Труды Зоологического института РАН
Приложение № 3, 2013, с. 136–143

УДК 579.68(26)

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СООБЩЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ В ГИПЕРГАЛИННОМ ОЗ. САКСКОЕ

Н.А. Лаптева и Е.А. Соколова

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, 152742 Борок, Ярославская обл., Россия; e-mail: lap@ibiw.yaroslavl.ru

РЕЗЮМЕ

Изучены структурно-функциональные характеристики сообщества микроорганизмов в гипергалинных озерах Крыма разной солености. В оз. Сакское наблюдали межгодовые и сезонные колебания скорости первичной и бактериальной продукции, деструкции и сульфатредукции. При солености 80–120 г/л средняя за вегетационный период 3 лет величина первичной продукции составила 134 мкгС/(л·сут) в восточном и западном бассейне при солености 60 г/л – 380 мкгС/(л·сут) при максимуме весной или летом. Биомасса бактериопланктона и бентоса достигали пика при солености рапы 105 г/л. Среднегодовая скорость сульфатредукции в илах была равна 14.5 мгS/(кг·сут). В других озерах динамика процессов близка к оз. Сакское, различие состояло в величинах определяемых показателей.

Ключевые слова: деструкция, микроорганизмы, озера, первичная и бактериальная продукция, соленость, сульфатредукция

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF COMMUNITIES OF MICROORGANISMS IN CRIMEAN HYPERHALINE LAKE SAKSKOYE

N.A. Lapteva and E.A. Sokolova

Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, 152742 Borok, Yaroslavl Province, Russia; e-mail: lap@ibiw.yaroslavl.ru

ABSTRACT

Structural and functional characteristics of communities of microorganisms have been studied in Crimean hyperhaline lakes of different salinity. Annual and seasonal variations of the rate of primary and bacterial production, destruction and sulphate reduction were studied in Lake Sakskoye. At salinity 80–120 g/l, the average value of the primary production during a three-year vegetation period constituted 134 µkgC/(l·day) in eastern and western basins at salinity 60g/l – 380µkgC/(l·day) at the spring and summer maximum. The maximum biomass of bacterioplankton and benthos were recorded at the brine salinity of 105 g/l. The annual average rate of sulphate reduction in silts was 14.5 mgS/(kg·day). The dynamics of processes in other lakes was similar to their dynamics in Lake Sakskoye but values of the characteristics differed.

Key words: destruction, microorganisms, primary prodaction, bacterial production, salinity, sulphate reduction

ВВЕДЕНИЕ

Сакское озеро входит в состав Евпаторийской группы и относится к хлоридно-натриево-магниевому типу. Западная часть служит сырьевой базой химического завода, восточная используется как источник лечебной грязи. В питании озера главную роль играет приток морской воды (с июля до октября) через канал, сточные и дождевые воды. Для сравнения особенностей развития биологических процессов в оз. Сакское нами были проведены исследования на гиперсоленых озерах Ярылгач и Джарылгач. Последние принадлежат к Тарханкутской группе озер. В их питании большое значение имеют поверхностные и подземные воды (Курнаков и др. 1936). Цель работы – изучить особенности динамики структурно-функциональных характеристик сообщества микроорганизмов в экосистемах гипергалинных озер Крыма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В восточном бассейне исследования проводили 2–3 раза в месяц в весеннелетний период 1987 и 1991 гг., а в 1988 и 1989 гг. – круглогодично. В западном бассейне наблюдения вели три года, в озерах Ярылгач и Джарылгач проводили по три съемки за вегетационный период. Скорость образования бактериальной (Р) и первичной продукции (А) измеряли радиоуглеродным методом, аэробную деструкцию органического вещества (ОВ) (R_d) в рапе поверхности илов – кислородным. Учет численности сапрофитных бактерий (СБ) проводили на стандартном РПА, олиготрофных – методом предельных разведений с добавлением казеината 10 мг/л. Среды приготовлены на рапе соответствующей солености. Численность сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) подсчитывали на агаризованной среде Постгейта В с добавлением хлористого натрия в соответствии с соленостью рапы. Общее количество сероводорода в илах анализировали по модифицированной нами методике (Романенко и др. 1990). Скорость сульфатредукции (R_c) в грунтах определяли радиоизотопным методом с $Na_2{}^{35}SO_4$ (Кузнецов и Дубинина 1989), количество сульфатов – весовым методом. Для учета общего числа бактерий (ОЧБ) и их биомассы ($B_г$) использовали мембранные фильтры «Synpor» с порами 0.2 мкм. Влажные фильтры предварительно подвергали диализу с целью удаления растворенных солей. Учет ОЧБ проводили под световым микроскопом. Пробы ила предварительно обрабатывали ультразвуком, и подсчет ОЧБ производили методом эпифлуоресцентной микроскопии при окрашивании акридинораньжем. Формы бактериальных клеток изучали под электронным микроскопом Джейм-100. Для этого пробы рапы сгущали на мембранных фильтрах 0.2 мкм и наносили на сеточки с подложкой на 5 ч, затем сеточки споласкивали горячей водой и в течение 5 мин фиксировали в парах формалина. Время генерации бактерий определяли по гетеротрофной ассимиляции CO_2 по методу (Романенко и Кузнецов 1974). Пробы для анализа отбирали на глубине 10–15 см в зависимости от прозрачности воды. Склянки экспонировали непосредственно в исследуемом озере в течение суток.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика озер

Глубина водоемов – 0.6–1 м. Прозрачность воды в восточном бассейне оз. Сакское и оз. Джарылгач соответствовала их глубине, в западном бассейне – 0.5–0.3 м, в оз. Ярылгач – 0.2–0.4 м. Общая соленость рапы изменялась от 60 до 120 г/л в восточной и в пределах 56–80 г/л – в западной части, в озерах Ярылгач и Джарылгач – в пределах 50–60 и 100–130 г/л соответственно. Температура рапы составила весной 9–14 °С, летом – 24–35 °С, pH рапы в восточном бассейне была 7.6–7.9, что обусловлено большим поступлением морской воды. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в илах варьировал от –174 до – 350 мВ. Содержание кислорода колебалось в течение вегетационного сезона: в мае – 7, в апреле–августе – 4–5 мг/л, гидрокарбонатов содержалось 26–50 мгС/л в восточном, в западном бассейне 40–83 мгС/л, озерах Ярылгач и Джарылгач – 18–35 мгС/л. Eh в илах варьировал в пределах от +100 до +85 мВ, pH рапы – 8.5–9.0 соответственно.

Характеристика микробных сообществ

В рапе восточного бассейна оз. Сакское в летний максимум содержалось 2–5 млн.кл/мл ОЧБ при минерализации 80 и 105 мг/л, в западном

Таблица 1. Сезонная динамика структурно-функциональных характеристик сообщества микроорганизмов оз. Сакское (1987–1989, 1991 гг.).

Table 1. Seasonal dynamics of the structural and functional characteristics of the microbial community of Lake Saky (1987–1989, 1991).

Показатели (Indices)	IV	V	VI	VII	VIII	IX
			Восточный бассейн (Eastern basin)			
A, мкгС/(л·сут) A, mcgC/(l·day)	119 8–320	58 10–121	94.0 6.6–175	210 65–307	120 60–200	23 6–40
ОЧБ, млн.кл/мл TNB, million cell/ml	1.3 0.5–2.3	1.1 0.5–2.0	2.0 0.5–5.0	2.0 1.5–3.4	2.5 1.5–3.4	1.9 1.8–2.0
B_r, мкгС/л B_r, mcgC/l	39 8–59	33 21–42	65 32–97	77 36–124	68 37–89	48 39–70
P, мкгС/(л·сут) P, mcgC/(l day)	25 15–42	38 9–67	55 48–57	80 57–100	120 65–187	60 70–150
R_C, мгS/(кг·сут) R_C, mgS/(kg·day)	6.2 0.1–16.3	21.0 3.2–38.5	81.2 22–142	6.2 1.8–10.0	2.7 0.4–5.0	–
			Западный бассейн (Western basin)			
A, мкгС/(л·сут) A, mcgC/(l·day)	90 10–140	186 23–370	503 16–990	790 70–1900	330 37–700	12 2–30
ОЧБ, млн.кл/мл TNB, million cell/ml	0.9 0.5–1.2	2.1 0.5–4.0	1.6 0.6–2.6	1.5 0.7–2.2	1.4 1.0–1.8	1.4 0.9–1.9
B_r, мкгС/л B_r, mcgC/l	29 23–35	77 20–159	71 52–101	61 44–90	60 55–65	73 61–85
P, мкгС/(л·сут) P, mcgC/(l·day)	29.3 16.7–42.0	141 28–333	63 40–93	103 43–187	104 31–177	58 21–98
R_C, мгS/(кг·сут) R_C, mgS/(kg·day)	0.14 0.07–0.2	–	2.7 1.3–3.2	6.5 6.0–7.0	0.97 0.6–1.3	0.43 0.36–0.5

Примечание. Обозначения см. в тексте. *Над чертой* – среднее, *под чертой* – пределы колебаний.

Note. The designations see in the text. *Above the line* – average value, *below the line* – fluctuation limits.

весной – до 2.5 млн.кл/мл при минерализации 55–65 мг/л. Биомасса бактериопланктона следовала динамике ОЧБ. Ее средние за вегетационный период величины изменялись в разные годы от 34 до 83 мкгС/л в восточном и от 22 до 117 мкгС/л в западном бассейнах. Время генерации в восточном бассейне было минимальным в августе (25 ч), а западном – в июле (18 ч), что совпадало с увеличением солености рапы. Очевидно, в этот период произошла смена групп бактерий: число негалофильных и слабогалофильных уменьшилось, и увеличилось количество более активной группы галофильных бактерий. Весной время генерации составило 103 ч. В этот период соленость рапы снизилась за счет талой воды и дождевых осадков, а температура рапы повысилась до 15 °С. В результате увеличилось число СБ, которые составили 0.5–2.5% от ОЧБ в восточном и 0.1–3.4% – в западном бассейнах. Олиготрофные бактерии составляли в западном бассейне до 14%, а в восточном – 30%. Закономерности развития бактериобентоса были идентичны с таковыми планктонных бактерий. Минимальная их численность (2–3 млрд.кл/г сырого ила) отмечалась в обоих бассейнах зимой, весной она достигала 10 млрд.кл/г в восточном бассейне, оставаясь высокой (6–7 млрд.кл/г) до октября при верхней границе солености. Среднее их количество в

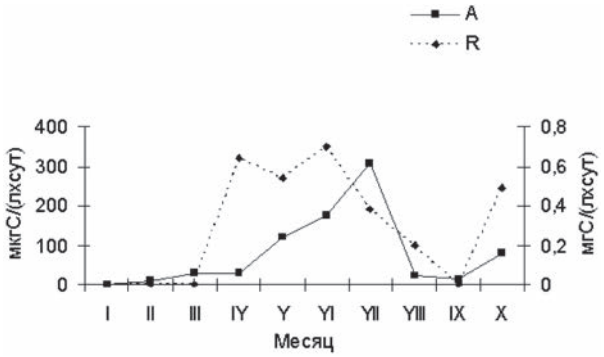

Рис. 1. Первичная продукция (*A*) и деструкция (*R*) органического вещества в оз. восточное Сакское в 1989 г.

Fig. 1. Primary production (A) and destruction (R) of organic matter in Lake Vostochnoye Sakskoye in 1989.

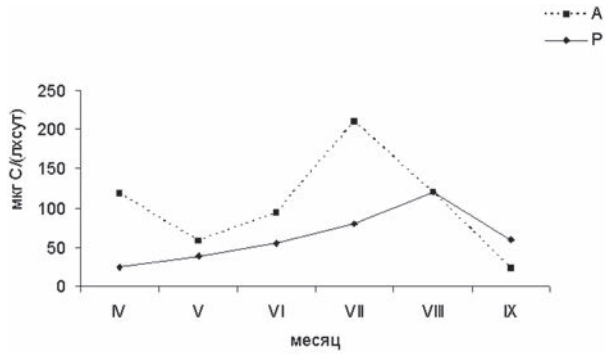

Рис. 2. Первичная продукция (*A*) и бактериальная (*P*) продукция органического вещества (средняя за 3 года).

Fig. 2. Primary (A) and Bacterial (P) production of organic matter (average for 3 years).

обоих бассейнах за вегетационный период 1988 и 1989 гг. было в пределах 8.3 и 8.7 млрд.кл/г. Летом 1991 г. количество бактериобентоса в восточном бассейне увеличилось до 31–37 млрд.кл/г при солености 90–120 г/л. Средняя за вегетационный сезон численность бактериобентоса составляла 21 млрд.кл/г. Биомасса бентосных бактерий была в 10–20 раз выше, чем в рапе. Ее максимальные величины (0.9–1.0 мгС/г сырого ила) в восточном и в западном бассейнах приходились на июль–август. Крайние значения различались в период вегетации не более, чем в 5 раз, с таковыми в рапе. В илах ОЧБ оставалось высоким и при верхней границе солености.

В рапе оз. Ярылгач в 1987 г. в конце апреля ОЧБ составляла 3.8 млн.кл/мл, затем резко снижалась в середине мая до 1.1 млн.кл/мл, а в октябре – до 0.24 млн.кл/мл. В оз. Джарылгач ОЧБ варьировала от 0.22 до 1.5 млн.кл/мл при максимуме в начале июня. В 1989 г. ОЧБ снизилась в оз. Ярылгач до 1 млн.кл/мл, а в оз. Джарылгач до 0.4–0.8 млн.кл мл. Численность СБ составляла в озерах 0.1–2.8% и 0.3–1.2% от ОЧБ соответственно. Электронно-микроскопические исследования выявили разнообразие форм бактерий: палочковидные, дисковидные, сферические; спириллы – 1.0–3.2 × 0.1 мкм. Характерны бактериальные клетки с мощными выростами (рис. 3). В придонных слоях обнаружили множество спирилл различных размеров. Здесь же были выявлены бактериальные клетки, типичные для форм почкующих бактерий. В придонном слое и поверхности илов отмечали нокардиоподобные и нитчатые формы. Практически не были обнаружены группы простекатных бактерий.

Продукционно-деструкционные процессы

Темновая ассимиляция углекислоты (ТА) в восточном бассейне оз. Сакское варьировала в пределах 1.0–10.6 мкг С/(л·сут). Минимальные величины в 1987–1988 гг. регистрировали зимой при низкой температуре и в октябре при высокой солености рапы и максимальные – [2.9–3.4 и 10.6 мкгС/(л·сут)] в летний период, что совпадало по времени с наибольшей скоростью первичной продукции и размножения бактерий. В западном бассейне в 1988 г. весенний пик активности 11–14 мкгС/(л·сут) обусловлен сбросом в него пресных вод из пруда. В 1989 г. величины ТА были соизмеримы в обоих бассейнах и не превышали 3 мкгС/(л·сут). В летний сезон 1991 г. ТА изменялась от 6 до 14 мкгС/(л·сут). В целом активность бактерий была сопоставима с таковой пресных водоемов. В течение вегетационного периода первичная продукция характеризовалась вариабельностью величин(табл. 1). Отношение A_{max}/A_{min} составляло 6–10 раз. Зимой при температуре рапы 1 °С и высокой концентрации солей (110 г/л) в восточном и 80 г/л в западном бассейнах А была в пределах 0.38–10 и 30–50 мкгС (л·сут) соответственно. В вегетационный период разных лет она колебалась от 8 до 320 мкгС(л·сут) в восточном и от 10 до 1000 мкгС/(л·сут) – в западном бассейнах. Отмечали два максимума – первый в апреле–мае [60 и 119 мкгС/(л·сут)] при снижении

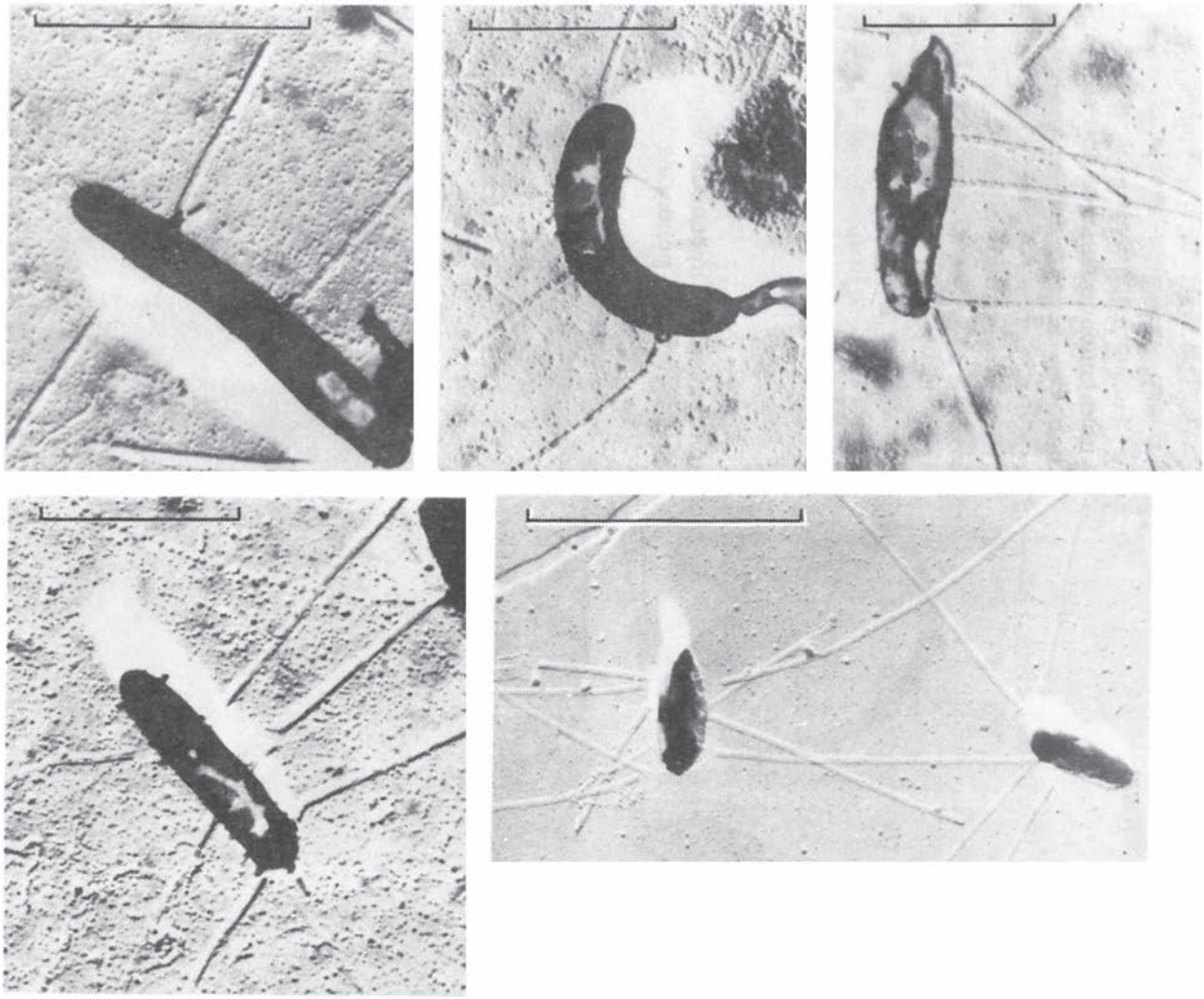

Рис. 3. Электронно-микроскопическая характеристика форм бактерий; масштабная линейка – 1.8 мкм.
Fig. 3. Electron microscopy characteristic of bacteria forms; scale bar – 1.8 mkm.

солености рапы в восточном бассейне до 78 г/л и в западном [90–186 мкгС/(л·сут)] при солености 60 мг/л. Второй максимум в восточном бассейне (60–307 мкгС/(л·сут) был в июле–августе при солености 80–90 г/л, в западном бассейне [70–1900 мкгС/(л·сут)] в октябре при солености 60–65 г/л. При солености >100 г/л в первом и 70 г/л во втором бассейнах скорость фотосинтеза упала до 12–23 мкгС/(л·сут). Низкая А зарегистрирована в восточном бассейне в 1988 г., а в западном в 1989 г. Бактериальная продукция изменялась с апреля по сентябрь от 25 до 120 мкгС (л·сут) в восточном и от 29 до 141 мкгС (л·сут) в западном бассейнах. А значительно превышала Р в апреле и июле и была равна ей в августе (рис. 2). $R_д$ ОВ в рапе обоих бассейнов протекала наиболее интенсивно в апреле–июне: в восточном – 0.63 мгС/(л·сут) и в западном – 0.93 мгС/(л·сут) при нижних границах солености и значительном поступлении аллохтонного ОВ. В этот период в единице объема $R_д$ превышала А. При максимальной продукции деструкция была ниже ее или соизмерима с ней (см. рис. 1). В западном бассейне $R_д$ значительно превышала А и варьировала в апреле–июне от 0.77 до 1.1 мгС (л·сут). Наличие кислорода в придонных слоях рапы обеспечило участие илов в аэробной $R_д$. Ее интенсивность в восточном бассейне оз. Сакское в 1991 г. характе-

Таблица 2. Сезонная изменчивость процесса сульфатредукции в соленых озерах Крыма в 1988 г.
Table 2. Seasonal variability of sulphate reduction process in salt lakes of Crimea in 1988.

Месяц Month	Содержание сульфатов, гS/кг Concentration of sulphates, gS/kg	Содержание сероводорода, гS/кг Concentration of hydrogen sulphide, gS/kg	Численность СРБ, тыс.кл./г Number of SRB, ths cell/kg	R_c, мг S/(кг·сут) R_c, mgS/(kg·day)
		Восточный бассейн (Eastern basin)		
IY	16.34	0.83	106.7	5.03
YI	18.80	0.72	36.7	21.60
YIII	11.41	0.35	1.1	5.50
IX	10.20	1.50	8.3	1.29
		Западный бассейн (Western basin)		
IY	2.51	120.2	–	0.71
YI	5.17	1258.5	–	1.75
		Джарылгач (Dzharylagach)		
IY	1.76	202.4	3406.7	0.68
YI	2.88	348.9	150.0	3.06
		Ярылгач (Yarylagach)		
IY	2.37	88.6	263.0	1.63
YI	1.21	338.3	76.7	0.48

ризовалась значительной вариабельностью – от 91 до 935 мгС/м^2. Минимальные величины отмечали весной, максимальные – в июле–августе, 290–748 мгС/м^2.

В озерах Ярылгач и Джарылгач динамика продукционных процессов была близка к оз. Сакское. Так, в летний период 1987 г. А в оз. Ярылгач составила 1300 мкгС(л·сут) и в оз. Джарылгач 30 мкгС/(л·сут). ТА углекислоты была максимальной (6.0–7.6 мкгС/(л·сут) в апреле и июле в первом озере, а во втором – в июне и октябре [2.6 и 0.96 мкгС/(л·сут)]. Бактерии размножались с наибольшей скоростью в оз. Ярылгач, и их продукция была максимальной [120 мкгС/(л·сут)] в июле и минимальной [16 мкгС/(л·сут)] в сентябре 1989 г. В оз. Ярылгач максимальные величины А [280 и 390 мкгС/(л·сут)] отмечены в мае и октябре. В этот же период была максимальной и Р – 50 и 127 мкгС/(л·сут). В оз. Джарылгач величины А были низкими, от 16 до 50 мкгС/(л·сут). Р не превышала 8.0 мкгС/(л·сут). В 1989 г. были проведены три съемки микробиологических показателей в подготовительном и садочном бассейнах Евпаторийского сольпрома. Содержание солей в рапе подготовительного бассейна составляло 130–150 г/л, в садочном бассейне –170–240 г/л. Концентрация кислорода колебалось в пределах 3–4 мг/л в подготовительном и 2–3 г/л в садочном бассейне, содержание гидрокарбонатов – 64–76 и 74–150 мгС/л соответственно. В подготовительном бассейне А была низкой и изменялась с мая по октябрь от 1.7 до 40 мкгС/(л·сут), Р варьировала от 43 до 300 мкгС (л·сут). В садочном бассейне величины были низкими – 18–30 мкгС/(л·сут) и Р – 70–80 мкгС/(л·сут). $R_д$ значительно превышала продукцию в обоих бассейнах: в подготовительном она составила 0.74 и в садочном – 0.5 мгС/(л·сут). ОЧБ составила в мае и июле в подготовительном 4.6 млн. кл./мл, в садочном бассейне в эти же сроки колебалось от 3.5 до 9.0 млн кл. мл. Судя по величинам ТА – 2.6–18 мкгС/(л·сут) в подготовительном и 4.5 мкгС/(л·сут) в садочном бассейнах бактерии были активными. Число СБ в обоих бассейнах находилось в пределах 0.17–0.7 тыс.кл/мл.

В илах соленых озер со скоростью существенно выше, чем в пресных озерах, протекал процесс бактериальной редукции сульфатов (R_c), который

обеспечивался значительным содержанием сульфатов и обильным поступлением автохтонного и аллохтонного ОВ (табл. 2). За вегетационный период трех лет (1987–1989 гг.) в поверхностном слое ила (0–2 см) восстановление сульфатов протекало со скоростью в среднем 14.5 мгS/(кг·сут) в восточном и 2.1 мгS/(кг·сут) в западном бассейнах. В 1991 г. величина R_c возросла в первом до 148.5мгS/(кг·сут). Для обоих водоемов характерны резкие колебания R_c. За короткие сроки наблюдений (3 года) в западном бассейне отношение R_c max/R_c min равнялось 8, в восточном (4 года) достигало 16. С наибольшей скоростью процесс сульфатредукции протекал в летний период, минимальные значения регистрировали в конце августа–сентябре (табл. 1, 2). В 1989 г. ее скорость в апреле достигала в восточном бассейне 16.2 мгS/(кг·сут) и 9.2 мгS/(кг·сут) в западном, постепенно снижаясь к лету до 1.8 и 5.9 мгS/(кг·сут) соответственно. Скорость восстановления сульфатов в восточном бассейне в 3 раза превышала таковую в западном и в 6–7 раз была выше, чем в озерах Ярылгач и Джарылгач, что было обеспечено более высокой концентрацией сульфатов и постоянно низким Eh в первом озере. По данным Добрынина (1974) в процессе сульфатредукции происходит разрушение 15–20% ОВ, синтезированного фитопланктоном. Исходя из этого, можно утверждать, что в экосистеме оз. Сакское роль сульфатредуцирующих бактерий в формировании свойств лечебной грязи значительна. Численность СРБ варьировала в восточном бассейне в пределах 10–50 тыс.кл/г сырого ила, в западном – 50–100 тыс кл/г. Их активное развитие не совпадало с максимальной скоростью сульфатредукции, которая, как правило, регистрировалась после пика количества клеток. R_c в слое 10–20 см в 8.5 раз больше, чем в поверхностном горизонте, глубже активность бактерий уменьшалась в 2 раза, затем на порядок и на глубине 80–100 см не регистрировалась. Содержание сероводорода в илах восточного бассейна на глубине 0–2 см составляло до 1.5 гS/кг, концентрация сульфатов – до 19 гS/кг сырого ила. В западном бассейне эти показатели в 2 раза ниже, а в озерах Ярылгач и Джарылгач – в пределах 0.14–0.37 и 1.2–2.9 гS/кг соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, наблюдения в гипергалинных водоемах Крыма позволили нам выявить сезонную динамику основных микробиологических процессов круговорота ОВ. Главная их особенность – значительные колебания уровня воды, большой перепад температур и изменения минерализации рапы. В результате происходят сезонные и годовые колебания количественных и структурных характеристик сообщества микроорганизмов. Значительная вариабельность наиболее характерна для А. В вегетационный период разных лет в восточном бассейне оз. Сакское A_{max}/A_{min} могло быть 6–10. Максимальную А отмечали в весенне-летний сезон при солености 80–90 г/л. В западном бассейне при меньшей солености различие максимальных величин по отношению к минимальным составило 2.5. В оз. Ярылгач при колебаниях солености в пределах 50–60 г/л максимальные величины А отмечены в мае и октябре – 280 и 390 мкгС/(л·сут). По данным других авторов (Бульон и др., 1989), в условиях светового насыщения в этом озере А весной и летом составила 918 и 1750 мкгС/(л·сут). В оз. Джарылгач при высокой солености 100 г/л и выше скорость А не превышала 50 мкгС/(л·сут). В подготовительном и садочном бассейнах А не превосходила 40 мкгС/(л·сут) при значительной минерализации до 150 г/л и 240 г/л соответственно. Деструкционные процессы более активно протекали в обоих бассейнах при нижней границе солености в апреле–июне и при максимальных значениях значительно превышали А или были соизмеримы с ней. В этот же период в западном бассейне превалирование $R_д$ над А было более значительным. В восточном бассейне была зарегистрирована и аэробная Rд в илах, которая также характеризовалась вариабельностью величин. По всей видимости, запас ОВ в какой-то мере происходил и за счет фитобентоса, а также за счет осаждения минеральных и органических взвесей (Бульон 1989). Наибольшая интенсивность Rд в оз. Ярылгач по времени совпадала с А, но ее величины были несколько ниже. В подготовительном и садочном бассейнах Rд превышала А в 8–12 раз. В рапе и илах гипергалинных озер обитают специфические микроорганизмы, которые адаптировались к высокой минерализации и могут функционировать в широком диапазоне солености (Романенко и др., 1969).

Нами также показано, что биомасса и продукция бактерий закономерно повышались от весны к лету, достигая высоких значений при

солености 105–120 г/л с одновременным снижением времени генерации. Закономерности развития бактериобентоса совпадали с таковыми в рапе, но их ОЧБ оставалась высокой при верхней границе солености. Изменение солености в столь широком интервале, вероятно, приводит к сменам групп бактерий и периодам адаптаций их клеток к возрастающей солености. Судя по величинам ТА, активность бактерий сопоставима с таковыми в пресных водоемах, но удельная активность их выше в соленых озерах, что наблюдали в других гипергалинных озерах авторы (Романенко и др., 1969). С повышением уровня солености повышалась и Р, и ее величины совпадали с А. Добрынин (1979) при исследовании в оз. Сакском показал значительную ОЧБ при низкой активности. В те годы происходило опреснение оз. Сакское, и в рапе значительная часть бактерий относилась к группе СБ, которые были не приспособлены к повышенной солености.

Бактериальные формы гипергалинных озер до сих пор мало изучены. Первые исследования были проведены в экспериментальных условиях Романенко В.И. (1983) на поверхностной пленке рапы из испарительных бассейнов «Сольпрома» Сакского озера. Им были обнаружены квадратные бактерии, причем не отдельные клетки, а целые микроколонии, выделяющие слизь. Вероятно, слизь позволяет бактериям жить в экстремальных условиях. Наши наблюдения в озерах выявили значительное разнообразие форм. Впервые в соленых озерах обнаружены бактерии, образующие мощные выросты. Наверное, это – одно из приспособлений бактерий к экстремальным условиям. Практически отсутствовали простекатные бактерии, которые часто встречаются в пресных водоемах. В илах соленых озер со скоростью существенно выше, чем в пресных озерах, протекал процесс бактериальной редукции сульфатов, который обеспечивался значительным содержанием сульфатов, низким Eh и обильным поступлением ОВ, продуцируемого фитопланктоном и фитобентосом. В илах осаждается минеральная и органическая взвесь, отмирающие водоросли в форме детрита. Сравнение сезонной динамики микробиологических процессов в исследованных озерах указывает на ее идентичность. Основное различие состояло в величинах определяемых показателей, которые были выше в менее минерализованных озерах – западном бассейне оз. Сакское и оз. Ярылгач. По уровню А и $R_д$ они могут принадлежать к классу эвтрофных водоемов. Восточный бассейн оз. Сакское сходен с оз. Джарылгач, и они ближе к классу мезотрофных. Подготовительный и садочный бассейны с высоким уровнем минерализации отличаются. В них превалирует Р над А, что свидетельствует о присутствии здесь более активных бактерий, относящихся к галофильной группе.

ЛИТЕРАТУРА

Курнаков Н.С. 1936. Соленые озера Крыма. АНССР, М.: Л, 182 с.

Кузнецов С.И. и Дубинина Г.А. 1989. Методы изучения водных микроорганизмов. М. Наука, 285 с.

Романенко В.И. и др. 1990. Вариант диффузного метода определения свободной углекислоты, карбонатов и сульфидов в воде и донных отложениях в закрытом сосуде // *Гидробиологический журнал*, **26**(5): 24–31.

Бульон В.В. и др. 1989. Первичная продукция гипегалинных озер Крыма. Исследования водных экосистем, Л., с. 14–23.

Добрынин Э.Г. 1979. Характеристика круговорота органического вещества в гипергалинных водоемах Крыма. Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах, с. 60–74.

Романенко В.И. 1983. Доминирующие формы бактерий в повехностной пленке рапы Сакского озера // *Биология внутренних вод*, (57): 4–7.

Романенко С.И. и Кузнецов С.И. 1969. Микрофлора Сиваша некоторых соляных промыслов Крыма. Физиология водных микроорганизмов и их роль в круговороте органического вещества. Л.: Наука, с. 8–13.