

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЭРОБНЫХ БАКТЕРИЙ В ДОННЫХ ОСАДКАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ И ГЛУБИНЫ (НА ПРИМЕРЕ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ, КРЫМ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Бурдиян Н.В.

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН
просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ; e-mail: burdiyan@mail.ru

Поступила в редакцию 26.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0553

Аннотация. В данной работе показано распределение тионовых (ТБ), денитрифицирующих (ДНБ) и сульфатредуцирующих (СРБ) групп бактерий, обитающих в донных осадках прибрежной акватории Севастополя (Чёрное море), в зависимости от окислительно-восстановительных условий и глубины. Отбор проб и последующая обработка материала осуществлены на основе стандартных методов гидробиологии и общей микробиологии. Исследуемые группы бактерий выделены из донных осадков с различными показателями окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) Eh: от + 356 до -189 (мВ) и с глубин от 1 до 20 м. Между величиной ОВП и численностью анализируемых бактерий выявлена отрицательная корреляционная зависимость. Коэффициент корреляции для СРБ составил $r = -0,5$, для ТБ и ДНБ, соответственно, $r = -0,47$ и $-0,51$ ($P < 0,05$). Достоверная зависимость между значениями pH среды и численностью наблюдаемых микроорганизмов отсутствует. Высокая численность тионовых и сульфатредуцирующих бактерий выявлена при обозначенном диапазоне глубин: от 1 до 20 м. Наибольшее количество денитрифицирующих бактерий чаще наблюдалось на глубинах от 1 до 10 м. Определено, что восстановительные условия среды, характеризующие большинство донных осадков рассматриваемой акватории, способствуют развитию анализируемых групп бактерий, а их численность возрастает с уменьшением глубины.

Ключевые слова: донные осадки, тионовые, сульфатредуцирующие, денитрифицирующие бактерии, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

Донные осадки представляют собой динамическую систему со сложными физико-химическими условиями, от которых зависит бактериальное население. Негативное антропогенное воздействие на морскую экосистему приводит к тому, что в донных отложениях начинают преобладать восстановительные условия среды, крайне неблагоприятные для жизнедеятельности аэробной микробиоты. Как следствие, процесс самоочищения акватории начинает протекать за счёт деятельности анаэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, в том числе сульфатредуцирующих, тионовых и денитрифицирующих групп бактерий, которые также принимают участие и в процессах преобразования углеводородов нефти в морской среде [1-5]. Большое влияние на развитие микробиологических процессов оказывают окислительно-восстановительные условия, характеристикой которых служат окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и активная реакция среды (pH).

Целью работы было исследовать распределение анаэробных бактерий в донных осадках в зависимости от окислительно-восстановительных условий и глубины, используя количественные показатели тионовых, сульфатредуцирующих и денитрифицирующих групп бактерий, полученных в пробах донных осадков бухт Севастополя и прилегающей акватории.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Донные осадки отбирали в бухтах и районе внешнего рейда акватории Севастополя, в каждой пробе определяли количественный состав тионовых (ТБ), сульфатредуцирующих (СРБ) и денитрифицирующих (ДНБ) групп бактерий. Окислительно-восстановительный потенциал измеряли ионометром И-102. Количество микроорганизмов в пробе определяли методом предельных разведений [6] с последующим посевом 1 мл из каждого разведения в соответствующие питательные среды. При приготовлении сред учитывали солёность морской воды. Численность сульфатредукторов определяли на среде Постгейта [7]. В качестве восстановителя в среду добавляли 3 % раствор сернистого натрия. Количество тионовых бактерий учитывали на среде Сорокина [8]. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди (в трёх повторностях), основанной на методе вариационной статистики [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство донных отложений в прибрежной зоне Севастополя обладают восстановительными условиями среды и пониженным, по сравнению с чистыми морскими осадками, pH среды. В то же время пески, ракушняки

с примесью песка имеют положительный Eh и повышенный pH среды [9]. Исследуемые группы бактерий выделены из донных осадков с различными показателями окислительно-восстановительного потенциала [9], Eh: от +356 до -189 (мВ). На примере Севастопольской бухты проанализировано распределение микроорганизмов в зависимости от показателей ОВП и pH в донных осадках. Между величиной ОВП и численностью анализируемых бактерий выявлена отрицательная корреляционная зависимость. Коэффициент корреляции для СРБ составил $r = -0,5$, для ТБ и ДНБ, соответственно, $r = -0,47$ и $-0,51$ ($n = 10$, $P < 0,05$). Достоверная зависимость между значениями pH среды и численностью наблюдаемых микроорганизмов отсутствует.

Для определения взаимосвязи между анализируемыми бактериями и вышеуказанными параметрами среды (ОВП и pH) мы использовали показатель гН2, рассчитанный в [9] для донных осадков акватории Севастополя. Объединенные формулой Кларка показатели pH и Eh трансформируются в один показатель $гН2 = Eh / 30 + 2$ pH (отрицательный логарифм количества газообразного водорода), колеблющийся от 11-16 в донных осадках с восстановительными условиями среды и до 19-28 с окислительными [9].

Отношение численности бактерий к показателю гН2 иллюстрирует рисунок 1 (а, б, в).

Рассматриваемые микробные группы развиваются при широком диапазоне (от 11 до 28) показателя гН2 (рис. 1). Корреляционный анализ показал слабую взаимосвязь исходного параметра с численностью сульфатредуцирующих, отсутствие достоверной зависимости – с тионовыми и денитрифицирующими

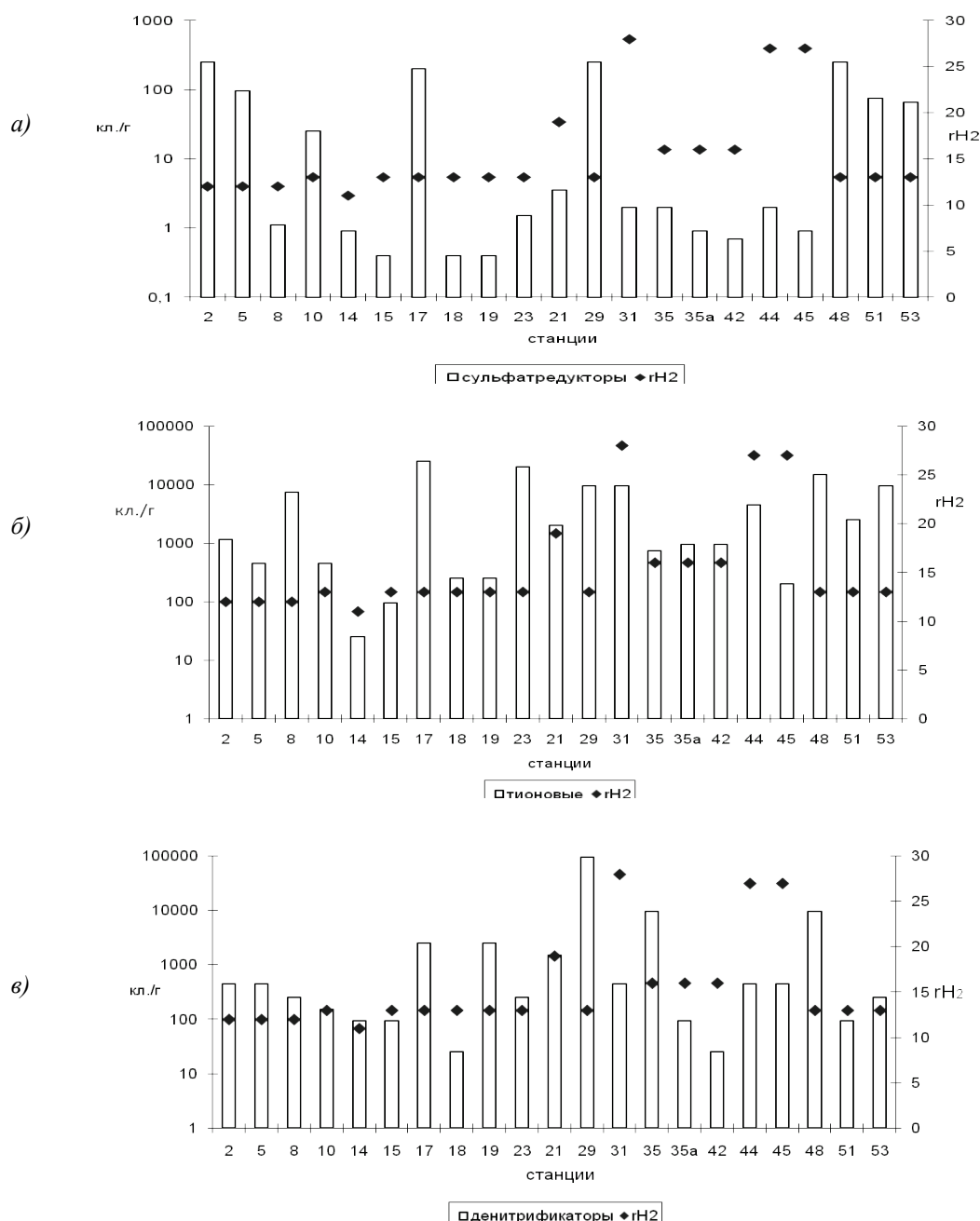


Рисунок 1. Отношение численности бактерий к параметру гН2 на исследуемых станциях (а – сульфатредуцирующие; б – тионовые; в – денитрифицирующие)

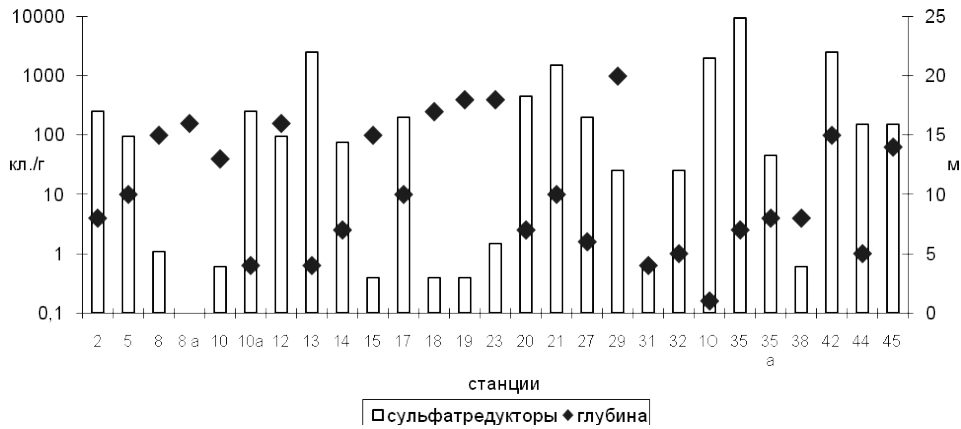


Рисунок 2. Отношение численности сульфатредуцирующих бактерий к глубине на станциях отбора

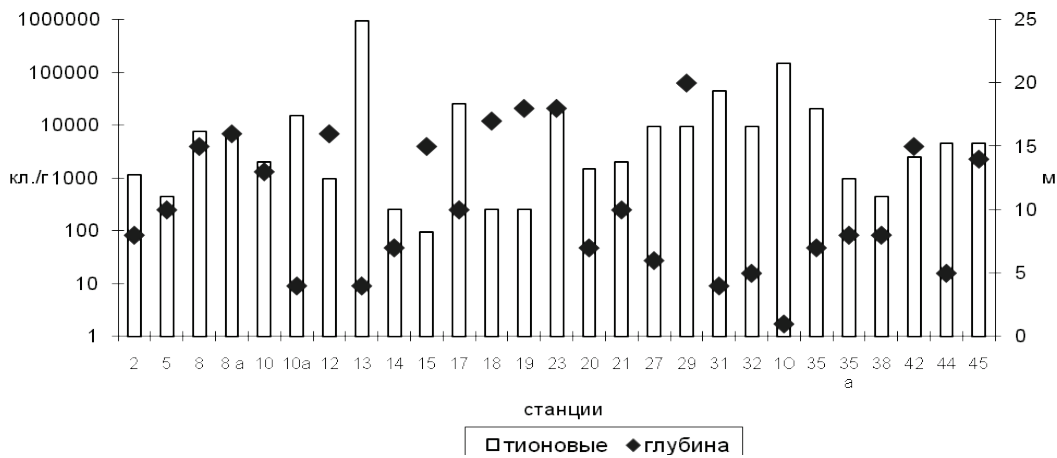


Рисунок 3. Отношение численности тионовых бактерий к глубине на станциях отбора

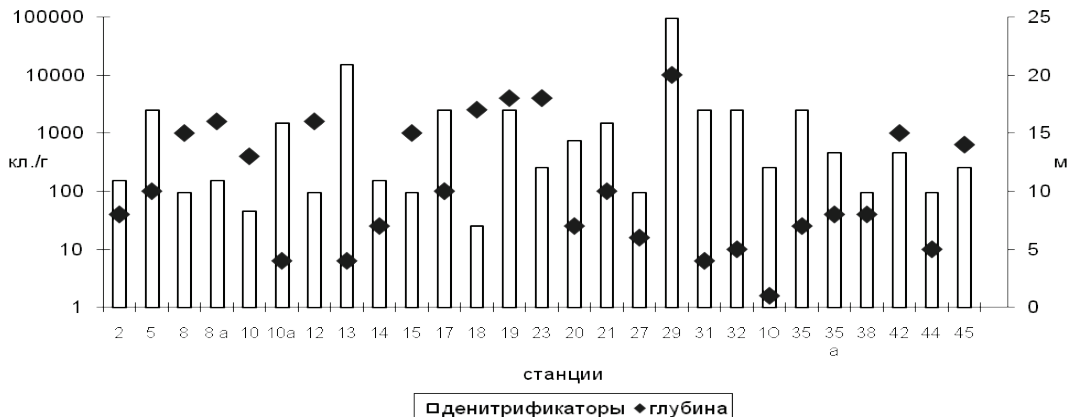


Рисунок 4. Отношение численности денитрифицирующих бактерий к глубине на станциях отбора

микроорганизмами (соответственно, $r = -0,34; -0,1; -0,11; n = 21, P < 0,05$). В то же время в большинстве проб численность анаэробов выше при низких значениях $гН_2$.

Пробы донных осадков отбирали на исследуемых станциях с глубин от 1 до 20 м.

Высокая численность тионовых и сульфатредуцирующих бактерий выявлена при обозначенном диапазоне глубин: от 1 до 20 м (рис. 2, 3).

Наибольшее количество ДНБ чаще наблюдалось на глубинах от 1 до 10 м (рис. 4). На примере Севастопольской бухты проанализировано распределение микроорганизмов в зависимости от глубины на станциях отбора. Между исследуемыми параметрами выявлена обратная взаимосвязь. Коэффициент корреляции для сульфатредуцирующих бактерий составил: $r = -0,57$; тионовых: $r = -0,48$; денитрифицирующих: $r = -0,51$ ($n = 14, P < 0,05$). Иными словами, численность анализируемых групп бактерий возрастает с уменьшением глубины. Отсутствие денитрифицирующих бактерий на больших глубинах и повышенное

содержание тионовых микроорганизмов в прибрежных грунтах в пределах кислородной зоны, по сравнению с глубоководными грунтами в Чёрном море, отмечено в работах Ю. И. Сорокина [8,10]. А. А. Лебедь [11], исследуя западный шельф Чёрного моря, также обнаружила отсутствие как ДНБ, так и СРБ на глубоководных, удалённых от берега станциях. Вышеназванные авторы пришли к выводу, что данные группы бактерий приурочены к донным осадкам прибрежных и припортовых станций, которые больше всего подвержены антропогенному воздействию. Как показано О. Г. Мироновым с соавторами [12], содержание органических загрязнителей антропогенного происхождения и нефтяных углеводородов в донных осадках большинства мелководных станций в прибрежной акватории Севастополя превышает таковые на глубоководных станциях указанной акватории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследований свидетельствовали о том, что восстановительные условия среды, характеризующие большинство донных осадков рассматриваемой акватории, способствуют развитию анализируемых групп бактерий, а их численность возрастала с уменьшением глубины.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ: №121031500515-8 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем».

Список литературы / References:

1. Belyakova E.V., Rozanova E.P., Borzenkov I.A. et al. The new facultatively chemolithoautotrophic, moderately halophilic, sulfate-reducing bacterium *Desulfovermiculus halophilus* gen. nov., sp. nov., isolated from an oil field. *Microbiology*, 2006, vol. 75, no. 2, pp. 161-171.
2. Shelton T.B., Hunter I.V. Anaerobic decomposition of oil in bottom sediments. *J. Wat. Pollut. Contr. Feder*, 1975, vol. 47, no. 9, pp. 2256-2270.
3. Spormann A.M., Widdel F. Metabolism of alkylbenzenes, alkanes and other hydrocarbons in anaerobic bacteria. *Biodegradation*, 2000, vol. 11, no. 2-3, pp. 85-105.
4. Schocher R.J., Seyfried B., Vazquez I. F. et al. Anaerobic degradation of toluene by pure cultures of denitrifying bacteria. *Archives of Microbiology*, 1991, vol. 157, no. 1, pp. 7-12.
5. Бурдиян Н.В. Способность бактерий тионовой группы использовать углеводороды нефти как единственный источник углерода и энергии. *Экология моря*, 2009, вып. 79, с. 67-69. [Burdian N.V. Ability of thionic bacteria to use petroleum hydrocarbons as the sole source of carbon and energy. *Ecologiya moray*, 2009, vol. 79, pp. 67-69. (In Russ.)]
6. *Практикум по микробиологии*. Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Издательский центр «Академия», 2005, 608 с. [*Workshop on Microbiology*. Ed. by A.I. Netrusov. M.: Publishing center "Academy", 2005, 608 p. (In Russ.)]
7. Романенко В.И., Кузнецов С.И. *Экология микроорганизмов пресных водоемов*. Л.: Наука, 1974, 194 с. [Romanenko V.I., Kuznetsov S.I. *Ecology of Freshwater Microorganisms*. Leningrad: Nauka, 1974, 194 p. (In Russ.)]
8. Сорокин Ю.И. Микрофлора грунтов Чёрного моря. *Микробиология*, 1962, вып. 5, № 31, с. 899-903. [Sorokin Yu.I. Soil Microflora of the Black Sea. *Mikrobiologiya*, 1962, vol. 5, no. 31, pp. 899-903. (In Russ.)]
9. Кирюхина Л.Н., Миронов О.Г. Химическая и микробиологическая характеристика донных осадков Севастопольских бухт в 2003 г. *Экология моря*, 2004, вып. 66, с. 53-58. [Kirjukhina L.N., Mironov O.G. Chemical and microbiological characteristics of bottom sediments of the Sevastopol bays in 2003. *Ecologiya moray*, 2004, vol. 66, pp. 53-58. (In Russ.)]
10. Сорокин Ю.И. *Чёрное море*. М.: Наука, 1982, 216 с. [Sorokin Yu.I. *Black Sea*. Moscow: Nauka, 1982, 216 p. (In Russ.)]
11. Лебедь А.А. Микробиологическая характеристика донных осадков западного шельфа Чёрного моря. *Экология моря*, 1987, вып. 26, с. 48-51. [Lebed A.A. Microbiological Characteristics of the Bottom Sediments of the Black Sea Western Shelf. *Ecologiya moray*, 1987, vol. 26, pp. 48-51 (In Russ.)]
12. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алёмов С.В. *Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003, 185 с. [Mironov O.G., Kirjukhina L.N., Alyomov S.V. *Sanitary-biological aspects of the Sevastopol bays ecology in XX century*. NAS of the Ukraine, the Institute of Biology of Southern Seas. - Sevastopol, 2003, 185 p. (In Russ.)]

DISTRIBUTION OF ANAEROBIC BACTERIA IN BOTTOM SEDIMENTS DEPENDING ON REDOX CONDITIONS AND DEPTH (BY THE EXAMPLE OF THE COASTAL WATER AREA OF SEVASTOPOL, CRIMEA, BLACK SEA)

Burdiyan N.V.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
Nachimov av., 2, Sevastopol, 299011, Russia; e-mail: burdiyan@mail.ru
Received 26.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbp.2022.0553

Abstract. The present work covers a distribution of thionic (TB), denitrifying (DNB) and sulfate reducing (SRB) groups of bacteria inhabiting the bottom sediments of the coastal water area of Sevastopol (Black Sea), depending on the redox conditions and depth. Sampling and subsequent treatment of the material were conducted using standard methods of hydrobiology and general microbiology. The studied groups of bacteria are isolated from bottom sediments with different indicators of redox potential (ORP) Eh: from + 356 to -189 (mV). A negative correlation was found between the ORP value and the number of bacteria analyzed. The correlation coefficient for SRB was $r = -0.5$, for TB and DNB, respectively, $r = -0.47$ and -0.51 ($P < 0.05$). There is no reliable relationship between the pH values of the medium and the number of microorganisms observed. A high number of thionic and sulfate reducing bacteria was detected at the designated depth range: from 1 to 20 m. The greatest number of denitrifying bacteria was more often observed at depths from 1 to 10 m. It is determined that the restorative environmental conditions characterizing the majority of bottom sediments in the water area under consideration contribute to the development of the analyzed groups of bacteria, and their number increases with decreasing depth.

Key words: *bottom sediments, thionic, sulphate-reducing, denitrifying bacteria, Black Sea.*