержание соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, поскольку оно зависит от соотношения интенсивности фотосинтеза и биохимического окисления органических веществ. Минимальные концентрации фосфатов в поверхностных пресных водах наблюдаются обычно весной и летом, максимальные – осенью и зимой, в морских водах максимальные концентрации более характерны для весны и осени, а минимальные – для лета и зимы <sup>6)</sup>.

Ионы аммония усваиваются растениями, переходя в глутаминовую кислоту, на базе которой синтезируются α-аминокислоты, а вслед за тем белки, нуклеиновые кислоты и прочие азотсодержащие вещества [6]. Они необходимы для развития гидробионтов, но в то же время избыток NH<sub>4</sub><sup>+</sup> оказывает негативное влияние, вызывая, например, интоксикацию рыб <sup>7)</sup> [8]. Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта, загрязнение поверхностных и подземных вод. Значительные количества соединений фосфора и азота поступают в водоемы со стоками сельскохозяйственных предприятий <sup>7)</sup>, в том числе животноводческих комплексов [8, 9], хозяйственно-бытовыми сточными водами населенных пунктов, а также в результате деятельности некоторых промышленных предприятий.

Цель настоящего исследования – изучить динамику содержания минерального (фосфатного) и общего фосфора и аммония в водах Финского залива по результатам мониторинговых исследований в 2020–2022 гг.

### **Материалы и методы исследований**

Контроль содержания различных форм фосфора и ионов аммония в водах восточной части Финского залива является частью мониторинговых исследований, ежегодно проводимых Санкт-Петербургским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга). Как правило, в рамках этих исследований выполняется два рейса: весной – в начале лета и в конце лета – начале осени. Более конкретные сроки зависят от погодных условий. В ходе рейсов отбирают пробы на станциях, распределенных по акватории, причем из нескольких слоев воды: поверхностного, придонного, а на глубоководных станциях и из срединного слоев воды. Делается это для того, чтобы описать распределение показателей не только по горизонтали, но и по вертикали. От рейса к рейсу число точек отбора может меняться.

В пробах воды, как правило, определяют содержание общего фосфора, минерального (фосфатного) фосфора, ионов аммония. Определение проводится

---

<sup>6)</sup> URL: <https://wwtec.ru/index.php?id=213> (дата обращения: 28.05.2024).

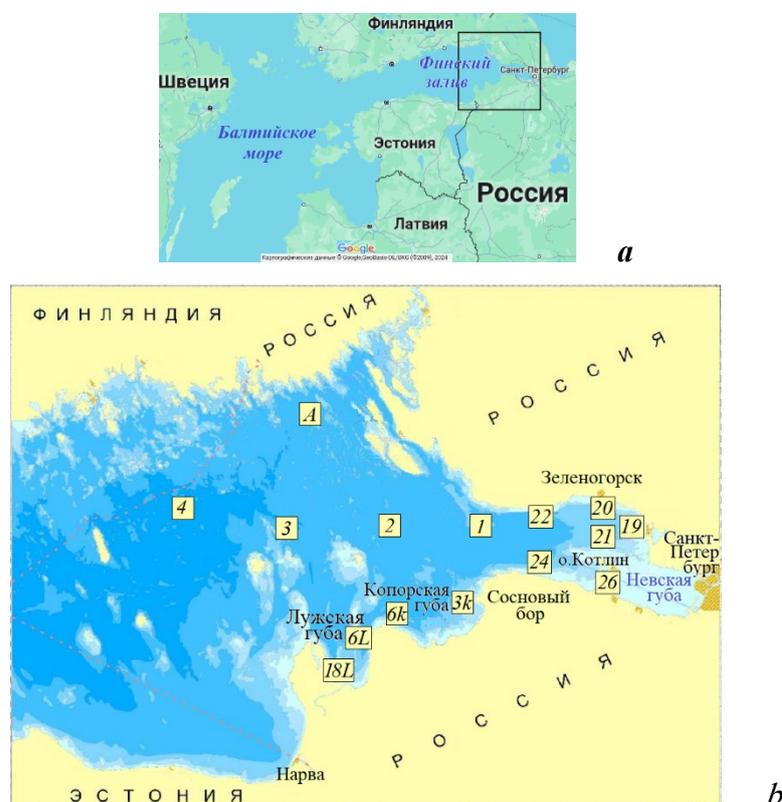
<sup>7)</sup> URL: <https://wwtec.ru/index.php?id=212#8.2> (дата обращения: 28.05.2024).

спектрофотометрическим методом в соответствии с нормативной документацией<sup>8), 9)</sup>.

## Результаты и обсуждение

2020 год

В 2020 г. в рамках мониторинговых исследований было выполнено два рейса: в июне и сентябре. Рейсы проводились в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-20-02. В ходе рейсов производился отбор проб на 15 станциях (рис. 1, *b*).



Р и с . 1. Финский залив (прямоугольником выделен район исследований в восточной части залива) (*a*) и укрупненное изображение выделенного участка с сеткой станций отбора проб (*b*) [3, 10]. Снимок Google Maps (URL: <https://www.google.ru/maps>)

F i g . 1. Gulf of Finland (the rectangular on the map shows the study area in the eastern part of the Gulf) (*a*) and an enlarged image of the selected area with a sampling station grid (*b*) [3, 10]. Google Maps image (available at: <https://www.google.ru/maps>)

<sup>8)</sup> РД 52.24.387-2019; РД 52.24.382-2019; РД 52.24.486-2009.

<sup>9)</sup> Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552. URL: <http://agroportal2.garant.ru:81/document?id=71486774&byPara=1> (дата обращения: 11.05.2024).

В табл. 1 представлены результаты определения содержания общего и минерального фосфора. Полученные результаты показали, что концентрации минерального фосфора на исследованных участках Финского залива в июне и сентябре незначительно различались. В сентябре, по сравнению с июнем, концентрация минерального фосфора на многих точках понижалась, что

Т а б л и ц а 1. Результаты определения фосфора (в пересчете на фосфор) в пробах воды 2020 года

T a b l e 1. Results of determination of phosphorus (in terms of phosphorus) in water samples in 2020

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/дм <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/дм <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>	
		Июнь / June	Сентябрь / September	Июнь / June	Сентябрь / September
1	П / S	0.001	0.005	0.006	0.013
	С / M	0	0.005	0	0.018
	Д / B	0.003	0.008	0.013	0.042
2	П / S	0	0.002	0.005	0.011
	Д / B	0.004	0.008	0.011	0.044
3	П / S	0	0.004	0.008	0.021
	С / M	0.008	0.002	0.015	0.020
	Д / B	0.010	0.009	0.037	0.021
3k	П / S	0.005	0.004	0.005	0.012
	Д / B	0.006	0.005	0.018	0.016
4	П / S	0.003	0.002	0.023	0.007
	Д / B	0.005	0.004	0.040	0.019
6k	П / S	0.008	0.004	0.028	0.014
	Д / B	0.015	0.006	0.076	0.009
6L	П / S	0.007	0.006	0.014	0.023
	Д / B	0.005	0.004	0.023	0.013

Продолжение таблицы 1 / Continued Table 1

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/дм <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/дм <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>	
		Июнь / June	Сентябрь / September	Июнь / June	Сентябрь / September
18L	П / S	0.009	0.005	0.044	0.016
	Д / B	0.007	0.004	0.010	0.016
19	П / S	0.001	0.003	0.033	0.013
	Д / B	0	0.005	0.003	0.015
20	П / S	0.002	0.003	0.007	0.011
	Д / B	0.006	0.002	0.013	0.013
21	П / S	0.001	0.004	0.005	0.010
	Д / B	0.005	0.004	0.028	0.014
22	П / S	0.004	0.002	0.012	0.018
	Д / B	0.002	0.005	0.036	0.009
24	П / S	0.003	0.006	0.019	0.037
	Д / B	0.012	0.007	0.091	0.007
26	П / S	0.009	0.004	0.073	0.017
	Д / B	0.006	0.003	0.013	0.017
A	П / S	0.005	0.005	0.027	0.013
	С / M	0.002	0.002	0.021	0.021
	Д / B	0.006	0.005	0.072	0.039
СМЗ / Median value		0.005	0.004	0.018	0.016

Примечание: П – поверхностный слой воды (0–0.3 м); С – срединный слой (равноудаленный от поверхности и дна); Д – придонный слой; мг P/дм<sup>3</sup> – концентрация минерального и общего фосфора в пересчете на фосфор; СМЗ – среднее медианное значение. ПДК минерального фосфора – 0.15 мг/л. ПДК общего фосфора отсутствует.

Note: S – surface water layer (0–0.3 m); M – middle layer (equidistant from the surface and bottom); B – bottom layer; mg P/dm<sup>3</sup> – concentration of mineral and total phosphorus expressed as phosphorus. Maximum permissible concentration (MPC) of mineral phosphorus – 0.15 mg/L. MPC of total phosphorus is absent.

соответствует ожиданиям и объясняется усиленным потреблением минерального фосфора фотосинтезирующими организмами в летний период. Исключение составляли станции глубоководные и удаленные от берега: 1, 2, 4.

Концентрации общего фосфора были по естественным причинам больше и менялись от 0 (т. е. находились ниже предела обнаружения), что соответствует олиготрофному статусу водоема, до  $0.091 \text{ мг Р/дм}^3$ , что соответствует эвтрофному статусу. Уровни концентрации общего фосфора, характерные для эвтрофного статуса водоема, были отмечены и на центральных станциях, удаленных от антропогенных источников (ст. 2–4), однако такие концентрации более характерны для станций, на качество вод которых могут оказывать влияние техногенные, хозяйственно-бытовые и сельскохозяйственные стоки (ст. 19, 21, 24, 26, А, 6к, 18L). Следует отметить, что в сентябре высокие значения концентрации общего фосфора наблюдались в основном в придонных слоях воды, в том числе и на ст. 2, где было зафиксировано ее максимальное значение ( $0.044 \text{ мг Р/дм}^3$ ). Это может быть связано с оседанием взвешенного органического вещества и его деструкцией, переносом соединений фосфора из западной части залива и поступлением их из донных отложений.

Режим течений в Финском заливе обуславливается водообменом Финского и Рижского заливов с основной частью Балтийского моря. Значительное влияние на течения оказывает сток воды с суши. Наблюдается более или менее устойчивое постоянное течение, направленное на запад и объясняющееся стоком вод р. Невы (рис. 2). Кроме того, под воздействием ветров возникают временные ветровые течения<sup>10)</sup>.



Рис. 2. Схема основных постоянных течений в Финском заливе. Стрелками показано направление течений

Fig. 2. Diagram of main constant currents in the Gulf of Finland. The arrows show current directions

<sup>10)</sup> URL: [https://studwood.net/1660488/tehnika/navigatsionno\\_gidrograficheskiy\\_gidrometeorologicheskij\\_ocherki\\_baltiyskogo\\_morya\\_chast](https://studwood.net/1660488/tehnika/navigatsionno_gidrograficheskiy_gidrometeorologicheskij_ocherki_baltiyskogo_morya_chast) (дата обращения 08.05.2023).

Согласно литературным данным, накопление фосфора активно происходит в глубоководной западной части залива, где биогенный режим обусловлен внутренней нагрузкой на водоем, когда в условиях дефицита кислорода происходит дополнительное поступление соединений фосфора из донных отложений [11]. Постоянными течениями выделившиеся соединения фосфора переносятся из западной части Финского залива в восточную.

Для восточной части Финского залива из-за большей мелководности понижение концентрации растворенного кислорода в воде и развитие гипоксических зон менее характерно. Однако такие явления отмечаются как раз в районе глубоководной станции 4 (по данным работы [11], концентрация кислорода может колебаться от 5 до 2 мг/дм<sup>3</sup>).

В среднем же уровень общего фосфора (исходя из СМЗ) указывает на мезотрофный статус, в связи с чем в табл. 1 была использована ПДК для мезотрофных водоемов<sup>9)</sup>. Как следует из данных табл. 1, ПДК минерального фосфора не была превышена ни в июне, ни в сентябре.

#### 2021 год

В 2021 г. отбор проб производился в мае – июне и августе – сентябре по стандартной схеме отбора со станций, отмеченных на рис. 1, а.

В данном году определяли не только фосфор фосфатный (минеральный) и фосфор общий, но и аммонийный азот.

Результаты исследования проб воды представлены в табл. 2.

Весной – в начале лета 2021 г. концентрации минерального фосфора находились на очень низком (ниже, чем в июне предыдущего года) уровне. Возможно, это было связано с ясной солнечной погодой в тот период и, как следствие, с интенсивным развитием биоты, бурно потреблявшей минеральный фосфор. Напротив, значения концентрации общего фосфора были в среднем выше, чем в тот же период прошлого года, и при этом СМЗ в мае – июне было на эвтрофном уровне. На ст. 3к (поверхность), 4 (середина), 20 (дно) они превышали 0.096 мг P/дм<sup>3</sup> – верхнюю границу эвтрофного уровня. Станция 3к находится в Копорской губе, ст. 20 – возле побережья Курортного района (г. Зеленогорск). Логично предположить, что повышенные концентрации общего фосфора объясняются антропогенным влиянием. Станция 4, напротив, удалена от берегов, однако значительное содержание общего фосфора отмечалось в районе этой станции и ранее, что дает основание предполагать, как это уже было отмечено выше [10], приход фосфора из донных осадков и с массами воды, поступающими из западной части залива.

Повышенные значения общего фосфора в мае – июне 2021 г. имели место на ст. 4 в срединном слое вод, а на ст. 20 – в придонном слое.

Необычно высокий уровень аммонийного азота был отмечен на целом ряде станций: 6к, 6Л, 18Л – эти станции расположены вдоль южного берега залива в пределах Копорской и соседней с ней Лужской губы, а также на ст. 19 и 20, находящихся возле северного берега залива в границах Курортного района Санкт-Петербурга. Примечательно, что высокое содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup> было характерно как для поверхностного, так и для придонного слоев воды. В Копорской и Лужской губах области повышенных концентраций аммонийного азота могут быть связаны с поступлением богатых биогенами речных вод, а возле северного берега – с антропогенной нагрузкой Курортного района.

Т а б л и ц а 2. Результаты определения фосфора и аммонийного азота в пробах воды 2021 года

Table 2. Results of determination of phosphorus and ammonium nitrogen in water samples in 2021

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/дм <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/дм <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Аммоний, мг/дм <sup>3</sup> / Ammonium, mg/dm <sup>3</sup>	
		Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September
1	П / S	н/о / N/D	н/о / N/D	0.004	н/о / N/D	<0.03	н/о / N/D
	С / M	н/о / N/D	н/о / N/D	0.009	н/о / N/D	0.06	н/о / N/D
	Д / B	0.005	н/о / N/D	0.017	н/о / N/D	0.09	н/о / N/D
2	П / S	0.004	0.003	0.029	0.003	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.004	0	0.095	0.0055	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.005	0.003	0.037	0.005	< 0.03	< 0.03
3	П / S	0	0.003	0.042	0.003	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.005	0.004	0.005	0.0065	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.002	0.003	0.032	0.006	< 0.03	< 0.03
3k	П / S	0	0.003	0.147	0.005	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.002	0.004	0.039	0.005	< 0.03	< 0.03
4	П / S	0.003	0.002	0.017	0.036	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.006	0.002	0.163	0.039	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.009	0.002	0.034	0.006	< 0.03	< 0.03
6k	П / S	0.001	0.001	0.042	0.027	0.130	< 0.03
	Д / B	0.005	0.002	0.024	0.004	0.285	< 0.03
6L	П / S	0.002	0.004	0.002	0.013	0.055	< 0.03
	Д / B	0.003	0.002	0.021	0.008	0.075	< 0.03

Продолжение таблицы 2 / Continued Table 2

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/dm <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/dm <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Аммоний, мг/dm <sup>3</sup> / Ammonium, mg/dm <sup>3</sup>	
		Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September
18L	П / S	0.0008	0.0040	0.0008	0.012	0.150	< 0.03
	Д / B	0.0010	0.0030	0.0016	0.0055	0.055	< 0.03
19	П / S	0.0030	0.0065	0.0060	0.008	0.155	< 0.03
	Д / B	0.0030	0.0060	0.0050	0.006	0.055	< 0.03
20	П / S	0.0030	0.0040	0.0260	0.005	0.075	< 0.03
	Д / B	0.0030	0.0035	0.1710	0.006	0.170	< 0.03
21	П / S	0.0020	0.0150	0.0360	0.015	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0020	0.0065	0.0080	0.0065	< 0.03	< 0.03
22	П / S	0.0016	0.0080	0.0080	0.029	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0030	0.0120	0.0240	0.016	< 0.03	< 0.03
24	П / S	0.0020	0.0040	0.0500	0.013	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0020	0.0040	0.0440	0.004	< 0.03	< 0.03
26	П / S	0.0030	0.0050	0.0090	0.005	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0010	0.0050	0.0630	0.010	< 0.03	< 0.03
A	П / S	0.0004	0.0020	0.0120	0.021	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.0030	0.0016	0.0030	0.009	0.030	< 0.03
	Д / B	0.0065	0.0030	0.0680	0.031	0.070	< 0.03
СМЗ / Median value		0.0020	0.0040	0.0290	0.008	< 0.03	< 0.03

Примечание: н/о – не определяли. Обозначения см. табл. 1. ПДК аммония – 0.5 мг/л.

Note: N/D – not determined. See designations to Table 1. MPC of ammonium – 0.5 mg/L.

Кроме того, высокое содержание  $\text{NH}_4^+$  было зафиксировано на ст. 4 в верхнем слое воды. Таким образом, можно предполагать формирование локальных областей («пятен») с относительно высоким содержанием аммонийного азота, которые частично коррелируют с областями с повышенным уровнем общего фосфора. Несмотря на отмеченный высокий уровень концентраций аммония, все значения этого показателя были ниже ПДК.

В конце августа – сентябре того же года концентрации минерального фосфора по сравнению с июньскими изменились незначительно. Концентрации же общего фосфора заметно снизились и составляли от 0.003 до 0.039 мг P/дм<sup>3</sup>. Значения, соответствующие гиперэвтрофному статусу, отсутствовали вовсе; значения, превышавшую верхнюю границу мезотрофного уровня, были зафиксированы только на ст. 4 (поверхность и середина), 22 (поверхность) и А (дно). Концентрации аммонийного азота либо находились ниже пределов обнаружения, либо были незначительны.

2022 год

В 2022 г. пробы отбирали в июне и сентябре со станций, отмеченных на рис.1, а.

Определяли, как и в 2021 г., фосфор фосфатный (минеральный), фосфор общий и аммонийный азот.

Результаты исследования проб воды представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Результаты определения фосфора и аммонийного азота в пробах воды 2022 года

Table 3. Results of determination of phosphorus and ammonium nitrogen in water samples in 2022

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/дм <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/дм <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Аммоний, мг/дм <sup>3</sup> / Ammonium, mg/dm <sup>3</sup>	
		Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September
1	П / S	0.0008	0.0008	0.007	0.0008	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.0040	0.0040	0.001	0.0200	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0070	0.0070	0.002	0.0390	< 0.03	< 0.03
2	П / S	0.0004	0.0004	0.027	0.0020	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.0003	0.0003	0.008	0.0004	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0003	0.0003	0.041	0.0003	< 0.03	< 0.03

Продолжение таблицы 3 / Continued Table 3

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/дм <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/дм <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Аммоний, мг/дм <sup>3</sup> / Ammonium, mg/dm <sup>3</sup>	
		Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September
3	П / S	0.0007	0.0007	0.0170	0.0007	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.0040	0.0040	0.0013	0.0670	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0030	0.0030	0.0120	0.0030	< 0.03	< 0.03
3k	П / S	0.0016	0	0.0016	0.0020	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0010	0.0020	0.0030	0.0024	< 0.03	< 0.03
4	П / S	0.0013	0	0.0060	0.0003	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.0013	0.0030	0.0740	0.0030	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0070	0.0070	0.1140	0.0240	< 0.03	< 0.03
6k	П / S	0.0010	0.0008	0.0080	0.0008	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0050	0.0040	0.0010	0.0120	< 0.03	< 0.03
6L	П / S	0.0080	0.0030	0.0010	0.0100	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0013	0.0040	0.0160	0.0040	< 0.03	< 0.03
18L	П / S	0.0016	0.0040	0.0120	0.0200	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0016	0.0030	0.0390	0.0065	< 0.03	< 0.03
19	П / S	0.0020	0.0030	0.0020	0.0060	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0020	0.0040	0.0050	0.0130	< 0.03	< 0.03
20	П / S	0.0013	0.0003	0.0016	0.0130	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0010	0.0040	0.0160	0.0290	< 0.03	< 0.03
21	П / S	0.0013	0.0010	0.0070	0.0310	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0013	0.0080	0.0016	0.0340	< 0.03	< 0.03

Окончание таблицы 3 / End of Table 3

Станция / Station	Слой воды / Water layer	Фосфор минеральный, мг P/dm <sup>3</sup> / Mineral phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Фосфор общий, мг P/dm <sup>3</sup> / Total phosphorus, mg P/dm <sup>3</sup>		Аммоний, мг/dm <sup>3</sup> / Ammonium, mg/dm <sup>3</sup>	
		Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September	Май – июнь / May – June	Август – сентябрь / August – September
22	П / S	0.0013	0.0030	0.0013	0.0030	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0003	0.0050	0.0013	0.0090	< 0.03	< 0.03
24	П / S	0.0013	0.0010	0.0013	0.0120	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0010	0.00070	0.0220	0.0120	0.04	< 0.03
26	П / S	0.0013	0.0016	0.0100	0.0040	0.06	< 0.03
	Д / B	0.0140	0.0016	0.0410	0.0050	< 0.03	< 0.03
A	П / S	0.0008	0.0008	0.0016	0.0008	< 0.03	< 0.03
	С / M	0.0013	0.0016	0.0100	0.0070	< 0.03	< 0.03
	Д / B	0.0030	0.0340	0.0590	0.0430	< 0.03	< 0.03
СМЗ / Median value		0.0010	0.0030	0.007	0.0070	< 0.03	< 0.03

Примечание: Обозначения см. табл. 1. ПДК аммония – 0.5 мг/л.

Note: See designations to Table 1. MPC of ammonium – 0.5 mg/L.

В июне 2022 г. концентрации минерального фосфора находились на традиционно низком уровне. Концентрации аммонийного азота были также незначительны. Содержание общего фосфора менялось от 0.001 до 0.074 мг P/dm<sup>3</sup>. На ст. 2 (дно), 4 (середина), 18L (дно), 26 (дно) и A (дно) оно превышало 0.024 мг P/dm<sup>3</sup>. Аналогичная картина была отмечена в сентябре, только содержание общего фосфора составляло от 0.002 до 0.067 мг P/dm<sup>3</sup>, а выход за пределы мезотрофного состояния был зафиксирован на ст. 1 (дно), 3 (середина), 20 (дно), 21 (дно) и A (дно). Как и в сентябре 2020 г., общий фосфор накапливался в придонном слое. В целом содержание биогенных элементов в воде залива в этом году было меньше, чем в 2020 и 2021 гг., а средние медианные значения концентраций общего фосфора в оба сезона даже были на уровне олиготрофии.

### Заключение

Сравнение результатов измерений 2020–2022 гг. позволяет сделать ряд выводов.

Несмотря на высокую антропогенную нагрузку, концентрации минерального фосфора и аммония в водах Финского залива находятся в пределах ПДК, превышения фиксируются достаточно редко.

На протяжении обсуждаемого периода (три года – для фосфора, два года – для аммония) концентрации исследуемых биогенных элементов колебались в пределах относительно узких интервалов значений, не обнаруживая явных трендов к повышению или понижению. Значительные концентрации общего фосфора отмечаются обычно в таких районах, как Невская губа, Копорская губа, область возле побережья Курортного района, то есть в тех областях, где антропогенное воздействие максимально. Однократно в 2021 г. был отмечен повышенный, по сравнению с обычным, уровень  $\text{NH}_4^+$  в Копорской и Лужской губе, а также возле побережья Курортного района. Особого внимания заслуживают ст. 4 (глубоководная) и А (удаленная от берегов). В этих двух точках отбора периодически отмечаются повышенные концентрации общего фосфора. По-видимому, это можно объяснить как переносом вещества из западной части залива, так и диффузией из донных отложений.

В среднем в придонных слоях воды обнаруживается более высокое содержание общего фосфора, чем в поверхностных.

В целом концентрации биогенных элементов соответствуют мезотрофному статусу водоема.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкина Н. А., Рыжаков А. В., Тимакова Т. М. Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 4. С. 472–481. EDN ISJZIB.
2. Метод оценки биогенной нагрузки на водные объекты северо-запада России / С. А. Кондратьев [и др.] // Известия РГО. 2009. Т. 141, № 2. С. 53–63. EDN OIJXRХ.
3. Ипатова С. В. Качество морских вод и донных отложений восточной части Финского залива по данным мониторинга ФГБУ «Северо-Западное УГМС» // Специализированное обеспечение информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды в больших городах : всероссийское совещание. Ярославль, 7–8 сентября 2017 г. Ярославль, 2017. 12 с. URL: <http://www.oceanography.institute/index.php/component/jdownloads/finish/41/1682> (дата обращения: 31.05.2024).
4. Кулаков Д. В., Макушенко М. Е., Верецагина Е. А. Влияние Ленинградской АЭС на зоопланктон и зообентос Копорской губы Финского залива // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 1. С. 42–54. EDN TRKBGL.
5. Литина Е. Н., Захарчук Е. А., Тихонова Н. А. Динамика гипоксических зон в Балтийском море на рубеже XX и XXI веков // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и перспективы развития: достижения и перспективы развития». Санкт-Петербург, 19–21 декабря 2018 года. Санкт-Петербург : Химиздат, 2018. С. 404–407. URL: [http://mgo-spb.ru/f/180en\\_litina\\_yea\\_zakharchuk\\_na\\_tikhonova.pdf](http://mgo-spb.ru/f/180en_litina_yea_zakharchuk_na_tikhonova.pdf) (дата обращения: 31.05.2024).

6. *Хмельницкая О. К.* Основные геохимические характеристики промежуточных и глубинных водных масс Северной Атлантики // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2011. № 6. С. 60–66. EDN OKMLHF.
7. *Carlson R. E.* A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22, iss. 2. P. 361–369. URL: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4319/lo.1977.22.2.0361> (дата обращения: 31.05.2024).
8. Оценка сельскохозяйственной биогенной нагрузки / А. Ю. Брюханов [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продуктов растениеводства и животноводства. 2018. № 96. С. 175–186. EDN VLZLXS. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10071>
9. Водное гуминовое вещество в воде озера и процесс его трансформации / Н. Н. Коркишко [и др.] // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. Санкт-Петербург : Наука, 2002. С. 111–117.
10. *Синякова М. А., Крылова Ю. В., Пономаренко А. М.* Сезонные изменения концентраций фосфора и нефтяных углеводородов в воде восточной части Финского залива // Экологическая химия. 2022. Т. 31, № 2. С. 92–98. EDN GEQWSG.
11. *Ершова А. А., Коробченкова К. Д., Агранова Ю. С.* Оценка состояния Финского залива по индикаторам эвтрофирования ХЕЛКОМ // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 51. С. 137–149. EDN XZTQAX.

Поступила 01.02.2024 г.; одобрена после рецензирования 26.02.2024 г.; принята к публикации 27.03.2024 г.; опубликована 25.06.2024 г.

*Об авторах.*

**Синякова Мария Александровна**, ведущий научный сотрудник, Лаборатория рыбохозяйственной экологии, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга) (199053, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 26), доцент кафедры ЭЭ и ТП, Морской Технический Университет (190121, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3), кандидат химических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9352-2083**, **SPIN-код: 2411-1623**, [kafischem@yandex.ru](mailto:kafischem@yandex.ru)

**Крылова Юлия Викторовна**, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук (152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-4274-2358**, **SPIN-код: 4181-3336**

**Бронникова Лилия Васильевна**, заведующая кафедрой ЭЭ и ТП, Морской Технический Университет (190121, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3), кандидат экономических наук, **ORCID ID: 0000-0002-8710-5328**, **SPIN-код: 2035-9311**

*Заявленный вклад авторов.*

**Синякова Мария Александровна** – разработка концепции статьи, обработка и описание результатов исследования, обзор литературы

**Крылова Юлия Викторовна** – формулировка и постановка задачи, обработка и описание результатов исследования, обзор литературы

**Бронникова Лилия Васильевна** – качественный анализ результатов и их интерпретация, обзор литературы

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*