

## РОЛЬ БИОТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЁМКОСТИ АКВАТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ БУХТ СЕВАСТОПОЛЯ)

О. В. Соловьёва

*Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН*

Поступила в редакцию 21.05.2015 г.

**Аннотация.** На основе имеющихся материалов о взаимодействии организмов перифитона антропогенных субстратов с нефтяным загрязнением проведена оценка количества нефтепродуктов, ассимилируемых данным сообществом на поверхности крупных гидротехнических сооружений. Установлено, что на южном молу Севастопольской бухты ежегодно подвергается деструкции около 0.4 кг нефтепродуктов, а на восточном молу Камышовой – 0.3 кг нефтяных углеводородов соответственно. В илистых отложениях этих сооружений содержится в среднем 350 кг нефтепродуктов на южном молу, и 230 кг – на восточном. При этом на исследованных гидротехнических сооружениях не происходит депонирование нефтяных углеводородов, поскольку они разлагаются микрофлорой и активно перераспределяются по поверхности. Сообщество, обитающее на поверхности гидротехнических сооружений вносит определённый вклад в процессы самоочищения и таким образом участвует в формировании ассимиляционной ёмкости акватории.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, нефтяные углеводороды, ассимиляционная ёмкость, самоочищение, перифитон

**Abstract.** Based on the material available on the interaction of periphyton organisms of anthropogenic substrates with oil pollution the amount of the oil-products, assimilated by the community on the surface of large hydraulic structures, was assessed. It was determined that on the south pier of the Sevastopol bay annually decomposed of about 0.4 kg of oil, and on the eastern pier of the Kamyshovaya bay – 0.3 kg of petroleum hydrocarbons, respectively. In the muddy sediments of these structures, contain an average of 350 kg of oil on the south pier, and 230 kg - on the eastern. Thus, on the surface the studied hydrotechnical structures does not occurs deposition of petroleum hydrocarbons, because they undergo microbial degradation by periphyton organisms on the surface of the breakwaters and redistribute around. Community, which inhabits the surface of hydraulic constructions, makes certain contribution to the self-purification processes and thus participates in the formation of the assimilative capacity of the water area.

**Keywords:** hydrotechnical structures, oil hydrocarbons, assimilative capacity, self-purification, periphyton

Разработка рекомендаций по управлению качеством водной среды и эксплуатации прибрежных акваторий неразрывно связана с определением ассимиляционной ёмкости прибрежной экосистемы. Это показатель максимальной динамической вместимости количества загрязняющего вещества, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы экосистемы без нарушения нормальной её деятельности. Величина ассимиляционной ёмкости экосистемы зависит от мно-

жества природных и антропогенных факторов, физических и химических свойств загрязняющего вещества; но, ведущую роль в её формировании играют биологические процессы. Например, при практической оценке ассимиляционной ёмкости океана можно выделить 3 основных процесса: гидродинамику, микробиологическое окисление органических загрязняющих веществ, биоседиментацию [1]. Знание данной величины для конкретных прибрежных зон – необходимое условие их дальнейшего устойчивого развития, т.к., исходя из величины ассимиляционной ёмкости акватории, становится возможным рассчитать

то количество сбрасываемых загрязняющих веществ, которое не нанесёт непоправимого ущерба экосистемам. Сопоставление этих величин с современными объёмами поступления загрязнителей позволят давать рекомендации по экологически-обоснованному комплексному управлению прибрежной зоной моря. Из трёх указанных процессов формирования ассимиляционной ёмкости акватории, последние два параметра лежат в рамках гидробиологических исследований.

Разработка рекомендаций для управления качеством водной среды и эксплуатации акватории не может не учитывать наличие гидротехнических сооружений, т.к. в портовых акваториях, в частности, в Севастопольской бухте, на их поверхности происходят активные биологические и физико-химические процессы.

Целью данной работы стало определение роли перифитона гидротехнических сооружений в формировании ассимиляционной ёмкости прибрежной акватории.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Оценка вклада перифитона гидротехнических сооружений в формирование ассимиляционной ёмкости акваторий проводилась на основе материалов о взаимодействии данных организмов с нефтяным загрязнением. Для расчётов использовались данные о митилидном обрастании (учитывались моллюски *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Mytilaster lineatus* Gmel.) крупных гидротехнических конструкций прибрежной зоны Севастополя (рис. 1): южного мола Севастопольской бухты, восточного мола Камышовой бухты [2]. Также рассмотрены данные о содержании нефтяных углеводородов в илистых образованиях и численности нефтеокисляющих бактерий в илах на поверхности указанных сооружений [3], полученные одновременно с отбором проб митилид. Корреляционный анализ проводился с помощью программы Microsoft Excel.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На поверхности гидротехнических сооружений протекают интенсивные процессы взаимодействия биоты с органическим веществом, результатом которых является естественное самоочищение акватории. По этой причине моделирование и оценка интенсивности указанных процессов на поверхности гидротехнических сооружений представляет значительный научный и практический интерес.

Для оценки ассимиляционной ёмкости применяются различные подходы [4, 5]. Например, оценку среднего значения и среднеквадратичного отклонения ассимиляционной ёмкости морской экосистемы ( $m$ ) по отношению к отдельным загрязняющим веществам предлагается рассчитывать по итоговым формулам 1 [6]:

$$\begin{aligned} AE_{mi} &= \overline{A_{mi}} \pm \sqrt{pD[A_{mi}]}, \\ \overline{A_{mi}} &= \frac{Q_m \cdot C_{thr} \cdot \overline{v_i}}{iC_{maxi}}, \\ D[A_{mi}] &= \left( \frac{Q_m \cdot C_{thri}}{C_{maxi}} \right)^2 \cdot \overline{D[v_i]}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Q_m$  — объём воды в расчётной области;  $C_{thr}$  — пороговая концентрация загрязняющего вещества;  $C_{maxi}$  — максимальная концентрация загрязняющего вещества в экосистеме;  $v_i$  — скорость удаления загрязняющего вещества из экосистемы, среднее значение и дисперсия которой определяются по оригинальному алгоритму [4].

Из приведённой формулы следует, что ассимиляционная ёмкость акватории пропорциональна средней скорости удаления загрязняющих веществ из экосистемы.



Рис. 1. Схема расположения объектов исследований.

Процесс биоседimentации на поверхности гидротехнических сооружений севастопольской акватории связан, в основном, с деятельностью моллюсков-фильтраторов: мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) и митилястеров (*Mytilaster lineatus* Gmel.). Оценки, сделанные в наших предыдущих работах [7] показали, что их вклад в осаждение взвешенного вещества в акватории составляет около 200 т в год, из которых около 3 т приходится на нефтепродукты.

Распределение осаждённых веществ обуславливается как интенсивностью их седиментации,

так и гидродинамическими явлениями, вызывающими перераспределение илистых образований. Нефтепродукты на поверхности гидротехнических сооружений накапливаются в том числе, и благодаря жизнедеятельности мидий и митилиастеров. По этой причине содержание нефтяных углеводородов (НУ) в иле может зависеть от величины потоков этих веществ, трансформируемых митидами, на которые, в свою очередь, влияют обилие и размерная структура поселений моллюсков. Можно предположить, что с увеличением потока НУ через поселение моллюсков должно возрастать и содержание указанных веществ в перифитоне. Графическое представление зависимости численности и биомассы митилидных моллюсков от содержания НУ в илистых отложениях на поверхности моллов приведены на рисунке (рис. 2 А, Б).

Данные рис. 2, подтвержденные результатами корреляционного анализа, говорят об отсутствии зависимости содержания НУ в илистых отложениях [3] от численности и биомассы митилидных поселений. Коэффициенты корреляции находились в диапазоне от -0.27 до 0.05.

Отсутствие предполагаемой зависимости, скорее всего, связано с тем, что интенсивность осаждения митидами данного класса веществ на поверхность моллов значительно ниже скорости процессов биоразложения нефти, а также интенсивности оседания нефтепродуктов под влиянием других факторов. Можно предположить, что в результате гидродинамических процессов происходит перемещение осадков по поверхности подводной части моллов, это и определяет распределение НУ на них.

Во время фильтрации моллюсками практически не происходит преобразование нефтепродуктов, поскольку мидии не имеют ферментов, разлагающих эти вещества [8]. Они лишь переводят их в связанное состояние, более пригодное для потребления микроорганизмами. При взаимодействии с внутренней нефтеокисляющей микрофлорой митилид ассимилируется около 0.01 % от количества нефти, проходящей через данных моллюсков [7].

Микробная деструкция наиболее активно происходит на поверхности твёрдых субстратов. Гидротехнические сооружения, с одной стороны, являются дополнительными поверхностями для развития микробного сообщества, которое ассимилирует органическое вещество (в том числе и нефтепродукты).

Известно, что в Чёрном море до 75 % первичной продукции и 90 % деструкции органического вещества в прибрежной зоне приходится на сообщества перифитона антропогенных субстратов [9]. Также указывается на наличие нефтяного загрязнения на поверхности антропогенных субстратов [10, 11] и его негативное влияние на состояние перифитонных сообществ [12]. При этом поток нефти через указанные сообщества практически не изучен, косвенные данные о нём получены при изучении химического состава микроперифитона (подробно об этом см. [13]). Ранее рассматривался поток НУ в прибрежных наносах, расположенных на линии уреза [8]. Приведённые там величины, по видимому, относятся к покрывающему структурные элементы наносов перифитону, который благодаря постоянному гидродинамическому воздействию представлен в основном первичной слизистой плёнкой, состоящей из бактерий и микроводорослей [8].

Для расчёта утилизации нефтепродуктов на поверхности моллов были использованы данные [3] о численности нефтеокисляющих бактерий в илах на поверхности южного мола Севастопольской бухты и восточного мола Камышово́й бухты, а также информация [7] о массе ила и площади этих гидротехнических сооружений.

Оценка потенциала микробной трансформации НУ на поверхности гидротехнических сооружений производилась по формуле 2:

$$F_i = P_0 \cdot N_i \cdot m_i \cdot S_i, \quad (2)$$

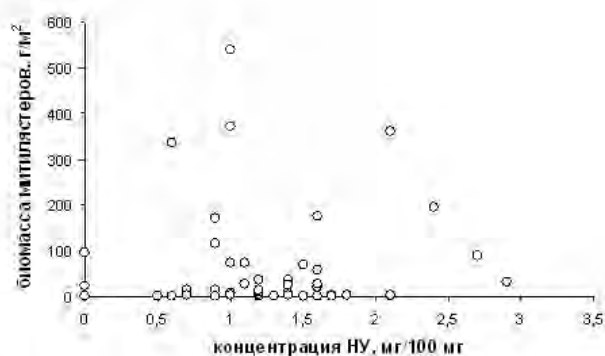
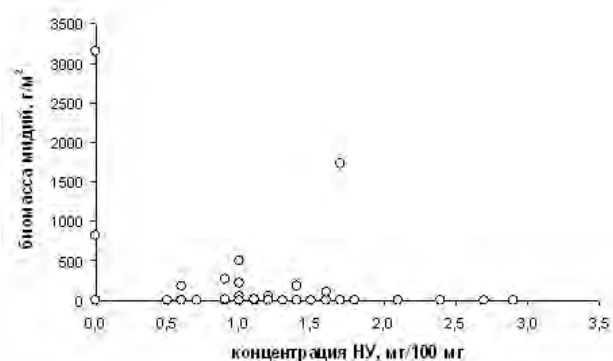
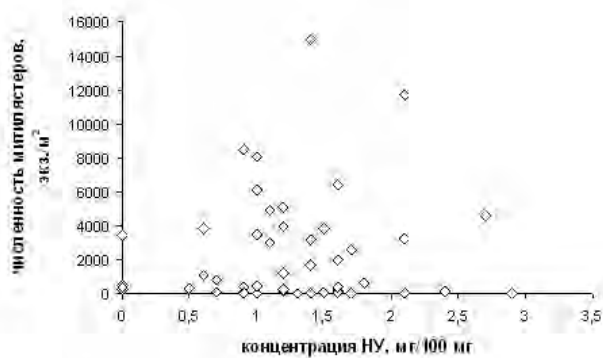
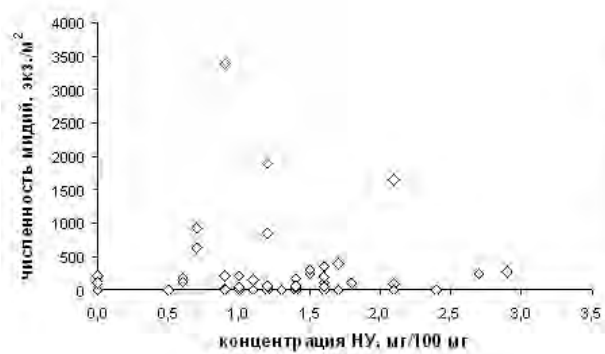
где  $P_0$  – нефтеокисляющая способность одной клетки;  $N_i$  – средняя численность нефтеокисляющих бактерий в перифитоне на поверхности сооружения;  $m_i$  – масса ила на 1 см<sup>2</sup> сооружения;  $S_i$  – площадь подводной поверхности гидротехнического сооружения.

Содержание НУ в илистых отложениях гидротехнических сооружений рассчитывалось по формуле 3:

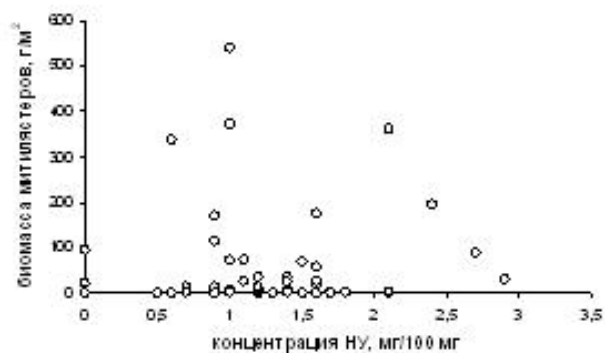
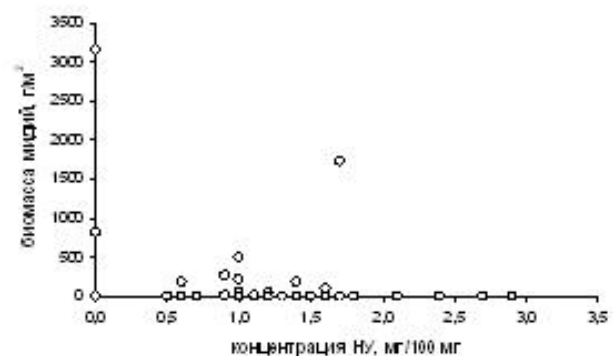
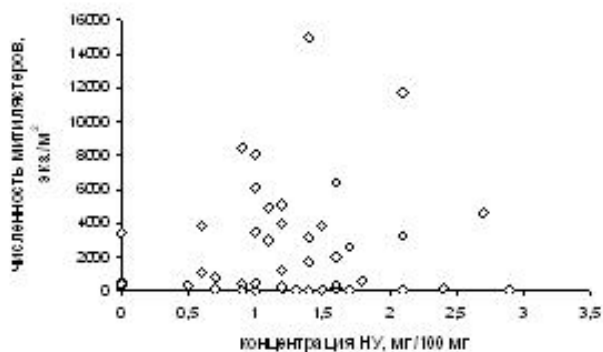
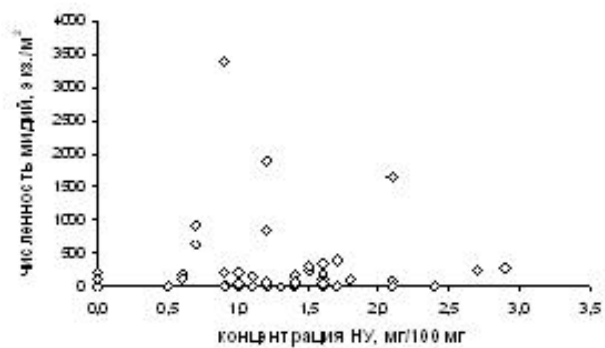
$$V_i = C_i \cdot m_i \cdot S_i, \quad (3)$$

где  $C_i$  – среднее содержание НУ в илистых отложениях на поверхности моллов, мг/100 мг;  $m_i$  – масса ила на 1 см<sup>2</sup> сооружения;  $S_i$  – площадь подводной поверхности гидротехнического сооружения.

Принимая во внимание тот факт, что одна клетка способна утилизировать порядка  $3.76 \cdot 10^{-8}$  мг нефтепродуктов в сутки [14, 15], был рассчитан поток НУ через микробное сообщество перифитона гидротехнических конструкций (табл. 1).



А – южный мол Севастопольской бухты



Б – восточный мол Камышовой бухты

Рис. 2 Численность и биомасса митилидных моллюсков при различных концентрациях НУ в илистых отложениях на поверхности гидротехнических сооружений

Таблица 1

Оценка микробной трансформации НУ на поверхности гидротехнических сооружений

Гидротехническое сооружение	$m_p$ , г/см <sup>2</sup> [3]	$N_p$ , кл/г [3]	$S_p$ , м <sup>2</sup> [7]	$C_p$ , мг/100мг [7]	$F_p$ , кг	$V_p$ , кг/год
Южный мол	0,0625	10 <sup>3</sup>	47500	1,2	350	0,4
Восточный мол	0,0878	10 <sup>3</sup>	21000	1,25	230	0,3

Расчёты показали, что на южном молу ежегодно подвергается деструкции около 0.4 кг нефтепродуктов, а на восточном – 0.3 кг. Следует также отметить, что эти величины являются ориентировочными и могут существенно зависеть от ряда биотических и абиотических факторов [16]. Существует утверждение, что наличие искусственных сооружений в акватории повышает потенциал самоочищения в 10 – 20 раз [17]. В нашем же случае, благодаря наличию молов дополнительно утилизируется около 500 – 600 г нефти в год.

На поверхности молов в илистых отложениях содержится: 350 кг нефтепродуктов на южном и 230 кг – на восточном. Эти количества почти на 3 порядка превышают потенциальную годовую деструкцию НУ данной группой организмов на поверхности конструкций. При этом, на поверхности исследованных гидротехнических сооружений скорее всего не происходит депонирование НУ: из-за подвижности илистых отложений они активно перераспределяются. Это объясняет тот факт, что количество осаждаемых моллюсками-фильтраторами взвешенных нефтепродуктов не коррелирует с содержанием НУ в иле на поверхности мола.

Исходя из данных о скорости потребления нефти бактериями перифитона молов, без дополнительных подсчётов, можно предположить, что на поверхности всех гидротехнических сооружений севастопольской акватории (наиболее крупными из которых являются молы, ограждающие Севастопольскую и Камышовую бухты) ежегодно разрушается несколько килограммов нефтепродуктов. Данные величины можно считать вкладом перифитона гидротехнических сооружений в удаление загрязняющих веществ из экосистемы, а, следовательно, и ассимиляционной ёмкости акватории. Этот показатель не является весомым относительно общего поступления нефтепродуктов в бухты Севастополя, которое в среднем составляет порядка 250 т/год [18].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно подытожить, что биотрансформация нефти является сложным и многофакторным про-

цессом. Оценка интенсивности такого рода процесса не является однозначной. Однако попытки провести эту оценку представляют значительный практический интерес, т.к. ложатся в основу оценки ассимиляционной ёмкости акватории, которая должна быть базой для нормирования допустимой антропогенной нагрузки. Сообщество, обитающее на поверхности гидротехнических сооружений вносит определённый вклад в процессы самоочищения и таким образом участвует в формировании ассимиляционной ёмкости акватории.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль — Л. : Гидрометеиздат, 1979. — 371 с.
2. Соловьёва О.В. Роль митилид (Mollusca: Mytilidae) в процессах самоочищения морской воды от нефтяных углеводородов / О.В. Соловьёва // Экология моря. — 2007. — Вып. 73. — С. 91–100.
3. Илистые образования на гидротехнических сооружениях акватории Севастополя (Чёрное море) / О.Г. Миронов [и др.] // Экология моря. — 2007. — Вып. 73. — С. 55–59.
4. Израэль Ю.А. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань — Л. : Гидрометеиздат. — 1989. — 528 с.
5. Совга Е.Е. Содержание нефтепродуктов в морской воде в акватории порта Одесса в 1997–2006 гг. / Е.Е. Совга, И.В. Мезенцева // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : ЭКО-СИ-гидрофизика. — 2008. — Вып. 17. — С. 290–297.
6. Совга О.С. Оцінка асиміляційної місткості екосистеми Дніпровського лиману щодо нафтопродуктів як метод нормування їх скиду в акваторію лиману / О.С. Совга, І.В. Мезенцева, С.П. Любарцева // Доповіді Національної академії наук України. Математика, природознавство, технічні науки. — 2011. — № 10. — С. 105–109.
7. Соловьёва О.В. Влияние гидротехнических сооружений на процессы самоочищения в прибрежной зоне Чёрного моря / О.В. Соловьёва : Автореф. дисс. канд. биол. наук. — Севастополь, 2008. — 22 с.

8. Миронов О.Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы / О.Г. Миронов // Морск. экол. журн. — 2006. — Т. 5, № 2. — С. 5–14.
9. Александров Б.Г. Гидробиологические основы управления состоянием прибрежных экосистем Чёрного моря / Б.Г. Александров. — Киев : Наук. думка, 2008. — 343 с.
10. Notar M. Composition, distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea. / M. Notar, H. Leskovsek, J. Faganeli // Mar. Pollut. Bull. — 2001. — 42. — P. 36–44.
11. Soclo H.H. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Contonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. / H.H. Soclo, P.H. Garrigues, M. Ewald // Mar. Pollut. Bull. — 2000. — 40. — P. 387–396.
12. Nayar S. The impact of petroleum hydrocarbons (diesel) on periphyton in an impacted tropical estuary based on in situ microcosms / S. Nayar, V.P.L. Goh, L.M. Chou // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. — 2004. — 302. — P. 213–232.
13. Гапонюк Т.О. Липиды и углеводороды в перифитоне системы гидробиологической очистки морской воды / Т.О. Гапонюк // Морск. экол. журн. — 2006. — Т. 5, № 2. — С. 27–32.
14. Цыбань А.В. Процессы микробного окисления нефти в море / А.В. Цыбань, А.И. Симонов // Человек и биосфера. — М. : Изд-во МГУ. — 1979. — С. 143–159.
15. Zo Bell C.E. Bacterial degradation of mineral oils at temperatures / C.E. Zo Bell // The Microbial Degradation of Oil Pollutants. — 1973. — P. 153–163.
16. Saikia Surjya K. Review on Periphyton as Mediator of Nutrient Transfer in Aquatic Ecosystems / Surjya K. Saikia // Ecologia Balkanica. — 2011. — Vol. 3, Iss. 2 — P. 65–78.
17. Сокольский А.Ф. Биоэкологические основы и практические результаты разработки системы защиты биологического разнообразия Каспийского моря от нефтяного загрязнения / А.Ф. Сокольский, Н.В. Попова, Е.В. Колмыков, А.А. Курапов. — ООО «Каспийская нефтяная компания» : Астрахань, 2005. — 128 с.
18. Беляева О.И. Уровни загрязнения ливневого стока, поступающего в бухты Севастополя (Чёрное море) / О.И. Беляева // Экология моря. — 2007. — Вып. 73. — С. 21–23.

*Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН*

*Соловьёва О. В., кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии;*

*E-mail: kozl\_ya\_oly@mail.ru*

*Institute of Marine biological researches A. O. Kovalevsky RAS*

*Soloviova O. V. , PhD (Biology), researcher, department of Marine sanitary hydrobiology*

*E-mail: kozl\_ya\_oly@mail.ru*