

МИКРОБИОЛОГИЯ

Ю. И. СОРОКИН

**БАЛАНС УГЛЕРОДА ПРИ АВТОТРОФНОМ ПИТАНИИ БАКТЕРИЙ,  
ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ СУЛЬФАТЫ  
МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ**

(Представлено академиком А. И. Опариным 11 IV 1953)

Способность бактерий к восстановлению сульфатов молекулярным водородом была открыта впервые Никитинским (1) в 1907 г. В дальнейшем было установлено, что этой способностью обладают некоторые штаммы бактерий, восстанавливающих сульфаты (2, 3). Были представлены также доказательства в пользу того, что эти бактерии могут расти в атмосфере водорода на чисто минеральных средах с карбонатами в качестве единственного источника углерода (4, 5).

Сислер и ЦоБелл (6) провели определение  $\text{CO}_2$ , потребленной в процессе водородной редукции сульфатов в культуре *Vibrio desulfuricans*, и нашли, что при этом  $\text{CO}_2$  частично восстанавливается до метана. Однако в этих работах не было проведено прямых анализов образовавшегося органического вещества, да и последнее наблюдение этих авторов не подтвердилось в наших предварительных опытах, проведенных с чистой культурой *V. desulfuricans*. В связи с этим можно было думать, что Сислер и ЦоБелл работали с культурой *V. desulfuricans*, загрязненной бактериями, которые способны восстанавливать угольную кислоту до метана при помощи молекулярного водорода. Поэтому их данные казались нам не вполне надежными.

Мы провели изучение вопроса об автотрофном питании *V. desulfuricans*, беря за основу не определение поглощения  $\text{CO}_2$ , а определение количества синтезированного клеточного материала, контролируемое определением поглощения  $\text{CO}_2$ . Кроме того, были сделаны определения окисленного при этом водорода, восстановленных сульфатов и образовавшегося сероводорода с тем, чтобы свести баланс этих веществ для получения надежной и полной количественной характеристики процесса водородной сульфатредукции.

Для опытов были взяты чистые культуры *V. desulfuricans*, выделенные из илов оз. Байкал (культура № 4) и оз. Холенур (культура № 7). Опыты проводились в запаянных колбах Вюрца емкостью 0,7—1,3 л.

Бактерии выращивались в атмосфере водорода на минеральной среде следующего состава:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 5 г,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  — 3 г,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  — 4 г,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  — 1 г,  $\text{MgSO}_4$  — 0,1 г,  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  — 0,03 г,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 1 г, соль Мора 0,2 г, вода дистиллированная — 1 л; pH 6,7—6,9.

Количество потребленного водорода учитывалось путем определения величин разрежения в колбах после удаления угольной кислоты и сероводорода из газовой фазы посредством введения в колбу раствора щелочи.

Сульфаты определялись бензидиновым методом, сероводород — иодометрически, органический углерод — мокрым сжиганием хромовой кис-

лотой в приборе Фридмана и Кендаля (7). В этом же приборе определялся и углерод карбонатов.

Результаты опытов приводятся в табл. 1. Представление о степени достоверности определений органического углерода и углерода карбонатов дают данные анализа углерода в опыте № 60, приведенные в табл. 2.

Таблица 1  
Результаты опытов по водородной редукции сульфатов в чистых культурах *Vibrio desulfuricans*

№ опыта	Продолжит. опыта, сутки	Поглощение водорода в см <sup>3</sup> на 100 мл среды	Количество H <sub>2</sub> , пошедшее на образование H <sub>2</sub> S, выч. в см <sup>3</sup> на 100 мл среды	Восстановлено SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> в мг H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> на 100 мл среды	Образовалось H <sub>2</sub> S, в мг на 100 мл среды	H <sub>2</sub> S, образованн. из H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , выч. в мг на 100 мл среды	Синтезировано органич. углерода, в мг на 100 мл среды	Потреблено CO <sub>2</sub> , в мг С на 100 мл среды	Мол. отнош. избытка водорода, не вошедш. в реакцию с H <sub>2</sub> S, к восстановл. углероду*
59	76	90,5	85,8	93,66	32,56	32,49	1,58	1,15	1,9
		92,0	87,1	95,21	33,0	33,03	1,26	1,22	2,1
		107,2	101,1	109,27	38,28	37,82	1,46	1,44	2,2
60	87	65,87	61,57	66,9	23,7	23,2	0,99	1,02	2,3
		59,76	56,76	62,4	21,56	21,6	0,77	0,72	2,3
		64,3	61,57	69,1	23,7	23,9	0,66	0,86	2,2

\* Теоретическое соотношение между количеством CO<sub>2</sub>, восстановленным до C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, и потребленным H<sub>2</sub> по схеме CO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub> = 1/6 C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + H<sub>2</sub>O равно 2.

Таблица 2  
Баланс углерода в опыте № 60 (см. табл. 1)

№ колбы	Колич. посея. материала, в мл на 100 мл среды	Исходные культуры						Культуры в конце опыта							
		С органич.			С карбонатов			С органич.			С карбонатов				
		взято для анализа в мл	пошло на титрование 0,06N HCl	содерж. С в мг на 100 мл культуры	взято для анализа в мл	пошло на титрование 0,06N HCl	содерж. С в мг на 100 мл	взято для анализа в мл	пошло на титрование 0,06N HCl	содерж. С в мг на 100 мл	взято для анализа в мл	пошло на титрование 0,03N HCl	содерж. С в мг на 100 мл	Потреблено С карбонатов в мг С на 100 мл	Синтезировано органич. С в мг на 100 мл
1	1	120	21,7	0,12	50	15,1	6,34	155	18,5	1,11	50	16,5	5,32	1,02	0,99
2	2	140	21,0	0,31	50	15,7	5,90	150	17,7	1,08	50	16,7	5,18	0,72	0,77
3		160	19,8	0,51	50	15,7	5,90	150	17,2	1,20	50	16,9	5,04	0,86	0,66
Холод-стой опыт	5	0	22,2	—	0	23,9	—	0	22,2	—	0	23,9	—	—	—

Из представленных данных можно заключить, что восстановление сульфатов молекулярным водородом в чистых культурах *V. desulfuricans* сопровождается синтезом органических веществ из углерода углекислоты. Это доказывает способность *V. desulfuricans* к автотрофному питанию в определенных условиях и дает возможность отнести его к автотрофным бактериям.

Количество потребленного водорода при водородной редукции сульфатов всегда больше того количества водорода, которое необходимо для восстановления соответствующего количества сульфатов. Избыток окисленного водорода соответствует количеству его, потребному для восстановления CO<sub>2</sub> в процессе хемосинтеза по схеме: CO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub> = 1/6 C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + H<sub>2</sub>O. Отсюда можно заключить, что именно молекуляр-

ный водород, а не водород воды используется для синтеза органического вещества из  $\text{CO}_2$ .

Тот факт, что количество органического углерода, синтезированного при хемосинтезе, соответствует количеству исчезнувшей при этом углекислоты, говорит против способности *V. desulfuricans* восстанавливать  $\text{CO}_2$  до метана в атмосфере водорода. В пользу такого вывода свидетельствуют также данные табл. 1, показывающие, что соотношение избытка потребленного водорода, но вошедшего в реакцию с  $\text{SO}_4$  к восстановленной углекислоте не превышает 2,5, в то время как при образовании метана из углекислоты это отношение равно 4.

Действительно, газовый анализ не обнаружил образования метана в процессе водородной сульфатредукции.

Поступило  
20 II 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. Nikitinski, Zbl. f. Bact., II Abt., 19, 495 (1907). <sup>2</sup> А. Н. Бунеев, А. И. Харитонова, Тр. лаб. гидрогеол. проблем им. Саваренского, 1, 121 (1948). <sup>3</sup> Л. П. Харитонова, Диссертация, 1950. <sup>4</sup> Ю. И. Сорокин, Тр. Ин-та микробиол. АН СССР, 2, 121 (1952). <sup>5</sup> K. R. Butlin, M. E. Adams, Nature, 160, 154 (1947). <sup>6</sup> F. D. Sisler, C. E. Zo Bell, J. of Bact., 62, 117 (1951). <sup>7</sup> T. F. Friedemann, A. Kendall, J. of Biol. Chem., 82, 45 (1929).