

Уровень трофности акватории Лименского залива (Южный берег Крыма, Черное море)

К. А. Слепчук *, Т. В. Хмара

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

** e-mail: skira@mhi-ras.ru*

Аннотация

Повышение уровня трофности акватории является одним из неблагоприятных последствий антропогенного воздействия на экологическое состояние морской среды. Причиной эвтрофирования водоемов часто является избыточное поступление в них биогенных веществ и легкоокисляемой органики, главным источником которых являются речной сток и сточные воды. Основная цель работы – определить сезонные изменения трофического состояния вод в районе Лименского залива на основе данных, полученных с помощью численного моделирования. Необходимые для расчета индекса трофности данные вычислялись по одномерному варианту модели качества воды и ее блоку эвтрофикации. Получен годовой ход концентрации хлорофилла *a*, азота нитратов и нитритов, аммония, фосфора фосфатов, кислорода для акватории Лименского залива. На основе этих биогеохимических показателей рассчитан индекс трофности. Исследуемая акватория обладает хорошим качеством морских вод со средним уровнем трофности. Лишь в холодный период с 1-го по 104-й и с 356-го по 365-й расчетные дни индекс ниже 4, что соответствует низкому уровню трофности. Максимальное значение индекса (4.39) приходится на 247-й расчетный день, минимальное (3.82) – на 365-й. Наибольшая корреляция индекса трофности наблюдается с концентрацией хлорофилла *a* ($r = 0.84$), минерального азота ($r = 0.80$) и общего фосфора ($r = 0.78$). Расчет относительного вклада компонентов, входящих в расчетную формулу индекса *E-TRIX*, показал, что основным фактором, определяющим уровень эвтрофикации вод Лименского залива, является концентрация минеральных форм азота. Данное исследование может использоваться при мониторинге зон, в которых отбор проб на месте трудно осуществить.

Ключевые слова: трофность, *E-TRIX*, Лименский залив, биогеохимическое моделирование, хлорофилл *a*, общий фосфор, минеральный азот

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0016 «Исследование пространственно-временной изменчивости океанологических процессов в береговой, прибрежной и шельфовой зонах Черного моря под воздействием природных и антропогенных факторов на основе контактных измерений и математического моделирования».

© Слепчук К. А., Хмара Т. 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

Для цитирования: Слепчук К. А., Хмара Т. В. Уровень трофности акватории Лименского залива (Южный берег Крыма, Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 4. С. 106–116. EDN OSAFQO.

Trophic State of the Limensky Bay Water Area (Southern Coast of Crimea, Black Sea)

K. A. Slepchuk *, T. V. Khmara

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

** e-mail: skira@mhi-ras.ru*

Abstract

Increase in the water area trophic state is one of the unfavourable consequences of anthropogenic impact on the ecological state of the marine environment. The cause of water body eutrophication is often an excessive input of nutrients and easily oxidisable organics, the main source being river runoff and sewage. The main aim of the work is to determine seasonal changes in the trophic state of the Limensky Bay water area based on numerical modelling data. The data required to calculate the trophic state index were derived using a one-dimensional version of the water quality model and its eutrophication block. The annual course of chlorophyll a concentration, nitrate and nitrite nitrogen, ammonium, phosphate phosphorus and oxygen was obtained for the Limensky Bay water area. The trophic state index was calculated from these biogeochemical indicators. The sea water in the study area is of good quality and its state was mesotrophic. Only in the cold period on the 1st–104th and 356th–365th model days, the index was below 4, which corresponds to an oligotrophic state. The maximum index value (4.39) was on the 247th model day and the minimum value (3.82) was on the 365th model day. The best correlation of the trophic state index was observed for the concentration of chlorophyll a ($r = 0.84$), mineral nitrogen ($r = 0.80$) and total phosphorus ($r = 0.78$). The calculated relative contribution of the components, included in the calculated formula of the E-TRIX index, showed that the main factor determining the eutrophication level of Limensky Bay waters was the concentration of mineral forms of nitrogen. This study can be used for monitoring the areas where *in situ* sampling is difficult.

Keywords: trophic state, E-TRIX, Limensky Bay, biogeochemical modelling, chlorophyll a, total phosphorus, mineral nitrogen

Acknowledgements: The work was performed under state assignment FNNN-2024-0016 “Studies of spatial and temporal variability of oceanological processes in the coastal, near-shore and shelf zones of the Black Sea influenced by natural and anthropogenic factors on the basis of *in situ* measurements and numerical modelling”.

For citation: Slepchuk, K.A. and Khmara, T.V., 2024. Trophic State of the Limensky Bay Water Area (Southern Coast of Crimea, Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 106–116.

Введение

Южный берег Крыма является территорией, обладающей уникальным рекреационным потенциалом. Однако туристическая деятельность оказывает влияние на экологическую ситуацию в регионе. В Крыму, особенно на южном побережье, экологические риски в свое время возникли из-за бессистемной планировки городов, в которой не были учтены наиболее важные

для экологического состояния территорий вопросы, включая оптимизацию системы водоотведения, в первую очередь ливневой, транспортную инфраструктуру [1]. Основным источником загрязнения морских вод южного побережья Крыма является сброс сточных вод от канализационных очистных сооружений и рекреационных комплексов, таких как санатории, дома отдыха и пансионаты [2]. В разгар туристических сезонов возрастает риск перенаселения побережья, что неизбежно приведет к загрязнению пляжной зоны и прилегающих к ней морских акваторий.

Рекреационные ресурсы прибрежной зоны моря зависят в основном от качества природной среды. В связи с этим на южном побережье Крымского п-ова проводится мониторинг акватории с целью определения состояния экосистем, тенденций их изменчивости и выработки рекомендаций по рациональному использованию природных ресурсов [2, 3].

Одним из неблагоприятных последствий антропогенного воздействия на экологическое состояние морской среды может быть повышение уровня трофности акватории. Причиной эвтрофирования водоемов часто является избыточное поступление в них биогенных веществ и легкоокисляемой органики, главным источником которых являются речной сток и сточные воды, чье влияние носит локальный характер. Невозможно подобрать общий метод оценки уровня трофности для разных морских акваторий. В каждом исследовании выбирается подход, обусловленный выбором показателей и их количества при расчетах различных экологических индексов с учетом ограниченного набора измеряемых параметров и показателей морской среды. Индекс трофности экосистемы *E-TRIX* основан на показателях концентрации основных биогенных элементов (азота и фосфора), степени насыщения воды кислородом и концентрации хлорофилла *a*. Преимущество *E-TRIX* заключается в использовании стандартных характеристик мониторинга, что позволяет проводить сравнительный анализ трофности вод различных морских акваторий и при этом давать не только качественную, но и количественную оценку состояния водоема.

В различных исследованиях (например, [4]) индекс *E-TRIX* рассчитывается на основе данных мониторинга. Однако не всегда доступно достаточное количество наблюдений в разных точках пространства. С помощью математического моделирования можно заполнить пробелы в данных и оценить состояние экосистемы, учитывая изменчивость ее компонентов. Кроме того, математическое моделирование позволяет прогнозировать эволюцию экосистемы при воздействии природно-климатических и антропогенных факторов.

Объектом исследования была выбрана акватория, находящаяся под минимальным техногенным воздействием и удаленная от крупных промышленных стоков, – Лименский залив вблизи пгт Кацивели.

Лименский (Голубой) залив расположен на Южном берегу Крыма между мысом Кикинеиз и горой Кошка. В юго-западной части залива находится стационарная океанографическая платформа (рис. 1). Основными источниками загрязнения в заливе являются сточные воды пгт Кацивели и сбросная труба использованных вод аквапарка «Голубой залив».

Гидрологическая структура вод Лименского залива в основном зависит от прибрежных течений и их изменчивости. Анализ натурных данных



Рис. 1. Район исследования

Fig. 1. Study area

показывает, что у м. Кикинеиз вдоль побережья наблюдается квазистационарное течение западо-юго-западного направления. Среднегодовой модуль скорости вектора течения имел максимальные значения в приповерхностном слое и за время мониторинга изменялся в пределах 5.8–9.4 см/с [5].

В данном районе при вдольбереговых ветрах с западной составляющей (юго-западных, западных и северо-западных) возникают апвеллинги. Такой подъем к поверхности глубинных холодных вод, обогащенных биогенными элементами, оказывает наибольшее влияние на содержание гидрохимических компонентов в весенне-летний период.

В результате возможно частичное загрязнение прибрежной зоны.

Воды Лименского залива являются уникальными по химическому составу. Содержание растворенного кислорода напрямую зависит от температурных показателей, при проявлении сгонных явлений его концентрация резко возрастает (до 115 %) [6]. Гидрохимические исследования показали наличие двух неблагоприятных участков с пониженным содержанием растворенного кислорода (97 %) [7].

Прибрежные воды в целом характеризуются умеренными концентрациями биогенных элементов. Для этого района характерно отсутствие дефицита фосфатов (~0.1 мкМ), даже в период роста и развития фитопланктона [8], что, в свою очередь, свидетельствует об активных динамических процессах, способствующих поступлению фосфатов из нижележащих слоев моря. Концентрация форм азота, по данным выполненных исследований в рекреационных зонах ЮБК, характеризовалась сравнительно низкими значениями (0.2 мкМ).

С марта 2010 г. по март 2012 г. в Лименском заливе выполнялись комплексные экологические исследования в районе мидийно-устричной фермы, которая расположена на траверзе м. Кикинеиз (рис. 1). Анализ полученных данных показал [9–11], что в период исследований в районе фермы гидрохимический режим характеризовался хорошей аэрацией толщи вод, относительно низким содержанием биогенных веществ и незначительным антропогенным прессом. Экстремально высокая температура воды (более 26 °C) в июле – августе 2010 г. определила низкие количественные показатели фитопланктона (20 мг/л). За исследуемый период не отмечено характерных для прибрежных вод периодов цветения воды, вызываемого развитием отдельных видов фитопланктона. Высокое содержание аммонийного азота (до 30.3 мкг/л) в теплый период года, по сравнению с другими минеральными формами азота, обусловлено процессами деструкции органического вещества.

Основная цель данной работы – определить сезонные изменения трофического состояния вод в районе Лименского залива с использованием индекса *E-TRIX* на основе данных, полученных с помощью численного моделирования.

Материалы и методы

Оценка уровня трофности Лименского залива проводится с помощью индекса *E-TRIX*. Он представляет собой функцию, содержащую растворенный кислород, минеральный азот, общий фосфор и хлорофилл *a*. Согласно работе [12], индекс трофности определяется по формуле

$$E-TRIX = (\lg[Ch \cdot D\%O \cdot N \cdot P] + 1.5) / 1.2,$$

где *Ch* – концентрация хлорофилла *a*, мкг/л; *D%O* – отклонение в абсолютных значениях содержания растворенного кислорода от 100%-ного насыщения; *N* – концентрация растворенной формы минерального азота, мкг/л; *P* – концентрация общего фосфора, мкг/л.

Значения индекса *E-TRIX* могут варьироваться от 0 до 10. В зависимости от этих значений существует четыре уровня трофности: низкий (< 4), средний (4–5), высокий (5–6) и очень высокий (6–10).

Если показатель уровня трофности превышает 6, то исследуемая акватория содержит высокие концентрации биогенных веществ, обладает низкой прозрачностью, что может привести к гипоксии в придонных слоях ее вод. Если показатель не больше 4, то наблюдаются незначительные концентрации биогенных элементов, хороший воздухообмен по всей толще и высокая прозрачность [13].

Необходимые для расчета индекса *E-TRIX* данные о концентрации хлорофилла *a*, растворенного кислорода, минерального азота, общего фосфора вычислялись по одномерному варианту модели качества воды и ее блоку эвтрофикации [14]. Перед расчетом проводилась калибровка модели с использованием данных за 2010–2012 гг. о концентрации биомассы фитопланктона из работ [9, 10] и концентрации биогенных элементов и кислорода из базы океанографических данных Морского гидрофизического института.

В качестве входных параметров модели использовались метеоданные: скорость и направление ветра с интервалом в 4 ч, температура воздуха с интервалом в 3 ч, фотосинтетически активная радиация за сутки, влажность и балл облачности с интервалом 6 ч. Также использовались годовой ход прозрачности, значения температуры морской воды, солености, концентрации фитопланктона, биогенных элементов, кислорода, органического фосфора и органического азота, которые задаются на 1 января расчетного года.

Результаты

В течение расчетного года индекс *E-TRIX* изменялся от 3.82 до 4.39 (среднее 4.09), что является переходным уровнем трофности исследуемой акватории от низкого к среднему и показателем хорошего качества воды. Наибольшее значение в 247-й расчетный день (5 сентября) совпадает с осенним пиком «цветения» фитопланктона, наименьшее – в 365-й (31 декабря). Со 105-го по 355-й расчетный день показатель больше 4, в остальные дни – меньше. Если говорить о сезонах, то наибольший средний показатель осенью (4.22), наименьший – зимой (3.96) (табл. 1).

В работе [15] рассчитывался индекс трофности по натурным данным в районе Лименского залива с использованием модифицированной формулы. Авторы вместо минерального азота использовали общий азот и добавили

Таблица 1. Изменение индекса *E-TRIX* в зависимости от сезона

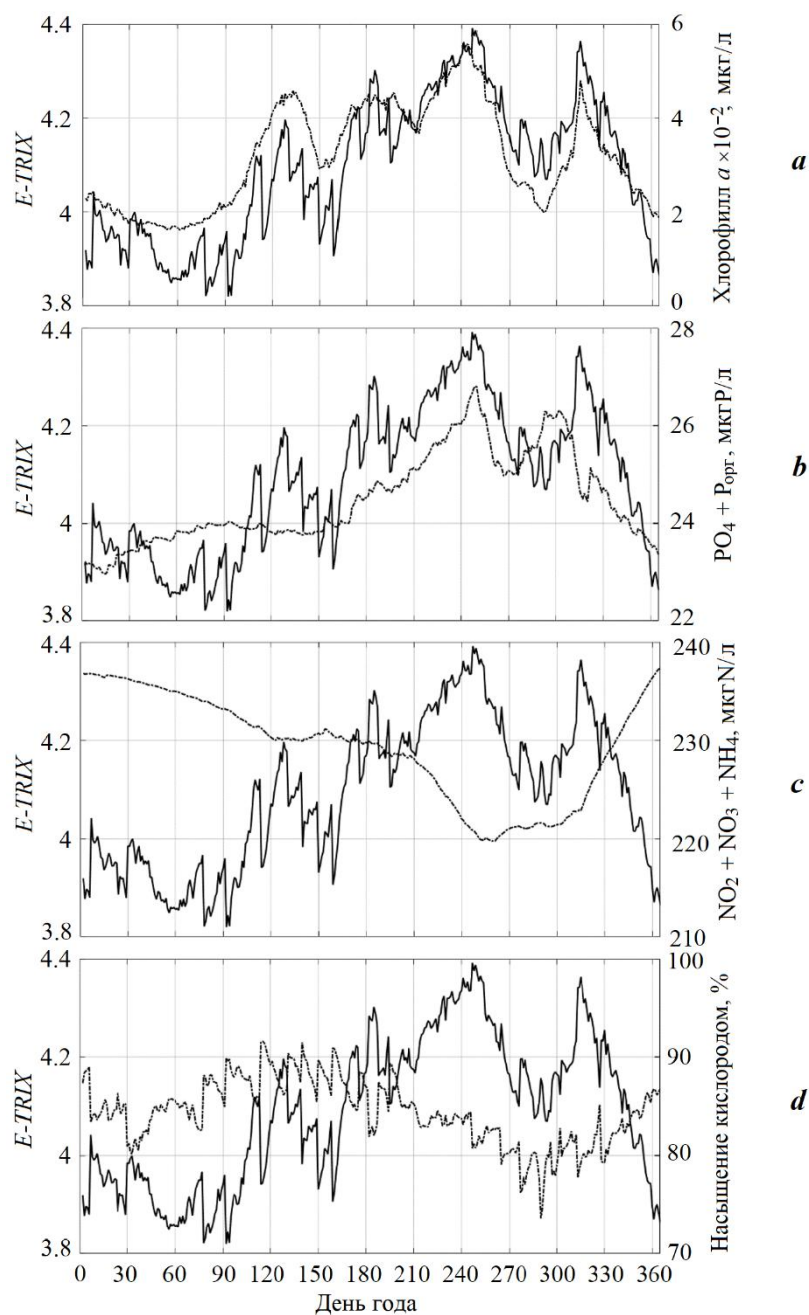
Table 1. Change in *E-TRIX* index depending on the season

Сезон / Season	Диапазон значений / Value range	Среднее значение / Average
Зима / Winter	3.82...4.17	3.96
Весна / Spring	3.82...4.20	3.98
Лето / Summer	3.91...4.36	4.19
Осень / Autumn	4.07...4.39	4.22

концентрацию кремния в качестве множителя под знаком десятичного логарифма. Общий азот был взят по рекомендации из работы [16]. Концентрацию кремния авторы исследования [15] включили в общую формулу для более точной оценки качества воды, так как кремний является важным биогенным элементом. Поэтому среднее значение *E-TRIX* в вышеуказанной работе немного выше (4.42), чем в полученных нами результатах. Из-за отсутствия кремния в используемом нами химико-биологическом блоке модели качества вод численно проверить результат, полученный в работе [15] для Лименского залива, не представляется возможным.

На рис. 2 представлен годовой ход показателя эвтрофирования с хлорофиллом *a*, общим фосфором, минеральным азотом и отклонением в абсолютных значениях содержания растворенного кислорода от 100%-ного насыщения. Нужно отметить, что фосфаты, органический фосфор, аммоний не имеют ярко выраженного сезонного хода. У нитратов же максимальные концентрации – в холодный период с декабря по март, минимальные – в теплый период года, что отражено на рис. 2, *в*. Подобный результат описан авторами работы [9]. Зимнее поступление нитратов обусловлено конвективным перемешиванием вод, летнее – апвеллингами. У нитритов максимальные значения – в период повышенной динамической активности вод с декабря по март. В акватории Лименского залива нет прямого влияния речного стока на образование гидрохимической структуры, что отмечено в работе [10].

Был рассчитан относительный вклад компонентов, входящих в расчетную формулу *E-TRIX*. Наибольший относительный процентный вклад в расчетную формулу внес минеральный азот (44.48...51.88 %, среднее значение 48.17 %), затем модуль хлорофилла *a* (–38.71...–24.02 %, среднее значение –31.19 %), общий фосфор (26.59...30.12 %, среднее значение 28.32 %) и наименьший вклад с отклонением в абсолютных значениях содержания растворенного кислорода от 100%-ного насыщения (19.44...28.49 %, среднее значение 24.09 %).



Р и с . 2 . Годовой ход индекса *E-TRIX* (сплошная кривая) и концентрации (штрихпунктирная кривая) хлорофилла *a* (*a*), общего фосфора (*b*), минерального азота (*c*), насыщения вод кислородом (*d*) в водах Лименского залива

Fig. 2. Annual variations of *E-TRIX* index (solid curve) and concentrations (dashed-dotted curve) of chlorophyll *a* (*a*), total phosphorus (*b*), mineral nitrogen (*c*), water oxygenation (*d*) in the Limensky Bay waters

Таблица 2. Относительный вклад (%) компонентов в расчетную формулу *E-TRIX*

Table 2. Relative contribution (%) of the components to the *E-TRIX* calculation formula

<i>E-TRIX</i>	<i>D%O</i>	<i>Ch</i>	<i>N</i>	<i>P</i>
Max	24.27	–24.66	44.63	27.18
Min	23.86	–38.36	51.88	29.86

В табл. 2 указаны относительный вклад в процентах компонентов в результате расчета по формуле при минимальном и максимальном значении показателя эвтрофирования. При максимальном значении показателя относительные вклады минерального азота и модуля хлорофилла *a* минимальны, а при минимальном значении *E-TRIX* вклады этих компонентов максимальны. Подобный факт был описан в статье [17] для Севастопольской и Южной бухт.

Если в исходной формуле заменить гидрохимический параметр на 1 (т. е. исключить его из формулы), то индекс трофности может либо увеличиться (если исключить концентрацию хлорофилла *a*), либо уменьшиться (если исключить концентрацию общего фосфора, минерального азота, отклонение в абсолютных значениях содержания растворенного кислорода от 100%-ного насыщения) (рис. 3). Из представленного рисунка видно, что значение *E-TRIX* больше всего уменьшается (почти в два раза) при исключении минерального азота, что очередной раз показывает, что его вклад в расчетную формулу в данном регионе максимальный.

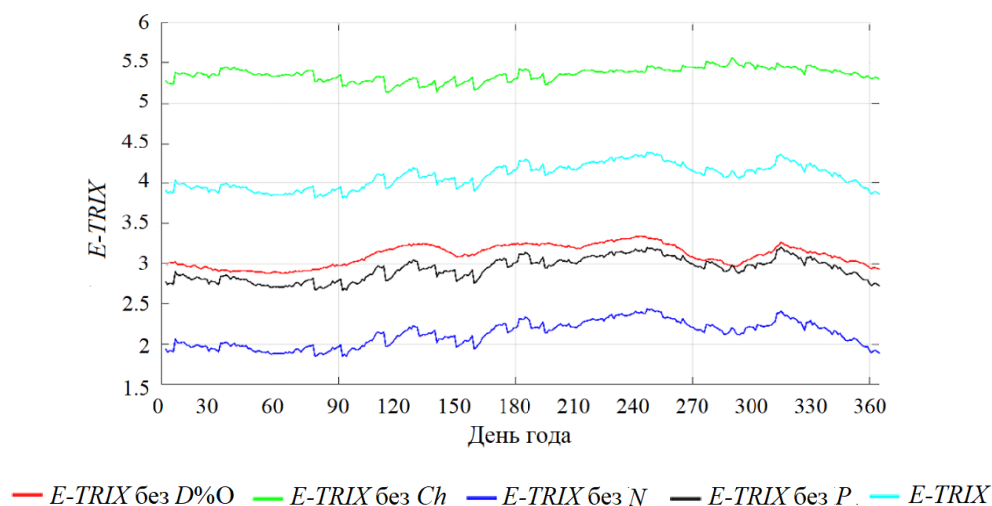


Рис. 3. Вклад отдельных гидрохимических характеристик в величину *E-TRIX*

Fig. 3. Contribution of individual hydrochemical characteristics to *E-TRIX* quantity

Рассчитаны коэффициенты корреляции между показателем *E-TRIX* и отклонением в абсолютных значениях содержания растворенного кислорода от 100%-ного насыщения, концентрацией общего фосфора, минерального азота и хлорофилла *a*. Наибольшие значения коэффициента корреляции получены с концентрацией хлорофилла *a* ($r = 0.84$), минерального азота ($r = 0.80$) и общего фосфора ($r = 0.78$). С отклонением в абсолютных значениях содержания растворенного кислорода от 100%-ного насыщения корреляция слабая ($r = 0.47$).

Заключение

Моделирование биогеохимических показателей Лименского залива и дальнейший расчет индекса трофности показали, что качество морских вод акватории хорошее с переходным от низкого к среднему уровню трофности. В холодный период с 1-го по 104-й и с 356-го по 365-й расчетные дни *E-TRIX* ниже 4, что соответствует низкому уровню трофности, в остальные расчетные дни – выше. Максимальное значение индекса приходится на 247-й расчетный день (4.39), минимальное – на 365-й (3.82). Наибольшая корреляция индекса трофности наблюдается с концентрацией хлорофилла *a* ($r = 0.84$), минерального азота ($r = 0.80$) и общего фосфора ($r = 0.78$). Расчет относительного вклада компонентов, входящих в расчетную формулу *E-TRIX*, показал, что основным фактором, определяющим уровень эвтрофикации вод Лименского залива, является концентрация минеральных форм азота. Таким образом, моделирование экосистем и дальнейший расчет *E-TRIX* может помочь в проведении оценки экологического состояния в других водоемах, где деятельность по отбору проб на месте трудно осуществить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы зон экологического риска на приморских территориях Крыма / Н. М. Ветрова [и др.] // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 2(26). С. 59–73. <https://doi.org/10.21869/23-11-1518-2019-26-2-59-73>
2. Проблемы состояния морской окружающей среды Крымского полуострова / В. М. Грузинов [и др.] // Труды Государственного океанографического института. 2018. Вып. 219. С. 124–151. EDN XSEMCL.
3. Гидролого-гидрохимические характеристики прибрежных вод Крыма и необходимые мероприятия по снижению уровня загрязнения рекреационных зон / Н. Н. Дьяков [и др.] // Труды Государственного океанографического института. 2020. Вып. 221. С. 163–194. EDN ZERYSO.
4. Скуратова П. Н., Хасанова Л. Н., Мусина С. А. Анализ трофического состояния вод губы Ура Мотовского залива, губы Лодейная Кольского залива и Кильдинского пролива Мурманской области с помощью индекса *E-TRIX* // Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 26–34. EDN CDPEJR. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-2-26-34>
5. Кузнецов А. С. Среднемноголетняя сезонная изменчивость прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2002–2020 годах // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38, № 2. С. 151–164. EDN VKOPIF. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2022-2-151-164>

6. Евстигнеева Д. С., Кондратьев С. И., Метик-Дионова В. В. Динамика кислорода в поверхностных водах прибрежной зоны Голубого залива в весенне-осенний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. Вып. 26, т. 1. С. 310–316. EDN VUYZEZ.
7. Гидролого-гидрохимические и гидрооптические характеристики вод Голубого залива (пос. Кацивели, сентябрь 2002 г.) / С. И. Кондратьев [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. № 8. С. 119–131. EDN ZAQMTJ.
8. Голубой залив как подспутниковый полигон для оценки гидрохимических характеристик в шельфовых областях Крыма / С. И. Кондратьев [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 1. С. 49–61. EDN VTPCZR.
9. Поспелова Н. В., Трощенко О. А., Субботин А. А. Изменчивость кормовой базы двустворчатых моллюсков в двухлетнем цикле выращивания на мидийно-устричной ферме (Черное море, Голубой залив) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. 2018. Т. 4 (70), № 4. С. 148–164. EDN YTABKX.
10. Структура фито- и меропланктона в акватории мидийно-устричной фермы на фоне различных гидролого-гидрохимических условий (Черное море, Южный берег Крыма, Голубой залив) / О. А. Трощенко [и др.] // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20, № 1. С. 93–106. EDN KREVAD.
11. Результаты комплексных экологических исследований на акватории мидийно-устричной фермы (Голубой залив, Крым, Чёрное море) / О. А. Трощенко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. Вып. 26, т. 1. С. 291–309. EDN VUYZER.
12. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index / R. A. Vollenweider [et al.] // Environmetrics. 1998. Vol. 9, iss. 3. P. 329–357. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-095X\(199805/06\)9:33.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:33.0.CO;2-9)
13. Moncheva S., Doncheva V. Eutrophication index ((E) TRIX) – an operational tool for the Black Sea coastal water ecological quality assessment and monitoring // International Symposium “The Black Sea ecological problems”. Odessa : SCSEIO, 2000. P. 178–185.
14. Иванов В. А., Тучковенко Ю. С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. Севастополь, 2006. 368 с.
15. Губанов В. И., Родионова Н. Ю. Диагноз трофности вод в районе расположения мидийно-устричной фермы (Черное море, Крым, Голубой залив) // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона : материалы VIII Международной конференции. Керчь, 23–26 июня 2013 г. С. 146–151. EDN YRGBND.
16. Saroglia M., Cecchini S., Saroglia-Terova G. Review of regulations and monitoring of Italian marine aquaculture // Journal of Applied Ichthyology. 2000. Vol. 16. P. 182–186. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2000.00271.x>
17. Слепчук К. А., Хмара Т. В., Маньковская Е. В. Сравнительная оценка уровня трофности Севастопольской и Южной бухт с использованием индекса E-TRIX // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 5. С. 67–78. EDN ZQKYZT. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-5-67-78>

Поступила 12.06.2024 г.; одобрена после рецензирования 30.07.2024 г.;
принята к публикации 18.09.2024 г.; опубликована 20.12.2024 г.

Об авторах:

Слепчук Кира Александровна, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0001-5437-4866**, **ResearcherID: H-9366-2017**, skira@mhi-ras.ru

Хмара Татьяна Викторовна, научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **Scopus Author ID: 6506060413**, **ResearcherID: C-2358-2016**, xmara@mhi-ras.ru

Заявленный вклад авторов:

Слепчук Кира Александровна – постановка проблемы, проведение численных экспериментов, обработка и интерпретация результатов моделирования, подготовка текста и графических материалов статьи

Хмара Татьяна Викторовна – анализ и описание результатов исследования, подготовка текста

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.