

Л.Л.Смирнова

*Научно-исследовательский центр Вооруженных сил Украины
«Государственный океанариум», г.Севастополь*

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

Показано, что видовой состав и численность доминирующих групп микроорганизмов зависят от уровня и химической природы антропогенной нагрузки на экосистемы бентоса прибрежных акваторий. Биологическую активность микробиоты, оценивали по теплопродукции донных отложений. При высоком разнообразии микробиоты бентоса, процессы трансформации вещества сбалансированы, теплопродукция достигает максимальных значений (10,0 – 12,0 Дж/г грунта). Соединения восстановленных форм серы ($\Sigma S > 5,5 \%$) снижают теплопродукцию до 3,0 – 4,0 Дж/г грунта. В биотопах, обогащенных азотсодержащим органическим веществом ($> 0,25$ г/г грунта), с замедленным водообменном, биологическая активность сапрофитной микробиоты снижается. Теплопродукция донных отложений не превышает 2,5 – 2,0 Дж/г грунта. Использование микрокалориметрических и микробиологических характеристик донных отложений целесообразно при экологическом мониторинге морской среды прибрежных акваторий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *сапрофитная мкробиота, тионовые и зеленые фотосинтезирующие бактерии, теплопродукция, кластерный анализ.*

Донные отложения континентального шельфа, особенно зона интерфейса, являются важной составляющей морской экосистемы. Биологические и физико-химические процессы на границах раздела фаз определяют полноту разрушения оседающего из водной толщи вещества различной химической природы, вносят свой вклад в круговорот химических элементов и изменение трофности морской среды [1].

Значительную роль в раннем диагенезе донных отложений выполняют сапрофитная микрофлора, микроорганизмы цикла азота и серы, различные группы микроводорослей, как наиболее приспособленные к трансформации вещества, составляющие бентосных микросообществ. Согласно [2], направленность и полнота разрушения седиментов микробиотой, в основном, определяются динамичностью водной среды, нагрузкой на биодеструкторов органического вещества (ОВ) и присутствием нехарактерных для морской среды веществ – поллютантов. Под воздействием указанных факторов сообщества бентосных микроорганизмов способны изменять свою количественную и функциональную структуру, что предлагается использовать для экологического мониторинга морской среды [3, 4]. Изменение состава донной микробиоты, адаптированной к экологическим особенностям биотопа, может служить индикатором замедления процессов самоочищения и депонирования промежуточных продуктов деструкции, заиливания морского дна и загрязнения водной толщи [5].

В различных акваториях Черного и Азовского морей ведется систематический контроль за уровнями химического и биологического загрязнения [6 –

8], которые регламентируются официальными документами [9]. Однако полученные результаты не всегда позволяют прогнозировать возможное направление в изменении неблагоприятной экологической ситуации. Комплексное определение химических, биофизических и микробиологических параметров донных отложений позволит не только контролировать уровень их загрязнения, но и оценить активность процессов самоочищения морской среды.

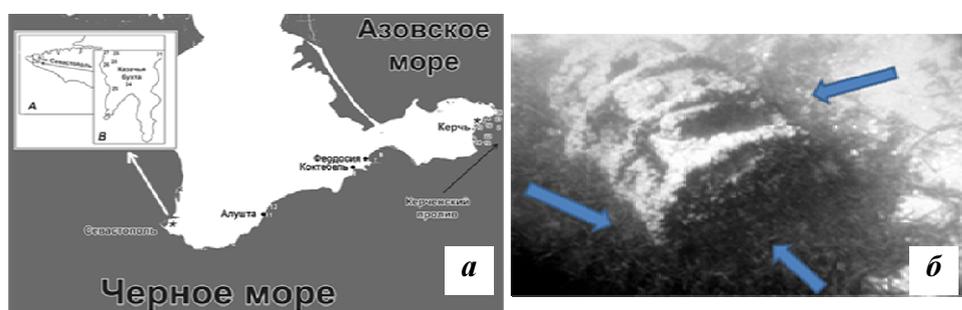
В работе приведены результаты микробиологического контроля процессов самоочищения морских донных отложений и их ранжирование по уровням антропогенной нагрузки.

Материалы и методы. Подводные поисковые работы и отбор проб проводили в прибрежных акваториях крымского побережья Черного моря и Керченского пролива в летне-осенние сезоны 2005 – 2011 гг. (рис.1, *а*).

Поверхностный слой донных отложений, глубиной 2 – 4 см, отбирался с помощью водолазов в стерильные герметичные цилиндры. Отбор проводился в районе локального источника загрязнения (рис.1, *б*) и на расстоянии 8 – 10 м от него из условно-чистых (по содержанию серы) донных отложений, такого же типа, как и у источника загрязнения. Пробы отбирались из следующих биотопов: прибрежные вольеры с морскими млекопитающими, район сброса сточных вод после очистных сооружений, донные отложения с остатками затопленных химических токсикантов – хлорорганических сульфидов, соединений мышьяка. В суспензии донных отложений определяли соленость, суммарное содержание серы (ΣS), органического вещества, в придонном слое воды – основные гидрохимические характеристики [10].

Для микробиологических работ использовали жидкие, полужидкие и плотные дифференциальные среды [11, 12]. Количественные расчеты делали методом разведения по Мак-Креди [12] и прямым подсчетом выросших колоний. Окончательный результат представлен в виде количества колонийобразующих единиц в 1 г сухого грунта (КОЕ/г грунта). Микрокалориметрические характеристики образцов донных отложений получали прямым измерением их теплопродукции ампульным методом на Мониторе биологической активности ТАМ 2277 (ЛКВ, Швеция) [13].

Математическую обработку проводили по [14], использовались результаты ранее проведенных исследований донных отложений в районах катерных причалов [15].



Р и с . 1 . Карта-схема расположения точек отбора проб донных отложений (*а*); места отбора проб у затопленной емкости с химическими токсикантами (*б*).

Результаты и их обсуждение. При исследовании донных отложений в районе затопленных емкостей с токсикантами и условно-чистой зоне отмечены различия в количественном и качественном составе доминирующих групп микроорганизмов. В местах утечки хлорорганических сульфидов в донных отложениях возрастает содержание $\sum S$, что способствует активной жизнедеятельности микроорганизмов цикла серы [3, 16]. В заиленных донных отложениях (район г. Керчь) микроорганизмы, использующие органические и неорганические соединения серы, представлены тионовыми бактериями, доминирует *Thiobacillus denitrificans* (ср. Бейеринка), десульфурierenden, фототрофными серными бактериями (ср. Ван-Ниля) и микромицетами *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium expausum*, *Aspergillus restrictus* (ср. Чапека, ср. Сабуро). Количественный состав некоторых групп микроорганизмов в донных отложениях, содержащих соединения серы, приведен в табл.1.

Вокруг источника загрязнения преобладали факультативные анаэробы, растущие на среде Вильсон-Блера, отмечено нарушение цикла азота на стадии нитрификации – отсутствие нитрифицирующих бактерий 1-ой и 2-ой фаз нитрификации. По численности доминировали 4 группы сапрофитных микроорганизмов: денитрификаторы, тионовые, микромицеты и гетеротрофы [17], которые используют восстановленные формы серы в метаболических процессах.

Т а б л и ц а 1 . Динамика численности различных групп микроорганизмов в образцах донных отложений с различным содержанием соединений серы (б. Казачья).

биохимические группы микроорганизмов	наиболее вероятное количество микроорганизмов, КОЕ/г грунта			
	около источника загрязнения	около саркофага		условно-чистый грунт
		через 1 г	через 2 г	
содержание $\sum S$, %	10,0 – 12,0	3,5 – 4,0	0,5 – 0,8	0,1 – 0,2
гетеротрофы, среда (ср.) МПБ	$1,4 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^3$
денитрификаторы, ср. Сорокина	$1,80 \cdot 10^6$	$1,30 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$
тионовые, ср. Старки	$3,1 \cdot 10^7$	$4,70 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
азотфиксаторы, ср. Эшби	$4,8 \cdot 10^5$	$2,40 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^2$
нитрификаторы 1 фаза, ср. Виноградского	нет роста	$3,0 \cdot 10$	$2,9 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^4$
нитрификаторы 2 фаза, ср. Виноградского	нет роста	$3,5 \cdot 10$	$8,6 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^3$
анаэробы, ср. Вильсон-Блера	$1,30 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^2$	отсутствуют	отсутствуют
микромицеты, ср. Сабуро	$1,9 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^2$
фотосинтезирующие зеленые бактерии, доминанты	<i>Pelodictyon</i> , <i>Chlorobium</i> , <i>Prosthecochloris</i>	<i>Prosthecochloris</i>	отсутствуют	отсутствуют

Разнообразные фотосинтезирующие серные бактерии образовывали колонии эллипсоидной формы, окруженные коллоидной серой. По мере удаления от источника загрязнения численность гетеротрофных и денитрифицирующих микроорганизмов уменьшалась в 2 – 10, а тионовых, примерно в 100 раз, фотосинтезирующие серные бактерии не отмечались. Исследования, проведенные в Керченском проливе при солености придонной воды 8 – 12 ‰ и б. Казачья (соленость 17,0 – 17,8 ‰) с заиленными мелкодисперсными и мелкозернистыми песками, показали такие же результаты. Поэтому целесообразно в качестве организмов-индикаторов участков морского дна, загрязненных соединениями серы, использовать фотосинтезирующие серные бактерии и учитывать вспышку численности (до сотен тысяч КОЕ/г грунта) денитрифицирующих, гетеротрофных и тионовых микроорганизмов.

С помощью выбранных организмов-индикаторов был проведен микробиологический контроль донных отложений после изоляции саркофагом источника хлорированных органических сульфидов и продуктов их гидролиза (табл.1). В пользу улучшения экологической ситуации у стенки саркофага свидетельствовало постепенное уменьшение численности микроорганизмов-индикаторов. В течение первого года наблюдений снижалось количество денитрификаторов и тионовых бактерий. В течение следующего года численность денитрификаторов, тионовых микроорганизмов и микромицетов уменьшилась еще в 10 – 1000 раз. Полностью исчезли фотосинтезирующие зеленые бактерии, которые требуют для развития анаэробные условия, накопления элементарной серы (S^0) у стенок саркофага не наблюдалось. О тенденции восстановления биоразнообразия микробиоты донных отложений вокруг саркофага свидетельствовало появление нитрифицирующих бактерий и восстановление цикла азота.

Видовая структура сообществ бентосных микроорганизмов определяется химическим составом донных отложений. Угнетение одних групп микроорганизмов и резкое возрастание численности других указывает на места скопления различного рода загрязнений. В таких биотопах нарушаются химические и биологические процессы: накапливаются промежуточные продукты разложения ОВ и создаются анаэробные условия. Отмеченная экологическая ситуация наблюдалась в донных отложениях прибрежных вольеров с морскими млекопитающими и местах сброса бытовых сточных вод, которые после очистных сооружений и биологической очистки обогащены веществами восстановительной природы (редокс-токсинами) [18].

В исследованных донных отложениях наблюдалась перестройка видового состава сообществ бентосных микроорганизмов. Значительно возросла численность гетеротрофной микробиоты, использующей в качестве источника углерода и энергии ОВ. Проявляла жизнедеятельность узкоспециализированная группа микроорганизмов, разрушающих мочевины – постоянный компонент исследуемого источника загрязнения. Полнота разрушения ОВ, рассчитанная по соотношению БПК₅/ХПК, была ниже нормы (БПК₅/ХПК > 0,75) [19]. Придонная вода прибрежных вольеров с морскими млекопитающими и вдоль факела придонного сброса сточных вод характеризовалась высоким содержанием фосфатов, аммонийного азота, низким содержанием растворенного кислорода, что создавало благоприятные усло-

Таблица 2. Некоторые компоненты химического состава придонной воды и микробиота донных отложений, обогащенных органическим веществом (период максимальной нагрузки август – сентябрь 2007 г.).

определяемые параметры	место отбора проб	
	прибрежные вольеры (б. Казачья)	по факелу сброса сточных вод в море (очистные сооружения "Планерское")
содержание ОВ, г/г грунта	0,06 – 0,25	0,02 – 0,35
гетеротрофы, (белково-агаровая ср. Горбенко), КОЕ/г грунта	$> 10^8$	$1,20 – 8,00 \cdot 10^7$
аммонифицирующие мочевины (ср. неорганическая с мочевиной), КОЕ/г грунта	$1,20 – 4,40 \cdot 10^3$	$0,25 – 6,40 \cdot 10^4$
азотфиксаторы (ср. Эшби), КОЕ/г грунта	$5,50 – 1,20 \cdot 10^5$	$4,50 – 7,20 \cdot 10^6$
тионовые (ср. Старки), КОЕ/г грунта	$0,25 – 6,40 \cdot 10$	$4,20 – 6,40 \cdot 10^2$
растворенный O_2 , мкМ/л	140,00 – 220,00	менее 220,00
цианобактерии, доминирующий род	<i>Oscillatoria sp.</i> , <i>Phormidium sp.</i>	
$N-NH_4^+$, мг-ат/л	0,05 – 0,60	0,47 – 8,20
$P-PO_4^{-3}$, мг-ат/л	0,12 – 4,00	1,60 – 3,10
полнота разрушения ОВ по БПК ₅ /ХПК (перманганат.)	0,15 – 0,30	0,30 – 0,50

вия для появления и развития микроводорослей, в основном цианобактерий. Среди них доминировали нитчатые формы, представители родов *Oscillatoria sp.*, *Phormidium sp.* (табл.2).

При экологическом картировании участков морского дна, находящихся под постоянным влиянием ОВ биогенного происхождения, целесообразно учитывать скачкообразное возрастание численности сапрофитной микрофлоры, в том числе микромицетов, и присутствие разнообразных по морфологическим формам цианобактерий. Сравнение проводится с условно чистыми по ОВ и однотипными по гранулометрическому составу донными отложениями. Однако видовой состав микробиоты и количественные характеристики доминирующих экологических групп микроорганизмов позволяют определять только химическую природу и уровень антропогенной нагрузки. Для прогнозирования процессов самоочищения и круговорота химических элементов в морской среде, определения факторов, лимитирующих эти процессы, необходимо оценить экологическую емкость грунтов. Деструкционные возможности микробиоты, а значит сбалансированность процесса поступления – деструкция вещества в донных отложениях, связаны с концентрацией оседающих седиментов и биоразнообразием сообществ бентосных микроорганизмов.

В процессе жизнедеятельности микроорганизмы выделяют тепло. В донных отложениях величина теплопродукции, измеренная микрокалориметрическим методом, является интегральной характеристикой химических

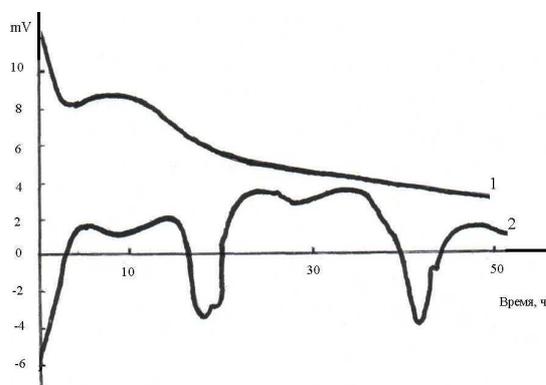


Рис. 2. Термограммы донных отложений: 1 – прибрежный вольер с морскими млекопитающими (ОВ > 0,25 г/г грунта), б. Казачья; 2 – источник хлорорганических соединений серы, Керченский пролив ($\Sigma S > 1,5\%$).

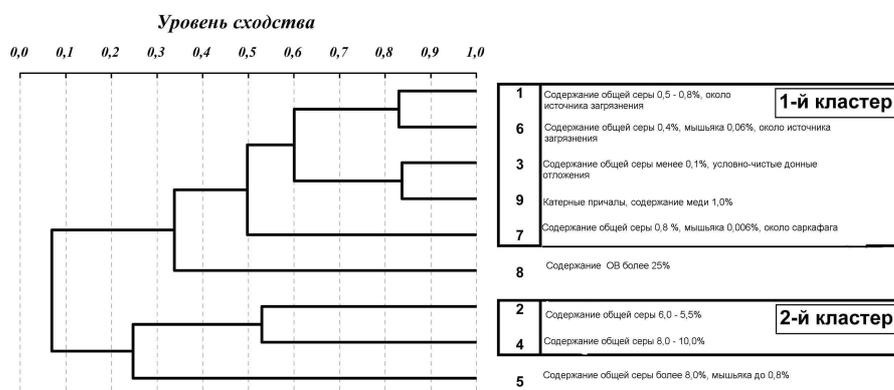
и биологических процессов. По ее величине оценивается биологическая активность грунтов, определяется механизм доминирующих процессов при трансформации вещества [13]. Донные отложения, содержащие соединения мышьяка (более 0,08 %) оказались стерильными. Их теплопродукция не превышала 0,85 Дж/г грунта и характеризовалась равномерным выделением тепла, свойственным физико-химическим процессам. Теплопродукция донных отложений, обогащенных азотсодержащим ОВ, достигала 5,0 – 6,0 Дж/г грунта (рис.2, кривая 1).

Однако, на профиле термограммы в течение 50 ч наблюдений отмечался один ростовый пик. Биологическая активность такого типа отложений определялась только сапрофитной микроботой. Сапрофитные микроорганизмы доминировали по численности, угнетали жизнедеятельность других групп бактерий, снижали биоразнообразие сообществ мкробентоса.

Донные отложения, содержащие восстановленные соединения серы (ΣS более 5,5 %,.) характеризуются невысокими значениями теплопродукции (3,0 – 4,0 Дж /г грунта). Однако термограммы таких отложений имеют характерный профиль (рис.2, кривая 2). Трансформация соединений серы в процессе тионового хемосинтеза и сульфатредукции, сопровождается переменным доминированием химических и микробиологических процессов. Образование сульфатредукторами биологического сульфида периодически сменяется образованием сульфида железа химическим путем [20], периодичность протекания процесса – через каждые 20 ч. Реакция образования химического сульфида железа является эндотермической, сопровождается поглощением тепла и уходом кривой теплопродукции в отрицательную область.

По результатам химических, микробиологических и биофизических исследований проведено сравнение уровней сходства и различия деструкционных возможностей донных отложений. С помощью кластерного анализа выделены основные факторы, снижающие их биологическую активность, нарушающие процессы самоочищения и круговорот химических элементов в морской среде (рис.3).

В первый кластер объединен комплекс донных отложений со сбалансированными процессами самоочищения и круговорота химических элементов в морской среде. В бентосных микробных сообществах поддерживается биохимическое разнообразие сапрофитной микробиоты и микроорганизмов цикла азота. Присутствие в донных отложениях соединений меди (до 1 %), азотсодержащего ОВ (< 0,25 г/г грунта), неорганических и органических соединений серы в диапазоне концентрации $\Sigma S < 1,0\%$ не нарушают экологи-



Р и с . 3 . Дендограмма уровней сходства процессов самоочищения в донных отложениях с различной антропогенной нагрузкой.

гической емкости грунтов и биологической активности микробиоты. Теплопродукция высокая – от 9,3 до 12, Дж/ г грунта, донные отложения можно считать условно чистыми.

Во второй кластер вошли донные отложения, загрязненные соединениями серы, содержание $\sum S > 5,5\%$. Донная микробиота адаптируется к одновременному присутствию кислорода и соединений восстановленной серы, в отложениях доминируют микроорганизмы цикла серы, отмечено нарушение цикла азота и появление фотосинтезирующих серных бактерий. Самоочищение лимитируется на уровне накопления коллоидной серы (S^0) как в донных отложениях, так и в придонной воде. Экологическая емкость грунтов и биологической активности микробиоты ограничены процессами трансформации серы, теплопродукция не превышает 4,0 Дж/г грунта.

Два типа донных отложений, содержащих соединения мышьяка (концентрация $As > 1\text{ г} / \text{кг}$ грунта) и азотсодержащее ОВ ($> 0,35\text{ г} / \text{г}$ грунта) на дендограмме выделены отдельно. Для них характерны процессы деградации микробных сообществ и заиливание морского дна. На термограммах отсутствуют ростовые кривые, выделение тепла определяется только химическими процессами, величина теплопродукции 0,5 – 0,8 Дж/г грунта, что характерно для стерильных грунтов [13].

Таким образом, был проведен мониторинг донных отложений различных акваторий крымского побережья традиционным микробиологическим методов и методом микрокалориметрии, которые дополняют друг друга и позволяют прогнозировать направленность процессов самоочищения. Определение теплопродукции позволяет оценить биологическую активность донных отложений, направленность и полноту процессов деструкции и трансформации седиментов в донных отложениях.

Микробиологические исследования позволили определить некоторые показательные группы микроорганизмов:

- тионовые и фотосинтезирующие серные бактерии (участки, загрязненные восстановленными соединениями серы);
- нитчатые азотфиксирующие цианобактерии, микроорганизмы цикла азота и микровицеты (участки, загрязненные азотсодержащим ОВ).

Изучение видового разнообразия и динамики численности донной микробиоты информативно при оценке самоочищающей способности биотопов.

Микробиологический контроль, включающий использование традиционных микробиологических методов и микрокалориметрических исследований повышает уровень и достоверность мониторинговых и прогнозных исследований донных отложений прибрежных акваторий и связанных с ними изменений качества морской среды.

Благодарности. Автор выражает благодарность Воробьеву Н.Н., ст. научному сотруднику Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии Россельхозакадемии (Россия) за помощь в математической обработке результатов и Шайде В.Г. нач. отдела ИнБЮМ за высококвалифицированную помощь при работе на Мониторе биологической активности ТАМ 2277.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wijisman J.W.M., Herman P.M.J., Gomoïn M.-T.* Special distribution in sediment characteristics and benthic activity on northwestern Black Sea shelf.– Mar. Ecology Progr. Series, 1999.– 119 p.
2. *Никитина О.Г., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Никитин Н.Е.* Биоэстимация – новый метод контроля процесса очищения воды и его сравнение с биоиндикацией // Водные ресурсы.– 2009.– т.36, № 4.– С.475-480.
3. *Смирнова Л.Л.* Мікробіота морських донних нашарувань як індикатор їх забруднення залишками хімічних отруйних речовин // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія: біологія. Спец. вип.: Гідроекологія.– 2010.– 3 (44).– С.247-250.
4. *Терехова В.А.* Микромицеты в экологической оценке водных и земных экосистем.– М.: Наука, 2007.– 215 с.
5. *Рубцова С.И.* Гетеротрофные бактерии – показатели загрязнения и самоочищения морской среды // Экология моря.– 2002.– вып.62.– С.81-85.
6. *Еремеев В.Н., Иванов В.А., Ильин Ю.П.* Океанографические условия и экологические проблемы Керченского пролива // Морской экологический журнал.– 2003.– № 3.– С.27-40.
7. *Тихоненкова Е.Г., Тихоненков Э.П.* Предварительная оценка экологического состояния донных осадков морской береговой зоны Украины // 5-й Міжнар. Симпозіум «Екологічні проблеми Чорного моря», 15-18.10 2003 р.– Одеса: ОЦНТЕШ, 2003.– С.231-233.
8. *Романовская И.И., Давиденко Т.И., Андриенко А.А., Севастьянов О.В., Бондаренко Г.И., Каеда Али Ахмед.* Биодеструкция серы и фенолов микроорганизмами // Вісник Одеського нац. універ. Біологія.– 2001.– т.6, вип.4.– С.262-265.
9. *Постанова від 29.03 2002 р. № 431.* Правила охорони внутрішніх морських вод і територіального моря України від забруднення та засмічення.– Київ, 2002.– 13 с.
10. *Методы исследования органического вещества в океане.*– М.: Наука, 1980.– 125 с.
11. *Гудзь С., Гнатуш С., Білінська І.* Практикум з мікробіології.– Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І.Франка, 2003.– 76 с.
12. *Аникеев В.В., Лукомская Н.А.* Руководство к практическим занятиям по микробиологии.– М.: Просвещение, 1977.– 128 с.
13. *Смирнова Л.Л.* Изучение биологической активности морских донных осадков методом микрокалориметрии // Агроекол. журн.– 2002.– 4.– С.63-65.

14. *Методические рекомендации по использованию граф-анализа в исследованиях биосистем.*– СПб-Пушкин, 2005.– 27 с.
15. *Смирнова Л.Л., Аннинская И.Н.* Распределение соединений меди в морской среде и донных осадках портовых акваторий // *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вип.9.– С.106-111.
16. *Smirnova L.L., Antonova L.S., Gurik V.V., Misura A.G.* Microorganisms of sulfur cycle in the chemical toxicants polluted marine bottom sediments // 5th international conference Environmental micropaleontology microbiology and meiobenthology. EMMM 2008 (17 – 25 February, 2008, Chennai, India).– P.300-303.
17. *Сорокин Д.Ю., Лысенко А.М.* Характеристика гетеротрофных бактерий из Черного моря, способных окислять восстановленные серные соединения до сульфата // *Микробиология.*– 1993.– 62, вып.6.– С.1018-1030.
18. *Дука Г.Г., Скурлатов Ю.И., Батыр Д.Г.* Особенности экохимических процессов в сточных водах // *Изв. АН СССР Молдова. Биологические и химические науки.*– Кишинев, 1990.– № 6.– С.53-60.
19. *Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / А.В. Караушев.*– Л.: Гидрометеиздат, 1987.– 285 с.
20. *Верховцева Н.В., Малинина Н.В., Родонов Ю.В.* Определение бактериального сульфата железа в культуральной среде сульфатредукторов с использованием мессбауэровской спектроскопии // *Биологические науки.*– 1990.– № 8.– С.155-158.

Матеріал поступив в редакцію 25.07.2013 г.

АНОТАЦІЯ Видовий склад і чисельність домінуючих груп мікроорганізмів залежать від рівня та хімічної природи антропогенного впливу на екосистеми бентосу прибережних акваторій. Фактори, що впливають на біологічну активність мікробіоти, оцінювалися за теплопродукцією донних нашарувань. При високому біорізноманітті мікробіоти бентосу, процеси трансформації речовини збалансовані, при цьому теплопродукція є максимальна (10,0 – 12,0 Дж/г ґрунту). Сполуки відновлених форм сірки ($\Sigma S > 5,5 \%$) знижують теплопродукцію до 3,0 – 4,0 Дж/г ґрунту. У біотопах, збагачених органічною речовиною ($> 0,25$ г/г ґрунту), і з уповільненим водообміну, біологічна активність сапрофітної мікробіоти знижується, теплопродукція донних нашарувань не перевищує 2,5 – 2,0 Дж/г ґрунту. Використання мікрокалориметричних та мікробіологічних характеристик донних нашарувань доцільно при екологічному моніторингу морського середовища прибережних акваторій.

ABSTRACT Species composition and the abundance of the dominant groups of microorganisms are associated with the chemical nature of the human impact on the coastal benthic ecosystems. The bottom sediment biological activity was evaluated by sediment heat production. If the diversity of benthic microbiota will be high the processes of substances transformation are balanced. And the heat production is a maximum (10.0 – 12.0 J per gram of soil) in this case. The compounds of the reduced sulfur ($\Sigma S > 5,5 \%$) decrease the bottom sediment heat production. It is 3.0 – 4.0 J per gram of soil. In habitats containing a nitrogen-containing organic substance (> 0.25 gram per gram of soil) the biological activity of saprophytic microbiota was decreased to 2.5 – 2.0 J per gram of soil too. Microcalorimetric and microbiological bottom sediments parameters are important characteristics for environmental monitoring of marine coastal waters.