

УДК 628.193:665.61:551.35(262.5)

ХИМИКО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАЗАНТИПСКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА (АЗОВСКОЕ МОРЕ)*

Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: tihonova@mail.ru

Проведена химико-микробиологическая оценка донных отложений прибрежной акватории Казантипского природного заповедника (Азовское море) в период с 2013 по 2016 гг. Согласно полученным результатам, донные отложения прибрежной акватории м. Казантип относились к условно-чистым, за исключением илов озера «Нефтяников», расположенного в центре заповедника. Концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ в данном озере соответствовали III уровню загрязнения. Охарактеризовано количественное содержание гетеротрофных, углеводородоокисляющих, сульфатредуцирующих и тионовых групп бактерий в донных отложениях мыса Казантип в летний период. Численность (кл.·г⁻¹) гетеротрофных бактерий колебалась от 10⁵ до 10⁷, соответственно, углеводородоокисляющих – от 1,0 до 10⁴, тионовых – от 4,5·10² до 2,5·10⁵, сульфатредуцирующих – от 1,0 до 1,5·10³. Отмечена высокая степень развития гетеротрофного бактериального сообщества, в том числе и углеводородоокисляющих бактерий, на мелководных станциях исследуемой акватории.

Ключевые слова: физико-химические показатели, микробиота, донные отложения, Казантипский заповедник, Азовское море

Введение

Одной из актуальных задач, стоящих перед человечеством, является охрана живой природы в целом и постоянный контроль за состоянием особо охраняемых природных территорий, в частности (Груммо, 2018). На территории Крымского полуострова существует один заповедник, прилегающий к акватории Азовского моря – Казантипский. Заповедник расположен на севере Керченского полуострова, на мысе Казантип в 2 км от г. Щёлкино. Мыс выступает на 2 км в южную часть акватории Азовского моря. Территория входит в северо-восточный подрайон Керченского геоморфологического района. Общая площадь заповедника составляет 450,1 га, из которых 394,1 га – суша и 56 га – акватория Азовского моря (полоса шириной 50 м) (Болтачёв и др., 2016; Бондаренко и др., 2019; Литвинюк, 2016). С запада, севера и востока территория заповедника ограничена акваторией Азовского моря (внешняя граница проходит на расстоянии 50 м от берега), с юга граничит с землями Мысовского сельского поселения. Общая протяженность границ заповедника составляет ориентировочно 20 км, в том числе сухопутных – 10 км (из них внутренних – 7 км, внешних – 3 км), морских – около 10 км. Акватория заповедника (56 га) входит в состав Водно-болотного угодья международного значения «Аквально-скальный комплекс мыса Казантип» общей площадью 251 га (сертификат № 1393 от 29 июля 2004 г., Иран, г. Рамсар) и памятника природы регионального значения (240 га) «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Казантип» (охранное обязательство № МПП-008 от 01.06.2012 г.), (Бондаренко, 2019; Литвинюк, 2016).

Охрана территории мыса Казантип и прибрежного аквального комплекса обусловлена наличием уникальных морских отложений, мест скопления птиц. Большой

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме государственного задания «Молисмодогические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2).

интерес представляет собой побережье мыса, как образец динамики берега в местах выхода древних мшанковых рифов. Флора и фауна заповедника характеризуется значительной зоологической ценностью, наличием эндемичных видов. К примеру, в Красную книгу Российской Федерации занесено 15 видов фауны и 12 видов флоры заповедника. В Красную книгу Республики Крым записано 83 вида фауны и 55 видов флоры. Подводные луга морских трав в акватории заповедника служат местом нереста аборигенных видов рыб Азовского моря. Через заповедник проходит миграционный путь птиц (Болтачёв и др., 2016; Бондаренко и др., 2019; Литвинюк, 2016; Ereemeev, 2012).

Обрывистые, абразионные берега Казантипа сложены мейотическими мшанковыми известняками (Зенкевич, 1963; Клюкин, 1987; Литвинюк, 2016). Мшанковые известняки достаточно рыхлые и пористые, что при выбросе большого количества нефтепродуктов способствует накоплению последних и является источником хронического загрязнения в течение нескольких лет, оказывая негативное воздействие на водорослевую растительность.

В Керченский пролив с кораблей выбрасывается много бытового мусора. Течение в южном створе Керченского пролива направлено вдоль берега с востока на запад и образуется от слияния в районе Керченского пролива Азовского течения и струи северо-западного направления, идущей вдоль берегов Кавказа (Вылканов и др., 1983; Литвинюк, 2016). В то же время в холодный период, когда речной сток резко снижается при дополнительном влиянии ветров, черноморские воды поступают через пролив в Азовское море (Аксенов, 1962; Еремеев и др., 2003). Поскольку побережье Казантипа и аналогичных территориально-аквальных комплексов (у мысов Зюк, Чаганы, Китень, Красный Кут и т.п.) имеет мелкобухтовый характер, участки аккумулятивных галечных, ракушечно-галечных и гравийно-галечных пляжей становятся ловушками для выброшенного мусора. Работники заповедника неоднократно находили в бухтах корабельные швабры, швартовые концы, таблички, турецкую продуктовую тару и др. Учитывая активное освоение шельфа Азовского моря нефтяными и газодобывающими компаниями, значительно возрастает риск загрязнения морской среды в прибрежных водах м. Казантип. Это может крайне негативно сказаться на состоянии прибрежных биоценозов.

На береговую зону природно-аквального комплекса (ПАК) оказывают влияние антропогенно-аккумулятивные процессы, которые характерны для граничащего с ним побережья Арабатского и Казантипского заливов. Это в основном нерегулируемая рекреационная деятельность (розжиг костров, установка палаток, автотранспорта, свалка мусора и т.д.).

В 2000-х годах были проведены исследования ландшафтов Азовского моря. По полученным результатам их состояние было отнесено к четырем уровням: от удовлетворительного до критического. В районе Казантипского побережья оно оценено как конфликтное (2 уровень) (Беспалова, 2007). Основные антропогенные воздействия в данном районе – поиск и добыча полезных ископаемых. Главные экологические проблемы: вселение чужеродных организмов – интродукция, уменьшение биоразнообразия и биомассы бентоса. В тоже время, выполненная интегральная оценка качества среды аквальных природных комплексов Азовского моря позволяет характеризовать данный район моря как слабо загрязненный – грязный (Беспалова, 2007). Это свидетельствует о достаточно высоком уровне антропогенной нагрузки в исследуемом районе. Важным показателем экологического состояния акватории также является и её самоочищающая способность при антропогенной нагрузке (Бурдиян, 2011). Поэтому следует оценивать численность и распространение физиологических групп бактерий – основных деструкторов органического вещества автохтонного и аллохтонного происхождения в морских экосистемах.

Таким образом, проведение систематического экологического контроля за состоянием среды заповедника является объективной необходимостью. В связи с вышеописанным, целью настоящей работы стало физико-химическая (рН, Eh, содержание хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводородов) и микробиологическая характеристика (концентрации гетеротрофных, углеводородокисляющих, тионовых и сульфатредуцирующих групп бактерий) в донных отложениях наиболее уязвимых участков ПАК (прибрежные участки и участки добычи полезных ископаемых) на мысе Казантип.

Материалы и методы

Пробы донных отложений и прибрежных наносов отбирались в прибрежной акватории Казантипского заповедника ручным пробоотборником с глубин до 1,5 м, а также с борта лодки с глубин до 12 м в летний период (рис. 1). В свежесобранных пробах определяли рН и Eh, а в воздушно-сухих образцах – количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом и нефтяных углеводородов (НУ) методом ИК-спектрометрии (Методические указания..., 1996).

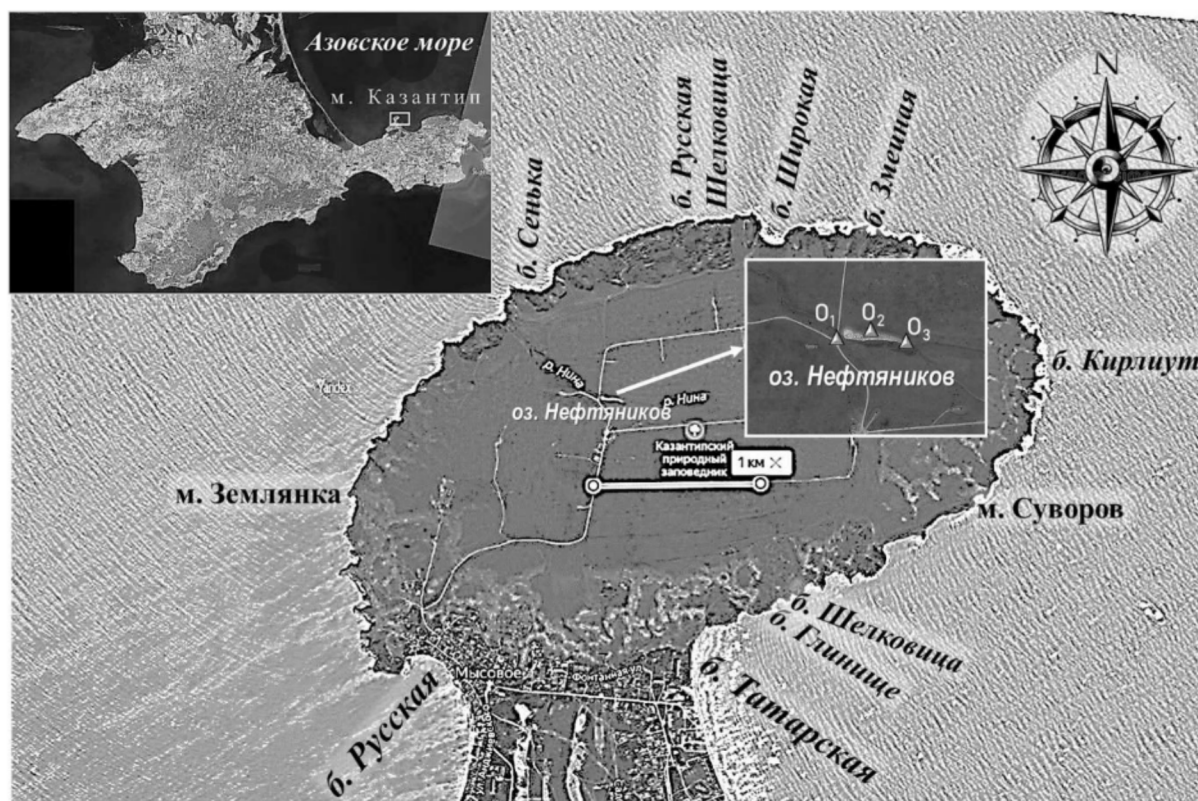


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений и прибрежных наносов

В отобранных пробах донных отложений и прибрежных наносов определяли численность гетеротрофных бактерий – основных деструкторов органического вещества в водоёмах, углеводородокисляющих бактерий – деструкторов нефтяных углеводородов, сульфатредуцирующих бактерий – основных производителей сероводорода и тионовых бактерий – активных окислителей серы и ее неорганических восстановленных соединений. Численность бактерий в пробе определяли методом предельных разведений с использованием элективных сред (Бурдиян, 2011; Миронов и др., 2003; Нетрусова, 2005) с учетом солености воды. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди (в трёх повторностях), основанной на методе вариационной статистики (Нетрусова, 2005).

Результаты и обсуждение

Донные отложения в прибрежной зоне Казантипского заповедника представлены мелким песком серо-желтого цвета, иногда с примесью ракуши. Донные отложения небольшого озера в центральной части мыса (станции отбора проб О₁, О₂, О₃) представлены полужидким илом серо-коричневого цвета с соответствующими физико-химическими показателями.

Для песков рН колебался в пределах 7,86–8,73 (рис. 2 а). В илах озера «Нефтяников» ранее (Boltachev, 2013) были отмечены более низкие показатели рН (7,0–7,35), чем в настоящем исследовании.

Окислительно-восстановительный потенциал был положительным (до +295 мВ) (рис. 2 б), за исключением прибрежных наносов бухт Русская Шелковица, Русская, Сенька и озера «Нефтяников» (в котором отмечены минимальные значения Eh: –282 мВ).

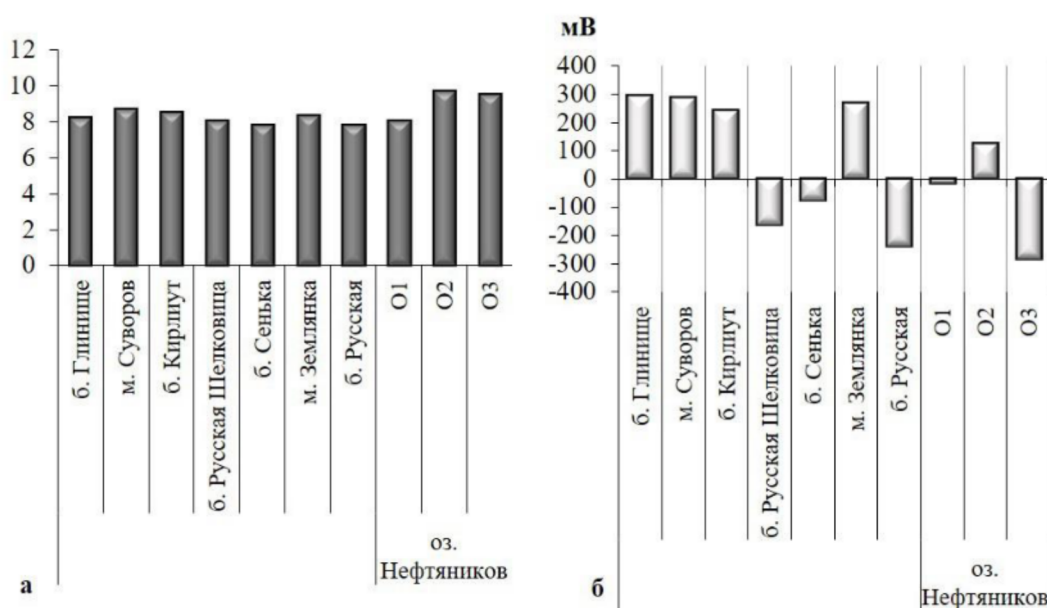


Рис. 2. Физико-химические показатели (а – рН, б – Eh, мВ) донных отложений и прибрежных наносов м. Казантип

В прибрежных наносах Казантипского природного заповедника обнаружены следовые количества ХЭВ, концентрация ХЭВ колебалась от 5,0 до 13,5 мг·100 г⁻¹ воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д.о.). Данные значения являются показателем низкого уровня органического загрязнения и небольшой накопительной способности отложений, которое основано на размере их частиц. НУ во всех образцах отмечены только в следовых количествах (0,2–1,1 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д.о.). Доля НУ от ХЭВ в среднем составила 4,6 %.

Концентрация ХЭВ в донных отложениях озера «Нефтяников» по сравнению с остальной прибрежной акваторией была значительно выше. Ранее было показано (Болтачев и др., 2013), что на станциях О₁, О₂ и О₃ показатели ХЭВ составляли 170,0, 70,0 и 80,0 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д.о., соответственно. Наши исследования показали, что в илах озера «Нефтяников», расположенного в центре м. Казантип, концентрация ХЭВ составляла уже 439,3 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д.о., что указывает на III уровень загрязнения из V-ти описанных в (Миронов и др., 1986). Распределение НУ соответствовало таковому для ХЭВ: минимальное количество отмечено на станции О₂ (2,7 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д.о.), а максимальное – на станции О₁ (57,0 мг·100 г⁻¹ возд.-сух. д.о.). Доля НУ от ХЭВ колебалась от 3,8 до 33,5 %. Таким образом, полученные нами результаты

свидетельствуют об увеличении концентрации НУ в илах озера «Нефтяников». Следует отметить, что помимо проводимой на мысе добычи нефтяных углеводородов, не менее важным фактором, влияющим на скорость и уровень концентрирования органических загрязнителей, является гранулометрический состав донных отложений (Алемов и др., 2018; Boltachev, 2013). Так, мелкодисперсные илы озера обладают большей накопительной способностью, нежели пески прибрежной акватории заповедника.

Обращает внимание (Болтачев и др., 2016; Литвинюк, 2016), что в прибрежной зоне Казантипского заповедника выявлен участок с почти полным отсутствием бентосной макрофауны. По нашему мнению, возможной причиной резкого снижения видового разнообразия и количественных характеристик бентоса на указанном участке акватории является периодическое поступление воды из расположенного в центральной части полуострова небольшого озера, при переполнении последнего ливневыми или паводковыми водами. Воды озера, вследствие проводимой на полуострове нефтедобычи, могут содержать повышенные концентрации углеводородов, как в результате первичного, так и вторичного загрязнения, когда нефтепродукты попадают в воду из донных отложений. Результаты наших исследований показывают достаточно высокий уровень органического загрязнения донных отложений озера.

Численность гетеротрофных бактерий (ГБ) в донных отложениях мелководных станциях м. Казантип варьировала от 10^5 до 10^7 кл. $\cdot$ г $^{-1}$ (рис. 3 а), на более мористых станциях число ГБ колебалось в пределах четвертого-пятого порядка.

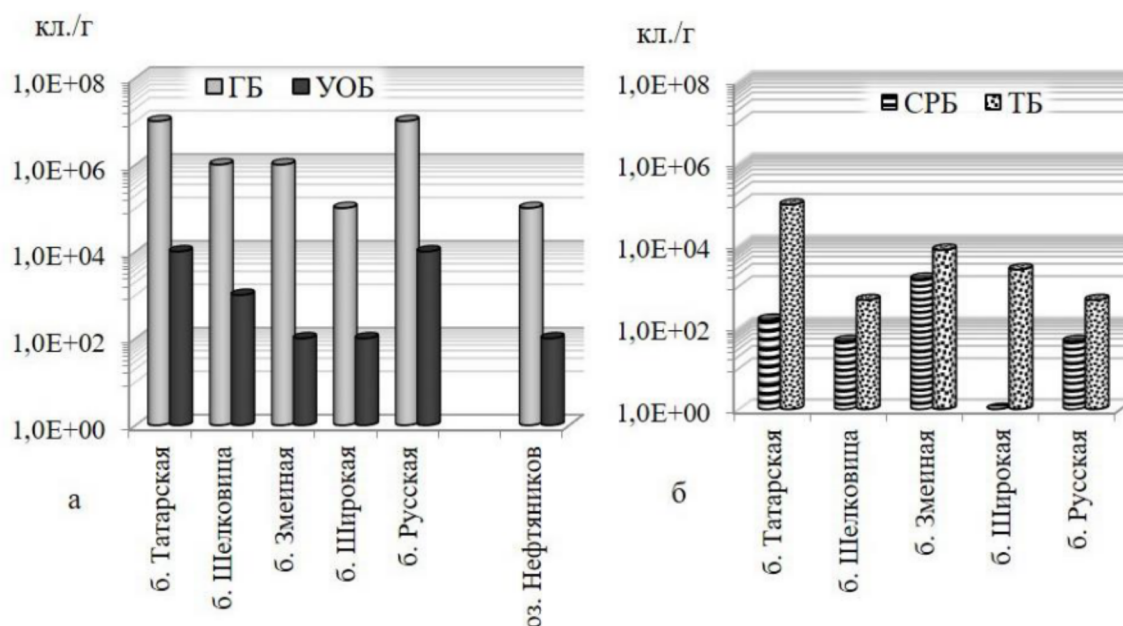


Рис. 3. Численность (кл./г) а – гетеротрофных (ГБ) и углеводородокисляющих бактерий (УОБ); б – сульфатредуцирующих (СРБ) и тионовых (ТБ) бактерий в донных отложениях акватории м. Казантип

Наибольшее количество ГБ выявлено в донных отложениях бухт Русской и Татарской, испытывающих интенсивную рекреационную нагрузку. Высокие показатели численности ГБ свидетельствуют о насыщении донных отложений указанных бухт легкоусвояемым органическим веществом.

Бактерии, осуществляющие деструкцию нефтяных углеводородов, выделены из всех проб донных отложений м. Казантип (рис. 3 а). Численность углеводородокисляющих бактерий (УОБ) на мелководных станциях колебалась от 10^2 до 10^4 кл. $\cdot$ г $^{-1}$. В пробах донных отложений глубоководных станций численность УОБ была существенно ниже и варьировала от 1,0 до 10 кл. $\cdot$ г $^{-1}$. Высокая численность УОБ,

свидетельствующая о высокой потенциальной способности акватории к самоочищению от нефтяных углеводородов, определена на мелководных станциях в бухтах Татарская и Русская.

Сульфатредуцирующие бактерии в акватории м. Казантип выделены из всех проб (рис. 3 б). Численность СРБ варьировала в широком диапазоне от $1,0$ до $1,5 \cdot 10^3$ кл. $\cdot$ г $^{-1}$. Наибольший показатель СРБ определен в б. Змеиная, соответственно, наименьший – в б. Широкая. В остальных пробах численность СРБ колебалась от 45 до 150 кл. $\cdot$ г $^{-1}$. Высокая численность СРБ в акватории бухты Змеиной, указывает на активные процессы восстановления сульфатов, приводящих к ухудшению экологического состояния бухты, вследствие высокой токсичности сероводорода для гидробионтов.

Тионовые бактерии (ТБ) в донных отложениях выделены повсеместно, численность ТБ варьировала от $4,5 \cdot 10^2$ до $2,5 \cdot 10^5$ кл. $\cdot$ г $^{-1}$ (рис. 3 б). Наименьшая численность ТБ определена в пробах, отобранных в б. Шелковица (база). Численность ТБ во всех образцах донных отложений превышала количественные показатели СРБ, тем самым предполагая наличие бактериального (тионового) фильтра, препятствующего проникновению сероводорода в близлежащие слои воды и грунта.

Выводы

1. Донные отложения прибрежной акватории Казантипского заповедника в целом являются условно чистыми. Концентрации ХЭВ и НУ указывают на низкий уровень органического загрязнения и на их невысокую накопительную способность, за исключением расположенного в центре м. Казантип, озера «Нефтяников», где показатели были значительно выше.

2. Исследуемые группы бактерий распространены повсеместно. Численность (кл. $\cdot$ г $^{-1}$) гетеротрофных бактерий колебалась от 10^5 до 10^7 , соответственно, углеводородокисляющих – от $1,0$ до 10^4 , тионовых – от $4,5 \cdot 10^2$ до $2,5 \cdot 10^5$, сульфатредуцирующих – от $1,0$ до $1,5 \cdot 10^3$. Отмечена высокая степень развития гетеротрофного бактериального сообщества, в том числе и углеводородокисляющих бактерий, на мелководных станциях исследуемой акватории.

3. Для снижения влияния различных загрязнителей на развитие бентосных сообществ в прибрежной зоне заповедника возможно проведение работ по увеличению самоочищающего потенциала акватории, например, установка искусственных рифов или систем гидробиологической очистки. В первую очередь проведение данных работ необходимо на участках заповедника с повышенной антропогенной нагрузкой (в частности, причалы рыболовецких судов и акватория бухты Сенька). Также следует полностью исключить или свести к минимуму добычу полезных ископаемых вблизи заповедника.

Список литературы

1. Аксёнов А.А. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 855 с.
2. Алёмов С.В., Бурдиян Н.В., Витер Т.В., Гусева Е.В., Тихонова Е.А., Соловьева О.В., Алёмова А.С. Результаты комплексных санитарно-биологических исследований прибрежной акватории Казантипского природного заповедника (Крым) // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана: тезисы докл. науч.-практ. шк.-конф. (Новороссийск, Краснодарский край, 23–27 апр. 2018 г.). Новороссийск, 2018. С. 7–9.

3. Беспалова Л.А. Экологическая диагностика и оценка устойчивости ландшафтной структуры Азовского моря: Автореф. дис. д. геогр. наук. – Санкт-Петербург, 2007. 30 с.
4. Болтачёв А.Р., Алёмов С.В., Загородняя Ю.А., Карпова Е.Л., Манжос Л.А., Губанов В.В., Литвинюк Н.А. Подводный мир Казантипского природного заповедника: к 15-летию Казантипского природного заповедника. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2016. 112 с.
5. Бондаренко А.В., Рябушко Л.И., Садогурская С.А. Заповедник «Казантипский» (Крым, Азовское море) // Заповедные территории. 2019. № 1. С. 125–131.
6. Бурдиян Н.В. Сульфатредуцирующие, тионовые, денитрифицирующие бактерии в прибрежной зоне Чёрного моря и их роль в трансформации нефтяных углеводородов: автореф. дис. канд. биол. наук. Севастополь, 2011. 24 с.
7. Вылканов А., Данов Х., Маринов Х., Владев П. Чёрное море. – Сборник пер. с болг. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. 408 с.
8. Груммо Д., Коробушин Д., Малащенко Е. Мониторинг особо охраняемых природных территорий // Наука и инновации. 2018. № 10 (188). С. 63–69.
9. Еремеев В.Н., Иванов В.А., Ильин Ю.П., Океанографические условия и экологические проблемы Керченского пролива // Морской экологический журнал. 2003. Т. 2, № 3. С. 27–40.
10. Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. – М.: Академия наук СССР, 1963. 739 с.
11. Клюкин А.А., Корженевский В.В., Щепинский А.А. Казантип (путеводитель). – Симферополь: «Таврия», 1987. 112 с.
12. Литвинюк Н.А. Кадастровая документация по государственному бюджетному учреждению республики Крым «Казантипский природный заповедник» // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2016. Вып. 7. С. 27–55.
13. Методические указания «Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси». – М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. С. 18–26.
14. Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Чёрного моря // Гидробиол. журнал. Т. 22. № 6. 1986. С. 76–78.
15. Миронов О. Г., Кирюхина Л.Н., Алёмов С.В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с.
16. Нетрусова А.И. Практикум по микробиологии. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
17. Boltachev A.R., Alyomov S.V., Zagorodnya Yu.A., Karpova E.P., Manzhos L.A., Gubanov V.V., Burdiyan N.V., Tikhonova E.A., Popova L.A. Integral Assessment of the Environment, Species Diversity and Ecological Structure of Coastal Marine Biocenoses of Kazantip Nature Reserve (the Sea of Azov): proceedings of the 5th IWA Eastern European «Young and Senior Water Professionals» Conference. Part 1 (English version). (Kiev, 26-28th of June 2013). Kiev, 2013. PP. 32–39.
18. Eremeev V.N., Boltachev A.R., Aleksandrov B.G., Alyomov S.V. Biological diversity of the coastal zone of the Crimean peninsula: problems, preservation and restoration pathways. Sevastopol: NAS Ukraine, Institute of Biology of the Southern Seas, 2012. 92 p.

**THE CHEMICAL-MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SEA BOTTOM
SEDIMENTS OF THE COASTAL AQUATORIA OF KAZANTIP NATURE
RESERVE (AZOV SEA)**

Tikhonova E.A., Burdiyan N.V.

*A.O. Kovalovsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: tihonova@mail.ru*

A chemical-microbiological assessment of sea bottom sediments of the coastal waters of the Kazantip Nature Reserve (Azov Sea) was carried out from 2013 to 2016. The results of which showed that the sea bottom sediments are conditionally clean, with the exception of the silt of Kazantip central station (Lake Neftyanikov). The concentrations of chloroform-extractable substances in this lake corresponded to the III pollution level. The quantitative content of heterotrophic, hydrocarbon-oxidizing, sulfate-reducing and thionic groups of bacteria in the bottom sediments of Cape Kazantip in the summer is characterized. The number ($\text{cell} \cdot \text{g}^{-1}$) of heterotrophic bacteria ranged from 10^5 to 10^7 , respectively, of hydrocarbon-oxidizing bacteria from 1.0 to 10^4 , of thionic bacteria from $4.5 \cdot 10^2$ to $2.5 \cdot 10^5$, of sulfate-reducing bacteria from 1.0 to $1.5 \cdot 10^3$. A high degree of growth of a heterotrophic bacterial community, including hydrocarbon-oxidizing bacteria, was observed at shallow stations of the studied water area.

Key words: physico-chemical characteristics, microbiota, sea bottom sediments, Kazantip Nature Reserve, Azov Sea.

Тихонова
Елена
Андреевна

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела
морской санитарной гидробиологии, ФГБУН ФИЦ «Институт
биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
e-mail: tihonova@mail.ru

Бурдиян
Наталия
Витальевна

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела
морской санитарной гидробиологии, ФГБУН ФИЦ «Институт
биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
e-mail: burdiyan@mail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2020 г