УДК 574.52

[1,2]С.В. Александров, [1]А.В. Сташко

[1]Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», hydrobio@mail.ru
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСОВ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА

Вислинский залив представляет собой трансграничную лагунную экосистему Балтийского моря, которая подвержена загрязнению из различных антропогенных источников. Для российской части акватории залива выполнена оценка качества вод на основе расчета индексов загрязненности – ИЗВ, УКИЗВ и CCME WQI за период 2007–2020 гг. Наибольший уровень загрязнения характерен для Восточного района и Приморской бухты, куда поступает сток р. Преголя и сточные воды Калининграда. Значения индексов демонстрировали схожую сезонную и многолетнюю изменчивость с максимумами в период наиболее эвтрофного состояния и «цветения» вод залива. Вселение моллюска-фильтратора *Rangia cuneata* отразилось на снижении ИЗВ, УКИЗВ и CCME WQI в 2013–2017 гг. С 2016 г., после введения в строй очистных сооружений г. Калининграда, отмечается улучшение качества вод в акватории Приморской бухты.

Ключевые слова: Вислинский залив; индексы загрязненности вод; динамика качества вод; эвтрофирование; очистные сооружения.

DOI: https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.2.38.44

Введение

Мониторинг загрязненности поверхностных водных объектов включает обработку больших массивов пространственно распределенных данных, полученных за длительный период. С целью комплексной оценки результатов наблюдений выполняются расчеты индексов загрязненности, которые позволяют учитывать вклад анализируемых гидрохимических параметров в общий уровень загрязнения водного объекта. Долгое время для оценки состояния поверхностных вод применялся индекс загрязненности воды (ИЗВ) (Методические …, 1988), с 2002 г. он был заменен на удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) (РД 52.24.643–2002). Основным отличием УКИЗВ является возможность использования при его расчетах большего количества гидрохимических параметров, а также учет и характеристика повторяемости и кратности превышений.

В международной практике мониторинга известны различные гидрохимические индексы, в том числе канадский индекс качества воды (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index, CCME WQI) (CCME, 2017). Он используется для оценки состояния речных и озерных экосистем, а также прибрежных зон и лагун (Lumb et al., 2006; Teshome, 2020; Miyittah et al., 2020). В отличие от УКИЗВ, расчет CCME WQI позволяет использовать не только гидрохимические показатели, по которым установлены нормативы, но и другие критерии, выбор которых обусловлен задачами исследования. Различия в методологии расчетов ИЗВ, УКИЗВ, CCME WQI обусловливают разнообразие возможных оценок состояния водных объектов при одновременном их использовании.

Вислинский залив Балтийского моря представляет собой вытянутую лагуну, отделенную от моря узким проливом, большая часть его акватории (496 км^2, 61%) расположена в пределах Калининградской области. В Восточный район залива поступает сток р. Преголя, формирующий основу пресноводного стока с территории России и Польши (Chubarenko, Margonski, 2008). Вислинский залив можно охарактеризовать как сильно опресненный морской водоем, в котором соленость варьирует от <1‰ в устьях рек до 6–8‰ у морского пролива, составляя в среднем 3–4‰. По классификации О.А. Алекина воды залива принадлежат к третьему типу натриевой группы класса хлоридных вод. В заливе наблюдается переход от углекислокальциевых вод через хлористо-кальциевые к хлористо-натриевым (Александров, 2010; Журавлева, Тшосиньска, 1971). Будучи трансграничным водоемом, залив испытывает загрязнение с польской и российской сторон. В восточной части залива находится Калининград-

ская агломерация с населением свыше 800 тыс. человек, сточные воды из которой поступают в Восточный район и Приморскую бухту. Вислинский залив испытывает сильное влияние вод Балтийского моря, особенно в Прибалтийском районе. Разнотипные природные и антропогенные условия формируют в заливе выраженную пространственную неоднородность гидрохимических показателей (Александров, Сташко, 2021).

Природные условия и многолетнее загрязнение биогенными элементами обусловили формирование в заливе высокоэвтрофной экосистемы, в которой в отдельные периоды наблюдалось «цветение» воды. Наибольшие уровни загрязнения и эвтрофирования вод характерны для Восточного района и Приморской бухты (Александров, 2011; Александров, Горбунова, 2012).

По результатам исследований гидрохимических показателей качества вод на российской части акватории Вислинского залива был сформирован значительный массив аналитических данных, который позволяет апробировать различные расчетные индексы для анализа динамики пространственной и многолетней загрязненности вод.

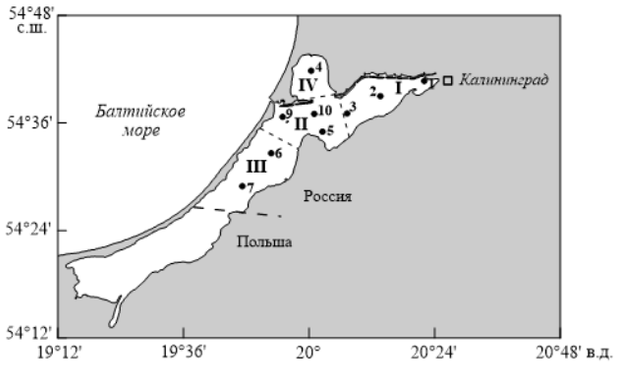

Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Вислинском заливе (I – Восточный, II – Прибалтийский, III – Центральный, IV – Приморская бухта (Александров и др., 2017))

Fig. 1. Location of the sampling stations in the Vistula Lagoon (I – Eastern region, II – Baltic region, III – Central region, IV – Primorsky Bay (Aleksandrov et al., 2017))

Материалы и методы исследования

В расчетах использовали данные мониторинговых исследований Вислинского залива, выполненных АтлантНИРО в безледный период (март–апрель – ноябрь–декабрь) 2007–2020 гг. Отбор проб воды осуществляли ежемесячно в подповерхностном слое (0–0.5 м) на 9 станциях, охватывающих российскую акваторию залива (рис. 1). Всего за указанный период проведено 98 съемок, выполнен анализ 870 гидрохимических проб по каждому исследуемому показателю. Полученные на каждой из станций значения гидрохимических показателей усредняли по районам: Восточному (станции №№ 1, 2, 3), Прибалтийскому (станции №№ 5, 9, 10), Центральному (станции №№ 6, 7) и Приморской бухты (станция № 4), которые отличаются физико-географическими и гидрологическими характеристиками (Александров и др., 2017). Гидрохимические исследования состава вод выполнялись стандартными методами (Руководство …, 2003).

Расчет индекса загрязненности воды (ИЗВ) проводили по формуле для морской воды (Методические …, 1988). Список показателей, кроме растворенного кислорода ($ПДК_{рх}$ 6.0 мгО/дм^3), включал биохимическое потребление кислорода (2.1 мгO_2/дм^3), фосфор фосфатов (200 мкгР/дм^3) и аммонийный азот (400 мкгN/дм^3). По этим показателям в Вислинском заливе периодически наблюдались превышения предельно допустимых концентраций. Эти же показатели были использованы для расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ) и индекса CCME WQI (РД 52.24.643–2002; CCME, 2017) (табл. 1).

Значения индекса CCME WQI получают путем расчета трех факторов: объема, частоты и амплитуды. Фактор объема определяется долей параметров, которые не соответствуют выбранным нормативам, его вклад в значение индекса является наибольшим. Частота отображает долю индивидуальных определений по-

Таблица 1. Характеристика загрязненности вод
Table 1. Characteristics of water pollution

Диапазон значений Measuring range	Характеристика загрязненности / качества воды Characteristics of pollution / water quality
ИЗВ	
≤ 0.25	Очень чистая
> 0.25 – 0.75	Чистая
> 0.75 – 1.25	Умеренно загрязненная
> 1.25 – 1.75	Загрязненная
УКИЗВ	
≤ 1	1 класс, условно чистая
> 1 – 2	2 класс, слабо загрязненная
> 2 – 3	3 класс, разряд «а», загрязненная
> 3 – 4	3 класс, разряд «б», очень загрязненная
CCME WQI	
94 – 100	Excellent (отличное)
80 – 94	Good (хорошее)
65 – 79	Fair / satisfactory (удовлетворительное)
45 – 64	Marginal / bad (низкое / плохое)

казателя, не соответствующих нормативу. Амплитуда характеризует степень отклонения значений гидрохимического показателя от норматива для тех значений, где наблюдаются превышения.

Результаты и их обсуждение

Индекс загрязненности воды

С 2007 по 2020 гг. среднегодовые значения индекса загрязненности вод в разных районах Вислинского залива варьировали от 0.55 до 1.04, а его воды характеризовались как чистые и умеренно-загрязненные. Наибольшие показатели загрязненности наблюдались в Восточном районе (от 0.63 до 1.04) и Приморской бухте (от 0.67 до 0.99), которые в среднем соответствовали умеренно-загрязненным водам (рис. 2).

Наибольший вклад в ИЗВ вносит биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$), величины которого не соответствовали нормативам в 97% проб, при этом загрязненность вод оценивалась как «устойчивая».

В период с 2008 г. и до 2017 г. в Восточном районе и Приморской бухте, в отличие от других районов, отмечалось последовательное снижение загрязненности вод.

Особенностью сезонной динамики значений ИЗВ, осредненных за 2007–2020 гг., было наличие двух пиков: в апреле (в среднем 0.88), в июле и августе (0.85–0.90), которым соответствовало умеренно-загрязненное состояние вод. Самые низкие величины ИЗВ (до 0.60) характерны для периода, предшествующего ледоставу, когда качество вод соответствовало категории чистых (рис. 3).

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды

С 2007 по 2020 гг. среднегодовые значения УКИЗВ в разных районах Вислинского залива варьировали от 1.46 до 3.64 с максимумами в Приморской бухте (1.84–3.64, в среднем 2.35). В других районах значения индекса были ниже, наблюдался и меньший диапазон их межгодовой изменчивости: в Восточном районе 1.60–2.67 (в среднем 2.00), Прибалтийском 1.55–2.08 (1.90), Центральном 1.46–2.09 (1.82) (рис. 4).

В Прибалтийском и Центральном районах значения индекса соответствовали слабо загрязненным водам (2-й класс), в Приморской бухте – загрязненным (3 класс, разряд «а»), а в Восточном районе - пограничному между загрязненными и слабо загрязненными (2.00). В 2008 г. в Приморской бухте воды характеризовались как очень загрязненные (3 класс, разряд «б»). Периодический рост УКИЗВ в Приморской бухте, который наблюдался вплоть до ввода в 2016 г. новых городских очистных сооружений, был связан с поступлением в эту часть акватории недостаточно очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод г. Калининграда. В других районах динамика УКИЗВ носила более сглаженный характер (рис. 4).

Анализ сезонной динамики УКИЗВ в акватории Вислинского залива показывает, что с марта по август его значения держатся на уровне 1.91–2.06, затем наблюдается постепенное снижение индекса до 1.35–1.54, свидетельствуя об улучшении качества вод по исследованным показателям (рис. 3).

CCME WQI

С 2007 по 2020 гг. в разных районах Вислинского залива среднегодовые значения индекса варьировали от 49 до 80. Наименьшие значения, соответствующие большему уровню загрязнения вод, отмечались в Приморской бухте (49–77, в среднем 70). В отличие от Приморской бухты, других районах залива индекс CCME WQI колебался в более узком диапазоне: в Восточном районе от 62 до 79 (в среднем 75), Прибалтийском от 73 до 80 (77) и в Центральном от 73 до 80 (78) (рис. 5).

Значения CCME WQI характеризуют качество вод залива в основном как удовлетворительное.

Сезонная динамика CCME WQI выделяется наличием двух минимумов: в апреле и июле-августе, когда состояние вод оценивалось как удовлетворительное. Высокие значения индекса наблюдались в конце осени и начале зимы, что соответствовало пограничному состоянию вод между хорошим и удовлетворительным (рис. 3).

К недостаткам индексов ИЗВ, УКИЗВ и CCME WQI обычно относят необходимость использования в их расчетах пороговых значений – предельно допустимых концентраций, которые со временем подвержены переоценке. Кроме того, результаты оценки могут сильно варьировать в зависимости от перечня выбранных показателей. Частной особенностью применения индексов, в расчет которых включены концентрации растворенного кислорода, является привязка к атмосферным процессам. Использование меньшего набора параметров приводит к увеличению веса каждого из них в индексе и, соответственно, влияет на оценку состояния вод.

В формуле расчета ИЗВ для морских вод используются 4 гидрохимических показателя, включая растворенный кислород (Методические …, 1988). Оптимальным для расчета УКИЗВ является набор от 10 до 25 показателей, а обязательными являются 15 показателей (РД 52.24.643–2002). Индекс CCME WQI рассчитывают минимум по 4 параметрам, но рекомендуемым является набор

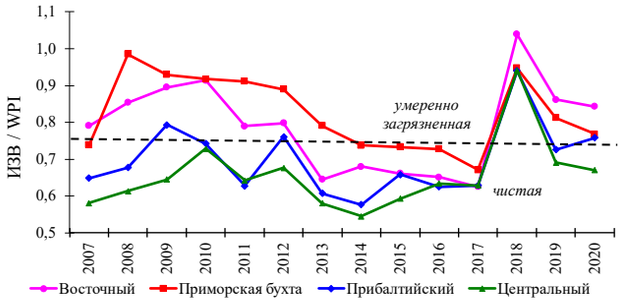

Рис. 2. Многолетняя динамика индекса загрязненности воды в разных районах акватории Вислинского залива в 2007–2020 гг.
Fig. 2. Long-term dynamics of the water pollution index in different areas of Vistula Lagoon in 2007–2020

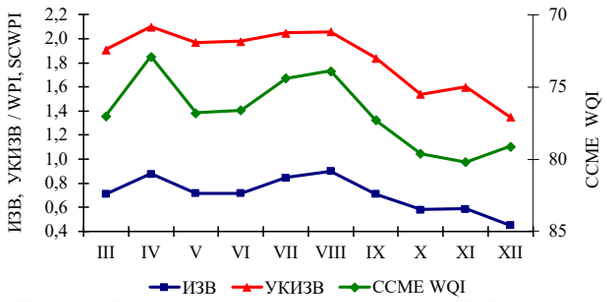

Рис. 3. Сезонная динамика величин ИЗВ, УКИЗВ и CCME WQI в акватории Вислинского залива в 2007–2020 гг.
Fig. 3. Seasonal dynamics of the values of the WPI, SCWPI and CCME WQI in Vistula Lagoon in 2007–2020

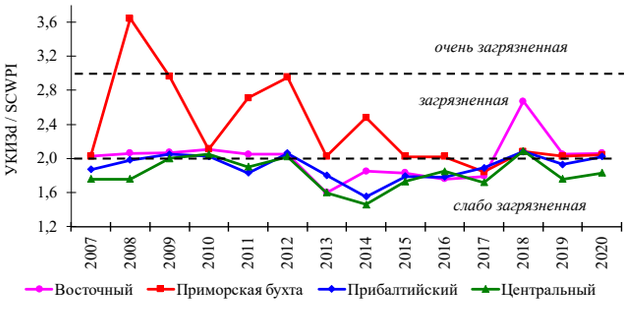

Рис. 4. Многолетняя динамика удельного комбинаторного индекса загрязненности вод в акватории Вислинского залива в 2007–2020 гг.
Fig. 4. Long-term dynamics of the specific combinatorial water pollution index (SCWPI) in Vistula Lagoon in 2007–2020

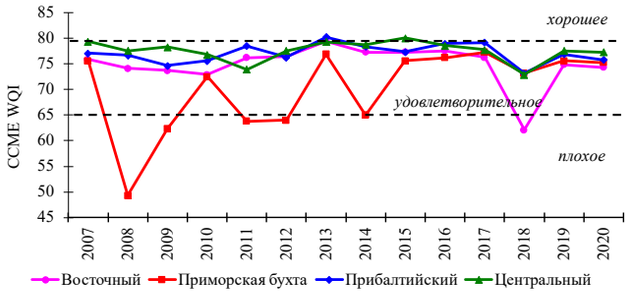

Рис. 5. Многолетняя динамика индекса CCME WQI в акватории Вислинского залива в 2007–2020 гг.
Fig. 5. Long-term dynamics of the CCME WQI in Vistula Lagoon in 2007–2020

от 8 до 20 (CCME, 2017).

В отличие от ИЗВ, при расчетах УКИЗВ и CCME WQI учитывается повторяемость случаев загрязнения, а для CCME WQI на итоговый результат также влияет фактор объема, значения которого изменяются даже при однократном превышении пороговых уровней при любом количестве определений.

Индексы загрязненности вод Вислинского залива характеризуются близкой динамикой (рис. 6). При этом УКИЗВ и CCME WQI более четко обозначают кратковременное локальное загрязнение, так как расчет амплитуды в них проводится только для показателей, значения которых находятся выше пороговых уровней. Индекс ИЗВ, в расчетах которого учитываются все показатели качества вод, включая те, значения которых находятся ниже ПДК, лучше характеризует устойчивость загрязнения.

В 2018 г. в заливе отмечался рост концентраций аммонийного азота. Это повлияло и на положительную динамику всех индексов загрязненности (рис. 6). Наибольшее количество биогенных элементов поступает в воды залива в паводковый период, при смыве почв с водосборных территорий. Весной в заливе наблюдается небольшой рост численности и биомассы фитопланктона, следствием которого является увеличение содержания в воде легкоокисляемых органических соединений. В июле-августе развитие фитопланктона приобретает массовый характер, в основном за счет синезеленых водорослей, что обусловливает выраженную положительную динамику $БПК_5$ (Александров, 2010; Александров и др., 2017). В летний период прогрев мелководного залива и ветровое перемешивание водных масс ведут к значительному росту концентраций в воде фосфатов за счет их эмиссии из донных отложений. Осенью концентрации биогенных элементов варьируют в зависимости от термического режима, который складывается в акватории залива в зависимости от климатических условий года.

В целом гидрохимические и гидробиологические данные характеризуют Вислинский залив как эвтрофно-гипертрофный (Aleksandrov, 2010). До 2010 г. концентрации хлорофилла «а», как показателя обилия фитопланктона, в Восточном районе и Приморской бухте соответствовали ги-

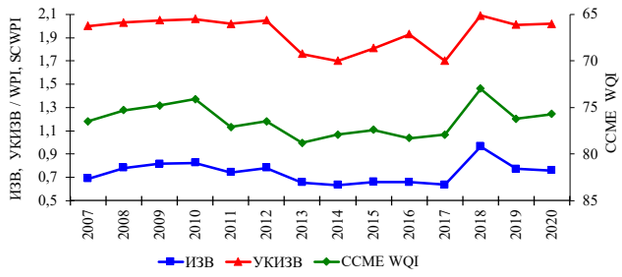

Рис. 6. Многолетняя динамика величин ИЗВ, УКИЗВ и CCMEWQI в акватории Вислинского залива в 2007–2020 гг.
Fig. 6. Long-term dynamics of the values of the WPI, SCWPI and CCME WQI in Vistula Lagoon in 2007–2020

пертрофному уровню. Отражением этого были высокие величины ИЗВ, УКИЗВ и CCME WQI.

Отмечаемое с 2010 г. массовое развитие в Вислинском заливе моллюска *Rangia cuneata* сильно отразилось на его экосистеме. При увеличении биомассы бентоса в 30 раз (до 800 г/м^2) средняя за вегетационный период концентрация хлорофилла «а» в российской части залива уменьшилась в 2 раза: с 38 мкг/л в 2001–2010 гг. до 20 мкг/л в 2011–2017 гг. (Александров, 2018). Снижение численности и биомассы синезеленых водорослей, содержания хлорофилла, общего азота и фосфора наблюдалось в это же время и в польской части залива (Kownacka et al., 2020). Вселение моллюска-фильтратора способствовало значительному уменьшению концентрации в воде легкоокисляемых органических веществ (по $БПК_5$), что также отразилось на величине индексов загрязненности.

Заключение

Вислинский залив представляет собой трансграничную лагуну Балтийского моря, которая подвержена различным видам антропогенного загрязнения. Наибольшие величины индексов ИЗВ, УКИЗВ и CCME WQI характерны для Восточного района и Приморской бухты, куда поступает речной сток р. Преголя и происходит сброс сточных вод г. Калининграда. При этом все индексы демонстрируют схожую сезонную и многолетнюю изменчивость.

Вселение моллюска *Rangia cuneata* положительно повлияло на качество вод в заливе в 2013–2017 гг. Введение в строй новых очистных сооружений в 2016 г. способствовало снижению показателей загрязнения Приморской бухты.

Благодарности. Гидрохимические исследования выполнены в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО» №076-00004-23-00, анализ пространственного распределения – госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Список литературы

1. Александров С.В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: АтлантНИРО, 2010. 228 с.

2. Александров С.В. Современное экологическое состояние и загрязнение Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Вода: химия и экология. 2011. №11. С. 3–9.

3. Александров С.В. Экологическое состояние Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование / Материалы Международной научно-практической конференции. Керчь: Ариал, 2018. С. 142–147.

4. Александров С.В., Вахрушева С.А., Мальфанов И.Л., Тренина Н.Е. Пространственные изменения гидрохимических показателей и солености воды в Вислинском заливе в 2010–2013 годах // Труды АтлантНИРО. 2017. Т. 1, №3. С. 33–64.

5. Александров С.В., Горбунова Ю.А. Продукция фитопланктона и содержание хлорофилла в эстуариях различного типа // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. №1. С. 90–98.

6. Александров С.В., Сташко А.В. Пространственное распределение и сезонная динамика биогенных элементов в Вислинском заливе в 2019 году // Известия КГТУ. 2021. №60. С. 11–21. doi: 10.46845/1997-3071-2021-60-11-21.

7. Журавлева Л.А., Тшосиньска А. Гидрохимический режим // Гидрометеорологический режим Вислинского залива. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. С. 219–262.

8. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М.: Госкомитет СССР по гидрометеорологии, 1988. 9 с.

9. РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.

10. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 2003. 202 с.

11. Aleksandrov S.V. Biological production and eutrophication of Baltic Sea estuarine ecosystems: the Curonian and Vistula Lagoons // Marine pollution bulletin. 2010. Vol. 61, №4–6. P. 205–210. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.02.015.

12. CCME Water Quality Index user's manual 2017. Update. URL: https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf (дата обращения: 05.11.2022).

13. Chubarenko B., Margoński P. The Vistula lagoon // Ecology of Baltic coastal waters. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. P. 167–195. doi: 10.1007/978-3-540-73524-3_8.

14. Kownacka J., Całkiewicz J., Kornijów R. A turning point in the development of phytoplankton in the Vistula Lagoon (southern Baltic Sea) at the beginning of the 21st century // Oceanologia. 2020. Vol. 62, №4. P. 538–555. doi: 10.1016/j.oceano.2020.08.004.

15. Lumb A., Halliwell D., Sharma T. Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mackenzie river basin, Canada // Environmental monitoring and assessment. 2006. №113. P. 411–429. doi: 10.1007/s10661-005-9092-6.

16. Miyittah M.K., Tulashie S.K., Tsyawo F.W., Sarfo J.K., Darko A.A. Assessment of surface water quality status of the Aby lagoon system in the western region of Ghana // Heliyon. 2020. Vol. 6, №7. P. e04466. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04466.

17. Teshome F.B. Seasonal water quality index and suitability of the water body to designated uses at the eastern catchment of Lake Hawassa // Environmental science and pollution research. 2020. Vol. 27, №1. P. 279–290. doi: 10.1007/s11356-019-06794-4.

References

1. Aleksandrov S.V. Pervichnaya produktsiya planktona v lagunakh Baltiyskogo morya (Vislinskiy i Kurshskiy zalivy) [Primary plankton production in the Baltic Sea lagoons (the Vistula and Curonian lagoons)]. Kaliningrad: AtlantNIRO, 2010. 228 p.

2. Aleksandrov S.V. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie i zagryaznenie Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morya [Current ecological state and pollution of the Curonian and Vistula lagoons of the Baltic Sea] // Voda: himiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]. 2011. No 11. P. 3–9.

3. Aleksandrov S.V. Ekologicheskoe sostoyanie Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltiyskogo moray [Ecological state of Curonian and Vistula lagoons of the Baltic sea] // Biologicheskoe raznoobrazie: izuchenie, sokhranenie, vosstanovlenie, ratsional'noe ispol'zovanie / Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Biological diversity: study, conservation, restoration, and rational exploitation / Proceedings of the international research and practice conference]. Kerch: Arial, 2018. P. 142–147.

4. Aleksandrov S.V., Vakhrusheva S.A., Malfanov I.L., Trenina N.E. Prostranstvennye izmeneniya gidrokhimicheskikh pokazateley i solenosti vody v Vislinskom zalive v 2010-2013 godakh [Spatial changes in hydrochemical parameters and water salinity in the Vistula Lagoon in 2010-2013] // Trudy AtlantNIRO [Works of AtlantNIRO]. 2017. Vol. 1, No 3. P. 33–64.

5. Aleksandrov S.V., Gorbunova Yu.A. Produkciya fitoplanktona i soderzhanie hlorofilla v estuariyah razlichnogo tipa [Phytoplankton production and chlorophyll content in estuaries of various types] // Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. [Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant]. 2012. No 1. P. 90–98.

6. Aleksandrov S.V., Stashko A.V. Prostranstvennoe raspredelenie i sezonnaya dinamika biogennyh elementov v Vislinskom zalive v 2019 godu [Spatial distribution and seasonal dynamics of biogenic elements in the Vistula Lagoon in 2019] // Izvestiya KGTU [KSTU news]. 2021. No 60. P. 11–21. doi: 10.46845/1997-3071-2021-60-11-21.

7. Zhuravleva L.A., Tshosin'ska A. Gidrohimicheskij rezhim [Hydrochemical regime] // Gidrometeorologicheskij rezhim Vislinskogo zaliva [Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. P. 219–262.

8. Metodicheskie rekomendatsii po formalizovannoy kompleksnoy otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Guidelines for a formalized comprehensive assessment of the quality of surface and sea waters by hydrochemical indicators]. Moscow: Goskomitet SSSR po gidrometeorologii, 1988. 9 p.

9. RD 52.24.643–2002. Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [A method for a comprehensive assessment of the degree of pollution of surface waters by hydrochemical indicators].

10. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybokhozyaystvennykh vodoyomov i perspektivnykh dlya promysla rayonov Mirovogo okeana [Guidelines for the chemical analysis of marine and freshwater in the environmental monitoring of fishery bodies of water and areas of the World Ocean promising for fishing]. Moscow: VNIRO, 2003. 202 p.

11. Aleksandrov S.V. Biological production and eutrophication of Baltic Sea estuarine ecosystems: the Curonian and Vistula Lagoons // Marine pollution bulletin. 2010. Vol. 61, No 4–6. P. 205–210. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.02.015.

12. CCME Water Quality Index user's manual 2017 Update. URL: https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf (accessed: 05.11.2022).

13. Chubarenko B., Margoński P. The Vistula lagoon // Ecology of Baltic coastal waters. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. P. 167–195. doi: 10.1007/978-3-540-73524-3_8.

14. Kownacka J., Całkiewicz J., Kornijów R. A turning point in the development of phytoplankton in the Vistula Lagoon (southern Baltic Sea) at the beginning of the 21st century // Oceanologia. 2020. Vol. 62, No 4. P. 538–555. doi: 10.1016/j.oceano.2020.08.004.

15. Lumb A., Halliwell D., Sharma T. Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mackenzie River Basin, Canada // Environmental monitoring and assessment. 2006. No 113. P. 411–429. doi: 10.1007/s10661-005-9092-6.

16. Miyittah M.K., Tulashie S.K., Tsyawo F.W., Sarfo J.K., Darko A.A. Assessment of surface water quality status of the Aby lagoon system in the western region of Ghana // Heliyon. 2020. Vol. 6, No 7. P. e04466. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04466.

17. Teshome F.B. Seasonal water quality index and suitability of the water body to designated uses at the eastern catchment of Lake Hawassa // Environmental science and pollution research. 2020. Vol. 27, No 1. P. 279–290. doi: 10.1007/s11356-019-06794-4.

Aleksandrov S.V., Stashko A.V. **The use of water pollution indices to assess the long-term variability of the state of the Vistula Lagoon**.

The Vistula Lagoon is a transboundary lagoon ecosystem of the Baltic Sea, which is subject to pollution from various anthropogenic sources. In 2007–2020 for the entire Russian water area of the lagoon, the calculation of the water pollution indices WPI and SCWPI and the CCME WQI was performed. The highest level of water pollution is typical for the Eastern region and Primorskaya Bay, where the river Pregolya runoff and sewage of Kaliningrad enter. The values of all indices in the lagoon showed similar seasonal and long-term variability with the highest values during the period of the most eutrophic state and the algae «bloom». The invasion of the filter-feeding mollusk *Rangia cuneata* resulted in a decrease in the values of the WPI, SCWPI and CCME WQI in 2013-2017. The commissioning of treatment facilities of Kaliningrad in 2016 led to a significant decrease in pollution of the Primorskaya Bay.

Keywords: Vistula Lagoon; water quality indices; water quality dynamics; eutrophication; treatment facilities.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article
Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 09.11.2022
Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 19.04.2023
Принята к публикации / Accepted for publication: 24.04.2023

Информация об авторах
Александров Сергей Валерьевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», 236022, Россия, г. Калининград, ул. Дм. Донского, 5; старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Россия, г. Москва, Нахимовский пр., 36, E-mail: hydrobio@mail.ru.
Сташко Андрей Владимирович, старший инженер, Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», 236022, Россия, г. Калининград, ул. Дм. Донского, 5, E-mail: hidanstashko@gmail.com.

Information about the authors
Sergey V. Aleksandrov, Ph.D. in Biology, Head of the Laboratory, Atlantic Branch of the FSBSI «VNIRO», 5, Dm. Donskoy st., Kaliningrad, 236022, Russia; Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117997, Russia, E-mail: hydrobio@mail.ru.
Andrey V. Stashko, Senior Engineer, Atlantic Branch of the FSBSI «VNIRO», 5, Dm. Donskoy st., Kaliningrad, 236022, Russia, E-mail: hidanstashko@gmail.com.