

УДК 574.587(28)(262.5)

Бентос северо-западной части озера Донузлав в 2017 году

Алёмов С. В., Бурдиян Н. В., Витер Т. В., Гусева Е. В., Короткова А. В.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
alyomov_sv@ibss-ras.ru

Проведены комплексные рекогносцировочные исследования бентоса озера Донузлав в северо-западной части Крыма. Пробы отбирали на четырёх станциях северо-западного побережья озера и двух станциях на морском берегу косы Беляус. Впервые оценена численность разных физиологических групп бактериобентоса. Высокая численность гетеротрофных бактерий наблюдалась только в центральной части озера, а нефтеокисляющие бактерии в низких титрах отмечались повсеместно. Последнее свидетельствует о наличии нефтяных углеводородов в донных осадках и низком деструкционном потенциале бактериобентоса в процессах разложения нефти и её производных. Высокая численность сульфатредуцирующих бактерий указывает на активные процессы восстановления сульфатов, приводящих к ухудшению санитарно-экологического состояния озера, вследствие высокой токсичности сероводорода для гидробионтов. Мейобентос исследованной акватории озера Донузлав представлен 7 крупными таксонами, с преобладанием нематод. Численность мейобентосных организмов была выше в озере, чем на открытом побережье. Кластерный анализ по количественному соотношению в пробах таксономических групп мейобентоса показал наличие двух групп станций. В составе макрозообентоса отмечен 51 вид, относимый к 7 крупным таксономическим группам, что составляет более половины видов макрозообентоса, отмеченных для всего озера предыдущими исследователями в 60-х и 90-х годах XX века. Численность макрозообентоса изменялась в пределах 75–4217 экз./м², биомасса – от 1,07 до 130,36 г/м². Максимальный вклад в биомассу (95,0–99,6 %) практически на всех станциях приходился на двустворчатые моллюски. Значения индекса Шеннона по численности макрозообентоса превышали 2 практически на всех исследованных участках акватории. Полученные данные характеризуют исследованную акваторию как малозагрязнённую, с высоким видовым разнообразием и устойчивыми ценозами исследованных участков в течение длительного времени.

Ключевые слова: Чёрное море, озеро Донузлав, бактериобентос, макрозообентос, мейобентос.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Донузлав, крупнейшее в Крыму, находится в его северо-западной части. Конфигурация берегов и мощный слой илов по глубинам свидетельствует, что когда-то оно было устьем реки, впоследствии пересохшей и отделившейся от Чёрного моря пересыпью из продуктов выветривания осадочных пород. Из них же сложены донные осадки прибрежного мелководья. До 60-х годов XX века Донузлав был классическим гиперсолёным озером. После прорытия в 1961 году судоходного канала статус водоёма стал спорным, его называют и лиманом, и бухтой, и эстуарием, и искусственным заливом. Чтобы избежать путаницы, многие исследователи предпочитают пользоваться устоявшимся выражением «озеро Донузлав». С северо-запада озеро ограничено косой Беляус, с юго-востока – косой Южной. Современный уровень солёности воды озера Донузлав, кроме вершинной части, где наблюдается субмаринная пресная разгрузка, изменяется от 17,01 до 19,48 ‰ (Кочергин и др., 2017) в зависимости от сезона.

Цель настоящей работы – санитарно-биологическая оценка современного состояния донных осадков северо-западной части прибрежной акватории озера Донузлав, граничащей, в основном, с обширными природными пастбищами, и в меньшей степени подверженной антропогенному воздействию, чем индустриализированная (стоянки судов, добыча песка, ряд населённых пунктов) восточная часть. Были определены следующие показатели биоты – качественно-количественные характеристики бактерио-, мейо- и макрозообентоса. Одновременно исследовали физико-химические показатели, как-то: в морской воде – солёность, содержание нефтяных углеводородов, в донных осадках – рН, Eh, содержание

хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводов, тяжёлых металлов, что описано в работе (Котельянец и др., 2019).

Работы по изучению бактериобентоса озера Донузлав нами не обнаружены.

Мейобентос озера Донузлав исследовался в начале 60-х годах XX века и в начале 2000-х годов (Киселёва, Славина, 1964; Сергеева, 2003). Постоянный компонент был представлен фораминиферами, нематодами, гарпактикоидами, остракодами, клещами, с преобладанием нематод. Временный компонент, псевдомейобентос, – полихетами, олигохетами, амфиподами, анизоподами, брюхоногими и двустворчатыми моллюсками. Средняя численность мейобентоса составляла 8110 экз./м² в 60-х годах прошлого века, и 312 000 экз./м² – в начале XXI века.

Изучение макрозообентоса озера Донузлав в изменившихся условиях, после соединения в 1961 году водоёма судоходным каналом с Чёрным морем, началось в 1981 году (Чухчин, 1991) и было продолжено в 90-х годах XX века (Михайлова, 1992; Болтачёва и др., 2002). Целевые работы по изучению макрозообентоса в районе устричников проводились в 2001 – 2003 годах, где определяли численность, биомассу поселений *Ostrea edulis* и степень поражения колоний паразитами (Болтачёв и др., 2012). Наиболее современными являются исследования ЮгНИРО по влиянию добычи песка на северо-западе озера на биоценозы дна (Панов, 2005), однако они ограничены участком собственно добычи и расположенной рядом 100–150-метровой ненарушенной зоной, приблизительно соответствующей нашим станциям 20 и 20а. Численность макрозообентоса на песчаном мелководье предустьевого участка тогда составила 640 экз./м², биомасса – 122 г/м², а таксономическое разнообразие насчитывало 10 видов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы отбирали на 6 станциях (рис. 1) – на четырёх станциях северо-западного побережья озера (станции 20, 20а, 21, 22) и двух станциях на морском берегу с внешней стороны косы Беляус (станции 18, 19).

Для микробиологических исследований были отобраны пробы донных отложений на четырёх станциях (18, 20, 21 и 22), микробиологические показатели станции 18, расположенной на открытом побережье косы Беляус использованы в качестве контрольных. В пробах определяли численность гетеротрофных бактерий (ГБ) – основных деструкторов органического вещества в водоёмах, и нефтеокисляющих бактерий (НОБ) – деструкторов нефтяных углеводов. На станциях 18, 20 и 22 также определены количественные показатели сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) – основных производителей сероводорода, и тионовых бактерий (ТБ) – активных окислителей серы и её неорганических восстановленных соединений. Численность бактерий в пробе определяли методом предельных разведений с использованием элективных сред (Самоочищение..., 1975; Практикум..., 2005; Бурдиян, 2011) с учётом солёности воды (Котельянец и др., 2019). Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди (в трёх повторностях), основанной на методе вариационной статистики (Практикум..., 2005).

Мейобентос донных осадков исследовали на станциях 18–22, материал отбирали трубкой с диаметром 3,4 см в трёх повторностях. Пробы промывали через сито с диаметром ячеей 1 мм для отделения организмов макробентоса. Фильтрат отмучивали на мельничном газе № 76, осадок фиксировали этанолом. Пробы микроскопировали с использованием камеры Богорова для определения и калькулирования численности представителей основных таксономических групп мейобентоса, с дальнейшим пересчётом на 1 м².

Сбор материала для анализа макрозообентоса проводили на станциях 18, 19, 20, 20а, 21 и 22 ручным водолазным пробоотборником с площадью захвата 0,08 м². На станции 21 также была отобрана качественная проба. Для исследования состава бентосного сообщества отобранные пробы промывали от грунта через систему сит с диаметром ячеей 1 мм нижнего

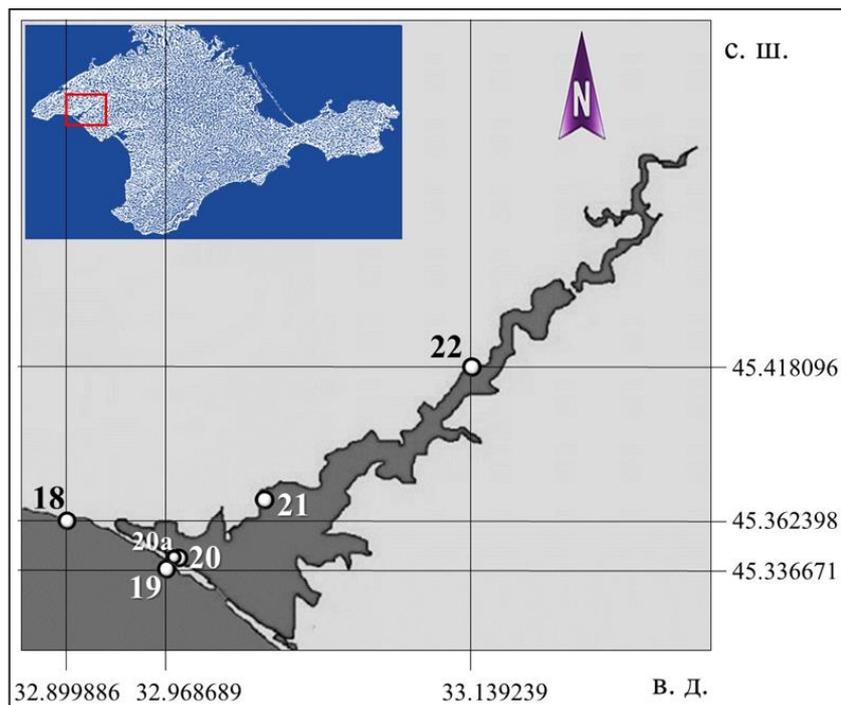


Рис. 1. Схема станций санитарно-биологической съёмки в северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года)

сита, содержимое которого фиксировали этанолом. Определяли видовой состав (Определитель..., 1968, 1969, 1972), численность, биомассу, трофическую структуру макрозообентоса. Современная классификация дана по (World Register..., 2008). Для оценки видового разнообразия макрозообентоса использовали модифицированную формулу Шеннона (Wilhm, Dorris, 1968). Также для каждой станции были рассчитаны индексы выравненности Пieloу (Pielou, 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В акватории северо-западного побережья озера Донузлав численность гетеротрофных бактерий (ГБ) в донных отложениях изменялась от 10^3 до 10^7 кл./г. Максимальное значение численности ГБ определено на станции 22, минимум – на станции 21. Число ГБ открытого побережья косы Беляус (станция 18) на порядок выше такового за ней (рис. 2). Нефтеокисляющие бактерии (НОБ) выделены повсеместно. Число НОБ на исследуемых станциях был одинаковым и составляло 10 кл./г, на контрольной станции 18 не превышало 1 кл./г (рис. 2).

Тионовые бактерии (ТБ) и сульфатредуцирующие бактерии (СРБ) определяли на станциях 18, 20 и 22. В центральной части (станция 22) численность ТБ составляла $2,0 \times 10^3$ кл./г, а на приустьевой станции 20 – не превышала 5 кл./г. Число ТБ на участке открытого побережья составила $4,5 \times 10$ кл./г (рис. 3). Численность СРБ в устьевой и срединной части озера находился в пределах одного порядка (450–950 кл./г). В контрольной точке (станция 18) на открытом побережье СРБ не выделены (рис. 3).

Численность мейобентосных организмов в августе 2017 года изменялась от 6,2 до 18,5 тыс. экз./м² вне озера (станции 18, 19) и от 17,3 до 96,4 тыс. экз./м² – в самом озере (станции 20–22) (рис. 4). Обнаружено 7 крупных мейобентосных таксонов, с преобладающим доминированием нематод – от 44,4 до 96,2 %. Гарпактикоиды, как и нематоды,

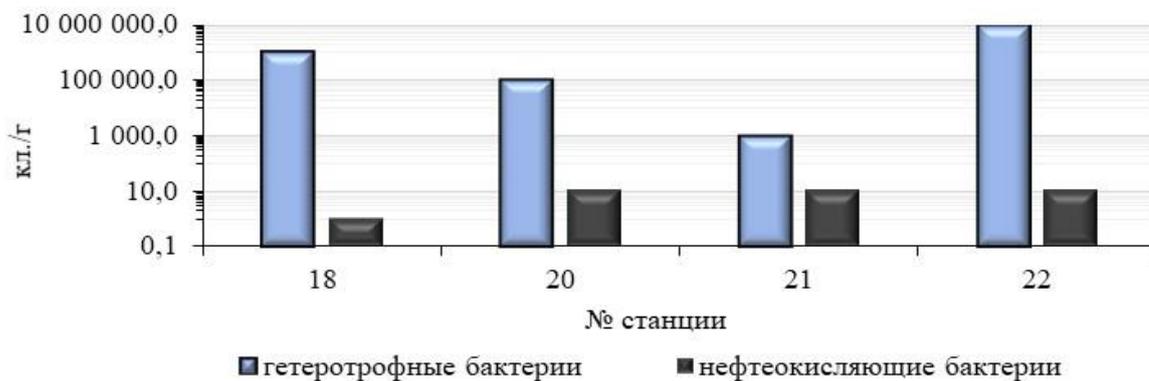


Рис. 2. Численность гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий в донных отложениях северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года)

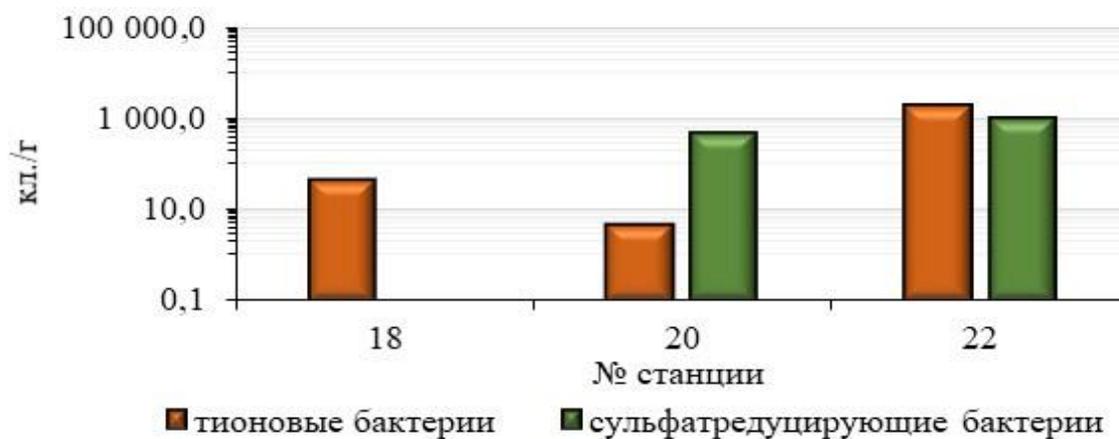


Рис. 3. Численность тионовых и сульфатредуцирующих бактерий в донных отложениях северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года)

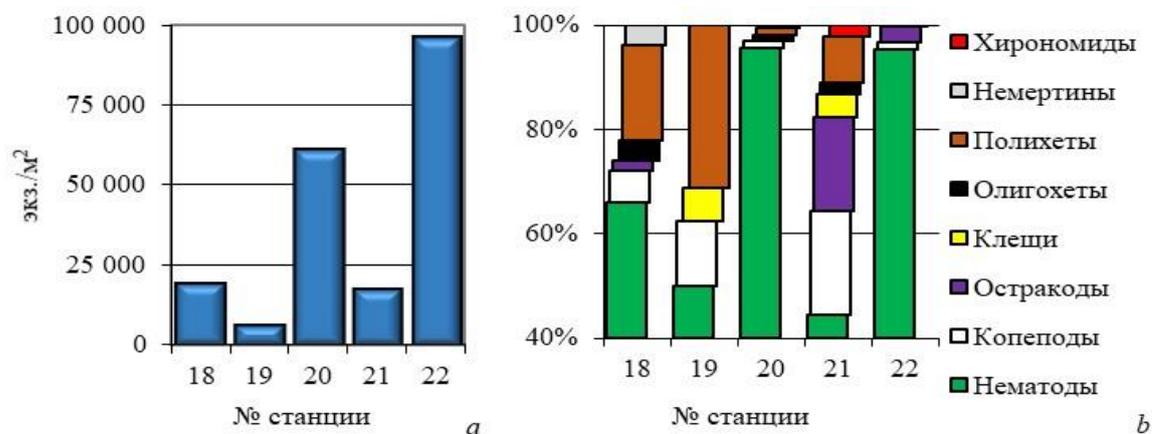


Рис. 4. Численность (а) и таксономическая структура (b) мейобентосного сообщества донных осадков северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года)

присутствовали на всех станциях, однако их доля не превышала 20 %. Остракоды встречены на станциях 18, 21 и 22, их доля изменялась от 2,1 до 17,8 %. Клещи обнаружены на станциях 19 и 21 – 6,2 и 4,4 %, соответственно. Псевдомейобентос представлен, в основном, полихетами, присутствующими почти на всех станциях в значительных количествах, – вне озера их доля достигала 18,7–31,2 % от общей численности, а собственно, в озере – до 8,9 %. Олигохеты также встречены на 4 станциях из 5, с относительной численностью, не превышающей 4,2 % от общей. Личинки комаров обнаружены только на станции 21 в незначительном количестве.

В августе 2017 года в донных осадках северо-западной прибрежной акватории озера Донузлав и на побережье открытого моря, на шести станциях обнаружено 62 вида макрозообентоса, относимых к 9 крупным таксонам (табл. 1, рис. 5), представители Bryozoa,

Таблица 1

Встречаемость видов макрозообентоса в северо-западной акватории озера Донузлав (август 2017 года)

№ п/п	Группа	Таксон, вид	Станции					
			18	19	20	20а	21	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	b*	<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+
2	b	<i>Polititapes aureus</i> (Gmelin, 1791)	–	–	+	+	–	–
3	b	<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	–	–	+	–	–	+
4	b	<i>Loripes orbiculatus</i> Poli, 1791	–	–	+	+	–	+
5	b	<i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	+	–	–	–
6	b	<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	–	–	+	+	–	+
7	b	<i>Gibbomodiola adriatica</i> (Lamarck, 1819)	–	–	+	+	–	–
8	b	<i>Moerella donacina</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	–	–	–
9	b	<i>Fabulina fabula</i> (Gmelin, 1791)	–	–	+	+	–	–
10	g*	<i>Mangelia costata</i> (Pennant, 1777)	–	–	+	–	–	+
11	g	<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)	–	–	+	+	–	+
12	g	<i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)	–	–	+	+	–	+
13	g	<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)	–	–	–	+	+	+
14	g	<i>Tritia neritea</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	+	–	–
15	c*	<i>Ampelisca diadema</i> (Costa, 1853)	–	–	+	+	–	+
16	c	<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i> (Spence Bate, 1857)	+	–	–	–	–	–
17	c	<i>Iphinoe maeotica</i> Sowinskyi, 1893	–	+	+	–	–	–
18	c	<i>Idotea balthica</i> (Pallas, 1772)	–	+	–	–	–	–
19	c	<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)	–	–	–	+	–	–
20	c	<i>Gammarus insensibilis</i> Stock, 1966	–	+	–	–	–	–
21	c	<i>Gastrosaccus sanctus</i> (Van Beneden, 1861)	–	+	–	–	–	–
22	c	<i>Nototropis guttatus</i> Costa, 1853	–	–	–	+	–	–
23	c	<i>Orchestia gammarellus</i> (Pallas, 1766)	–	+	–	–	–	–
24	c	<i>Ericthonius difformis</i> H. Milne Edwards, 1830	–	–	–	+	–	–
25	c	<i>Eurydice pontica</i> (Czerniavsky, 1868)	+	+	–	–	–	–
26	c	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	–	–	–	+	–	–

Таблица 1 (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27	с	<i>Perioculodes longimanus</i> (Spence Bate & Westwood, 1868)	-	-	-	+	-	-
28	с	<i>Chondrochelia savignyi</i> (Kroyer, 1842)	-	-	-	+	-	-
29	с	<i>Upogebia pusilla</i> (Petagna, 1792)	-	-	-	-	-	+
30	с	<i>Paramysis Czerniavsky</i> , 1882	-	-	-	-	-	+
31	i*	Chironomidae	-	-	-	+	-	-
32	p*	<i>Glycera alba</i> (O. F. Müller, 1776)	-	-	+	+	-	-
33	p	<i>Glycera tridactyla</i> Schmarda, 1861	-	-	+	-	-	-
34	p	<i>Glycera</i> sp.	-	-	-	-	-	+
35	p	<i>Goniada emerita</i> Audouin & H Milne Edwards, 1833	-	-	+	-	-	-
36	p	<i>Goniadella bobrezkii</i> (Annenkova, 1929)	-	+	-	+	-	-
37	p	<i>Harmothoe imbricata</i> (Linnaeus, 1767)	-	-	+	-	-	-
38	p	<i>Alitta succinea</i> (Leuckart, 1847)	-	-	+	-	-	-
39	p	<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867	-	-	+	-	-	-
40	p	<i>Notomastus lineatus</i> Claparède, 1869	+	+	-	-	-	-
41	p	<i>Nereiphylla pusilla</i> (Claparède, 1870)	-	+	-	-	-	-
42	p	<i>Genetyllis tuberculata</i> (Bobretzky, 1868)	-	-	-	+	-	+
43	p	<i>Pygospio elegans</i> Claparède, 1863	-	-	-	+	-	-
44	p	<i>Spio filicornis</i> (Müller, 1776)	+	-	-	-	-	+
45	p	<i>Janua heterostropha</i> (Montagu, 1803)	-	+	-	-	-	-
46	p	<i>Prionospio cirrifera</i> Wirén, 1883	-	-	-	-	-	+
47	p	<i>Laonice cirrata</i> (M. Sars, 1851)	-	-	-	-	-	+
48	p	<i>Lagis koreni</i> Malmgren, 1866	-	-	-	-	-	+
49	p	<i>Mysta picta</i> (Quatrefages, 1866)	+	-	-	-	-	+
50	p	<i>Pholoe inornata</i> Johnston, 1839	-	-	-	-	-	+
51	p	Cirratulidae	+	-	-	-	-	-
52	o*	<i>Cryptosula pallasiana</i> (Moll, 1803)	-	-	+	-	-	-
53	o	<i>Phoronis</i> Wright, 1856	-	-	+	-	-	-
54	o	ENTOPROCTA	-	-	+	-	-	-
55	o	PLATYHELMINTES	+	-	-	-	-	-
56	b	<i>Cerastoderma glaucum</i> (Briguière)**	-	-	+	-	+	+
57	b	<i>Flexopecten glaber ponticus</i> (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1889)**	-	-	-	-	+	+
58	b	<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819**	-	-	-	-	-	+
59	с	<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)**	-	-	-	-	-	+
60	с	<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)**	-	-	+	-	-	-
61	с	<i>Chondrochelia savignyi</i> (Kroyer, 1842)**	-	-	+	-	-	-
62	p	<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1833)**	-	-	+	-	-	-

Примечание к таблице. *b – Bivalvia, g – Gastropoda, с – Crustacea, i – Insecta, p – Polychaeta, o – другие таксоны (others taxa); ** – встречены только в качественных пробах.

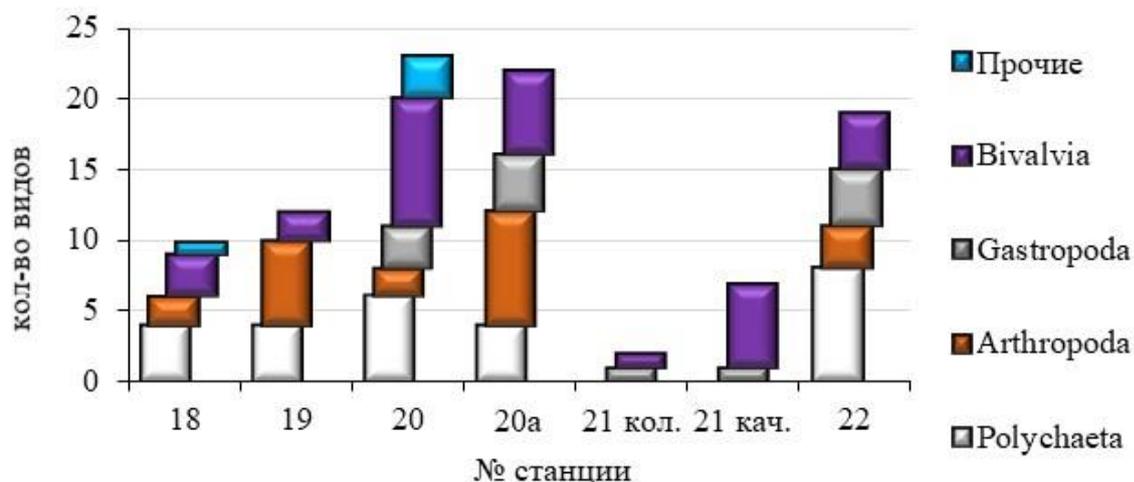


Рис. 5. Таксономическое разнообразие макрозообентоса северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года)

К «Прочие» отнесены представители Bryozoa, Phoronida, Platyhelminthes и Entoprocta.

Phoronida, Platyhelminthes и Entoprocta отнесены к «Прочим». Непосредственно в озере обнаружен 51 вид. Наибольшее видовое разнообразие приурочено к пескам станций 20 и 20а – соответственно, 22 и 23 вида, и к илистому мелководью станции 22 – 19 видов; наименьшее – на станции 21 – 2 вида (8 видов в качественной пробе). На станциях открытого побережья (18, 19) обнаружено 18 видов беспозвоночных, относимых к 4 таксонам.

Обнаруженные двустворчатые моллюски относятся к 12 видам, наиболее часто – на всех станциях – встречалась *Chamelea gallina*, со средней численностью 112 экз./м². К массовым видам отнесены *Mytilaster lineatus* (до 1962 экз./м²), *Gibbomodiola adriatica* (до 1150 экз./м²). На станции 21 в количественной пробе двустворчатые моллюски представлены только *Ch. gallina* (50 экз./м²), в качественной пробе обнаружены также *Cerastoderma glaucum*, *Flexopecten glaber ponticus*, *Parvicardium exiguum*, *Loripes orbiculatus*, *Mytilaster lineatus* и *Politiitapes aureus*. На станциях 18 и 19 вне озера обнаружены 3 вида двустворчатых моллюсков – *Ch. gallina* и *Moerella donacina* и *Lucinella divaricata*.

Брюхоногие моллюски представлены 5 видами, наиболее часто встречаются (75 %) риссой и биттиумы, чья численность в среднем достигает 200 экз./м². На станциях 18 и 19 вне озера брюхоногие моллюски не обнаружены.

Тип Arthropoda на исследуемых станциях представлен 19 видами ракообразных и одним видом насекомых. На станциях 20 и 22 ракообразные представлены в основном малочисленными (12–50 экз./м²) экземплярами видов *Iphinoe maeotica*, *Nototropis guttatus*, *Erichthonius difformis*, *Upogebia pusilla*, *Microdeutopus gryllotalpa*, *Perioculodes longimanus*, *Chondrochelia savignyi*, *Paramysis*, с частотой встречаемости 25 %. Единственный вид, обнаруженный на трёх станциях – *Ampelisca diadema*, с высокой численностью 125–437 экз./м². На станции 21 представители ракообразных не найдены. На станциях 18 и 19 ракообразные представлены в основном *Eurydice pontica* с численностью 168 экз./м² (23,3 % от всей численности макрозообентоса). Насекомые представлены личинками хирономид только на станциях 20 и 20а, с численностью 12 экз./м².

Максимальное видовое разнообразие отмечено среди полихет – 21 вид, однако встречаемость большинства видов, кроме *Glycera alba*, *Goniadella bobrezkii* и *Genetyllis tuberculata* – не более 20 %. Наибольшее видовое разнообразие этого таксона обнаружено на станциях 20 и 22 (по 8 видов), однако численность отдельных видов не превышала 112 экз./м² (*Lagis koreni*, станция 22), в среднем составляя 6 экз./м² на исследованных станциях. На станции 21 полихеты не обнаружены. Вне озера (станции 18 и 19) обнаружено 6 видов полихет, три из которых не встречались на станциях в самом озере – *Notomastus lineatus*,

Nereiphylla pusilla и *Janua heterostropha*. Численность отдельных видов здесь не превышала 31 экз./м².

Представители таких типов, как Bryozoa (*Cryptosula pallasiana*), Phoronida (*Phoronis euxinicola*) и Entoprocta (*Barentsia benedeni*) обнаружены только на станции 20, с плотностью поселений, соответственно, – 12, 62 и 37 экз./м². Вне озера, на станции 18 обнаружен представитель типа Platyhelminthes (6 экз./м²).

Общая численность макрозообентоса в самом озере изменялась в пределах 75–4217 экз./м² (рис. 6). По данным предыдущих съёмок численность составляла 234–7487 экз./м² (Михайлова, 1992) и 640 экз./м² (Панов, 2005). На станциях 18 и 19 – по 359 экз./м².

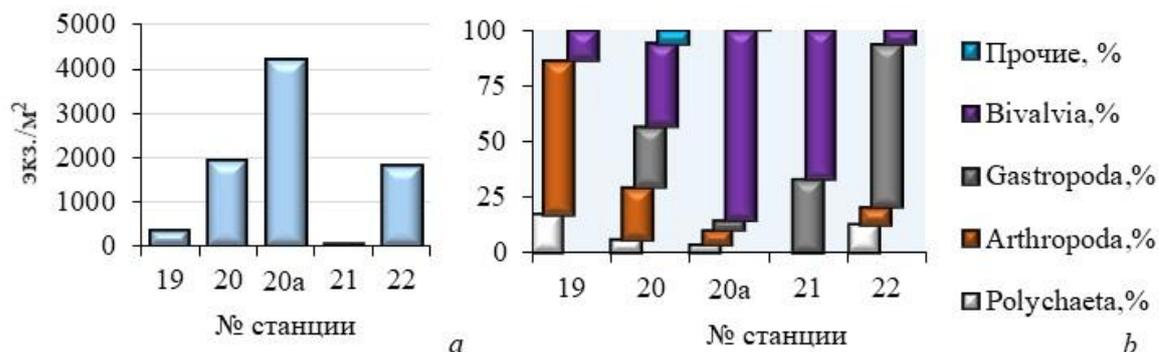


Рис. 6. Численность макрозообентоса (a, экз./м²) и доля в ней крупных таксонов (b, %)

Биомасса макрозообентоса изменялась от 1,07 (станция 18) до 130,36 (станция 20) г/м² (рис. 7). Минимальные значения биомассы отмечались на станциях 18 и 19 в открытом море (1,07 и 11,36 г/м² соответственно), а максимальные – за пересыпью на станциях 20 и 20а (130,36 и 102,56 г/м² соответственно). Максимальный вклад в биомассу практически на всех станциях (95,0–99,6 %) приходился на двустворчатые моллюски, кроме станции 22, где 51,28 % биомассы обеспечивали брюхоногие моллюски и 32,7 % – членистоногие, включающие в себя крупных ракообразных (*Upogebia pusilla*). Даже личинки насекомых и полихеты (по 9 %) превышали здесь по биомассе двустворчатых моллюсков (7,02 %). На станциях 18 и 19 в открытом море основной вклад в биомассу макрозообентоса также вносили двустворчатые моллюски (86,2–93,1 %).

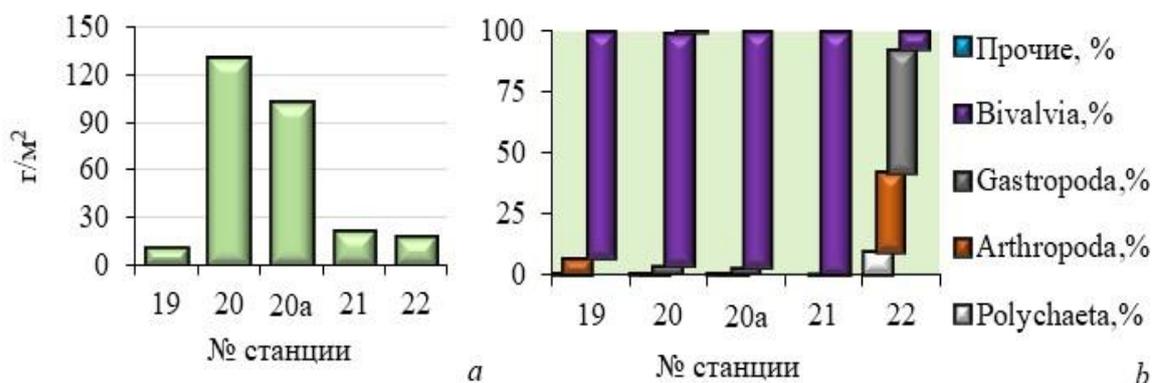


Рис. 7. Биомасса макрозообентоса (a, г/м²) и доля в ней крупных таксонов (b, %)

Трофическая структура макрозообентоса по станциям представлена на рисунке 8.

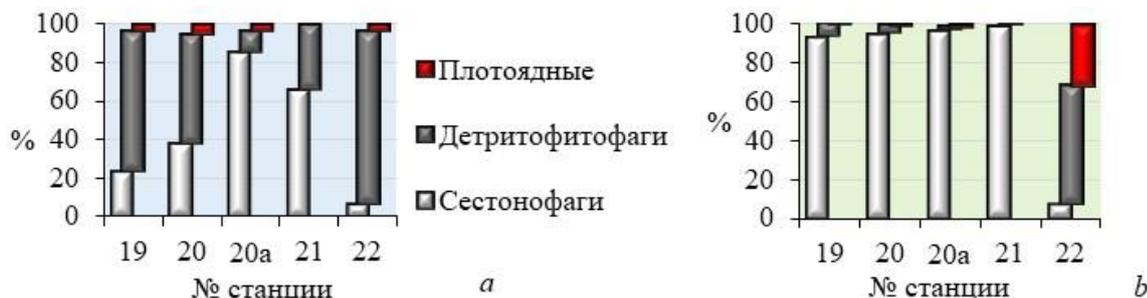


Рис. 8. Трофическая структура макрозообентоса по станциям в северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года)

a – по биомассе, *b* – по численности.

Сестонофаги вносили основной вклад в численность и биомассу бентоса: на станции 18 за счёт преобладания моереллы, на станции 20a – мителид, на станции 21 – хамелеи. Детритофитофаги преобладали в центральной части на станции 22, как по численности, так и по биомассе (за счёт большого количества риссой и биттиума). На станциях 19 и 20 преобладали детритофитофаги: по биомассе – сестонофаги (за счёт крупной хамелеи), по численности – вне озера, на станции 19, за счёт большого количества мелких ракообразных *E. pontica*, а на станции 20 – за счёт *Ampelisca diadema*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённые микробиологические исследования показали высокую степень развития гетеротрофных бактерий в центральной части озера Донузлав. Повсеместное распространение нефтеокисляющих бактерий подтверждает наличие нефтяных углеводородов в донных осадках озера. Однако их доля в общей численности ГБ довольно незначительная, и свидетельствует о низком потенциале бактериобентоса в процессах деструкции нефти и её производных. Для сравнения, численность НОБ в донных отложениях черноморского побережья Крыма (солёность 18 ‰) число НОБ варьирует от 10^2 до 10^4 кл./г (Дорошенко, Бурдиян, 2016), а в донных отложениях Азовского моря (солёность 12 ‰) колеблется от 10^3 до 10^5 кл./г (Корпакова, 2012). Невысокая численность НОБ в озере, возможно, обусловлена низким содержанием необходимых микроорганизмам биогенов, в частности, азота и фосфора, в связи с засушливым летом в год исследований.

Высокая численность сульфатредуцирующих бактерий указывает на активные процессы восстановления сульфатов, приводящих к ухудшению санитарно-экологического состояния озера, вследствие высокой токсичности сероводорода для гидробионтов.

Обнаруженные довольно высокие показатели численности мейобентоса на станциях 20 и 22 при незначительном таксономическом разнообразии, обеспеченные развитием нематод (> 95 %), на фоне показателей сульфатредуцирующих бактерий (смотри рис. 3) могут свидетельствовать о наличии анаэробных условий в верхних слоях донных осадков этих станций (Белогурова, 2011). Доминированию нематод при угнетении других таксономических групп на станции 20 может способствовать высокий уровень нефтяных углеводородов в воде (Фадеева и др., 2002) – 0,05 мг/л (ПДК) (Котельянец, 2019).

Кластерный анализ по количественному соотношению в пробах таксономических групп мейобентоса в целом и, отдельно, эвмейобентоса на станциях 18–22 показал высокое сходство станций 18, 20 и 22, – 70–85 % для всего мейобентоса и 88–93 % – для его постоянного компонента. Станции 19 и 21 имеют, аналогично, сходство 73 и 80 % (рис. 9).

По видовому составу макрозообентоса в целом можно отметить, что все найденные на небольшом участке прибрежной акватории озера виды обнаруживались в нём ранее, хотя показатели были выше – 62 вида в 1990 году и 99 вида – в 1997 году (Михайлова, 1992;

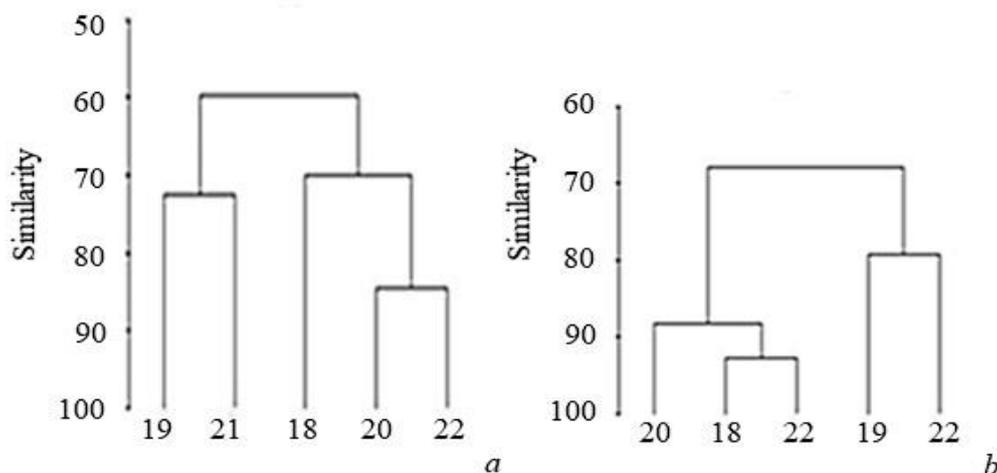


Рис. 9. Дендрограммы сходства станций северо-западной акватории озера Донузлав по соотношению таксономических групп мейобентоса (а) и его постоянного компонента – эвмейобентоса (b), август 2017 года

Болтачёва и др., 2002), но были получены в результате съёмки всего водоёма, что говорит о высоком видовом разнообразии и устойчивости ценозов исследованных участков в течение длительного времени.

Наибольшее сходство видового состава по численности (47,1 %) и по биомассе (65,2 %) макрозообентоса наблюдалось для станций 20 и 20а (рис. 10), что объясняется их близким расположением.

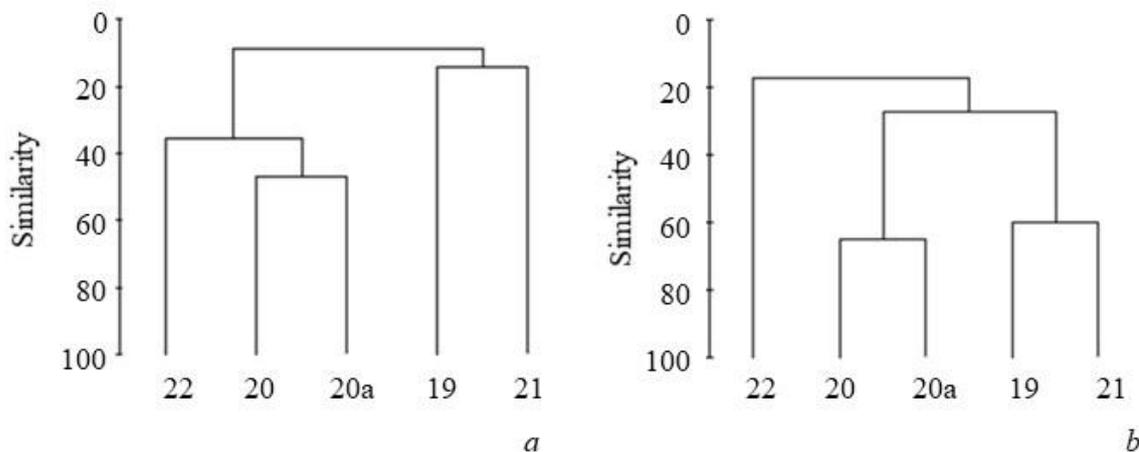


Рис. 10. Дендрограммы сходства станций по численности (а) и по биомассе (b) макрозообентоса (северо-западная часть акватории озера Донузлав, август 2017 года)

Изменения биотических индексов представлено на рисунке 11. Индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе бентоса, существенно варьировал на различных станциях (0,74÷2,6), на станции 21 был минимальным (0,04) вследствие заметного доминирования *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) и наличия всего двух видов макрозообентоса. Значения индекса Шеннона для численности макрозообентоса превышали 2 на всех исследованных участках акватории, кроме станции 21, что соответствует показателям для малозагрязнённых

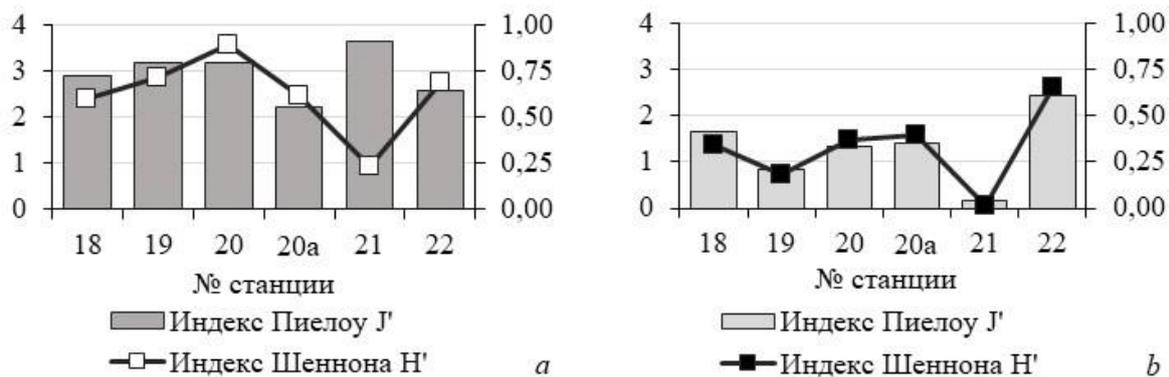


Рис. 11. Индексы видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиеλου бентосных сообществ по станциям (а – по численности, б – по биомассе), северо-западная часть акватории озера Донузлав, август 2017 года

вод (Константинов, 1979; Финогенова, Алимов, 1976). Индекс выравненности Пиеλου по численности составлял 0,55–0,91, в среднем равняясь 0,74, а по биомассе – 0,04–0,61 (среднее значение – 0,33).

Рассмотрена частотно-размерная характеристика поселений доминирующих моллюсков *Chamelea gallina* и *Bittium reticulatum* на фоне изменения редокс-потенциала и концентрации нефтяных углеводородов (рис. 12). При переходе от песчаных грунтов устья к заиленным донным осадкам в центральной части водоёма редокс-потенциал снижается, а концентрация НУ возрастает. Одновременно численность хамелеи резко снижается и выпадают как старшие, так и младшие возрастные группы. Численность биттиума наиболее высока на станции 22. Известно (Миловидова, Алёмов, 1992), что *Ch. gallina* характерна для чистых песчаных грунтов, а *B. reticulatum* является более устойчивым к загрязнению и недостатку кислорода организмом.

Сравнительный анализ численности макро- и мейобентоса на станциях 19–22 показывает, что на станции 21, при пониженной, в сравнении с другими станциями, общей численности организмов обеих размерных группировок, у мейобентосного сообщества отмечено максимальное разнообразие – обнаружены представители 7 таксонов, в то время как макрозообентос представлен (по данным количественной пробы) всего двумя видами двух таксонов. Предполагаем возможным, что этот участок недавно подвергался воздействию (не загрязнению), при котором верхний слой донных осадков был сильно нарушен, и в данный момент идёт восстановление донного биоценоза с естественным для мейобентоса преобладанием по скорости.

ВЫВОДЫ

Впервые оценена численность гетеротрофных, нефтеокисляющих, сульфатредуцирующих и тионовых бактерий в донных отложениях озера Донузлав. Исследуемые группы бактерий распространены практически повсеместно. Наиболее обильный бактериобентос отмечен в центральной части озера. Численность нефтеокисляющих бактерий на всех исследованных участках не превышала 10 кл./г, что, при высокой численности гетеротрофных бактерий и обнаружении нефтяных углеводородов в грунте, свидетельствует о низком потенциале бактериобентоса в процессах деструкции нефти.

Мейобентос северо-западной части акватории озера Донузлав был представлен 7 купными таксонами, с преобладанием нематод. Численность мейобентосных организмов была выше в озере, чем на открытом побережье.

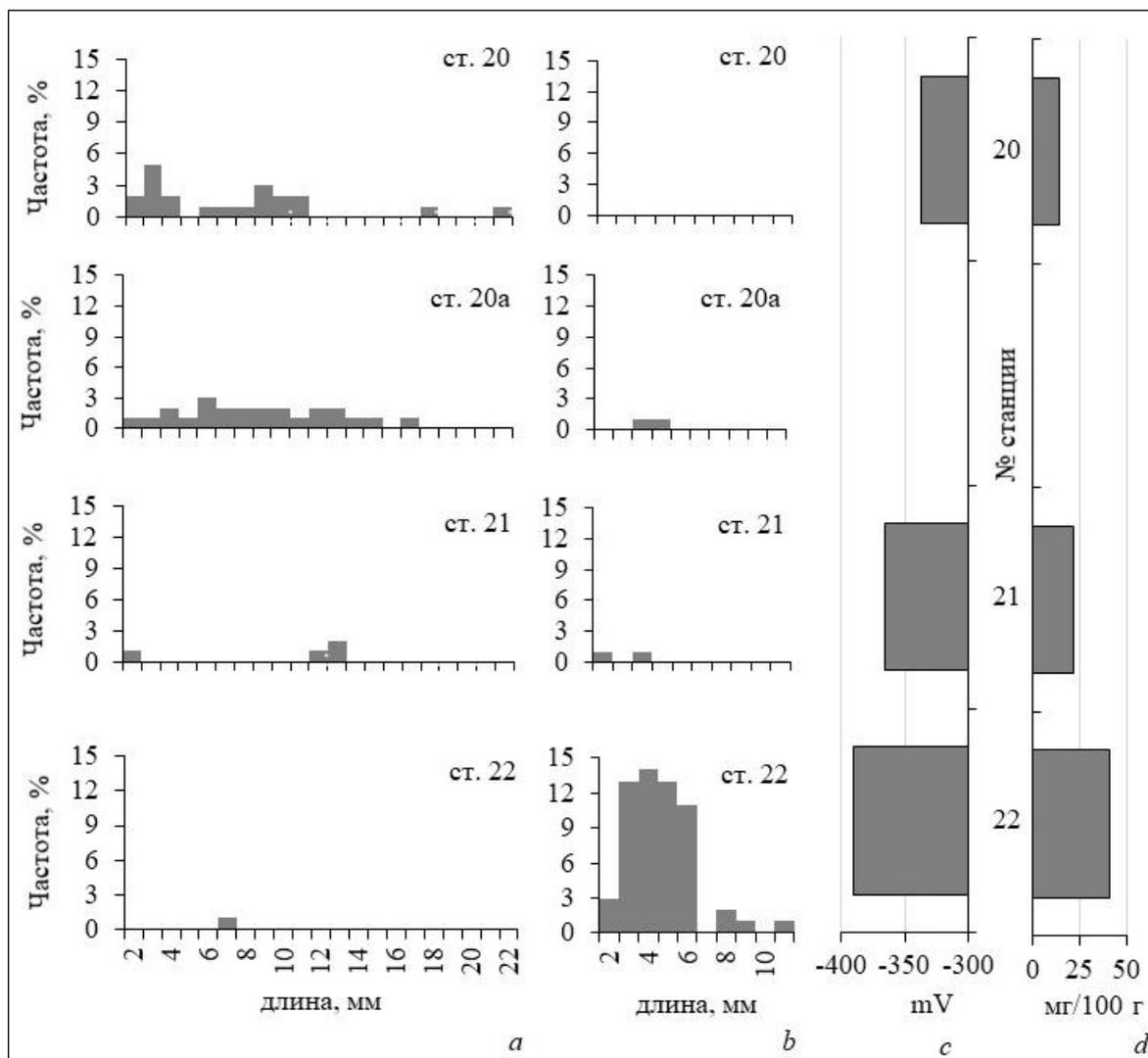


Рис. 12. Размерно-частотная характеристика доминирующих видов моллюсков *Chamelea gallina* (a) и *Bittium reticulatum* (b) на станциях в северо-западной части акватории озера Донузлав (август 2017 года) на фоне градиентов редокс-потенциала (c) и концентрации нефтяных углеводородов (d) (Котельянец и др., 2019)

Макрозообентос северо-западной части озера Донузлав был представлен 51 видом, относимым к семи таксонам. Все эти виды были ранее (в 60-х и 90-х годах XX века) отмечены предыдущими исследователями. На 4-х исследованных станциях было найдено более половины видов, обнаруживаемых ранее по всей акватории озера. Значения индекса Шеннона по биомассе (0,74–2,60) характерны для малозагрязнённых акваторий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», № АААА-А18-118020890090-2.

Список литературы

- Белогурова Л. С. Перспективы использования мейобентоса для биологического мониторинга водных экосистем // Наука и современность – 2011. Секция Биология: Матер. XI международ. конф. – Новосибирск, 2011. – № 9 (1) – С. 14–18
- Болтачёв А. Р., Сергеева Н. Г., Загородняя Ю. А., Климова Т. Н. Добыча песка на шельфе у Севастополя как угроза прибрежной экосистеме и биологическому разнообразию Чёрного моря // Биоразнообразие и устойчивое

развитие: Матер. II междунар. науч.-практ. конф. (Симферополь, 12–16 сент. 2012 г.). – Симферополь, 2012 – С. 39–42.

Болтачёва Н. А., Колесникова Е. А., Ревков Н. К. Фауна макрозообентоса лимана Донузлав (Чёрное море) // Экология моря. – 2002. – Вып. 62. – С. 10–15.

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.

Дорошенко Ю. В., Бурдиян Н. В. Микробиологическая характеристика донных отложений Крымского шельфа // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: Материалы Всерос. науч.-практ. конференции (с междунар. участием) – Севастополь, 2016 – Т. 3. – С. 81–83.

Киселёва М. И., Славина О. Я. Донные биоценозы у Западного побережья Крыма // Труды Севастопольской биостанции. – 1964. – Т. 15. – С. 152–172.

Константинов А. С. Общая гидробиология. – М. «Высшая школа», 1979. – 480 с.

Корпакова И. Г. Биологические особенности акваторий лицензионного участка ООО «НК Приазовнефть» в Азовском море в 2012 г. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 12. – С. 26–35.

Котельянец Е. А., Соловьёва О. В., Тихонова Е. А. Загрязнение донных отложений северо-западного побережья озера Донузлав по данным 2017 года // Вестник МГУ. Серия 5. География. – 2019. – № 2. – С. 95–102.

Кочергин А. Т., Загайный Н. А., Крискевич Л. В. Изменчивость гидрометеорологических характеристик озера Донузлав (п-ов Крым) в 2016 г. // Труды ВНИРО. Среда обитания водных биологических ресурсов. – Т. 166. – 2017. – С. 151–158.

Миловидова Н. Ю., Алёмов С. В. Зообентос мягких грунтов Севастопольской бухты и прилегающих районов / Молисмология Чёрного моря / [Отв. ред. Поликарпов Г. Г.] – Киев: Наукова думка. – 1992. – С. 263–81.

Михайлова Т. В. Макрозообентос озера Донузлав // Экология моря. – 1992. – Вып. 42 – С. 16–20.

Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 1. Свободноживущие беспозвоночные. Простейшие, губки, кишечнополостные, черви, щупальцевые. – Киев: Наукова думка, 1968. – 437 с.

Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 2. Свободноживущие беспозвоночные. Ракообразные. – Киев: Наукова думка, 1969. – 536 с.

Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 3. Свободноживущие беспозвоночные. Членистоногие (кроме ракообразных), моллюски, иглокожие, щетинкочелюстные, хордовые. – Киев: Наукова думка, 1972. – 340 с.

Панов Б. Н. Мониторинг состояния северо-западного участка оз. Донузлав в условиях добычи песка Евпаторийским морским торговым портом: Отчёт о НИР. – ЮгНИРО, Керчь. – 2005. – 51 с.

Практикум по микробиологии / [Ред. А. И. Нетрусова]. – М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – 608 с.

Самоочищение в прибрежной акватории Чёрного моря / [Ред. В. Н. Грезе]: Киев: Наукова думка. – 1975. – 142 с.

Сергеева Н. Г. Мейобентос лимана Донузлав / Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор) – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2003. – С. 251–258.

Фадеева Н. П., Безвербная И. П., Тазаки К., Ватанабэ Н., Фадеев В. И. Состав, структура и метаболизм донных сообществ илистых грунтов в условиях хронического антропогенного загрязнения (на примере б. Золотой Рог) // Фундаментальные исследования морской биоты: биология, химия и биотехнология: Матер. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных НОЦ ДВГУ «Морская биота» (1–2 октября 2002 г., г. Владивосток). – Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та. – 2002. – С. 62–66.

Финогенова Н. П., Алимов А. Ф. Оценка степени загрязнения вод по составу донных животных // Методы биологического анализа пресных вод. – Л.: ЗИН АН СССР. – 1976. – С. 95–106.

Чухчин В. Д. Формирование донных биоценозов в озере Донузлав после соединения с морем // Многолетние изменения зообентоса Чёрного моря. – Киев: Наукова думка. – 1991. – С. 76–90.

Pielou E. C. Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and misuse // American Naturalist. – 1966. – Vol. 100. – P. 463–465.

Wilhm J. L., Dorris T. C. Biological parameters for water quality criteria // Bioscience. – 1968. – 18. – P. 477–481.

World Register of Marine Species. – 2008. Режим доступа: <https://www.marinespecies.org/> (просмотрено 05.02.2020).

Alyomov S. V., Burdiyan N. V., Viter T. V., Guseva E. V., Korotkova A. V. Benthos of the north-western part of the Lake Donuzlav in 2017 // Ekosistemy. 2020. Iss. 22. P. 15–28.

The authors conducted a comprehensive reconnaissance study of the Lake Donuzlav benthos in the North-Western part of Crimea. Samples were taken at four stations on the northwest coast of the lake and at two stations on the seashore of the Belyaus Spit. The number of different physiological groups of bacteriobenthos was estimated for the first time. A high number of heterotrophic bacteria was observed only in the central part of the lake but low abundance of oil-oxidizing bacteria was recorded everywhere. Last factor indicates the presence of oil hydrocarbons in bottom sediments and low destruction potential of bacteriobenthos in decomposition of oil and its derivatives. High number of sulfate-reducing bacteria specifies active processes of sulfate reduction, which lead to a deterioration of the sanitary-ecological state of the lake due to high toxicity of hydrogen sulfide for aquatic organisms. Meiobenthos of the researched water area represented by 7 major taxa was dominated by nematodes. The number of meiobenthic organisms was higher in the lake than on the seashore. Cluster analysis based on the quantitative ratio of taxonomic groups of meiobenthos in samples showed the presence of two groups of stations. Fifty-one species belonging to 7 large taxonomic groups were recorded in the composition of macrozoobenthos. This accounts for more than a half of macrozoobenthos species recorded at all the territory of the lake by previous researches in the 60s and 90s of the XX century. Bouivalves made the maximum contribution to biomass (95.0–99.6 %) at almost all stations. The number of macrozoobenthos varied in the range of 75–4217 ind./m², biomass varied from 1.07 to 130.36 g/m². The Shannon index values exceeded the value 2 in almost all studied stations. The obtained data characterize the studied territory as a slightly polluted water area with high species diversity and stable cenoses for extended period of time.

Key words: Black Sea, Donuzlav Lake, bacteriobenthos, macrozoobenthos, meiobenthos.

Поступила в редакцию 02.03.20