**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

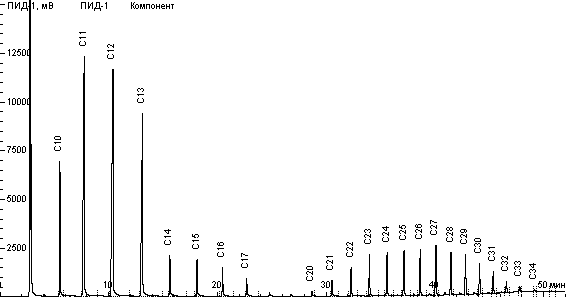
**КАТАБОЛИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И СУРФАКТАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ГАЛОТОЛЕРАНТНЫХ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ**

**© 2021 г. А. Е. Иванова\*, И. А. Борзенков, Д. Ш. Соколова**

*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва,*

*119071 Россия*

\*e-[mail: a.e.ivanova@mail.ru](mailto:a.e.ivanova@mail.ru) Поступила в редакцию: 24.11.2020 г. После исправления: 27.02.2021 г. Принята к опубликованию: 02.03.2021 г.



**Рис. S1**. Хроматограмма исходной модельной смеси № 1, состоящей из C10–C33 *н*-алканов.

4

(a) (б)

3 3

2 2

OD600

OD600

1 1

0 0

0 2 4 6 8 10

NaCl, %

0 2 4 6 8 10 12 14

NaCl, %

3

4 (в) (г)

3 2

OD600

OD600

2

1

1

0 0

0 2 4 6 8 10 12 14

NaCl, %

0 2 4 6 8

NaCl, %

2 (д)

1

OD600

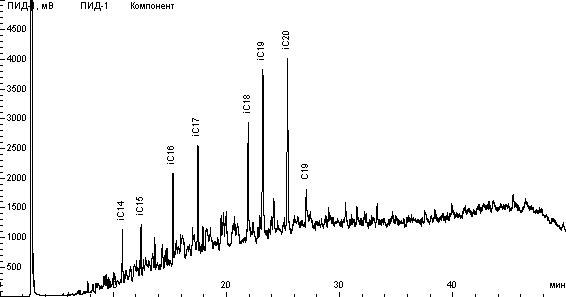
0

0 2 4 6 8 10 12 14

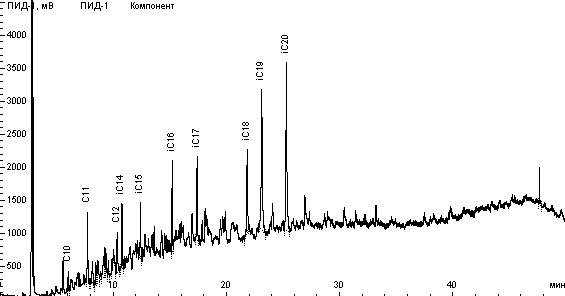
NaCl, %

**Рис. S2.** Влияние содержания хлорида натрия в среде с жидкими парафинами на рост штаммов (OD600) *A. seifertii* WS-1 (а), *D. maris* 367-2 (б), *G. cholesterolivorans* S-12 (в), *R. qingshengii* 367-6 (г) и *P. extremaustralis* WS-1 (д)*.* Условия культивирования: 2 сут (*A. seifertii* WS-1) и 5 сут (остальные штаммы) в статических условиях при температуре 30°С и начальном рН 7.0.

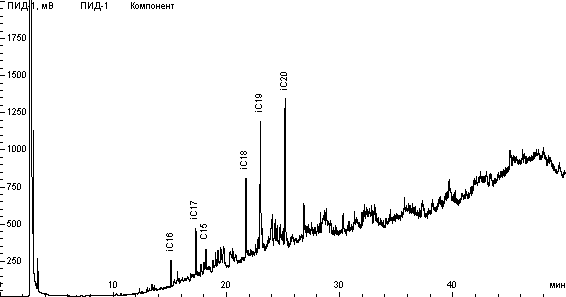
(а)



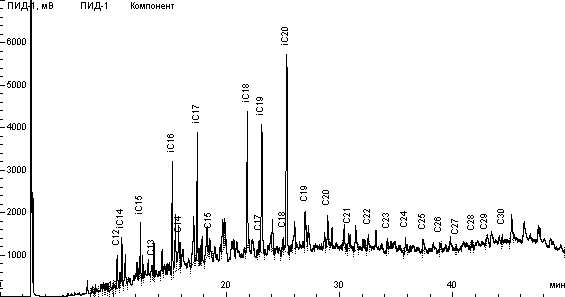
(б)



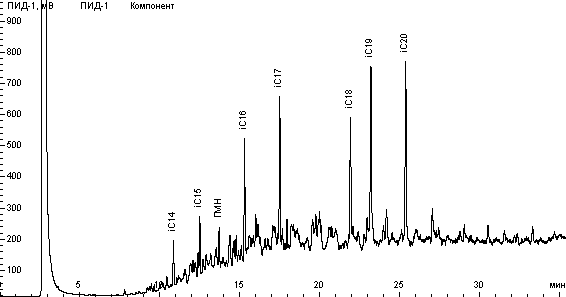
(в)



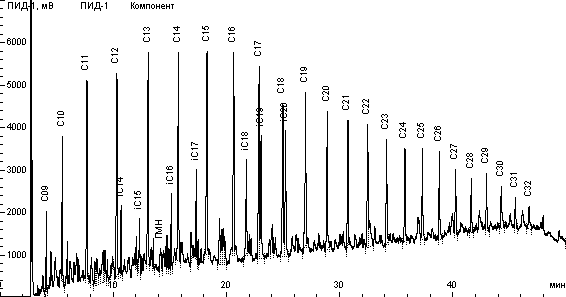
(г)



(д)



(е)



**Рис. S3.** Хроматографический профиль алифатической фракции нефти МНПЗ в культурах *R. qingshengii* 367-6 (а), *A. seifertii* WS-1 (б), *D. maris* 367-2 (в), *P. extremaustralis* WS-1 (г), *G. cholesterolivorans* S-12 (д) и стерильном контроле (е) после инкубации на качалке (130 об./мин) при 30°С в течение 5 сут. Обозначения: С10–C32 – *н*-алканы, *i*C14–*i*C20 – *изо*- алканы, ГМН – гептаметилнонан.

**Таблица S1**. Состав модельных смесей углеводородов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Соединение | С10 | С11 | С12 | С13 | С14 | С15 | С16 | ГМН | C17 | С21 | С22 | C23 |
| Содержание,  % |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Смесь № 1 | 6.13 | 19.34 | 22.30 | 17.31 | 2.64 | 2.32 | 1.84 |  | 1.21 | 0.97 | 1.79 | 2.56 |
| Смесь № 2 |  |  | 34.2 |  |  |  |  | 33.5 | 32.3 |  |  |  |
| Смесь № 3 | 3.4 | 12.2 | 17.6 | 22.5 | 14.1 | 6.5 | 2.4 |  | 1.0 |  |  |  |

Продолжение таблицы S1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Соединение | С24 | С25 | С26 | С27 | С28 | C29 | С30 | C31 | C32 | C33 | Сквалан |
| Содержание,  % |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Смесь № 1 | 2.80 | 3.01 | 2.99 | 3.03 | 2.76 | 2.46 | 1.88 | 1.42 | 0.79 | 0.44 |  |
| Смесь № 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 20.2 |

Примечание. С10–С33 – *н*-алканы, ГМН – гептаметилнонан.

**Таблица S2**. Влияние источника углерода на рост углеводородокисляющих бактерий

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Грамот | Рост (OD600) бактериального штамма  рицательные Грамположительные | | | |  |
|  |  | |  |  | |  |
| Субстрат | *A.*  *seifertii*  WS-1 | *P.*  *extremaustralis*  WS-1 | *R.*  *qingshengii*  367-6 | | *G.*  *cholestorolivorans*  S12 | *D.*  *maris*  367-2 |
| Ацетат | 1.98 | 0.42 | 1.80 |  | 2.34 | 1.82 |
| Пропионат | 1.72 | 0.55 | 1.45 |  | 1.82 | 1.63 |
| Бутират | 1.80 | 0.48 | 1.36 |  | 1.92 | 1.55 |
| Бензоат | 2.46 |  | 0.76 |  |  | 2.10 |
| Глицерин | 1.85 | 0.78 | 2.90 |  | 0.58 | 0.68 |
| *н*-Гексан | ‒ | ‒ | ‒ |  | ‒ | ‒ |
| *н*-Гексадекан | 1.86 |  | 2.60 |  | 2.40 | 1.66 |
| Метанол | ‒ | ‒ | ‒ |  | ‒ | ‒ |
| Этанол | 3.12 |  | 3.40 |  | 2.85 | 2.40 |
| Сквалан |  | 0.16 |  |  | 0.38 |  |
| ГМН | ‒ | ‒ | ‒ |  | ‒ | ‒ |
| Вазелиновое  масло | 2.64 | 0.45 | 2.71 |  | 2.67 | 2.05 |
| Диэтиленгликоль | ‒ | ‒ | ‒ |  | ‒ | ‒ |
| Без источника  углерода | 0.03 | 0.02 | 0.04 |  | 0.03 | 0.02 |

Примечание. ”‒“ – отсутствие роста штамма после 12–15 сут культивирования со

скваланом или гептаметилнонаном (ГМН) и после 7 сут культивирования с остальными субстратами.

**Таблица S3**. Влияние температуры инкубации и начального рН среды на рост

углеводородокисляющих бактерий\*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *A. seifertii* | *P.* | Бактериальный штамм  *R. qingshengii* | | | *G.* | *D. maris* |
| Параметр | WS-1 | *exsremaustralis*  WS-1 | | 367-6 | *cholesterolivorans*  S12 | | 367-2 |
| Диапазон  температуры для роста (оптимальное значение параметра), ºС | 6–41 (28) | 6–37 (25–28) |  | 6–37 (28) |  | 10–37 (30) | 6–37 (28) |
| Диапазон  (оптимальное значение) начального рН, допускающего рост | 4.2–10.9 (6.6) | 4.5–9.5 (7.4–7.6) |  | 4.8–10.9 (8.4) |  | 4.0–8.7 (6.6–6.8) | 6.5–11.5 (8.5) |

\*Бактерии культивировали в жидкой минеральной среде с углеводородами (жидкие

парафины – для определения влияния начального рН среды и *н*-додекан –для определения температурного диапазона роста) в статических условиях в течение 2 сут (*A. seifertii* WS-

1) и 5 сут (остальные штаммы).

**Таблица S4.** Влияние источника углерода на рост и образование углеводородокисляющими бактериями поверхностно-активных соединений после

инкубации\* при 30°С в статических условиях

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Штамм, субстрат | Рост  (OD ) | Реологические характеристики культуральных  жидкостей с клетками бактерий | | |
| ПН,  мН/м | МН,  мН/м | Е ,  % |
| *Ac. seifertii* WS-1 | | | | |
| Фенол  Сквалан | 1.540  0.236 | 51.2 ± 0.4  27.2 ± 0.1 | 22.7 ± 0.4  2.2 ± 0.1 | 20 ± 0.4  5 ± 0.1 |
| *P. extremaustralis* WS-1 | | | | |
| Этанол  Бензоат | 0.706  0.527 | 59.5 ± 0.2  44.0 ± 0.3 | 22.0 ± 0.2  19.5 ± 2.0 | 50 ± 2.5  50 ± 2.0 |
| *R. qingshengii* 367-6 | | | | |
| Фенол  Оливковое масло  Сквалан | 0.755  0.559  0.290 | 52.0 ± 0.4  28.9 ± 0.2  35.3 ± 0.1 | 24.3 ± 0.3  2.0 ± 0.2  12.9 ± 0.6 | 0  0  0 |
| *G. cholesterolivоrans* S12 | | | | |
| Бензоат  Фенол  Оливковое масло | 0.925  0.793  0.427 | 59.8 ± 0.2  48.8 ± 0.2  49.1 ± 0.4 | 4.0 ± 0.2  5.0 ± 0.2  8.2 ± 0.1 | 50 ± 2.3  30 ± 0.4  10 ± 0.2 |
| *D. maris* 367-2 | | | | |
| Фенол  Оливковое масло  Сквалан | 0.512  1.617  0.341 | 43.8 ± 0.5  34.8 ± 0.3  28 ± 0.2 | 25.0 ± 2.5  8.2 ± 0.2  2.0 ± 0.1 | 5 ± 0.3  0  0 |
| Контроль без микроорганизмов | | | | |
| Этанол |  | 54.2 ± 0.1 | 26.0 ± 1.6 | 0 |
| Бензоат |  | 52.2 ± 0.3 | 24.8 ± 0.4 | 0 |
| Фенол |  | 59.8 ± 0.2 | 25.3 ± 0.6 | 0 |
| Сквалан |  | 48. ± 0.2 | 22.2 ± 0.3 | 0 |
| Оливковое масло |  | 43.7 ± 0.1 | 20.2 ± 0.2 | 0 |

600 24

**\***Время инкубации штаммов со скваланом составляло 12–15 сут, с остальными субстратами – 5 сут. Обозначения: ПН – поверхностное натяжение, МН – межфазное натяжение (против гексадекана), Е24 – индекс эмульгирования.

**Таблица S5**. Биодеградация углеводородов нефти МНПЗ штаммами углеводородокисляющих бактерий за 5 сут культивирования

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Биодеградация углеводородов,  % | Штаммы бактерий | | | | |
| *R.*  *qingshengii*  367-6 | *A.*  *seifertii*  WS-1 | *D.*  *maris*  367-2 | *P.*  *extremaustralis*  WS-1 | *G.*  *cholesterolivorans*  S12 |
| Деструкция  алканов алифатической фракции нефти | 88 ± 5 | 87 ± 4 | 91 ± 6 | 85 ± 3 | 90 ± 4 |
| Степень  биодеструкции *н*-  алканов | 99 ± 1 | 98 ± 2 | 100 | 96 ± 2 | 100 |
| Степень биодеструкции *изо*-алканов | 26 ± 1 | 29 ± 2 | 47 ± 2 | 28 ± 1 | 35 ± 1 |