

Глава VIII

МИКРОФЛОРА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Изучение микрофлоры Каспийского моря началось с его грунтов (Малиянц, 1928, 1933; Евдокимов, 1937; Колесник, 1938; Рейнфельд, 1938; Буткевич, 1938; Осницкая, 1953; Жукова, 1955; Осницкая, Ламбина, 1959). В работах приводятся сведения о качественном составе некоторых физиологических групп бактерий, за исключением исследований, проведенных в 50-х годах. Принимая во внимание коренные изменения, которые произошли за последние 40 лет в бассейне Каспия и в самом море, можно убедиться, что большинство указанных выше работ представляет лишь историческую ценность. Работы на небольшой площади дна не могут характеризовать истинную роль микрофлоры грунтов всего Каспия. Для более достоверного, максимально приближенного к истине понятия о происходящих микробиологических процессах необходимо исследование микрофлоры грунтов всех участков моря. О том, как эти участки различаются, убедительно показано нашими исследованиями (см. гл. VI). Поэтому для восполнения этого пробела мы проводили микробиологические исследования по грунтам всего Каспийского моря.

СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ

Микробиологические исследования грунтов Северного Каспия мы проводили в июле 1969 г.¹, мае, августе и октябре 1971 г. Зимние наблюдения неполные, сделано лишь 6 станций. Всего в 1971 г. сделано 136 станций.

ОБЩЕЕ ЧИСЛО БАКТЕРИЙ В ГРУНТАХ

Общее число бактерий по прямому счету в грунтах Северного Каспия как по сезонам, так и участкам колеблется в довольно больших пределах (табл. 78). Как правило, наименьшая численность микроорганизмов отмечается зимой — в среднем 35–40% от содержания бактерий в грунтах весеннего сезона. Количество бактерий в грунтах всего 6 станций II и III разрезов (см. рис. 2), которые расположены у кромки льда, колеблется в пределах 0,04–0,50 млрд/г сырого грунта. Весной максимальная численность микроорганизмов отмечается в зоне I разреза и на тех станциях II–IV разрезов, которые оказываются под непосредственным влиянием главного подточка волжских вод. В указанных районах Северного Каспия общее число микроорганизмов в грунтах достигает 1,6–4,3 млрд/г, что является наивысшим за весь год. Характерной особенностью распределения микроорганизмов в грунтах весной является тесная связь со стоками рек. Благоприятное влияние паводковых вод на возрастание численности бактерий у западной половины Северного Каспия значительно в северо-восточном направлении до о-ва Тюлений; южнее зона с высоким числом бактерий сужается. В центральной части Северного Каспия заметное увеличение бактерий в грунтах наблюдается лишь в узкой полосе северо-восточнее бухты Средняя Жемчужная. Второй район с максимальным числом бактерий в грунтах — это предустьевая зона р. Урал. Следует отметить, что количество микроорганизмов в грунтах центральных участков Северного Каспия при низкой температуре воды (9–11°) не очень высоко — 0,1–0,8 млрд/г.

Таким образом, увеличение численности микроорганизмов в грунтах Северного Каспия весной тесно связано с аллохтонным органическим веществом и микрофлорой сессиона, которые приносятся с паводком рек. Летом в предустьевых участках моря число бактерий сокращается в 1,5–2 раза по сравнению с весенним. В то же время в централь-

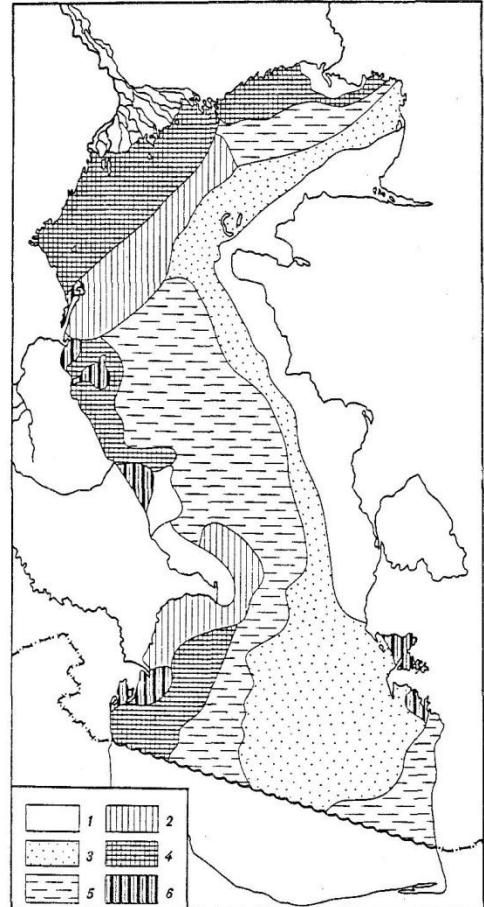
¹ Результаты повторного исследования 1971 г. оказались очень тождественными результатам 1969 г. Поэтому в таблицах приводятся данные 1971 г.

Рис. 50. Распределение бактерий в грунтах Каспийского моря /прямой счет/ /млн/г/

1 – 10–100; 2 – 100–300; 3 – 500–900;
4 – 1–3 млрд/г; 5 – 3–5 млрд/г; 6 – больше 5 млрд/г

ных зонах отмечается заметное увеличение численности бактерий в грунтах. Примечательно, что летом снижение численности бактерий в грунтах заметно в зонах со сравнительно высокими величинами продукции фитопланктона (рис. 50). К таким участкам относится акватория I разреза. Кроме того, уменьшение общего числа бактерий в грунтах летом связано с типом грунтов. В данном случае заметное снижение численности бактерий происходит в илистых грунтах.

Результаты сезонного изучения общего числа бактерий воды Северного Каспия в данном случае совпадают с результатами определения количества бактерий в грунтах и, очевидно, связаны с теми же факторами. Высокая концентрация органического вещества воды и грунтов предустьевых участков и Урала по-разному оказывается на количестве микроорганизмов. Количество бактерий в донных отложениях тесно связано не только с зональностью, но и особенностями грунтов. Как правило, илистые грунты характеризуются большим количеством микроорганизмов. В Северном Каспии в распределении бактерий в грунтах расстояние от материка оказывается не так сильно, как структура отложения. Необходимо отметить, что при столь высокой продукции фитопланктона вся автохтонная продукция и альлохтонное органическое вещество при малых глубинах Северного Каспия успевают разложиться еще в водной массе и мало влияют на содержание бактерий в грунтах. При сравнении результатов наших исследований с таковыми предыдущих авторов (Жукова, 1955; Осицкая, Ламбина, 1959) видно, что средняя численность бактерий в настоящее время гораздо выше, чем в 50-х годах. В частности, отмеченная нами максимальная численность бактерий в грунтах предустьевой зоны (4,3 млрд/г) оказывается в 2–3 раза больше, чем при стабильной численности бактерий в грунтах центральных участков (см. рис. 50).



САПРОФИТНЫЕ БАКТЕРИИ В ГРУНТАХ

Определение численности сапрофитных бактерий в грунтах Северного Каспия, как и другие микробиологические анализы, выполнялось посезонно (табл. 79). Распределение сапрофитов по сезонам аналогично таковому общего числа бактерий. Зимний анализ показал резкое сокращение численности сапрофитов в грунтах по сравнению с численностью в остальные сезоны. Средняя численность сапрофитов по 6 станциям составляет 20 тыс. колоний в 1 г сырого грунта. В отличие от общего числа бактерий в грунтах, которое под влиянием паводковых вод резко увеличивается весной, в численности сапро-

Таблица 78

Общее число микроорганизмов в грунтах Северного Каспия, млрд/г

Разрез	Станция	Сезон			Разрез	Станция	Сезон		
		V	VIII	X			V	VIII	X
I. Волго-Каспийский канал	1	4,3	1,96	2,3	V. Северо-Кулалы	1	—	0,16	0,18
	2	3,7	2,13	2,6		2	—	0,21	0,31
	3	2,9	1,82	1,64		3	0,21	0,81	0,74
	4	2,1	2,0	1,96		2	—	0,14	0,19
	5	1,83	1,67	2,4		3	—	0,11	0,14
II. Центральный	1	0,67	1,03	2,3	VI-VII. Уральская бороздина	5	0,13	0,13	0,46
	2	0,73	0,8	1,6		7	0,98	0,63	0,73
	3	0,79	0,93	1,1		8	2,81	2,11	1,94
	4	0,83	1,11	0,93		а	—	0,13	0,43
III. Форт Шевченко – о-в Тюлений	1	0,16	0,82	0,64	VIII. Гурьев – Астрахань	6	—	0,16	0,24
	3	0,11	0,13	0,23		д	—	0,18	0,17
	6	0,17	0,22	0,16		1	6,3	9,11	6,4
	9	1,73	1,02	2,14		3	4,1	8,17	5,8
	10	1,66	1,4	1,86		4	5,8	7,14	4,6
IV. Средняя Жемчужная – Тюб-Караган	1	1,73	1,8	2,3	V. Северо-Кулалы	5	2,43	3,7	3,2
	2	0,97	1,71	1,83		9	0,17	0,24	0,31
	3	0,21	0,31	0,42		11	0,92	1,13	2,3
	4	0,10	0,13	0,24		15	—	9,4	7,5
	5	0,12	0,13	0,16		17	—	8,7	—
	6	0,11	0,22	0,19		21	7,9	10,4	7,1

Таблица 79

Численность сапрофитных бактерий в грунтах Северного Каспия, тыс./г

Разрез	Станция	Сезон			Разрез	Станция	Сезон		
		V	VIII	X			V	VIII	X
I. Волго-Каспийский канал	1	1200	1450	1680	V. Северо-Кулалы	1	—	210	140
	2	1880	1200	1600		2	—	360	125
	3	880	680	360		3	160	240	165
	4	350	850	790		2	—	350	211
	5	300	600	1845		3	—	200	190
II. Центральный	1	1680	185	335	VI-VII. Уральская бороздина	5	80	110	79
	2	830	450	125		7	300	240	340
	3	160	—	80		8	800	980	870
	4	200	130	45		а	—	200	175
III. Форт Шевченко – о-в Тюлений	1	10	240	20	VIII. Гурьев – Астрахань	6	—	110	90
	3	20	300	25		д	—	240	160
	6	150	960	135		1	6100	3100	4110
	9	400	880	230		3	5400	2800	4370
	10	300	600	380		4	880	1600	3650
IV. Средняя Жемчужная – Тюб-Караган	1	200	185	350	V. Северо-Кулалы	5	160	350	180
	2	160	450	165		9	110	110	95
	3	175	162	40		11	1000	300	235
	4	40	130	25		15	—	980	1920
	5	10	140	15		17	—	3100	—
	6	10	60	35		21	7500	3600	5100

фитов не отмечается заметного возрастания. В акватории Волго-Каспийского канала число сапрофитов в грунтах летом и весной почти одинаково, несмотря на большую разницу в температуре и продукции фитопланктона. Благоприятное влияние речных вод весной отмечается лишь на небольшой площади центрального разреза. В грунте ст. 1 этого разреза сапрофиты составляют 1,66 млн колоний, а ст. 4 — 200 тыс. колоний в 1 г. Таким образом, на расстоянии 10–15 миль число сапрофитов в грунтах с севера на юг сокращается более чем в 8 раз. Характерны результаты определения сапрофитов в грунтах III и IV разрезов. Как видно из табл. 79, количество сапрофитов в грунтах западной части в 20–30 раз больше, чем в донных отложениях восточного побережья. Летом в грунтах этих же разрезов разница в численности сапрофитов не так велика, и в западной части число сапрофитов превышает таковое в восточной в 3 раза.

Увеличение численности сапрофитов в грунтах восточного побережья Центральной части Северного Каспия летом является весьма характерным и любопытным фактом. Сезонные определения продукции фитопланктона, деструкции органического вещества, общего числа бактерий воды и грунтов показали, насколько бедна акватория восточно-го побережья Северного Каспия. Несмотря на резкое различие восточной и западной частей, количество сапрофитов в грунтах летом в прибрежной зоне Форт Шевченко составляет 300 тыс./г, что превышает численность сапрофитов в грунтах центрального разреза в 1,5–2 раза. То же относится и к зоне Уральской бороздины. Здесь в грунтах количество сапрофитов почти такое же, как и в зоне банки Средняя Жемчужная. В то же время продукция фитопланктона в районе Уральской бороздины в 10–15 раз ниже, чем в западной части Северного Каспия (см. гл. V).

Таким образом, выясняется, что в отличие от водной массы, где высокое содержание органического вещества стимулирует рост и развитие микроорганизмов, в грунтах высокопродуктивных участков Северного Каспия число сапрофитов невелико. Энергичный распад легко минерализуемых компонентов органического вещества аэробной микрофлорой способствует уменьшению растворенного кислорода верхних слоев иловых отложений. Формирование микроаэрофильной зоны в приповерхностных слоях грунтов высокопродуктивных участков Северного Каспия является основной причиной, способствующей развитию сульфатредуцирующих и метанобразующих бактерий. Широкое и повсеместное распределение анаэробных форм микроорганизмов, которые встречаются в большом количестве в грунтах Северного Каспия, может явиться подтверждением установленного факта. Анализ видового состава выросших колоний выявил, что основная масса сапрофитов (75–80%) представлена бесспоровыми формами. Число сапрофитов в грунтах Северного Каспия в среднем меньше в 2 раза, чем в западной зоне и центральной части Среднего и Южного Каспия. В то же время споровые формы сапрофитов в грунтах Среднего и Южного Каспия достигают 35–50% выросших колоний. Преобладание бесспоровых форм сапрофитов в грунтах Северного Каспия свидетельствует о наличии легкоминерализуемого субстрата, распад которого происходит неглубоко (Кузнецов, 1970). Положительная корреляция между величиной продукции фитопланктона и количеством сапрофитных бактерий в грунтах, установленная для восточной и центральной частей, западной и северо-восточной зон Северного Каспия, здесь не наблюдалась.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ БАКТЕРИЙ В ГРУНТАХ

В грунтах Северного Каспия были изучены некоторые физиологические группы бактерий. Следует отметить, что изучение физиологических групп по сезонам года выявило следующую закономерность. После вскрытия льда и при температуре воды 15–17° у придонного слоя заметного увеличения численности почти всех видов физиологических групп бактерий не наблюдается. При небольшой встречаемости анаэробных форм (18–23% по отношению к летней) количество бактерий на один, два порядка ниже, чем в зимний сезон. Обогащение водной массы аллохтонным (в основном органическим) веществом, крупные частицы которого оседают на поверхностном слое грунтов,

Таблица 80

Физиологические группы бактерий в грунтах Северного Каспия *

Разрез	Стан- ция	Азото- бактер в 1 г	Cl. pasteu- rianum	Денитрифи- каторы	Клетчатко- разлагаю- щие анаэро- бы	Метанобра- зующие	Сульфат- редуци- рующие в 1 г
I. Волго-Каспий- ский канал	1	500	++++	++++	++++	++++	25000
	2	900	++++	++++	++++	++++	18500
	3	3000	++++	++++	++++	++++	18000
	4	1000	++++	++++	++++	++++	20000
	5	500	++++	++++	++++	++	9000
II. Центральный	1	1500	++++	++++	++++	++++	16000
	2	0	++++	++++	++++	+++	8300
	3	1000	++	++	++	++	1000
	5	500	++	+	++	++	700
	8	300	+	+	++	++	300
III. Форт Шев- ченко—о-в Тюлений	2	500	+	+	++	-	460
	3	6000	++	++	++	+	600
	8	1000	++++	+++	+++	+++	13000
	10	1500	++++	++++	++++	++++	14700
	2	0	+++	++++	++++	++++	7800
IV. Средняя Жем- чужная—Тюб-Ка- раган	4	0	++	++	++	++	1000
	5	500	+	+	++	+	430
	6	1500	+	+	++	+	1200
	8	3000	+++	+++	++	+	5200
	2	1500	++	+	++	+	360
V. Севернее о-в Кулалы	4	300	++	++	+++	++	1800
	2	0	++	+	++	+	360
	6	0	+	++	++	++	360
	7	0	+	0	++	+++	110
	5	300	+	+	++	+	900
VI—VII. Уральская бороздина	7	500	+++	++	++	++	2300
	1	600	+++	++	++	++	10000
	4	500	++	++	++	++++	5000
	7	0	+++	+++	+++	++++	11000
	14	300	++++	++++	++++	++++	26000
VIII. Гурьев— Астрахань	15	0	++++	++++	++++	++++	34000
	20	0	++++	++	++	++++	19300

* Кроме азотобактера и сульфатредуцирующих рост отмечен в посевах из 1:10000 разведения.

Примечание. ++++ — процесс идет весьма интенсивно; +++ — энергично; ++ — хорошо; + — слабо, 0 — отсутствует.

не оказывает существенного влияния на физиологические группы бактерий. В то же время весной отмечается увеличение количества аэробных форм, как, например, азотобактера, клетчаткоразлагающих, несмотря на то, что численность этих бактерий не очень велика. Количество нитрифицирующих бактерий незначительно в течение всего года. Второй по малочисленности оказалась группа клетчаткоразлагающих бактерий, которые встречаются лишь весной. Посевы в присутствии фильтровальной бумаги показали преобладание грибной микрофлоры. Характерно, что развитие клетчаткоразлагающих бактерий в основном отмечалось в грунтах мелководных зон, где донные отложения состоят исключительно из крупнозернистого песка с ракушечником. Результаты сезонных анализов показали, что развитие бактерий различных физиологических групп летом происходит интенсивнее. Как видно из табл. 80, в грунтах Северного Каспия

развитие анаэробных форм бактерий идет повсеместно. Но по интенсивности вызываемых ими процессов в грунтах по участкам имеется различие.

Судя по результатам наших исследований, в грунтах Северного Каспия в зависимости от механической структуры, химического состава, газового, термического режима и других особенностей образуются микроаэрофильные зоны и экологические ниши. Широкий спектр встречаемости анаэробных бактерий с высокой активностью вызываемых ими процессов указывает на энергичное превращение веществ. Формирование своеобразного бактериального ценоза на поверхности ила препятствует проникновению в водную толщу газообразных продуктов метана и сероводорода. На наличие барьерной микрозоны в виде бактериальной пленки на поверхности грунтов Северного Каспия указывал в 30-х годах В.С. Буткевич (1938). Хотя бактериальная пленка не была найдена (Осницкая, 1953; Салманов, 1975), на поверхности ила отмечалось интенсивное развитие тионовокислых, метанводородоокисляющих бактерий (Осницкая, 1953).

Исследованиями (Пахомова, 1964; Салманов, 1975) установлено сокращение площади дна Северного Каспия с илистыми грунтами в результате обмеления моря, вымывания мелких частиц и уменьшения твердого стока рек. Укрупнение донных осадков, как указывают М.П. Гудков, Т.И. Горшкова (1959), должны привести, кроме сокращения площади мягких грунтов, к уменьшению количества биогенных элементов.

В последние годы указанные выше факторы в совокупности создали условия для формирования более крупнозернистых осадков, особенно в мелководных участках Северного Каспия. Наряду с указанными явлениями, способствующими улучшению газового режима воды, в грунтах Северного Каспия имеется достаточное количество органического вещества, чтобы обеспечить энергетическим материалом микроорганизмы различных систематических и физиологических групп. Поэтому следует подчеркнуть, что в высокопродуктивных участках, защищенных бухточками, ильменями, в местах стыка волжских струй с морской водой возможно возникновение заморов, что отмечалось нами в 1969 и 1971 гг. в зоне Белинского канала. Зимний анализ грунтов показал, что содержание кислорода в придонных слоях воды в руслах Урала и Волги не превышало 2,6 мг/л. Несмотря на то что окисление органического вещества зимой происходит намного медленнее, такое малое содержание кислорода подо льдом должно настораживать, если учсть современный уровень поступления аллохтонного органического вещества в реки.

В заключение необходимо отметить, что круговорот органического вещества в грунтах Северного Каспия происходит интенсивно, создавая большую биомассу. Регенерируя, биогенные элементы, микроорганизмы грунтов Северного Каспия способствуют увеличению биологической продуктивности.

СРЕДНИЙ КАСПИЙ

ОБЩЕЕ ЧИСЛО БАКТЕРИЙ И САПРОФИТОВ В ГРУНТАХ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Механический состав грунтов района исследования представлен в основном ракушечником с примесью ила. Чистый ракушечник встречается в зоне глубин 50–100 м Махачкалинского, Дербентского и Самурского разрезов, в районе Амбуран-Артемского разреза – в мелководной зоне. В зоне Самурского разреза илистый грунт встречается до глубины 25–30 м. Таким образом, твердый сток р. Самура в пологой прибрежной зоне, а глубже из-за резкой крутизны, очевидно, смывается течением воды.

Общее число бактерий в грунтах западного побережья Среднего Каспия варьирует в довольно больших пределах – 0,2–13,7 млрд/г сырого грунта. Максимальная численность бактерий в течение года отмечается летом и осенью в северной части, минимальная – в южной в зимний период (табл. 81). Зимой общее число бактерий в прибрежной зоне колеблется в пределах 210–5100 млн/г, в глубоководной зоне от 440 до 1970 млн/г. В районах Махачкалинского, Самурского разрезов число бактерий сокращается от прибрежья к открытому морю, а в остальных зонах на глубине 50–100 м

Таблица 81

Общее число бактерий (млн/г) и сапрофитов (тыс./г) в грунтах западного побережья Среднего Каспия (посезонно)

Разрез	Станция	Общее число бактерий				Сапрофитные бактерии			
		II	IV	VIII	XI	II	IV	VIII	XI
Махачкалинский	1	2100	3600	4100	3400	960	1700	2100	3100
	2	5100	7860	13700	11600	870	1070	3200	3100
	3	3600	4320	9700	7900	1640	1740	1910	2400
	4	1970	3800	6120	5400	160	310	440	560
Дербентский	1	810	1110	1600	1900	360	630	800	740
	2	540	860	1200	1100	240	540	700	680
	3	1840	2670	2110	4800	110	100	110	85
	4	1200	1819	3400	2600	94	110	120	76
Самурский	1	3740	8740	5700	6100	960	2840	2650	2600
	2	3600	4140	3600	5100	840	1200	1040	970
	3	760	890	1700	960	170	180	290	260
	4	440	670	1900	1000	160	210	240	260
Сумгаитский	1	220	240	410	310	63	84	90	70
	2	360	410	700	540	54	76	70	80
	3	570	870	1200	960	180	240	630	440
	4	2900	3100	4740	2700	276	340	250	360
Амбуранский	1	180	460	600	340	76	81	—	100
	2	370	940	1600	990	160	240	410	270
	3	2600	3000	3400	2600	210	360	650	570
	4	1440	1600	2900	2700	270	240	410	340
Артемский	1	210	420	410	510	73	—	90	86
	2	340	440	700	670	100	120	120	160
	3	700	800	1200	980	80	94	110	100
	4	1630	1970	3740	1670	210	185	330	260

численность бактерий возрастает. Такая же закономерность отмечается и в остальные сезоны. Весной увеличение численности бактерий в грунтах заметно по всей площади, но резкая разница в численности бактерий ярче выражена в прибрежной зоне (за исключением мелководья Сумгаитского разреза). Число бактерий увеличивается до летнего сезона, когда оно достигает максимума также в прибрежной зоне. В районах Махачкалинского и Самурского разрезов количество бактерий равно соответственно 13–5,7 млрд/г сырого грунта.

Основными причинами повышения численности бактерий в грунтах в зоне Махачкалинского разреза является сток речных вод Северного Каспия, резкое увеличение продукции фитопланктона в районе Самурского разреза – непосредственное влияние стока р. Самур. Необходимо подчеркнуть, что у западного побережья Среднего Каспия не наблюдается взаимосвязи между характером грунта и численностью бактерий в нем. Так, в грунтах Сумгаитского разреза, состоящих из ила, число бактерий в прибрежной зоне не превышает 410 млн/г, в то время как в ракушечном грунте Махачкала–Дербентского разрезов оно достигает соответственно 4,1 и 1,6 млрд/г. Минимальное число бактерий в грунтах мелководной зоны от Сумгаита до о-ва Артема включительно связано с отрицательным влиянием на бактериопланктон промышленных сбросов (см. рис. 50). Сезонные определения числа бактерий показали, что в районе исследования в грунтах 50–100-метровых зон, где температура воды за год не превышает 7°, число бактерий достигает 3–6 млрд/г, что намного больше, чем в Азовском, Аральском морях (Новожилова, 1973; Алдакимова, 1976) и в южной части оз. Байкал (Гоман, 1976).

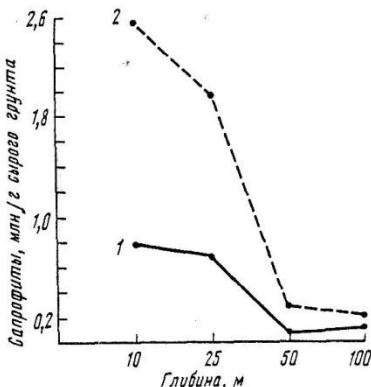


Рис. 51. Влияние речного стока на численность сапрофитных бактерий в грунтах Дербентского (1) и Самурского (2) разрезов

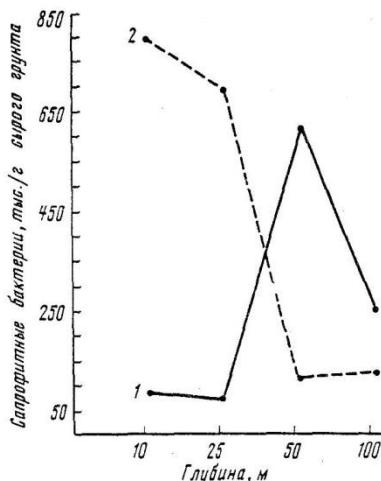


Рис. 52. Сапрофитные бактерии в грунтах Сумгайтского (1) и Дербентского разрезов (2)

Численность сапрофитных бактерий изменяется по сезонам, глубинам и участкам аналогично изменениям общего числа бактерий. Существенным отличием является то, что разница в численности сапрофитных бактерий в грунтах на глубине 10–100 м гораздо больше, чем различие в общем числе бактерий. Разное количество бактерий в грунтах прибрежной зоны и глубоководных участков ярко выражено летом и осенью (см. табл. 81), что несомненно связано с величиной продукции фитопланктона и температурным режимом придонной воды. Роль и значение органического вещества в изменении численности сапрофитов хорошо видны при сравнении результатов летних анализов Дербентского и Самурского разрезов (рис. 51). Как видно, в зонах глубин 10 и 25 м Дербентского разреза, где продукция водорослей значительно ниже, число сапрофитных бактерий уступает таковому Самурского разреза в 3,3 раза. Результаты сезонного изучения численности сапрофитных бактерий показали, что они как индикатор четко реагируют на качество органического вещества грунтов. На рис. 52 приводятся результаты сравнения численности сапрофитов в грунтах Сумгайт-Дербентского разрезов.

Следует отметить, что за исключением прибрежной зоны (10–20 м) последних трех разрезов, в грунтах остальных участков количество сапрофитов довольно высокое. Анализ морфологического состава сапрофитов показал, что содержание споровых форм колеблется в пределах 2 и 50% от массы выросших колоний; в зоне от Махачкалы до р. Самур содержание спороносных бацилл не превышает 17%, а в районе остальных разрезов достигает 50%. Повышение числа споровых отмечается в грунтах Сумгайтского и Артемского разрезов. В грунтах участков севернее Сумгайтского разреза споровые формы в прибрежной полосе содержатся в минимальном количестве – 3–16% от выросших сапрофитов. Таким образом, исходя из данных по количеству и морфологическому составу сапрофитных бактерий, можно заключить, что в грунтах западного побережья Среднего Каспия имеются благоприятные условия для развития сапрофитной микрофлоры, которая принимает активное участие в минерализации органического вещества.

ОБЩЕЕ ЧИСЛО БАКТЕРИЙ И САПРОФИТОВ В ГРУНТАХ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

В 100-метровой шельфовой зоне восточного побережья Среднего Каспия грунт на 65,7% представлен ракушечником; илистый грунт с примесью ракушечника и крупно-зернистого песка составляет 20%, песчаный грунт – 14%. Общее число бактерий в донных отложениях восточного побережья Среднего Каспия варьирует зимой в пределах 90–1800 млн/г сырого грунта. Количество бактерий в грунтах глубоководных станций в 1,5–2 раза больше, чем число бактерий в грунтах прибрежных участков. Наименьшая численность бактерий отмечается в грунтах Сенгерлинского, Бекдашского и Карабенгирского разрезов (табл. 82). В этих участках число бактерий минимальное и весной. При этом повышение числа бактерий происходит в умеренном темпе, несмотря на понижение температуры. Сравнительно высокое число бактерий отмечается летом, когда оно почти в 2 раза превышает численность бактерий в остальные сезоны. В летне-осенний период в грунтах Урдюкского и Песчаного разрезов число бактерий достигало 0,94–2,8 млрд кл./г сырого грунта. Причем максимальное число бактерий отмечалось в грунтах глубоководных участков, в составе которых имеется алевритовая глина.

Следует отметить, что в этих соседствующих с Северным Каспием участках высокими оказались продукция фитопланктона, общее число бактерий воды, бактериальная продукция и ее биомасса.

У восточного побережья Среднего Каспия распределение бактерий в грунтах по глубинам не имеет таких различий, которые отмечаются в западной его части. Умерен-

Таблица 82

Общее число бактерий (млн/г) и сапрофитов (тыс./г)
в грунтах восточного побережья Среднего Каспия (посезонно)

Разрез	Стан- ция	Обще число бактерий				Сапрофитные бактерии			
		II	IV	VIII	XI	II	IV	VIII	XI
Урдюк	1	180	360	660	610	10	29	70	47
	2	160	480	690	590	8	41	80	29
	3	440	640	800	770	17	96	170	83
	4	800	1100	1400	1000	16	43	93	64
Песчаный	1	210	320	670	410	14	23	19	21
	2	190	240	590	480	10	16	24	27
	3	340	380	670	670	41	52	63	42
	4	460	480	740	580	27	24	36	19
Сенгерли	1	120	210	410	360	11	16	23	17
	2	140	170	380	340	14	17	19	14
	3	180	220	270	320	13	19	21	16
	4	210	240	310	280	14	15	17	13
Бекдаш	1	90	140	360	280	12	17	41	27
	2	87	120	380	210	12	14	24	13
	3	120	180	190	210	17	19	21	11
	4	210	260	230	270	11	13	16	9
Карабенгир	1	100	96	210	190	12	15	19	16
	2	90	120	180	210	9	11	16	11
	3	110	90	160	150	11	12	13	12
	4	140	120	160	160	9	10	12	9
Куули	1	220	340	470	380	16	29	62	41
	2	180	210	560	340	13	27	47	29
	3	130	180	340	260	17	23	38	26
	4	140	240	190	210	19	21	36	23
Среднее		210	289	459	386	14	25	41	26

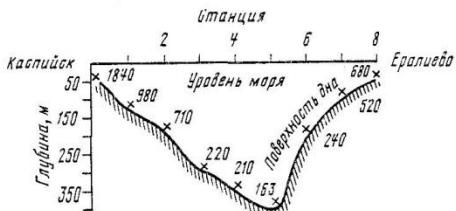


Рис. 53. Распределение численности бактерий в грунтах Среднего Каспия по разрезу Махачкала—Песчаный

Рис. 54. Распределение численности бактерий в грунтах Среднего Каспия по разрезу Каспийск-Ералыево.

ное распределение, плавное изменение численности бактерий по сезонам года и небольшое их количество свидетельствуют о том, что развитие микроорганизмов происходит в основном за счет автохтонного органического вещества, а его величина в восточном побережье невелика (см. гл. V, рис. 50).

Число сапрофитных бактерий зимой составляет 9–27 тыс./г сырого грунта (см. табл. 82) и их сезонные колебания ниже, чем в западной части. Весной содержание сапрофитов увеличивается и колеблется в пределах 11–52 тыс./г; исключение составляет глубоководная зона Урдюкского разреза, где число сапрофитов в течение всех сезонов года оставалось высоким. Таким образом, благоприятное влияние богатой органическим и другими веществами воды Северного Каспия на развитие бактериопланктона прилегающих зон ярко проявляется не только в изменении численности сапрофитных бактерий воды и грунтов, но и числа спорообразующих форм.

В отличие от западного побережья Среднего Каспия, где содержание бактерий не так заметно коррелирует с характером грунта, здесь сравнительно высокое число бактерий отмечается в грунтах с примесью ила, а наименьшее — в ракушечниках и песчаных грунтах.

Среднее число бактерий в грунтах восточного побережья Среднего Каспия меньше такового в западном побережье зимой в 5,6, весной – в 7, летом – в 6,6 и осенью – в 6,2 раза.

ОБЩЕЕ ЧИСЛО БАКТЕРИЙ И САНОФИТОВ В ГРУНТАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ

В донных отложениях центральной части Среднего Каспия илистый грунт со смесью песка и ракушечника составляет 53,5%, ракушечника – 32,2 и малозернистый песок – 14,3%. Характерно, что ракушечник и песок с ракушечником встречаются в зонах западного и восточного склонов глубоководных впадин, а на подошве глубинных участков всюду отмечается илистый грунт. Общее число бактерий в грунтах центральной части Среднего Каспия 60–980 млн/г. Максимальное число бактерий отмечается в грунтах разреза Махачкала–Песчаный, который находится на стыке с Северным Каспием, минимальное – в грунтах Хачмас-Бекдашского разреза с самым глубоководными станциями Среднего Каспия (табл. 83).

Весной увеличение численности бактерий отмечается в грунтах разрезов севернее Махачкалы. На ст. 3–5 разреза о-в Чечень–мыс Сагындык в западной половине Среднего Каспия число бактерий в грунтах летом и осенью достигает 1–2 млрд/г.

Изменение численности бактерий по сезонам отмечается в грунтах указанных разрезов. Характерным является уменьшение числа бактерий на одинаковых глубинах с севера на юг и с запада на восток, что совпадает с результатами определения общего числа бактерий в воде и продукции фитопланктона (рис. 53, 54). Как видно из табл. 83, на ст. 4 разреза Махачкала–Песчаный число бактерий составляет зимой 340, весной —

Таблица 83

Общее число бактерий (млн/г) и сапрофитов (тыс./г) в грунтах
центральной части Среднего Каспия (посезонно)

Разрез	Стан- ция	Глу- бина, м	Общее число бактерий				Сапрофитные бактерии			
			II	V	VII	X	II	V	VII	X
О-в Чечень— мыс Сагындык	3	30	—	1300	2000	2200	—	70	150	170
	4	40	—	970	1670	2100	—	90	210	445
	5	47	—	680	1030	1600	—	60	340	195
	7	60	—	570	930	860	—	110	260	150
	8	75	—	600	800	790	—	90	180	160
	9	50	310	740	1200	1400	80	110	150	130
	11	10	520	810	1600	1800	70	90	188	160
Махачкала— мыс. Песчаный	2	140	510	740	1920	910	100	130	200	600
	4	300	340	470	340	540	60	80	190	160
	5	350	290	310	370	280	40	85	110	100
	6	200	230	290	630	290	30	29	36	29
	7	150	380	540	890	480	17	21	14	21
	8	50	520	770	580	710	23	29	39	43
	9	20	980	1400	1300	1100	16	17	19	24
Каспийск— Ералиево	2	180	440	680	710	640	20	33	60	65
	3	300	180	—	220	340	17	—	20	36
	4	350	160	—	210	180	14	—	17	21
	5	400	120	—	163	140	13	—	12	17
	6	200	240	—	240	139	24	—	30	33
	7	100	480	520	520	480	86	83	160	140
	8	50	610	710	680	720	60	71	90	65
Хачмас—Бекдаш	2	160	110	140	170	210	20	24	40	62
	3	550	90	130	120	160	17	19	20	18
	4	700	60	57	42	30	13	13	10	13
	5	550	80	71	67	40	17	19	26	27
	6	500	70	60	71	51	21	24	31	29
	7	500	60	63	70	57	17	27	23	31
	9	120	220	240	260	120	41	57	69	74
Среднее			304	535	641	656	35	57	96	107

470, летом — 340, осенью — 540 млн/г сырого грунта, тогда как в то же время на ст. 3 разреза Каспийск—Ералиево с такой же глубиной количество бактерий во все сезоны меньше в 2 раза. Примечательны в этом отношении и результаты определения численности бактерий в грунтах ст. 2 разреза Хачмас—Бекдашский, отличающейся почти в 2 раза меньшей глубиной. Как видно, здесь число бактерий в среднем уступает количеству бактерий предыдущего разреза в 3–4 раза. Таким образом, исходя из численности бактерий и стабильности температурного режима, можно заключить, что главным фактором в генерации микроорганизмов грунтов глубоководных участков является количество органического вещества. Согласно результатам определения численности бактерий, в грунтах северной и северо-западной частей центральной зоны энергетического материала гораздо больше, чем в юго-восточной и юго-западной частях, и поэтому не наблюдается прямой связи между численностью бактерий и механическим составом грунтов.

Несмотря на минерализацию большей части продукции фитопланктона в толще воды и ограниченный объем поступающего органического вещества в донные осадки, в центральной части моря число микроорганизмов в них гораздо больше, чем в грунтах

восточной шельфовой зоны Среднего Каспия. Западная и центральная части Среднего Каспия, богатые аллюхтонными органическими веществами, отличаются от восточной части не только более высокой продуктивностью фитопланктона и бактерий водной массы, но и богатством микробного состава грунтов.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ БАКТЕРИЙ В ГРУНТАХ

В восточной части Среднего Каспия почти отсутствуют илистые грунты, содержащие в достаточном количестве органические вещества, которые являются благоприятной средой для развития микроорганизмов. Именно этим фактором и объясняются редкая встречаемость и малочисленность физиологических групп бактерий в грунтах восточного побережья Среднего Каспия. Число азотобактера варьирует от 2 до 10 тыс./г и и денитрифицирующих – до 10 тыс./г сырого грунта. Сравнительно широко встречаются аэробные клетчаткоразлагающие бактерии. В грунтах мелководной зоны Бекдашского, Карабенгирского разрезов, о-ва Караадаи Казахского залива количество этих бактерий составляет 100–20 тыс./г. Характерно, что зона максимального количества аэробных клетчаткоразлагающих совпадает с участком их частой встречаемости в воде, где в массовом количестве плавают растительные остатки.

В западной части Среднего Каспия, напротив, физиологические группы бактерий встречаются повсеместно и в значительно большем количестве (табл. 84). В грунтах число азотобактера варьирует от 1 до 174 тыс./г. Максимальная численность азотобактера отмечается в грунтах мелководной зоны Махачкалинского и Самурского разрезов. С глубиной количество азотобактера резко снижается и в некоторых случаях в полосе

Таблица 84

Физические группы бактерий в грунтах западного побережья Среднего Каспия (кл./г)

Разрез	Станция	Азотобактер	Анаэробные клетчаткоразлагающие	<i>Cl. pasteurianum</i>	Денитрифицирующие	Сульфатредуцирующие
Махачкала	1	147000	5000	0	0	4000
	2	49000	1000	1000	1000	15000
	3	7000	10000	1000	1000	24000
	4	0	10000	1000	1000	17000
Дербент	1	–	5000	0	0	300
	2	8000	5000	100	100	1000
	3	6000	10000	1000	1000	3000
	4	2000	5000	1000	1000	10000
Самур	1	65000	10000	1000	1000	16000
	2	8000	10000	1000	1000	18000
	3	0	10000	1000	1000	21000
	4	0	10000	1000	1000	9000
Сумгайт	1	15000	10000	1000	1000	11000
	2	47000	10000	1000	1000	16000
	3	7000	10000	1000	1000	10000
	4	0	1000	1000	1000	4000
Амбуран	1	4000	1000	100	100	6000
	2	3000	1000	1000	1000	9000
	3	4000	10000	1000	1000	14000
	4	0	1000	1000	1000	4000
Артем	1	2000	1000	100	100	4000
	2	6000	1000	1000	1000	8000
	3	1000	10000	1000	1000	11000
	4	1000	1000	1000	1000	7000

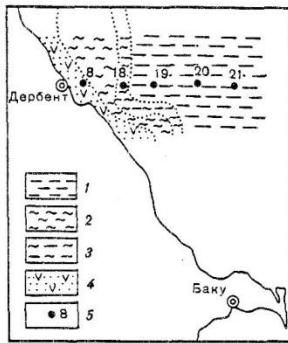
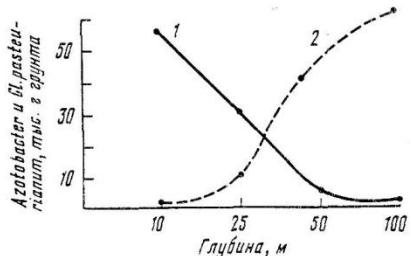


Рис. 55. Распределение свободноживущих азотфиксирующих бактерий в грунтах шельфовых зон Каспийского моря

1 – Азотобактер; 2 – Клостридиум пастерянум

Рис. 56. Схематическая карта расположения станций

1 – глинистые илы; 2 – алевритовые илы; 3 – алевритово-глинистые илы; 4 – пески с ракушкой;
5 – станция отбора отложений

100 м он отсутствует. Характерно, что максимальное количество азотобактера обнаружено в тех районах, где высока численность других бактерий.

Количество анаэробного фиксатора атмосферного азота – *C1. pasteurianum* – в грунтах достигает 1000 кл./г. В отличие от аэробных фиксаторов азота клостридиум приурочен к глубоководной зоне (рис. 55). Распределение и численность денитрифицирующих бактерий аналогичны таковым для *C1. pasteurianum*. Сульфатредуцирующие бактерии встречаются во всех образцах грунтов; число этих бактерий колеблется от 300 и 24000 кл./г сырого грунта, они преобладают в иловых отложениях глубоководной зоны. Широкое распространение сульфатредуцирующих бактерий в грунтах западного побережья Среднего Каспия указывает на благоприятные условия для их жизнедеятельности.

Изучение физиологических групп бактерий в грунтах глубоководных впадин Каспийского моря представляло большой интерес с точки зрения познания роли бактерий в диагенезе осадочных образований, круговороте веществ в современных условиях. Анализы, проведенные в 30-х годах А.А. Малиянц (1938) и Е.А. Колесник (1938), показали широкое распространение отдельных физиологических групп бактерий в верхних слоях грунта до глубины колонки 350–556 мм.

В связи с сообщениями (Книпович, 1921, 1923) о наличии сероводорода в придонных слоях воды глубоководной зоны Среднего и Южного Каспия нами в течение последних десяти лет были проведены обстоятельные и повторные исследования. Результаты этих анализов показали, что в настоящее время в придонных слоях воды Каспийского моря накопления сероводорода не происходит. В Южном Каспии в придонном слое самой глубоководной станции (990 м) количество растворенного кислорода достигает 1,6 мг/л.

Исследование распределения бактерий в грунтах Каспийского моря в новых экологических условиях было проведено также в толще донных осадков. Исследования проводились в разных районах моря, включая шельф и глубоководные области.

Сбор образцов донных отложений проводили в зоне глубоководной впадины Среднего Каспия на широте г. Дербента (рис. 56), специально сконструированной прямоточной грунтовой трубкой (рис. 2) длиной 7 м и диаметром 62 мм (вес трубы 300 кг) с глубин моря 31, 310, 690, 730 и 775 м (ст. 8, 18, 19, 20 и 21). Схематический профиль распределения общего числа бактерий во взятых образцах представлен на рис. 57. Длина колонок соответственно 0,1, 3,40, 3,45, 2,40 и 5,75 м. Применение трубы обеспечивало подъем осадков без нарушения стратификации слоев.

Рис. 57. Схематический профиль распределения численности бактерий (прямой счет) в 1 г сырого грунта в разрезе донных отложений Среднего Каспия

Микробиологические анализы каждого образца прослойки колонки грунта сочетались с определениями содержания органического вещества ($\Sigma_{\text{орг}}$) и его составных компонентов: битумоидов (сумма хлороформенных – ХБ и спиртобензольных – СБ экстрактов), гуминовых кислот. Кроме того, проводилось изучение формы ОВ в петрографических шлифах под микроскопом, гранулометрического состава и некоторых физических параметров грунтов (влажность, пористость, плотность), содержание форм железа и др. Результаты определения различных групп микроорганизмов, физических и химических свойств грунтов приводятся в табл. 85. Как видно, живая микрофлора обнаруживается по всему разрезу донных отложений. Однако групповой состав и численность бактерий заметно колеблются по площади и разрезу.

Аэробные бактерии, разрушающие клетчатку, обнаружены преимущественно в верхнем полужидком слое отложений, там, где содержание органического вещества максимально. Наблюдается зависимость численности этой группы бактерий в осадках от глубины моря. Чем выше столб воды, тем толще слой ила, в котором развиваются клетчатковые бактерии. Так, на ст. 18 (глубина 310 м) большая их популяция наблюдается в интервале осадков 0–47 см, а на ст. 21 (глубина 775 м) – лишь в интервале 0–2 см. Количество клетчатковых бактерий в верхнем полужидком слое неодинаково для разных глубин моря. В сторону глубоководных частей моря их популяция в этом слое уменьшается. По-видимому, это связано с изменением к центру моря количества органического вещества и уменьшением степени аэрации дна моря. Действительно, с увеличением глубины моря, хотя и возрастает содержание органического вещества, его качество не остается постоянным. По данным микроскопического исследования петрографических шлифов, к центру моря количество и размер растительного детрита, являющегося субстратом клетчатковых бактерий, уменьшаются. По мнению К.Ф.Родионовой, в органическом веществе осадков центральных зон водоемов преобладают в основном липоидные компоненты.

Снижение численности клетчаткоразлагающих бактерий от поверхностного слоя вниз по разрезу донных отложений, вероятно, связано с возникновением новых геохимических условий. Верхний полужидкий слой донных отложений, содержащий наибольшее количество аэробных бактерий, характеризуется обогащенностью гидратами окислов железа, окрашивающими осадки в светло-коричневый цвет. Содержание Fe^{+3} здесь равно 1,5–1,6%, а Fe^{+3} – 0,6–0,8%. Мощность светло-коричневого слоя варьирует от 2 до 9 см и находится в обратной зависимости от глубины моря. По своим условиям этот слой относится к первому окислительному этапу стадии диагенеза, длительность которого не превышает 100 лет (Багиров, 1967). Ниже окисленной пленки железо встречается преимущественно в виде аутигенных минералов – гидротроилита, мельниконита и цирита, являющихся индикаторами низкотемпературных восстановительных условий осадочных образований.

Анализы показали, что количество анаэробных клетчатковых бактерий в отложениях Каспийского моря ниже, чем аэробных. Наличие первых в большей степени обнаружено

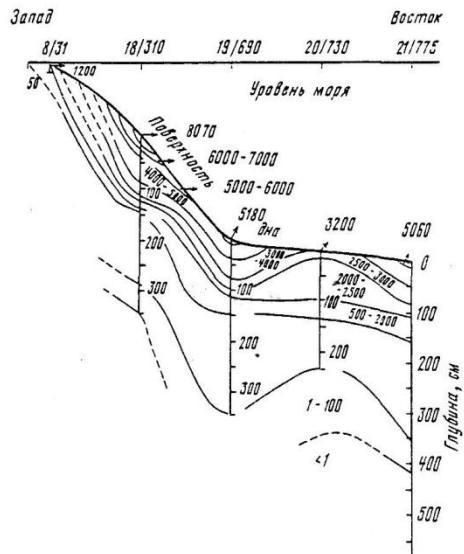


Таблица 85

Распределение физиологических групп бактерий в грунтах Каспийского моря

№ ст./Глу- бина, м	№ п/п	Интервал образ- цов, см от по- верхности ила	Тип осадков	Органическое вещество		
				С орг, %	Битумоиды ХБ + СБ, %	Гумино- вые кис- лоты, %
8/31	1	0–10	Песок с раку- шечником	0,4	0,40	0,1
18/310	2	0–2	Алеврито-гли- нистый	4,32	0,90	1,5
	3	15–17		Не опр.	Не опр.	Не опр.
	4	45–47		2,88	0,50	2,2
	5	98–100	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	6	158–160	Глинисто-алев- ритовый	2,14	0,07	Следы
	7	248–250	Глинистый	2,46	0,20	1,1
	8	340–342	"	0,71	0,02	0,7
19/690	9	0–2	"	2,57	0,64	0,3
	10	15–18	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	11	90–92	Глинисто-алеври- товый	2,77	0,33	11,4
	12	155–157	Алеврито-глинистый	1,97	0,04	0,4
	13	345–347	Глинистый	0,99	0,20	Следы
20/730	14	0–2	"	4,17	1,27	2,8
	15	32–35	"	2,15	0,04	0,8
	16	90–92	"	1,25	0,02	Следы
	17	158–160	"	0,40	0,35	0,3
	18	230–240	Алеврито-глинистый	0,84	0,01	Следы
21/775	19	0–2	Глинистый	3,92	1,40	2,2
	20	18–20	"	3,66	1,33	2,1
	21	50–52	"	3,23	1,20	2,0
	22	98–100	"	1,84	0,05	1,0
	23	148–150	"	1,47	0,03	0,9
	24	250–252	"	1,37	0,09	0,5
	25	350–354	Алеврито-глинистый	1,78	0,03	1,7
	26	455–460	Глинистый	1,24	0,05	0,6
	27	560–575	"	0,43	0,02	Следы

Примечание. +++ – число бактерий 500; ++ – 1000; + – 100; – – бактерий нет.

вается под окисленным слоем в интервале 15–20 см. Исследование образцов под люминесцентным микроскопом в шлифах позволило обнаружить, что в новокаспийской толще, непосредственно под окисленным слоем, растительное вещество органического материала присутствует главным образом в виде бесструктурной массы, приуроченной к многочисленным стяжениям пирита. Крупные обрывки растительного детрита встречаются редко (Куприн и др., 1969). Нижняя граница развития анаэробных клетчатковых бактерий на ст. 18 опускается до глубин отложений 79–100 см. На ст. 21 эта граница проходит не ниже 20 см от поверхности слоя, что, по-видимому, связано с уменьшением в осадках растительных тканей в сторону моря.

Сульфатредуцирующие, сбраживающие глюкозу, денитрифицирующие и сапрофитные

Сульфатредуцирующие		Клетчаткоразрушающие		Денитрифицирующие	Маслянокислые	Сапрофиты, тыс/г	Споровые, %	Общее число, млн/г
в жидкой среде	в твердой среде, тыс/г	Аэробные	Анаэробные					
+	0	+++	+	+	-	1058	27	1200
+	20	+++	+	+++	-	400	62	8070
++	6,5	+	++	++	+	320	75	6110
++	200	+	+	++	+	150	87	4370
+	250	-	+	+	+	200	90	3450
+	100	-	-	++	+	90	97	310
+	8	-	-	+	+	120	99	236
+	8	-	-	+	-	50	99	1,0
+	10	++	+	+++	+	200	30	5180
+++	500	+	++	+++	+	175	75	4840
+++	700	-	+	+	+	160	93	2700
+	100	-	-	+	-	100	97	360
+	10	-	-	+	-	60	99	1,3
+	20	+	+	+	+	1500	30	3200
+++	600	+	+	+	+	1000	47	2400
+++	500	-	-	+++	+	500	90	2100
++	70	-	-	+++	-	100	95	318
+	20	-	-	+++	-	50	98	128
++	40	+	+	+	+	1800	15	5060
+++	750	-	+	++	+	1600	27	3900
+++	600	-	-	++	+	1000	31	2900
+++	500	-	-	++	+	600	38	2160
+++	150	-	-	++	+	300	56	360
++	Не опр.	-	-	+	-	100	75	232
++	"	-	-	+	-	90	95	13
+	"	-	-	+	-	10	99	0,20
+	"	-	-	+	-	2	99	0,15

бактерии обнаружены в большинстве образцов. При 25–27° развитие указанных бактерий отмечалось уже через 24–30 ч.

Маслянокислые бактерии встречаются в илах, находящихся в восстановительных условиях. Так, в кровле донных отложений на ст. 8 и 18, где дно моря аэрируется течениями, не отмечается активности рассматриваемой физиологической группы микрофлоры. С увеличением глубины моря аэрируемость дна слабеет, что, по-видимому, способствует жизнедеятельности описываемых бактерий. К подошве вскрытых отложений их численность вновь сходит на нет. В данном случае это является следствием снижения по нисходящей стратиграфической последовательности содержания органического вещества..

В создании определенной геохимической обстановки в преобразовании донных осадков большую роль играют анаэробные сульфатредуцирующие бактерии, развивающиеся при отрицательных значениях окислительно-восстановительного потенциала. Сульфатредуцирующие бактерии проявляли жизнедеятельность через 5–7 дней после посева из илов и были обнаружены во всех образцах. Однако их рост также зависит от общего содержания органического вещества, глубины моря и степени аэрируемости дна. Минимальная их активность наблюдается в окисленной пленке донных отложений. В этом слое наименьшее содержание сульфатредуцирующих бактерий было обнаружено в песках шельфовой зоны моря (ст. 8). Глубже, с возрастанием в осадках доли глинистой фракции (меньше 0,01 мм) органического вещества и ослаблением аэрации дна происходит увеличение численности сульфатредуцирующих бактерий.

В результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий за счет разложения органического вещества и сульфатов, помимо других соединений, выделяется сероводород, содержание которого в окисленном слое весьма незначительно. Когда осадки переходят в лежащие ниже слои, наступает второй этап стадии диагенезвосстановительного минералообразования. При этом непосредственное взаимодействие осадков с придонными слоями воды прекращается. Роль "покрышки" выполняет верхняя окисленная пленка, которая способствует созданию более или менее замкнутой системы, затрудняющей перемещение веществ из осадков в морскую воду. Активность сульфатредуцирующих бактерий в разрезе отложений повсеместно возрастает и уже в интервале 98–100 см (ст. 18) донных отложений их число достигает (подсчет методом посева) 250 тыс., что связано с повышением степени восстановленности среды осадков от поверхностного слоя вниз по разрезу, которая благоприятна для роста сульфатредуцирующих бактерий. Однако с интервала 98–100 см до подошвы вскрытых отложений намечается сокращение количества микрофлоры и на глубине 340–342 см их численность достигает 8 тыс. Снижение численности бактерий, по всей вероятности, происходит в связи с сокращением по вертикальному разрезу содержания органического вещества. Таким образом, наблюдается двойственная зависимость количества сульфатредуцирующих бактерий от органического вещества вниз по разрезу отложений: обратная – в интервале от 0 до 98–100 см и прямая – от 98–100 см до подошвы вскрытых осадков.

В процессе работы в Среднем и Южном Каспии в каждой поднятой колонке можно было наблюдать под верхним окисленным слоем часто повторяющиеся темно-серые, почти черные, прослойки с расплывчатыми границами. Высокая интенсивность окраски и частота окрашенных слоев характерны для всей толщи новокаспийского яруса. В наиболее глубоких зонах моря (свыше 200 м), где новокаспийский ярус сложен в основном глинистыми илами, содержащими наибольшее количество органического вещества и микроорганизмов, черная окраска охватывает отложения яруса целиком. В сторону прибрежных областей черный цвет осадков постепенно сменяется темно-серым и в песках гидротроиллит совершенно исчезает.

Денитрифицирующие бактерии обнаружены по всему разделу донных отложений. В образце песка, где содержание органического вещества незначительно, но довольно много кислорода за счет аэрированности придонной воды (ст. 8), активность денитрификаторов подавлена. С увеличением глубины моря до 690 м (ст. 19) происходит расцвет этой микрофлоры. Однако глубже их популяция вновь снижает численность, несмотря на высокое содержание органического вещества. Вниз по разрезу донных отложений отмечается падение популяций денитрификаторов.

Общее число бактерий, подсчитанное прямым счетом, составляет в верхнем окисленном слое донных отложений Каспийского моря от 1,5 до 8 млрд в 1 г сырого грунта, причем их наибольшее содержание характерно для илов, накапливающихся за пределами шельфа. Максимальное количество бактерий отмечается в осадках средней части континентального склона, минимальное – в песках, покрывающих шельфовую зону моря.

Численность бактерий уменьшается с глубиной погружения в ил. Поля равного

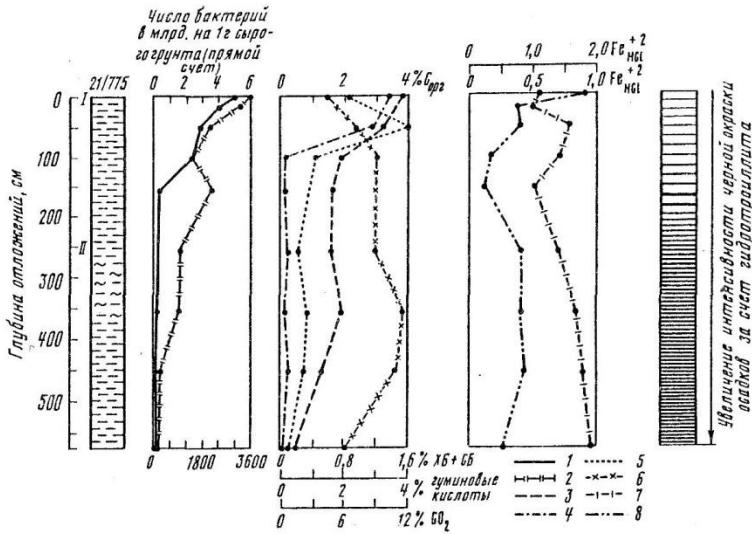


Рис. 58. Распределение микроорганизмов, органического углерода (C_{org}), форм железа, CO_2 и гидротроилита в отложениях ст. 21

содержания микроорганизмов в отложения проходят параллельно дну моря. В глубоководных областях водоема сокращение численности бактерий по вертикальному разрезу отложений происходит менее резко, чем в периферийной зоне моря. На рис. 58 видно, что быстрое падение количества бактерий происходит в верхнем 1,5-метровом слое осадочных образований Каспийского моря. Так, в отложениях на ст. 21 (глубина 775 м) количество микрофлоры (в 1 г сырого ила) снизилось от 5,06 млрд в поверхностном слое до 360 млн в интервале 148–150 см. К подошве колонн содержание бактерий уменьшается относительно плавно и достигает 152 тыс. (прямой счет).

На рис. 59 показано, что количественное распределение микроорганизмов в поверхностном слое отложений находится в прямой зависимости от концентрации органического вещества и является следствием литологических типов осадков. Глинистые илы, слагающие дно от внешнего края шельфа вплоть до глубоководных зон моря, содержат наибольшее количество органического вещества и микроорганизмов. Значительное содержание бактерий в глинистых илах центральных областей водоема связано не только с большим количеством органического вещества. Имеются и другие причины, а именно физические особенности осадков. Интересно, что с увеличением высоты столба воды влажность верхнего 30-сантиметрового слоя осадков возрастает от 56 до 70–80% в центральной части бассейна (на глубинах от 250 до 800 м). В этом же направлении снижается плотность осадков от 1,65 до 1,35 g/cm^3 , а абсолютная пористость повышается от 42 до 60%. Таким образом, интенсивная популяция бактерий есть функция от многих факторов, однако основным из них является концентрация органического вещества.

Вниз по разрезу донных отложений наблюдается падение содержания органического вещества, влажности и пористости осадков и повышение плотности. Изменение этих параметров приводит к повсеместному снижению численности бактерий. По нисходящей стратиграфической последовательности содержание микроорганизмов не испытывает зависимости от литологического состава.

Выше было показано уменьшение численности почти всех физиологических групп микроорганизмов по вертикальному разрезу донных отложений. Развитие аэробных бактерий на глубине осадочной толщи Каспия свыше 0,5–1,5 м практически прекра-

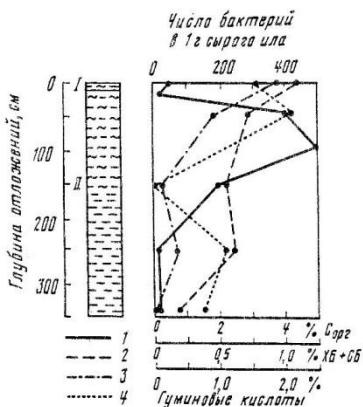


Рис. 59. Распределение сульфатредуцирующих бактерий (счет методом посева) и органического углерода в донных отложениях (ст. 18)

Цифры – число бактерий, млн/г

щается. Анаэробные микроорганизмы, хотя и встречаются по всему разрезу отложений, однако их количество также снижается к подошве вскрытых осадочных образований. Наглядным примером сказанного является изменение по разрезу осадков сульфатредуцирующих бактерий (рис. 59).

Основной вопрос биогеохимических исследований – это устойчивость отдельных соединений органического вещества на стадии диагенеза. Сокращение общего содержания органического

вещества и его компонентов – битумоидов ($\text{ХБ} + \text{СБ}$) и гуминовых кислот от кровли до подошвы вскрытых донных отложений – свидетельствует о том, что уже на ранних этапах стадии диагенеза бактерии способны разрушать все компоненты органического вещества, включая и липиды.

ЮЖНЫЙ КАСПИЙ

ОБЩЕЕ ЧИСЛО БАКТЕРИЙ И САПРОФИТОВ В ГРУНТАХ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

В шельфовой зоне западного побережья Южного Каспия донные отложения состоят в основном из илистого грунта; ил с ракушечником составляет 30%, илистый грунт – 42%. Грунт, состоящий из мелкозернистого песка, встречается в лесоводной зоне Астара-Ленкоранского участка и у о-ва Жилой. Донные отложения, обогащенные углеводородом, находятся в мелководной зоне Шиховского, Алятского, Бяндованского разрезов, у островов Глинняный, Булла, Дуванный, Обливной, Свиной, Лось, а также в Бакинской бухте. В западной части Южного Каспия илистый грунт отмечается глубже 30 м. Общее число бактерий в грунтах западного побережья Южного Каспия в среднем по сезонам варьирует в пределах 2,6–5,6 млрд/г (табл. 86). Количество бактерий зимой в 2 раза меньше, чем летом, весной – в 1,7 раза. Большие колебания численности бактерий по сезонам отмечаются в прибрежной зоне (за исключением глубины 10 м Шиховского разреза и устья р. Куры). Зависимость численности бактерий от особенностей грунта наблюдается в мелководной зоне Астара-Ленкоранского участка. В районе Шиховского разреза заметное влияние на количество бактерий оказывает не механическая структура грунта, а состав преобладающего органического вещества. В данном случае влияние органического вещества аллохтонного происхождения на генерации микроорганизмов выражается в противоположном действии тому, что отмечается в зоне устья р. Куры. Если в районе Шиховского разреза число бактерий за год колеблется в пределах 1,7–2,1 млрд/г, что является самым минимальным во всем участке, то в зоне устья Куры – 9,6–13,3 млрд/г сырого грунта (см. рис. 50).

Число и распределение сапрофитных бактерий, их сезонные изменения аналогичны динамике изменения общего числа микроорганизмов. Общее количество сапрофитных бактерий в грунтах западного побережья Южного Каспия весьма высоко – максимальное для всего Каспийского моря.

Результаты многолетних исследований показали, что за 10–12 лет изменение численности бактерий в грунтах западного побережья Южного Каспия имеет такой же характер, что и динамика изменений микрофлоры воды. Но тенденция к увеличению или уменьшению количества бактерий в грунтах не так ярко выражена, как у бактерий

Таблица 86

Общее число бактерий (млн/г) и сапрофитов (тыс./г) в грунтах западного побережья Южного Каспия

Разрез	Станция	Общее число бактерий				Сапрофитные бактерии			
		II	IV	VII	XI	II	IV	VII	XI
Шихов	1	1700	1900	2140	1970	2000	2300	3530	3700
	2	3700	4900	9740	7600	3100	5100	8000	7400
	3	2900	5700	11400	9100	1900	4900	8000	7000
	4	900	1100	2110	1000	500	700	1800	1000
Аляты	1	1970	2900	4140	3700	700	900	2900	1700
	2	3100	4100	6340	5100	800	1100	3000	1900
	3	2100	3300	5700	4700	3100	6300	9000	7700
	4	1600	2100	3400	2900	1800	2300	4000	3600
Бяндован	1	1800	2100	4140	3100	710	1900	4700	3100
	2	970	1100	3600	2900	320	780	1500	960
	3	900	1000	1970	980	270	510	800	570
	4	3100	2900	6800	4100	200	490	800	630
Устье Куры	1	9600	10700	13300	11700	3000	9000	10000	9100
	2	—	5800	11200	9600	1900	4900	8000	7600
	3	2100	3100	4100	3700	400	700	1000	780
	4	2000	2100	3600	2700	210	470	900	590
Куринская Коса	1	3100	4700	7300	5700	600	1300	4000	3600
	2	2900	3600	6300	4900	470	990	2900	1900
	3	3100	3300	5700	3100	360	700	1300	900
	4	2700	3400	4900	3700	240	600	1000	700
Ленкорань	1	—	1600	2600	1900	—	2300	2500	2100
	2	—	4100	6800	4700	—	4300	7500	3700
	3	—	5100	8700	6300	—	4600	6000	4100
	4	—	3100	4800	3200	—	1900	4000	2700
Астара	1	—	1600	1960	1900	—	110	2000	1900
	2	—	2300	3730	2100	—	2300	4000	2100
	3	—	1870	6970	4100	—	1700	2500	2100
	4	—	1900	3640	2700	—	700	900	760

Таблица 87

Общее число бактерий (млн/г) и сапрофитов (тыс./г) в грунтах акватории островов Бакинского архипелага в августе 1962 и 1978 гг.

Остров	Общее число бактерий		Сапрофитные бактерии	
	1962 г.	1978 г.	1962 г.	1978 г.
Свиной	7600	4700	4100	2600
Глиняный	8400	5600	3500	2100
Булла	6700	2300	1400	780
Лось	4400	3600	2300	1600
Шахов мыс	5600	6800	4700	7600
Дуванный	7400	4300	4100	2400
Обливной	6900	4100	2800	1700
Пирсагат	6700	6600	2900	4100
Жилой	800	1200	1400	400
Погорелая плита	4300	6700	2000	3700

воды. За указанный период численность бактерий снизилась в районах мелководных зон Шиховского, Алятского разрезов и в окружающей зоне большинства островов (табл. 87).

В отличие от других участков Каспийского моря здесь при более благоприятных климатических условиях аллохтонный органический субстрат в зависимости от химического состава оказывает двоякое влияние на микрофлору грунтов. Там, где он состоит из нефтяных остатков, число бактерий невелико. Такие участки занимают незначительную площадь, а в остальных участках аллохтонное органическое вещество оказывается положительно на численности бактерий грунтов. Этим и объясняется высокая численность бактерий в грунтах по сравнению с таковой в Среднем Каспии. Наличие в достаточном количестве легкоминерализуемых компонентов органических субстратов доказывается и увеличением числа бесспоровых форм сапрофитов, составляющих 65–80% массы выросших колоний.

Высокая численность микрофлоры грунтов указывает на то, что в донных отложениях западного побережья Южного Каспия минерализация органического вещества протекает весьма энергично.

ОБЩЕЕ ЧИСЛО БАКТЕРИЙ И САПРОФИТОВ В ГРУНТАХ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ

В отличие от восточного побережья Среднего Каспия, где 65% донного отложения состоит из ракушечника, в грунтах восточной части Южного Каспия его содержится не более 25%. Отсутствие илистого грунта отмечается в северной части района исследований, что находится на стыке со Средним Каспием.

Общее число бактерий в грунтах восточного побережья Южного Каспия в среднем за год колеблется в близких пределах – 322 и 487 млн./г. Сезонные изменения численности бактерий в грунтах, как и микрофлора воды, происходят также плавно. Если в других участках щельфовой зоны число бактерий в зимнее время меньше такового в летний период в 2–3 раза, то здесь разница составляет лишь 66% (табл. 88). Сравнительно высокое число бактерий отмечается весной и летом. Разница в численности бактерий в весенний и осенний сезоны, наблюдаемая в других участках моря, почти отсутствует.

Сезонные колебания количества бактерий в грунтах тождественны изменениям величины продукции фитопланктона и численности бактерий в воде. Количество сапрофитных бактерий в грунтах колеблется в среднем за год в пределах 42–89 тыс./г. Сезонные изменения числа сапрофитов также аналогичны изменениям общего числа бактерий. Число бактерий, так же как и величина деструкции органического вещества, в грунтах восточного побережья Южного Каспия гораздо выше, чем в восточной части Среднего Каспия (см. рис. 50).

Определение количества бактерий в грунтах центральной части Южного Каспия по разрезу Куринская коса–Ульский показало, что численность микроорганизмов значительно сокращается с запада на восток. Любопытно, что численность бактерий с глубины 400 м до максимальной выражается близкими величинами (рис. 60, 61).

Изменение числа бактерий в грунтах по сезонам происходит в основном в зонах с глубиной до 150–200 м. В грунтах глубоководных впадин число бактерий за весь год остается наименьшим и колебания по сезонам составляют не более 15–17%, что вполне укладывается в допустимую погрешность анализа (см. табл. 88). Число сапрофитных бактерий составляет в среднем за год 28–69 тыс./г сырого грунта. Изменение численности сапрофитов по сезонам носит такой же характер, что и изменения общего числа бактерий. Следует отметить, что в центральной части Южного Каспия отсутствует такая корреляция между механическим составом донных отложений и численностью бактерий в них, как в других участках моря, где илистый грунт содержит наибольшее число бактерий.

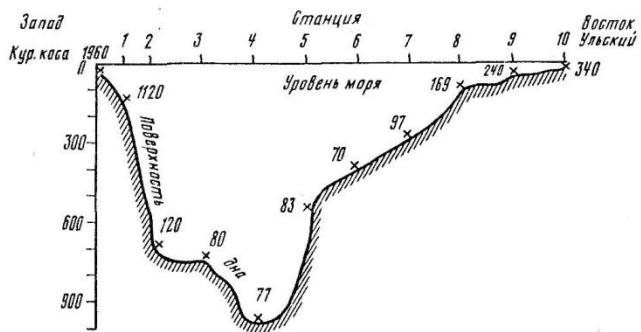


Рис. 60. Профиль изменения численности бактерий в грунтах Среднего и Южного Каспия с севера на юг и с запада на восток

Таким образом, можно предполагать, что из-за большой глубины основная масса органического вещества минерализуется в водной толще, и в грунтах в незначительном количестве накапливаются труднодоступные компоненты органических субстратов. Поэтому здесь сапропиты на 97–99% состоят из споровых бацилл. Характерными являются сравнительные данные по численности бактерий в грунтах центральной части Южного Каспия и глубоководной зоны Среднего Каспия. Как видно из табл. 89, общее

Таблица 88

Общее число бактерий (млн/г) и сапропитов (тыс./г) в поверхностных грунтах восточного побережья Южного Каспия

Разрез	Стан- ция	Общее число бактерий				Сапропитные бактерии			
		II	V	VIII	X	II	V	VIII	X
Гасан-Кулий- ский	1	360	460	500	270	30	80	120	70
	2	410	580	600	340	24	44	66	56
	3	270	330	440	280	51	70	143	97
	4	180	210	190	210	48	68	70	68
Окаремский	1	270	440	590	370	42	63	133	100
	2	340	410	380	410	30	71	126	97
	3	280	300	500	440	120	136	140	86
	4	190	210	190	180	80	120	90	70
Ульский	1	410	610	790	640	40	86	140	90
	2	460	740	810	720	60	90	130	100
	3	240	350	400	380	90	130	120	80
	4	190	220	190	210	20	63	57	63
Огурчинский	1	470	810	900	790	36	77	90	87
	2	510	680	760	550	42	81	110	96
	3	240	300	270	310	20	36	40	54
	4	470	460	480	470	30	43	53	47
Карагельский	1	440	570	740	630	60	83	120	76
	2	390	480	580	390	40	76	90	83
	3	270	310	420	410	27	36	40	39
	4	180	170	200	220	19	24	27	31
Тазабадский	1	330	540	700	580	30	43	90	70
	2	420	320	570	440	27	32	76	81
	3	220	210	300	290	20	23	30	40
	4	220	180	200	190	30	27	33	23

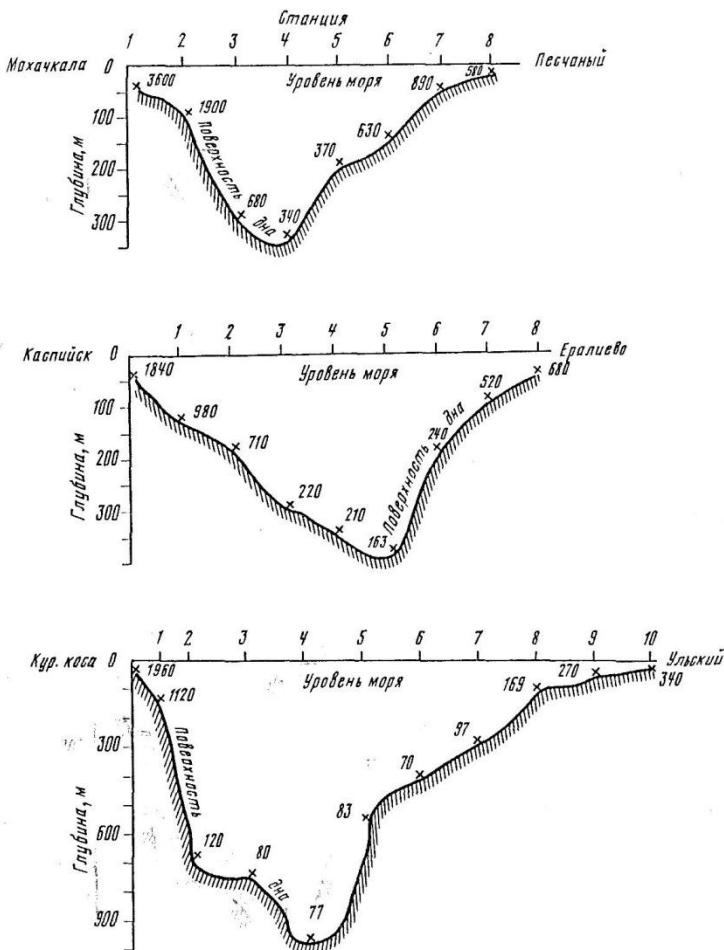


Рис. 61. Профиль распределения численности бактерий в грунтах Южного Каспия по разрезу Куринская-Коса-Ульский

число бактерий и сапрофитов в грунтах центральной части Южного Каспия уступает таковым Среднего Каспия соответственно в 2,8 и 1,4 раза.

Кроме того, в центральной части Среднего Каспия высокими оказываются общее число бактерий воды, величины продукции фитопланктона и деструкции органического вещества воды и донных отложений.

Существенным различием между численностью бактерий воды и грунтов в центральной части Среднего и Южного Каспия является то, что если в Южном Каспии влияние аллохтонного органического вещества на интенсивность генерации бактерий ограничено зоной глубин 100–150 м, то в Среднем положительное воздействие органического вещества на микроорганизмы прослеживается на гораздо большей площади глубоководной части.

Высокая численность бактерий в грунтах западной и восточной шельфовых зон Южного Каспия свидетельствует об интенсивном протекании сложных процессов минерализации органических субстратов и значительно высоком темпе регенерации биогенных элементов, а также накоплении большой биомассы бактерий как полноценного корма для бентосных организмов.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ БАКТЕРИЙ В ГРУНТАХ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Результаты определения численности физиологических групп бактерий в грунтах западного побережья Южного Каспия приводятся в табл. 90. Как видно, в донных отложениях данного участка широко распространены определяемые группы бактерий. Кроме прибрежной зоны Шиховского разреза, где грунт пропитан нефтью, во всех образцах отмечается наличие аэробных клетчаткоразлагающих бактерий. Характерно, что в этих же образцах грунтов выделяются анаэробные бактерии, такие, как *Cl. pasteurianum*, денитрифицирующие и сульфатредуцирующие. Высокая общая численность микрофлоры и сапрофитных бактерий в грунтах данного региона, а также значительная активность физиологических групп бактерий свидетельствуют о наличии достаточного количества энергетических материалов и подходящих экологических условий для интенсивного развития широкого круга микробных таксонов в грунтах.

Кроме определения численности физиологических групп бактерий, мы большое внимание уделяли выяснению активности выделенных культур. Так, нами было установлено, что распад вносимой клетчатки в 2–2,5 раза быстрее начинался в посевах из грунтов мелководных станций, а в опытах с грунтами 50–100-метровых глубин он шел намного медленнее. Выделение пышной пены и газовых пузырьков происходит гораздо раньше и намного активнее в посевах из грунтов глубоководных станций, чем при аэробном распаде клетчатки. Таким образом, несмотря на широкое распространение

Таблица 89

Общее число бактерий (млн/г) и сапрофитов (тыс./г) в грунтах центральной части Южного Каспия

Разрез	Стан- ция	Глу- бина, м	Общее число бактерий				Сапрофитные бактерии			
			II	V	VIII	X	II	V	VIII	X
Жилой–Куули	3	150	110	114	120	118	13	21	43	54
	4	170	100	97	110	123	9	14	29	33
	5	140	120	133	140	143	10	13	19	21
	7	50	170	210	330	280	70	87	130	146
	9	11	200	320	440	370	100	133	156	140
Бяндован–Красно- водск	1	155	160	173	186	190	60	76	83	92
	3	760	110	100	120	170	7	11	13	13
	3	600	90	96	110	117	9	10	9	13
	7	230	70	86	120	96	17	19	21	
	9	50	120	180	230	220	29	41	73	81
р. Кура–Огурчинский	3	951	70	68	73	81	6	9	9	7
	4	840	71	73	79	71	8	13	11	9
	5	400	86	93	110	117	17	24	33	27
	9	30	130	180	240	230	25	41	66	83
	4	950	68	73	77	81	7	8	9	10
Куринская Коса– Ульский	5	538	71	69	79	83	11	13	12	11
	7	300	80	83	110	97	21	24	27	32
	9	67	169	176	230	240	60	77	83	100
	12	16	320	400	360	340	83	110	600	380
	2	540	100	113	136	127	11	14	24	21
Ленкорань–Гасан– Кули	4	700	220	197	200	210	9	11	12	10
	6	500	270	247	250	310	13	12	14	11
	8	70	360	790	960	780	43	54	67	77
	10	25	380	440	290	270	51	83	136	190
Среднее			151	186	212	202	28	38	69	66

Таблица 90

Физиологические группы бактерий в грунтах западного побережья Южного Каспия, млн/г

Разрез	Станция	Аэробные клетчатко-разлагающие	Азотобактер	<i>Cl. pasteurianum</i>	Денитрифицирующие	Сульфатредуцирующие
Шихов	1	0	0	1000	1000	19000
	2	5000	7000	1000	1000	2000
	3	5000	5000	1000	1000	1000
	4	5000	2000	1000	1000	4000
Аляты	1	5000	9000	1000	1000	0
	2	5000	50000	1000	1000	1000
	3	5000	20	1000	1000	3000
	4	5000	0	1000	1000	7000
Бяндован	1	5000	32000	1000	0	0
	2	5000	22000	1000	1000	2000
	3	5000	5000	1000	1000	7000
	4	5000	5000	1000	1000	4000
Устье Куры	1	5000	37000	1000	1000	3000
	2	5000	27000	1000	1000	5000
	3	5000	13000	1000	1000	10000
	4	5000	1000	1000	1000	14000
Куринская Коса	1	500	84000	1000	0	0
	2	5000	56000	1000	1000	1000
	3	5000	13000	1000	1000	3000
	4	5000	0	1000	1000	7000
Ленкорань	1	5000	20000	1000	0	4000
	2	5000	48000	1000	1000	7000
	3	5000	2000	1000	1000	9000
	4	5000	1000	1000	1000	11000
Астара	1	5000	32000	1000	0	3000
	2	5000	30000	1000	1000	11000
	3	5000	5000	1000	1000	14000
	4	5000	0	1000	1000	14000

нение физиологических групп бактерий в грунтах в зависимости от глубин, температуры, содержания растворенного кислорода, концентрации и характера органического вещества и других факторов, определяемые микроорганизмы различаются по физиолого-биохимической активности. В этом отношении весьма характерны результаты определения количества азотобактера и сульфатредуцирующих бактерий. Так, число азотобактера колеблется от 1000 до 84 000 кл./г сырого грунта. Его минимальная численность отмечается в грунтах глубоководных станций, максимальная — в прибрежной зоне. Отсутствует азотобактер в грунтах мелководных станций, пропитанных нефтью, и в образцах 100-метровых станций Алятского и Астаринского разрезов. Распределение сульфатредуцирующих бактерий противоположно накоплению азотобактера. Как ни парадоксально, максимальная численность сульфатредуцирующих (19 000 кл./г) бактерий отмечается в грунтах 10-метровой зоны Шиховского разреза.

Характерны в этом отношении результаты наших многолетних исследований в Бакинской бухте. Здесь вследствие постоянного поступления аллохтонных веществ и большой интенсивности восстановительных процессов создались особые экологические условия для интенсивного развития анаэробных форм бактерий (табл. 91).

Как видно, в зависимости от особенностей органического вещества мы находим группы бактерий в образцах. Отсутствие аэробных клетчаткоразлагающих и азотфикс-

Таблица 91

Физиологические группы бактерий в грунтах Бакинской бухты, млн/г

Станция	Клетчаткоразлагающие		Сульфатредуцирующие	Денитрифицирующие	Азотобактер	Cl. pasteuria-num
	аэробы	анаэробы				
1	0	10000	24000	10000	0	10000
2	0	10000	41000	10000	0	10000
3	0	10000	36000	1000	0	10000
4	0	10000	27000	10000	0	10000
5	0	10000	19000	10000	0	10000
6	0	10000	18000	10000	0	10000
7	0	10000	11000	10000	0	10000
8	0	10000	39000	10000	0	10000
9	0	10000	40000	10000	0	10000
10	0	10000	29000	10000	0	10000
11	0	10000	21000	10000	0	10000
12	0	10000	17000	10000	0	10000
13	0	10000	16000	10000	0	10000
14	100	10000	7000	10000	0	10000
15	100	5000	6000	10000	0	10000
16	1000	1000	4000	10000	4000	10000
17	1000	1000	3000	10000	10000	10000

Таблица 92

Физиологические группы бактерий в грунтах акватории островов Бакинского архипелага, млн/г

Остров	Аэробные клетчатко-разлагающие	Азотобактер	Cl. pasteuria-num	Денитрифицирующие	Сульфатредуцирующие
Свиной	10000	27000	1000	1000	14000
Глиняный	10000	97000	1000	1000	17000
Булла	10000	3000	1000	1000	4000
Лось	10000	71000	1000	1000	24000
Дуванный	0	0	1000	1000	19000
Обливной	10000	23000	1000	1000	10000
Пирсагат	1000	76000	1000	1000	17000
Жилой	10000	0	0	0	0
Куринский камень	10000	18000	0	0	6000
Погорелая плита	10000	16000	0	0	0

ирующих бактерий в грунтах Бакинской бухты со средней глубиной не более 5–6 м, где отсутствует температурное расслоение водной толщи, свидетельствует о том, что под воздействием широкого спектра органического вещества аллохтонного происхождения в грунтах этой мелководной зоны формируются сложные экологические ниши. Не вызывает сомнения образование в таких биотопах микроаэрофильных зон в придонных слоях, где за счет интенсивного окисления легкоминерализуемого органического вещества содержание растворенного кислорода близко к нулю.

У западного побережья Южного Каспия широкое развитие физиологических групп бактерий отмечается в грунтах мелководной зоны островов Бакинского архипелага (табл. 92).

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ БАКТЕРИЙ В ГРУНТАХ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ

Отличие восточного побережья Южного Каспия от восточного побережья Среднего Каспия проявляется и в отношении физиологических групп бактерий в грунтах. Здесь встречаемость азотобактера в грунтах составляет 66% от общего количества обследованных образцов, аэробных клетчаткоразлагающих — 50%, денитрифицирующих — 55%, *Cl. pasteurianum* и сульфатредуцирующих соответственно 70 и 80% (табл. 93). Численность этих бактерий невелика, по всем группам уступает таковым западного побережья в 10–15 раз. Отсутствие источников поступления аллохтонного органического вещества, которое в западной части Южного Каспия является одним из доминирующих факторов в развитии бактерий грунтов, слабо выраженные процессы осадкообразования, сравнительно невысокая продукция фитопланктона являются главными причинами подавления генерации физиологических групп бактерий в грунтах данного региона. Согласно результатам исследований Е.Г. Маева (1961), мощность современных отложений и скорость осадкообразования в Южном Каспии по площади распределения неравномерны. Максимальный темп осадкообразования наблюдается в пределах западного шельфа — 4–6 мм/год. В восточной части Южного Каспия мощность осадков едва достигает 0,2–0,4 мм/год. Численность физиологических групп бактерий не связана с механическим составом грунтов, отмеченным в западной части моря. В этом отношении характерны результаты анализов в Туркменском и Красноводском заливах, где в ракушечных грунтах с примесью ила количество всех 5 групп бактерий было в 5–6 раз больше, чем в илистых грунтах открытого моря.

В центральной части Южного Каспия количество физиологических групп бактерий

Таблица 93

Физиологические группы бактерий в грунтах восточного побережья Южного Каспия

Разрез	Станция	Азотобактер	Аэробные клетчаткоразлагающие	Денитрифицирующие	<i>Cl. pasteurianum</i>	Сульфатредуцирующие
Гасан-Кулийский	1	3000	100	0	0	0
	2	1000	100	0	100	350
	3	500	100	0	100	500
	4	0	0	100	1000	700
Окаремский	1	1000	100	0	0	0
	2	500	0	0	100	0
	3	500	0	1000	1000	700
	4	0	0	1000	1000	900
Ульский	1	3500	100	0	0	500
	2	500	100	0	100	800
	3	0	0	1000	1000	1200
	4	1000	0	1000	1000	9000
Огурчинский	1	1500	100	0	0	800
	2	500	100	100	100	1600
	3	0	100	1000	1000	780
	4	0	0	1000	1000	1300
Карагельский	1	2000	100	0	0	0
	2	1000	100	0	0	750
	3	500	0	100	100	900
	4	0	0	1000	1000	800
Тазабатский	1	1000	100	0	0	0
	2	1000	100	1000	1000	300
	3	0	0	1000	1000	500
	4	0	0	1000	1000	1100

Таблица 94

Физиологические группы бактерий в грунтах центральной части Южного Каспия

Разрез	Стан- ция	Глуби- на, м	Анаэробные клетчаткораз- лагающие	Денитрифи- цирующие	<i>Cl. pasteu- rianum</i>	Сульфатре- дущие	Метанооб- разующие
Жилой—Куули	3	150	+++	+++	+++	3700	+++
	4	170	+++	+++	+++	4000	+++
	5	140	+++	+++	+++	3800	++
	7	50	+	-	++	76	-
	9	11	-	-	-	-	-
Бяндован— Красноводск	1	155	+++	+++	+++	2600	+++
	3	760	+++	+++	+++	9000	+++
	5	600	+++	+++	+++	6000	+++
	7	230	+++	+++	+++	7600	+++
	9	50	+	+	+++	1100	-
р. Кура—Огур- чинский	3	951	+++	+++	+++	12000	+++
	4	840	+++	+++	+++	9700	+++
	5	400	+++	+++	+++	8600	+++
	9	30	-	+	++	580	-
	4	950	+++	+++	+++	6800	+++
Куринская Коса—Ульский	5	538	+++	+++	+++	7300	+++
	7	300	+++	+++	+++	4700	+++
	9	67	+	+	+++	1700	+
	12	12	16	-	+	-	-
	2	540	+++	+++	+++	3900	+++
Ленкорань— Гасан-Кули	4	700	+++	+++	+++	4700	+++
	6	50	+	+	++	680	-
	8	70	+	++	++	360	-
	10	25	-	-	+	120	-

Примечание. Число бактерий: +++ — 1000; ++ — 500; + — 100; — — бактерий отсутствуют.

В грунтах колеблется в зависимости от глубин (табл. 94). Как правило, все определяемые анаэробные группы бактерий в грунтах мелководных зон либо находятся в минимальном количестве, либо отсутствуют. Следует отметить, что в распределении и развитии физиологических групп бактерий в грунтах ведущая роль принадлежит органическим субстратам и кислороду. В мелководных участках доминирующим фактором оказывается содержание растворенного кислорода, а в глубоководных зонах — концентрация органического вещества. Действием второго фактора и объясняется сравнительно низкое количество определяемых групп бактерий в грунтах центральной части Южного Каспия, уступающее таковому в Среднем Каспии более чем в 5 раз. Несмотря на то что в грунтах глубоководных станций число физиологических групп бактерий Южного Каспия меньше, чем в Среднем Каспии, выделенные культуры оказались весьма активными.

Проведенные во всех частях Южного Каспия исследования показали, что в грунтах этого региона широко распространены физиологические группы бактерий, высокая численность и биохимическая активность которых указывают на интенсивный круговорот веществ и регенерацию биогенных элементов.

Сезонное определение численности бактерий и функциональной активности микрофлоры донных осадков Каспийского моря, необходимое при расшифровке механизма протекающих в них сложных биогеохимических процессов, показало, что грунты отдельных частей моря резко различаются по содержанию органического вещества и механическому составу. Процессы в грунтах Каспийского моря зависят от зольности, органического, солевого состава и их температурного режима. Совокупность этих до-

минирующих факторов определяет и интенсивность микробиологических процессов в грунтах Каспия.

Общее число бактерий по прямому счету варьирует от 0,1 до 13 млрд/г, что свидетельствует о большом разнообразии донных осадков моря. Среднее значение общей численности бактерий грунтов Каспия намного больше, чем в Черном, Азовском, Аральском, Балтийском, Средиземном, Адриатическом, Северном морях (Кирюхина, 1976; Толконникова, 1978; Семенченко, Величко, 1978; Пфейфере и др., 1978; Якушин, 1979; Darteville, 1979; Ward, Frey, 1979).

Общее число бактерий в грунтах шельфа, предустьевых участках рек, заливов, бухт оказалось близким к численности бактерий в грунтах водохранилищ волжского каскада (Дзюбан, 1978; Тарасова, 1978) и превосходит таковое оз. Севан (Гамбарян, 1967), Байкал (Гоман, 1976), Камбрий (Jones et al., 1979), Балхаш (Новожилова, 1973) и др.

Минимальное количество бактерий приурочено к грунтам загрязненных промстоками биотопов Сумгайтского, Артемского, Карадагского, Аштеронского участков. Подавление развития микрофлоры отмечается также в иловых отложениях акватории у островов Аштеронского, Бакинского архипелагов, Красноводского и Пирсагатского заливов. Сравнительно малое число бактерий в грунтах этих участков Каспия указывает на то, что основная функция микрофлоры подорвана воздействием антропогенного стресса. Воздействия антропогенного стресса, угнетающего животное население таких участков снижает темпы минерализации и нарушает среду обитания (Sorokin, 1970; Fenchel, Reidl, 1970).

Полученные материалы показали, что сезонные колебания численности микроорганизмов в грунтах происходят в основном в зоне до 100-метровой глубины. В грунтах глубинных зон изменение за год составляет 3–7%. Тем не менее общая численность бактерий в грунтах моря не всегда согласуется с глубиной и температурой зоны их залегания. Характерно, что уровень развития и активность микрофлоры донных осадков Каспийского моря находятся в прямой зависимости от интенсивного продуцирования фитопланктона: убывает с севера на юг и с запада на восток (см. рис. 62).

Определение общей численности бактерий и величины деструкции органического вещества позволяет судить о трофической ценности донных осадков Каспийского моря. Установлено, что в поверхностном слое донных отложений Каспийского моря аэробный распад органического вещества за год составляет 9,8 млн т С, что эквивалентно 7% продукции фитопланктона. Величина деструкции органического вещества в грунтах варьирует в больших пределах и достигает 400 мг С/м² · сутки, а также согласуется с общей численностью бактерий в них. Максимальные показатели как численности, так и деструкции характерны для иловых отложений эвтрофных прибрежных биотопов, эстуариев, заливов, бухт, богатых детритом. На трофическую ценность детрита как характерного субстрата для активной деятельности микроорганизмов указывали исследователи (Хайлов, 1971; Сорокин, 1980; Johannes, Satomi, 1966; Andersen, Meadows, 1969; Seki, Lo Bell, 1967; Menzel, 1967; Daenell, 1967; Fenchel, 1970; Sorokin, 1978).

Таким образом, результаты определения численности и величины деструкции могут быть, по-видимому, индикаторами обилия бентофауны, поскольку величина деструкции коррелирует с интенсивностью поступления в грунт органического вещества.

Иловые отложения водоемов как обособленная экологическая ниша, благодаря своим физико-химическим особенностям способствуют формированию специфичного бактериального ценоза. Одним из путей получения информации о его составе и активности является анализ физиологических групп бактерий.

Определения показали, что грунты Каспийского моря отличаются сравнительно высоким содержанием сапрофитных бактерий. В зависимости от механического состава грунта, района его формирования и сезона года количество сапрофитных бактерий, их видовое разнообразие подвержено большим изменениям. Численность и соотношение отдельных групп бактерий весьма показательны для "богатых" и "бедных" грунтов Каспия по содержанию органического вещества и его химической структуре. В отличие

от прямого счета результаты определения сапрофитных бактерий более четко увязываются с интенсивностью минерализации органического вещества и регенерацией биогенных элементов. Главным фактором, лимитирующим видовое соотношение сапрофитов в грунтах Каспийского моря, является органическое вещество. Поэтому грунты глубоководных зон и центральных участков моря, куда не поступает легкоминерализуемый энергетический субстрат, содержат наибольшие числа споровых форм при минимальном количестве сапрофитов. Кроме того, интенсивное развитие сапрофитов в таких биотопах ограничивается также низкой температурой (Jannasch, Wirsén, 1977; Leduc, Ferroni, 1979; Georing, 1978).

Большой теоретический и практический интерес представляет определение роли бактерий в грунтах по глубине их залегания — в колонках. В иловых отложениях озер этот вопрос освещен ранее (Карзинкин, Кузнецов, 1931; Экзерцев, 1948; Кузнецов, 1950, 1952; Заварзина, 1955; Штурм, Канунникова, 1945; и др.) сравнительно лучше, чем в грунтах морских водоемов (Wirsén, Jannasch, 1979; Smith, Klug, 1979; Kerkay, Novitsky, 1979; Litchfield et al., 1974; Parke, Bruce, 1978; Wright, 1978).

Количественный и качественный состав микроорганизмов в колонке грунтов Каспийского моря исследован нами в шельфе и халистатике.

Установлено, что аэробные формы бактерий встречаются преимущественно в верхнем полужидком слое (0–20 см) отложений, где содержание органического вещества максимально. Кроме содержания органического вещества, на численность бактерий поверхностного слоя иловых отложений существенное влияние оказывает степень аэрации дна в зависимости от глубины участка. По вертикали колонки заметное повышение количества анаэробных форм бактерий отмечается с интервала 15–30 см. Общее число бактерий по прямому счету на глубине 100–150 см от поверхности колонки сокращается почти в 30 раз. Характерной оказалась численность сапрофитных бактерий. Так, по сравнению с поверхностным слоем грунта в интервале 200–210 см число сапрофитов сокращается больше чем в 200 раз.

В глубоководных участках Каспийского моря функциональная активность микроорганизмов грунтов проявляется в поверхностных слоях отложений и строго зависит от содержания органического вещества. Кроме того, на физиолого-биохимическую активность бактерий существенное влияние оказывают физические свойства грунтов, которые изменяются в зависимости от глубины моря.