

Влияние температуры на развитие сульфатредуцирующих бактерий в экспериментальных и полевых условиях в зимний период

Е. А. СОКОЛОВА

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок
E-mail: sokol@ibiw.yaroslavl.ru*

АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние температуры на численность и активность сульфатредуцирующих бактерий в экспериментальных и полевых условиях в зимний период 1988 г. на Рыбинском водохранилище.

Ключевые слова: сульфатредуцирующие бактерии, скорость сульфатредукции, влияние температуры.

Температура – один из важнейших экологических факторов, оказывающих влияние на рост микроорганизмов. Известно, что на основе температурного диапазона роста бактерий делят на 3 группы: термофилы, растущие при высокой температуре (выше 55 °С), мезофилы, растущие в среднем диапазоне (от 20 до 45 °С), и психрофилы, хорошо растущие в пределах от -10 до +20 °С [1]. Сульфатредуцирующие бактерии способны развиваться при широком интервале температур: по данным одних авторов – от +2 до +80 °С [2], по другим сведениям – от 0 до +110 °С [3]. В последнее время описаны новые психрофильные и психотолерантные сульфатредуцирующие бактерии [4, 5]. Изучать воздействие температуры в водоемах сложно из-за меняющихся биотических и абиотических факторов окружающей среды, большинство из которых не поддается контролю. Водоемы умеренных широт 5–6 мес. покрыты льдом. Исследования в зимний период трудоемки, поэтому их недостаточно. Цель настоящей работы – изучение влияния тем-

пературы на численность и активность сульфатредуцирующих бактерий в экспериментальных и полевых условиях в подледный период.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили с пробами ила, взятыми на разных станциях Рыбинского водохранилища (Молога, Наволок, Средний Двор, Брейтово) в феврале, марте и мае 1988 г. Донные отложения отбирали трубчатым стратометром. Численность сульфатредуцирующих бактерий определяли методом предельных разведений на агаризованной среде Постгейта “В”, скорость процесса сульфатредукции – радиоизотопным методом с $\text{Na}_2^{35}\text{SO}_4$. Методика определения подробно описана в руководстве и в наших работах [6–8]. Температурный оптимум развития сульфатредуцирующих бактерий находили с использованием политермостата, сконструированного В. И. Романенко, с дробным градиентом температур [9, 10]. Ил для опыта брали из одной пробы, имеющей одинаковое со-

Соколова Евгения Александровна

держание сульфатов, органического вещества и сходные окислительно-восстановительные условия. Пробирки с посевами сульфатредуцирующих бактерий и пенициллиновые склянки с пробами ила и 1 мл $\text{Na}_2^{35}\text{SO}_4$ помещали в ячейки политермостата, инкубировали при разных температурах (14, 18, 23, 27, 35 °С), а затем определяли численность и активность сульфатредуцирующих бактерий. Температуру 0,1 °С устанавливали в климат-камере, 3, 7 и 8 °С – в холодильнике. Кроме того, пробирки с посевами инкубировали при комнатной температуре (20 °С) и при температуре водоема (0,1 °С – в феврале и марте и 8 °С – в мае). В феврале, марте, мае, июле и сентябре того же года определяли активность сульфатредуцирующих бактерий *in situ*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рыбинское водохранилище – это крупный озеровидный водоем, площадь которого при НПУ 4,55 тыс. км², объем – 25,4 км³, средняя глубина – 5,6 м [11]. Пробирки с посевами ила, взятого на разных станциях

водохранилища в феврале, марте и мае, выдерживали при комнатной температуре и при температуре водоема. Оказалось, что количество психрофильных бактерий, выросших на среде Постгейта “В” при 0,1 °С, – 0–5,0, при 8 °С – 0,5–25,0 тыс. кл./г, что существенно меньше, чем численность мезофильных бактерий, учтенных при 20 °С, – 50–300 тыс. кл./г. И только на станции Наволок количество психро- и мезофильных сульфатредуцирующих бактерий в марте было одинаковым (табл. 1).

В иловых отложениях, отобранных в марте, определяли численность лактатиспользующих сульфатредуцирующих бактерий в диапазоне температур от 0,1 до 30 °С (табл. 2). На станциях Наволок и Брейтово количество психрофильных (при 0,1–12 °С) и мезофильных бактерий (при 25–30 °С) было одинаковым – 5 тыс. кл./г. На станциях Молога и Средний Двор, как и в первом опыте, преобладали мезофильные формы сульфатредуцирующих бактерий. Их численность при 25–30 °С составляла 50–250 тыс. кл./г, а количество психрофильных бактерий – 0,5–85,0 тыс. кл./г.

Т а б л и ц а 1

Влияние температуры на численность сульфатредуцирующих бактерий, тыс. кл./г

Станция	Температура, °С					
	0,1		20		8	
	Февраль		Март		Май	
Молога	0,2	12,5	0,5	200,0	1,0	300,0
Наволок	0,1	0,5	5,0	5,0	25,0	75,0
Средний Двор	0,1	3,3	0,5	50,0	0,5	2,5
Брейтово	0,7	5,0	0	5,0	–	50,0

Примечание. Прочерк – не определяли.

Т а б л и ц а 2

Численность сульфатредуцирующих бактерий в марте при разных температурах, тыс. кл./г

Температура, °С	Молога	Наволок	Средний Двор	Брейтово
0,1	0,5	5,0	0,5	0
3	85,0	0	3,0	5,0
7	7,5	0,5	1,5	0
12	80,0	2,3	15,0	5,0
25	200,0	5,0	50,0	5,0
30	250,0	5,0	10,0	1,0

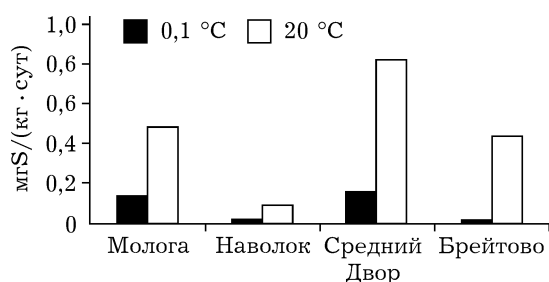


Рис. 1. Влияние температуры на скорость процесса сульфатредукции

В пробах, взятых в феврале, определяли скорость процесса сульфатредукции при комнатной температуре и при температуре воды в водоеме. При 20 °С скорость восстановления сульфатов в 3–20 раз (при средней величине 6 раз) выше, чем при 0,1 °С (рис. 1). Вероятно, в подледный период в иловых отложениях присутствовали психрофильные и психотолерантные, а также мезофильные формы сульфатредуцирующих бактерий. При благоприятных температурных условиях начинали развиваться мезофильные бактерии, которые оказывались более конкурентоспособными по своей активности по сравнению с психрофильными.

С использованием политермостата определяли температурный оптимум для скорости процесса сульфатредукции природного сообщества сульфатредуцирующих бактерий в пробах ила, отобранных в марте на станции Средний Двор. Бактерии восстанавливали сульфаты во всем изученном интервале температур – от 0,1 до 35 °С (рис. 2). С максимальной скоростью процесс сульфатредукции у психрофильных бактерий протекал при 14 °С, а у мезофильных – при 27–35 °С. Таким образом, естественная температура воды в водоемах умеренных широт является одним из главнейших экологических факторов,

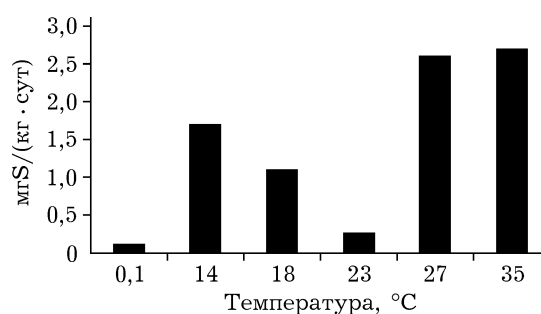


Рис. 2. Температурный оптимум активности сульфатредуцирующих бактерий

снижающих активность бактериальных сообществ [9, 12]. Разница между потенциальной скоростью сульфатредукции при оптимальной температуре и реальным процессом при температуре в естественных условиях достигала в подледный период более 90 %. Полученные нами данные хорошо согласуются с результатами Ингворсена и соавт. [13], изучающих влияние температуры на скорость редукции сульфатов в пробах ила из оз. Мендота. Температурный оптимум для восстановления сульфатов находился около 37 °С, что значительно превышало максимальную летнюю температуру 13 °С. В донных осадках оз. Байкал при одинаковых условиях по содержанию органического вещества и типу донных осадков в прибрежных районах с температурой 20–25 °С скорость сульфатредукции была выше, чем при 6–10 °С [14].

Экспериментальные данные подтверждаются результатами, полученными нами для Рыбинского водохранилища в феврале – сентябре того же года в полевых условиях, которые показали, что процесс сульфатредукции не приостанавливался зимой, но максимальным был летом (1,8 мгS/(кг · сут)) при более высокой температуре (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Скорость процесса восстановления сульфатов в Рыбинском водохранилище в разные месяцы, мг S/(кг · сут)

Месяц	Температура, °С	Молога	Наволок	Средний Двор	Брейтово
II	0,1	0,14	0,02	0,15	0,02
III	0,1	0,14	0,30	0,14	0,45
V	8	0,39	0,17	–	0,14
VII	19	–	–	1,82	1,81
IX	15	–	–	0,80	0,82

П р и м е ч а н и е. Прочерк – не определяли.

Расход органического углерода в процессе сульфатредукции в Рыбинском водохранилище

Станция	Расход $C_{\text{орг}}$, мгС/(кг · сут)				
	Февраль	Март	Май	Июль	Сентябрь
Молога	0,11	0,11	0,29	–	–
Наволоок	0,01	0,23	0,13	–	–
Средний Двор	0,11	0,10	–	1,36	0,60
Брейтово	0,02	0,34	0,10	1,37	0,60

Важное экологическое значение сульфатредукторов связано с их участием в процессе деструкции органического вещества. Результаты определения скорости микробных процессов в донных осадках и балансовые уравнения потребления веществ микроорганизмами дают возможность рассчитать количество $C_{\text{орг}}$, использованного бактериями [15]. По нашим результатам, вклад сульфатредуцирующих бактерий в процесс разложения органического вещества в подледный период на порядок меньше, чем летом (табл. 4).

Наши исследования позволили рассчитать, что между скоростью сульфатредукции и температурой воды существует достоверная, но слабая корреляционная связь ($k = 0,41$ при $p < 0,05$) [8]. Выявить влияние температуры на развитие бактерий в условиях естественного водоема сложно, так как температура оказывает воздействие на все звенья трофической сети. Повышение температуры приводит к увеличению фотосинтетической деятельности фитопланктона и к увеличению скоростей всех процессов, протекающих в водоеме. Это способствует обогащению водоема органическим веществом, что, вероятно, оказывает большее влияние на скорость сульфатредукции, чем температура [16]. Однако коэффициент корреляции между температурой и скоростью процесса сульфатредукции в условиях эксперимента в одинаковых пробах ила, инкубированных при разных температурах, был значительно выше – 0,87.

ВЫВОДЫ

1. В зимний период в иловых отложениях присутствовали психрофильные (и психотолерантные) и мезофильные формы сульфат-

редуцирующих бактерий. Количество мезофильных бактерий в большинстве случаев выше, чем психрофильных.

2. Скорость сульфатредукции при температуре водоема (0,1 °С) в среднем в 6 раз меньше, чем при комнатной температуре (20 °С).

3. В изученном диапазоне температур на одной из станций Рыбинского водохранилища в марте восстановление сульфатов происходило с наибольшей скоростью у психрофильных сульфатредуцирующих бактерий при 14 °С, у мезофильных – при 27–35 °С.

4. Исследование сезонной динамики активности сульфатредукции *in situ* показало, что с максимальной скоростью процесс сульфатредукции протекал в летний период. Вклад сульфатредуцирующих бактерий в деструкцию органического вещества на порядок выше летом, чем зимой.

5. Коэффициент корреляции между температурой и скоростью сульфатредукции в экспериментальных условиях $k = 0,87$ при $p < 0,05$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стейниер Р., Эдельберг Э., Ингрэм Дж. Мир микробов. М., 1979. Т. 2. С. 78–83.
2. Баас-Бекинг Л. Г., Каплан И. Р., Мур Д. Геохимия литогенеза. М., 1963. С. 11–84.
3. Manual of Environmental Microbiology / ed. Christon J. Hurst. Washington: American Society for microbiology Press, 1997. 894 p.
4. Isaksen M., Iorgensen B. Adaptation of psychrophilic and psychrotrophic sulfate-reducing bacteria to permanently cold marine environments // Appl. and Environmental Microbiology Feb. 1996. Vol. 62, N 2. P. 408–414.
5. Sass H., Berchtold M., Branke J. et al. Sulfur bacteria at the oxic-anoxic interface in sediments of the oligotrophic lake Stechlin // System. Appl. Microbiol. 1998. Vol. 21. P. 212–219.

6. Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л., 1974. 194 с.
7. Соколова Е. А. Бактериальная редукция сульфатов в донных отложениях Южного Байкала // Сиб. экол. журн. 2004. № 2. С. 157–160.
8. Соколова Е. А. Распространение сульфатредуцирующих бактерий и их функционирование в донных отложениях континентальных водоемах разного типа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2004. 23 с.
9. Романенко В. И. Температурные оптимумы бактериопланктона в Рыбинском водохранилище в различные сезоны года // Микробиология. 1982. Т. 51, № 5. С. 866–870.
10. Романенко В. И. Политермостат для определения температурного оптимума развития бактерий // Инф. бюл. ИБВВ АН СССР. 1983. № 56. С. 61–63.
11. Экологические проблемы верхней Волги. Ярославль, 2001. 421 с.
12. Романенко В. И. Окисление органического вещества в Рыбинском водохранилище при естественной и оптимальной температуре для развития бактериальных сообществ // Инф. бюл. ИБВВ АН СССР. 1986. № 70. С. 7–9.
13. Ingvorsen K., Zeikus J., Brock T. Dynamics of bacterial sulfate reduction in a eutrophic lake // Appl. Environ. Microbiol. 1981. Vol. 41, N 4. P. 1029–1036.
14. Намсараев Б. Б., Дулов Л. Е., Земская Т. И. и др. Антропогенная активация бактериальной деятельности в донных осадках озера Байкал // Микробиология. 1995. Т. 64, № 3. С. 405–410.
15. Беляев С. С., Лейн А. Ю., Иванов М. В. Роль метаболитов и сульфатредуцирующих бактерий в деструкции органического вещества // Геохимия. 1981. № 3. С. 437–445.
16. Сорокин Ю. И. Содержание сульфидов и скорость их образования в илах Волжских водохранилищ в 1959 г. // Бюл. Ин-та биол. водохранилищ. 1961. № 11. С. 44–48.

Effect of Temperature on Sulfatereducing Bacteria under Experimental and Field Conditions During Winter

E. A. SOKOLOVA

*I. D. Papanin Institute of Inland Water Biology RAS
152742, Borok, Yaroslavl Region, Nekouz district
E-mail: sokol@ibiw.yaroslavl.ru*

The effect of temperature on the number and activity of sulfatereducing bacteria was studied under the experimental and field conditions during the winter of 1988 at the Rybinsk water reservoir.

Key words: sulfatereducing bacteria, rate of sulfate reduction, temperature effect.