

7. Е е же. 1962. Обменные катионы осадков Черного моря. «Тр. Ин-та океанол.», 44.
8. Кудрявцев Д. Д. 1950. Физико-химические свойства донных (иловых) отложений волжского отрога Рыбинского водохранилища. «Тр. Биол. ст. «Борок», 1.
9. Мильнер Г. Б. 1968. Петрография осадочных пород (перев. с англ.), 2. Изд-во «Наука», М.
10. Фатчихина О. Е. 1939. Поглонительная способность иловых озерных отложений. «Тр. Лимнол. ст. в Косино», 22.
11. Ярошенко М. Ф., Бызгу С. Е. 1960. Накопление и физико-химические свойства донных отложений в Дубоссарском водохранилище. «Тр. Ин-та биол. Молд-фил. АН СССР», 2, 1.
12. Puri A. N. 1936. Estimating exchangeable calcium and other cations in Soils. «Soil Scie.», 42, 1.
13. Rashid M. A. 1969. Contribution of humic substances to the cation exchange capacity of different marine sediments. «Mar. Sedim.», 5, 2.

Поступила 19.IV 1971 г.

УДК 551.482.214

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ В ГРУНТАХ ПРУДОВ РЫБХОЗА «КАРАМЕТ-НИЯЗ»

О. И. БОГДАНОВИЧ

(Институт гидробиологии АН УССР, Киев)

Известно, что присутствие сульфатов в воде пресных водоемов заметно сказывается на протекающих в них процессах [5, 21]. Сульфаты служат источником образования сероводорода — токсичного вещества и сильного восстановителя, связывающего растворенный в воде кислород. Редукция сульфатов до сероводорода происходит при участии сульфатредуцирующих бактерий. Они широко распространены в природе и встречаются в большом количестве в загрязненных органическими веществами водах и иловых отложениях. Присутствие сероводорода даже в небольших концентрациях заметно сказывается на биологической продуктивности водоемов. Сероводород определенным образом влияет на органическое вещество иловых отложений [13].

Процессы сульфатредукции в озерах и водохранилищах рассматривались многими исследователями [3—5, 9, 11, 12, 14—17, 20 и др.]. Выяснялось содержание сульфатредуцирующих бактерий в воде и грунтах: в грунтах Горьковского водохранилища, например, на некоторых станциях оно достигало 1,8 млн. кл/г [10]. Однако сама по себе численность бактерий еще не дает полной характеристики интенсивности процесса. Поэтому выяснялось накопление сероводорода в грунтах ряда водохранилищ. В Рыбинском, например, его содержание достигало 900 (в среднем 200) мг/л [15]. Доказано, что в иловых отложениях Рыбинского и Горьковского водохранилищ процесс восстановления сульфатов до сероводорода идет достаточно энергично даже при сравнительно низком содержании сульфатов в воде [11, 12]. В Куйбышевском, богатом сульфатами, сульфатредукция протекает еще более интенсивно (до 2000 мгS<sup>2-</sup>/л) и оказывает отрицательное влияние на формирование его биологического и химического режима [18].

Вопрос об образовании сульфидов в грунтах прудов изучен слабо. Особый интерес представляет выяснение мало освещенного в известной нам литературе вопроса о накоплении сульфидов в удобряемых прудах.

Для рыбоводных прудов при небольшой их площади микробные процессы образования сероводорода, приводящие к изменению кислородного режима, имеют особенно важное значение. Показано [7, 8],

что в зоне внесения удобрений бурными темпами идут бактериальные процессы сульфатредукции и быстро снижается содержание кислорода. В растительной массе численность сульфатредуцирующих бактерий достигала 1 млн. кл/г ила, однако на этом уровне она сохранялась недолго (двое или более суток) и затем быстро снижалась, происходило восстановление нормального кислородного режима.

Интенсивность процесса сульфатредукции возрастает при снабжении прудов водой, богатой сульфатами, а также при внесении органических удобрений. На примере прудовых хозяйств Краснодарского края показана прямая зависимость численности сульфатредуцирующих бактерий от содержания органического вещества в воде и илах, от общей минерализации и количества сульфатов в воде [8]. В одном из хозяйств численность этих бактерий достигала огромных величин: 10 000—1000 000 кл/г грунта.

При внесении минеральных удобрений в пруды рыбхоза «Якоть» (Московская обл.) численность сульфатредуцирующих бактерий возрастает до 2300 кл/мл ила [1].

В связи с высоким содержанием сульфатов в воде исследуемых нами прудов рыбхоза «Карамет-Нияз» и в Каракумском канале (251—276 мг/л) можно было предположить, что здесь также имеют место процессы сульфатредукции и накопления сульфидов в грунтах. Этому могли способствовать внесение удобрений, довольно высокая общая минерализация воды (716—848 мг/л) и высокая первичная продукция фитопланктона (8—12 г  $O_2/m^2$ ).

Под наблюдением в 1967 г. находилось девять объектов. Каракумский канал и Головной пруд рассматривали как источники водоснабжения рыбоводных прудов. Пруды № 12 и 13 не удобрялись, в одном (№ 13) выращивали белого и пестрого толстолобика, в другом (№ 12) — белого толстолобика в сочетании с белым амуром, подкармливаемым люцерной. В пруды № 1, 3 и 5 вносили минеральные удобрения: аммиачную селитру и суперфосфат. Первые два были зарыблены белым и пестрым толстолобиком, № 5 — белым амуром и белым толстолобиком. И, наконец, в пруды № 2 и 4 вносили комплексное минеральное удобрение и органическое — навоз. Первый был зарыблен белым и пестрым толстолобиком, второй — белым амуром и белым толстолобиком. (Более подробные сведения о зарыблении и удобрении этих прудов приводились нами ранее [2].)

Численность сульфатредуцирующих бактерий в грунтах мы определяли (табл. 1) методом посева разведений на среду Сорокина—Кравцова высоким столбиком [6]. Параллельно выясняли накопление сульфидов по методике Ю. И. Сорокина [19] — табл. 2.

Анализы показали, что в Каракумском канале общее содержание сероводорода и сульфидов в грунтах невелико: 104—200 мг  $S''/л$ . Количество сульфатредуцирующих бактерий находилось в пределах 100—1500 кл/г сырого грунта. В незарыбленном отстойном Головном пруду содержание сульфидов в грунтах сравнительно невелико и колеблется от весны к осени в пределах 116—463 мг/л, численность сульфатредуцирующих бактерий — от 3 до 60 тыс. кл/г.

Большая масса отмершей водной растительности (урути колосистой) создала запасы органического вещества в грунтах Головного пруда, что, видимо, стимулировало развитие сульфатредуцирующих бактерий в летние месяцы. Однако при этом интенсивность накопления сероводорода в грунтах была небольшой, вероятно, в связи с проточностью воды в пруду.

В двух рыбоводных неудобряемых прудах № 13 и 12 низкие величины содержания сульфидов в грунтах отмечались только в начале

Таблица 1

Численность сульфатредуцирующих бактерий (кл/г сырого грунта) в грунтах прудов рыбхоза «Карамет-Нияз» и в Каракумском канале (1967 г.)

Месяцы	Станции	Каракум-ский канал	Пруды							
			Головной	№ 13	№ 12	№ 3	№ 1	№ 5	№ 2	№ 4
Май	1	200	3600	1000	20000	400	18000		4000	9000
	2	200	4700	1000	1000	800	10000	68000	5000	18000
	3			1000	1000	500	2400	86000	8000	10000
Июнь	1	100	4000			2000	2500	6200		
	2	100	10000			3000	4300	5000		
	3					1000	2000	4500		
Июль—август	1	—	60000	14000	37000	90000	35000	4000	21000	120000
	2	10	19000	24000	26000	140000	25000	2200	26000	8000
	3			26000	6000	140000	3000	3000	29000	1000
Октябрь	1	500	5000	2000	34000	2000	85000	100000	13000	80000
	2	1500	3000	1000	1000	500	110000	20000	13000	13000
	3			1500	4000	500	100000	100000	1000	15000

Таблица 2

Содержание  $H_2S$  и сульфидов (мг/л) в грунтах прудов рыбхоза «Карамет-Нияз» и Каракумском канале

Месяцы	Станции	Каракум-ский канал	Пруды							
			Головной	№ 13	№ 12	№ 3	№ 1	№ 5	№ 2	№ 4
Май	1	87	116	100	116	641	890	1510	643	689
	2	90	387	77	14	1018	1300	1090	665	987
	3			98	21	242	816	1280	866	885
Июнь	1	100	194			800	900	1200		
	2	104	160			740	915	1090		
	3					990	742	490		
Июль—август	1	18	275	593	917	361	2350	390	1324	1434
	2	26	290	339	985	950	1260	865	1560	1321
	3			436	400	970	1040	950	1498	1482
Октябрь	1	130	288	645	816	890	1490	1530	1700	554
	2	196	463	670	642	610	1510	1080	1537	1111
	3			660	1015	600	1530	1250	1386	980

сезона (в среднем 40—100 мг/л), а затем в течение лета их концентрация здесь быстро возрастала и продолжала увеличиваться до конца сезона, достигая 670—1015 мг/л. Численность сульфатредуцирующих бактерий в прудах довольно велика: 1 тыс. кл/г весной и до 26—37 тыс. кл/г — летом, до 1—4 тыс. кл/г осенью.

В пяти различно удобряемых минеральными и органическими веществами прудах № 3, 1, 5, 2 и 4 содержание сульфидов в грунтах было высоким даже в начале сезона (690—1200 мг/л); максимума оно достигало в середине лета или осенью, составляя 1530—2350 мгS"/л. В сезонных изменениях численности сульфатредуцирующих бактерий

в рассматриваемых прудах отмечалась та же закономерность, что и для сульфидов: колебания ее находились в пределах 2400—140 000 кл/г сырого грунта.

В прудах, зарыбленных амуром (№ 12, 5 и 4), в кормушках, где на дне скапливаются остатки зеленого корма (люцерны), численность сульфатредуцирующих бактерий была наибольшей. Однако содержание сероводорода здесь не всегда достигало максимальных величин. Видимо, скапливающаяся в кормушке рыба взмучивает грунт, часть сероводорода при этом быстро растворяется в воде и окисляется.

Таким образом, для прудов рыбхоза «Карамет-Нияз» выявлена высокая интенсивность процесса сульфатредукции, о чем говорят высокие численность сульфатредуцирующих бактерий, а также содержание сульфидов и сероводорода в грунтах. Особенно угрожающее для рыб положение (в смысле заморных явлений) создается в летние и осенние месяцы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В. А. 1967. Разложение органического вещества иловых отложений рыбоводных прудов. Тр. ВНИРО, 15.
2. Богданович О. И. 1970. Динамика численности и биомассы бактерий в грунтах прудов рыбхоза «Карамет-Нияз» и Каракумского канала. «Гидробиол. ж.», 6, 1.
3. Драбкова В. Г. 1966. Окислительно-восстановительный потенциал и распределение бактерий в поверхностном слое ила некоторых озер Карельского перешейка. «Микробиология», 35, 6.
4. Кузнецов С. И. 1942. Круговорот серы в озерах. «Микробиология», 11, 5—6.
5. Его же. 1952. Роль микроорганизмов в круговороте вещества в озерах. Изд-во АН СССР, М.
6. Кузнецов С. И., Романенко В. И. 1963. Микробиологическое изучение внутренних водоемов. Лаб. рук-во, Изд-во АН СССР, М.—Л.
7. Родина А. Г. 1959. Микробиологические исследования прудов рыбцово-шемайного питомника. (Итоги работ 1951—1953 гг.). Тр. ЗИН АН СССР, 26.
8. Родина А. Г., Романова А. П. 1954. Микробные процессы образования  $H_2S$  в рыбоводных прудах при зеленом удобрении. «Вопр. ихтиол.», 2.
9. Салманов М. А. 1959. Сравнительное изучение микробиологических процессов при формировании Куйбышевского и Мингечаурского водохранилищ. Автореф. дисс., Баку.
10. Соколова Г. А. 1957. Изучение микробиологических процессов в Горьковском водохранилище в первый год его существования. Дипл. раб. ИБВВ АН СССР и каф. микробиол. МГУ.
11. Соколова Г. А., Сорокин Ю. И. 1957. Бактериальное восстановление сульфатов в илах Рыбинского водохранилища. «Микробиология», 25, 2.
12. Их же. 1958. Определение интенсивности бактериального восстановления сульфатов в грунтах Горьковского водохранилища с применением  $S^{35}$ . ДАН СССР, 118, 2.
13. Сорокин Ю. И. 1953. Изучение хемосинтеза у сульфатвосстанавливающих бактерий. Автореф. дисс., М.
14. Его же. 1954. Химизм водной редукции сульфатов. «Тр. Ин-та микробиол. АН СССР», 2.
15. Его же. 1958. Процесс образования сероводорода в волжских водохранилищах и его влияние на кислородный режим. «Тез. докл. Всесоюз. совещ. по вопр. рыбохоз. освоен. водохр.», Л.
16. Его же. 1958. Микрофлора и химический состав грунтов Рыбинского водохранилища. «Тр. биол. ст. «Борок» АН СССР», 3.
17. Его же. 1959. Биомасса бактерий и химический состав грунтов Рыбинского водохранилища. «Бюлл. Ин-та биол. водохр.», 4.
18. Его же. 1960. Бактериальное восстановление сульфатов в Куйбышевском водохранилище. Тр. ИБВВ, 3(6), Изд-во АН СССР, М.—Л.
19. Его же. 1960. О методике определения сероводорода и сульфидов в иловых отложениях. Бюлл. ИБВВ, 6.
20. Стурис Т. Э. 1965. Исследование микрофлоры сапропелевых грязей озер Каниерис и Бабитес. Автореф. дисс., Рига.
21. Ohle W. 1954. Sulfat als «Katalisator» des limniscen Stoffkreislaufes. «Vom Wasser», 21.

Поступила 2.IV 1971 г.