

*Химические науки*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИЦЕРИНА  
В КАЧЕСТВЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО  
СУБСТРАТА ПРИ БИОХИМИЧЕСКОЙ  
ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
СТОКОВ С ПОМОЩЬЮ  
СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ  
БАКТЕРИЙ**

Хусаинов М.А., Хлебникова И.В., Динкель В.Г.,  
Топоркова А.В., Хлебникова Т.Д.  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет,  
Уфа, Россия

Согласно российским и европейским нормативам сточные воды должны быть очищены от тяжелых металлов перед сбросом их в канализацию или водоем. Наиболее распространенным методом очистки является осаждение тяжелых металлов в виде нерастворимых сульфидов. Известны процессы очистки, в которых «осадительный» реагент – сероводород получают микробиологически, путём анаэробной сульфатредукции. При достаточном наличии сульфатов и органики в сточной воде не требуется дополнительного добавления реагентов. Однако надо отметить, что экономичность микробиологического процесса удаления тяжелых металлов зависит от природы субстрата, а именно, от степени усвояемости источника углерода. Природа субстрата влияет на скорость восстановления сульфата и, следовательно, на выход сероводорода. В настоящее время исследованы такие субстраты как: масляная кислота, лактат, метанол, этанол, водород, ацетат и другие. Альтернативным к названным субстратам является глицерин - относительно недорогой продукт, образующийся в больших количествах

при изготовлении мыл и моющих средств, при изготовлении биодизеля из рапсового масла.

Некоторые СВБ (*Desulfovibrio baarsii*, *Desulfovibrio sp.*, *Desulfomicrobium sp.*, *Desulfotomaculum sp.*) способны использовать глицерин в качестве углеводородного субстрата в то время как другие СВБ, такие как *Desulfovibrio salexigens* и *Desulfovibrio carbinolicus*, на глицерине не растут.

Целью данной работы является изучение процесса анаэробной деградации глицерина консорциумом СВБ в ферментере периодического действия, исследование влияния различных технологических факторов, таких как концентрация питательных веществ, значение pH и температуры, на процесс деградации глицерина и образования биосульфида.

Исследование анаэробного роста СВБ на глицерине проводилось в девяти сериях опытов *RI - RIX* (см. табл. 1). С целью определения удельной скорости роста СВБ в зависимости от концентрации глицерина  $C_{GI}$  и температуры, в каждой серии опытов засеивались до 9 ферментеров. Каждая серия опытов отличались друг от друга условиями ферментации: температурой, степенью разбавления и начальной концентрацией сероводорода. Состав базовой питательной среды UniDe4 для анаэробного культивирования и хранения консорциума включал в [г/л]:  $KH_2PO_4$  - 0,5;  $NH_4Cl$  - 1,0;  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  - 0,1;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  - 0,1;  $Na_2SO_4$  - 3,2. Содержание глицерина варьировали в пределах от 0,25 мл/л до 4,0 мл/л. Для подготовки питательной среды UniDe4 использовался глицерин фармацевтического качества (99,5%). Питательная среда UniDe4 готовилась на водопроводной воде без добавления микроэлементов.

**Таблица 1.** Удельная скорость роста СВБ в опытах по культивированию

серия опытов	<i>RI</i>	<i>RII</i>	<i>RIV</i>	<i>RV</i>	<i>RVI</i>	<i>RVII</i>	<i>RVIII</i>	<i>RIX</i>
Температура, t [°C]	28	22	27	27	27	21-22	30	21-22
степень разбавления, $V_{Impf}/V_{NM}$	1:5	1:17	1:9	1:9	1:9	1:9	1:9	1:1
начальная концентрация $H_2S$ , $C(H_2S)_0$ [мг/л]	25	12	58	28	51	34	30	174
начальная концентрация глицерина, $C(GI)_0$ [мл/л]	$\mu$ [d <sup>-1</sup> ]							
0,15	-	-	0,06	-	0,055	0,07	0,36	-
0,25	-	0,05	0,21	-	-	-	-	-
0,50	-	0,06	0,3	-	-	0,20	-	-
1,00	0,60	0,07	0,43	0,19	0,15	0,245	0,70	0,1
1,50	0,64	-	-	-	-	-	-	-
2,00	0,68	0,006	0,40	-	-	0,07	0,74	-
3,00	0,11	HP	0,16	0,16	0,09	0,07	-	-
4,00	HP	HP	0,09	0,05	0,09	HP	0,25	-
время удвоения, $t_d$ [d]	1,0	9,9	1,6	3,6	4,6	2,8	1,0	6,9

Установлено, что удельная скорость роста СВБ имеет в зависимости от концентрации глицерина выраженный максимум. Это связано с тем, что, начиная с концентрации глицерина 1,5 мл/л, происходит сдвиг значения pH из оптимальной области роста в область ингибирования за счёт образования органических кислот. При повышении температуры расширяется оптимальный диапазон концентраций глицерина соответствующий максимальной удельной скорости роста СВБ. Начальная концентрация глицерина более 3 мл/л приводит в ферментационных системах закрытого типа без принятия специальных мер к полной остановке ферментации.

Степень разбавления накопительной культуры  $V_{Imp}/V_{NM}$  не должна превышать 1:9, в противном

случае, процесс роста СВБ становится нестабильным. Ингибирование роста СВБ за счёт недиссоциированного сероводорода начинается с 70 мг/л.

Повышение температуры культивирования СВБ от 20°C на 8°C ведет к удвоению скорости роста биомассы. Энергия активации при этом составляет  $E_a = 94,655$  kJ/mol.

Максимальная удельная скорость роста СВБ находится в диапазоне от 0,4 до 1,2 молярного соотношения  $C_{Gl}/C_{SO_4}$ .

В исследуемой системе не обнаружен метан, что свидетельствует о том, что СВБ в заданной системе выигрывают у метаногенных бактерий конкуренцию за источники углерода и энергии.

### Биологические науки

#### ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ КАПИЛЛЯРНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Маркина В.М., Ярован Н.И., Александрова Н.Е.  
ФГОУ «Орловский Государственный Аграрный Университет»,  
Орел, Россия

За последние 50 лет население Земли удвоилось, а площадь зерновых культур на душу населения уменьшилась вдвое (от 0,25 до 0,10 га). Эти цифры сводят на нет наши надежды компенсировать потери за счет освоения новых территорий, т.е. использование экстенсивных методов ведения сельского хозяйства. Нам нужно нау-

читься разумно использовать те ресурсы, то природное богатство, которое уже имеется в нашем распоряжении. А для этого надо в корне изменить отношение к почве, к оценке ее роли в биосферных процессах и системе жизнеобеспечения человека.

Недостаток или избыток микроэлементов в почве может вызвать не только снижение урожая, но и проявление ряда заболеваний сельскохозяйственных культур и, как следствие, заболеваний животных и человека. Для оптимизации питания растений применяют минеральные и органические удобрения, которые содержат весь набор микроэлементов в соотношениях, обеспечивающих сбалансированное их питание.

Таблица 1. Содержание катионов в почвенных вытяжках

№ поля	Микроэлемент	Содержание микроэлементов по Мачигину мг/кг	Градации обеспеченности, мг/кг почвы (средняя)
1	Cu	2,5±0,5	2,1-4,0
	Mn	2,4±0,6	25-60
	Co	0,2±0,01	1,0-2,3
	Zn	0,1±0,01	0,8-2,0
2	Cu	2,4±0,3	2,1-4,0
	Mn	2,5±0,3	25-60
	Co	0,3±0,01	1,0-2,3
	Zn	0,7±0,01	0,8-2,0
3	Cu	2,4±0,3	2,1-4,0
	Mn	2,7±0,4	25-60
	Co	0,3±0,01	1,0-2,3
	Zn	0,7±0,01	0,8-2,0
4	Cu	2,7±0,3	2,1-4,0
	Mn	2,9±0,4	25-60
	Co	0,3±0,01	1,0-2,3
	Zn	0,7±0,02	0,8-2,0
5	Cu	2,4±0,3	2,1-4,0
	Mn	2,5±0,3	25-60
	Co	0,3±0,21	1,0-2,3
	Zn	0,7±0,02	0,8-2,0