

УДК 579.26:553.982

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* Ж105-11, СПОСОБНОГО К СИНТЕЗУ БИОПАВ, НА ВЫТЕСНЕНИЕ НЕФТИ****<sup>1</sup>Сарсенова А.С., <sup>2</sup>Гуссейнов И.Ш., <sup>1</sup>Нагметова Г.Ж., <sup>1</sup>Аюпова А.Ж., <sup>1</sup>Аипова Р.,  
<sup>2</sup>Кудайбергенов С.Е., <sup>1</sup>Курманбаев А.А.**<sup>1</sup>РГП «Национальный центр биотехнологии» КН МОН РК, Астана, e-mail: sarainur@mail.ru;<sup>2</sup>Институт полимерных материалов и технологий, Алматы, e-mail: iscander.busenov@mail.ru

В настоящее время нефть является основным энергетическим и химическим сырьевым ресурсом, поэтому увеличение нефтеотдачи пластов является одной из актуальных задач нефтегазовой промышленности. На сегодняшний день наиболее экологически безопасным методом, не требующим больших капиталовложений, является биотехнологический метод повышения нефтеотдачи пластов. В статье приведены данные по изучению способности биоПАВ штамма *Bacillus subtilis* ZH105-11 вытеснять нефть на насыпных моделях пласта. Установлено, что при использовании супернатанта культуральной жидкости данного штамма коэффициент извлечения нефти (КИН) повышается на 10,3%, дополнительный объем извлеченной нефти составил 13,5%. Также было выявлено снижение вязкости нефти под влиянием исследуемого биоПАВ. Данный штамм является перспективным для использования в биотехнологическом способе повышения нефтеотдачи пластов.

**Ключевые слова:** нефтеотдача, биосурфактант, пластовая вода, насыпная модель пласта**STUDYING THE INFLUENCE OF BIOSURFACTANT PRODUCING STRAIN *BACILLUS SUBTILIS* ZH105-11 ON OIL RECOVERY****<sup>1</sup>Sarsenova A.S., <sup>2</sup>Gusseynov I.Sh., <sup>1</sup>Nagmetova G.Zh., <sup>1</sup>Ayupova A.Zh.,  
<sup>1</sup>Aipova R., <sup>2</sup>Kudaybergenov S.E., <sup>1</sup>Kurmanbaev A.A.**<sup>1</sup>RSE «National center of biotechnology» CS MES RK, Astana, e-mail: sarainur@mail.ru;<sup>2</sup>Institute of Polymer Materials and Technologies, Almaty, e-mail: iscander.busenov@mail.ru

At present, oil is the main energy and chemical raw material resource, so increasing the oil recovery is one of the urgent tasks of the oil and gas industry. To date, the most environmentally safe method, which does not require large investments, is the biotechnological method of increasing oil recovery. In the article presented data of the study of the ability of biosurfactant, produced by strain *Bacillus subtilis* ZH105-11 to displace oil on sand-pack models. It was found that using of the culture fluid supernatant of this strain, increased the oil recovery factor (CIN) for 10.3%, the additional volume of recovered oil was 13.5%. It was also revealed a decrease in the viscosity of oil under the influence of the biosurfactant studied. This strain is promising for use in the biotechnological method of enhanced oil recovery.

**Keywords:** oil recovery, biosurfactant, reservoir water, bulk bed model

Интенсивное развитие промышленности стало причиной возросшей потребности в нефти и нефтепродуктах. Используемые в настоящее время способы добычи нефти дают возможность извлекать лишь 20–60% нефти, содержащейся в нефтематеринских породах. На сегодняшний день активно ведутся разработки новых технологий, позволяющих увеличить добычу нефти из уже эксплуатирующихся месторождений. Одним из перспективных направлений являются микробиологические методы увеличения нефтеотдачи пластов, основанные на способности микроорганизмов образовывать в процессе жизнедеятельности различные метаболиты, способствующие вытеснению нефти из вмещающих пород [1–3]. Данные методы повышения нефтеотдачи привлекают внимание малой капиталоемкостью, эффективностью и экологической безопасностью.

Биотехнологические методы повышения нефтеотдачи пластов основаны на биологических процессах, в которых используются микробные объекты. В течение процесса закачанные в пласт микроорганизмы метаболизируют углеводороды нефти и выделяют полезные продукты жизнедеятельности:

– спирты, растворители и слабые кислоты, которые приводят к уменьшению вязкости, понижению температуры текучести нефти, а также удаляют парафины и включения тяжелой нефти из пористых пород, увеличивая проницаемость последних;

– биополимеры, которые, растворяясь в воде, повышают ее плотность, облегчают извлечение нефти при использовании технологии заводнения;

– биологические поверхностно-активные вещества, которые делают поверхность нефти более скользкой, уменьшая трение о породы;

– газы, которые увеличивают давление внутри пласта и помогают продвигать нефть к стволу скважины [4].

Наиболее широкое применение в микробиологическом методе нефтеотдачи пластов получило использование биосурфактантов. Биосурфактанты – это гетеротрофная группа поверхностно-активных веществ, синтезируемых микроорганизмами [5]. Среди бактерий продуцентов биоПАВ бактерии рода *Bacillus* способны генерировать наиболее низкое межфазное натяжение между углеводородами и жидкой фазой, что необходимо для мобилизации нефти [6].

В лабораторных исследованиях микробиологического повышения нефтеотдачи пластов обычно используется насыпная модель пласта, которая является настольной шкалой оценки вытеснения нефти [7]. В настоящей работе на насыпных моделях пласта изучено влияние штамма *Bacillus subtilis* Ж105-11 способного к синтезу биоПАВ, на вытеснение нефти.

### Материалы и методы исследования

#### Подготовка раствора с биоПАВ

В работе использовался штамм бактерий, выделенный из пластовых вод скважин месторождения Жанаталап. Для накопления биосурфактанта культуру бактерий культивировали в течение 5 суток на питательном бульоне следующего состава: пепсин – 5 г/л, NaCl – 5 г/л, мясной экстракт – 1 г/л, дрожжевой экстракт – 1,5 г/л; в качестве углеводородного питания использовали гексадекан в конечной концентрации в питательном бульоне 1%. В качестве азотного питания добавляли соль азота в конечной концентрации в бульоне 0,5%.

#### Подготовка насыпной модели пласта и постановка лабораторных опытов по вытеснению нефти

Постановку экспериментов по вытеснению нефти проводили на установке для изучения кернов УИК-2. В качестве насыпной модели использовали стальные колонки с внутренним диаметром 30 мм и длиной 60 мм. Колонки заполняли нефтеносной породой коллектора, в качестве которой использовали гидрофобный песок, отобранный из нефтяного месторождения Карабулак, с размерами частиц 0,25 мм. Загрузку песка проводили небольшими порциями, постукивая по внешней стороне колонки для равномерной загрузки песка и плотного его распределения по всей высоте колонки.

Для определения воздухопроницаемости модели пласта через колонку пропускали воздух. Далее колонки вакуумировали с помощью вакуумного насоса до –95 кПа и пропускали через них пластовую воду, с общей минерализацией 45 г/л (табл. 1).

Определение порового объема (PV) и пористости насыпных моделей проводили путем измерения объема воды, необходимого для полного обводнения насыпной модели и определением соотношения порового объема модели к общему объему колонки соответственно. Для окончательной подготовки насыпной модели производили её насыщение тяжелой нефтью, плотностью 0,86. Нефть из емкости перекачивалась

под давлением с помощью компрессора в количестве 2 поровых объема. Далее через насыпную модель снова пропускали пластовую воду до полного прекращения вытекания нефти из колонки. Остаточное количество нефти, извлеченное из колонок, определяли методом воллометрии (Mor).

Таблица 1  
Состав пластовой воды

Компоненты	Ед. измерения	Количество
NaCl	г/л	31,62
CaCl <sub>2</sub>	г/л	6,17
MgCl <sub>2</sub>	г/л	8,75
Общая минерализация	г/л	45

Изучение влияния биосурфактанта ранее отобранных штаммов Ж105-9 и Ж105-11 на вытеснение нефти проводили путем заполнения нефтенасыщенной насыпной модели 1 поровым объемом раствора надосадочной жидкости культур. Насыпную модель, заполненную надосадочной жидкостью штаммов, инкубировали в течение 12 часов при температуре 30 °С, затем через колонку пропускали 2 поровых объема надосадочной жидкости штаммов. Сток собирали по 2 мл и определяли количество доизвлеченной нефти.

Коэффициент извлечения нефти определяли по формуле

$$\text{КИН}(5) = \frac{Mi}{M} \times 100, \quad (1)$$

где  $Mi$  – масса извлеченной нефти после биоПАВ,  $M$  – масса нефти в керне.

Дополнительный объем извлеченной нефти определяли по формуле

$$\text{AOR}(\%) = \frac{Mi}{Mor} \times 100.$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Использование насыпной модели позволяет моделировать такие параметры нефтяного пласта, как проницаемость и пористость. Применение насыпных моделей является предпочтительным, так как позволяет получить качественные закономерности процесса вытеснения нефти растворами ПАВ [9]. По ранее проведенным исследованиям биоПАВ штамма *Bacillus subtilis* Ж105-11 способен снижать поверхностное натяжение до 40,8 мН/м. БиоПАВ обладает стабильностью при pH от 6.0 до 12.0, температуре от 30–100 °С и концентрации NaCl в среде от 2 до 10%. В табл. 2 представлены параметры проведения процесса вытеснения нефти.

После прокачки пластовой воды остаточное содержание нефти в модели пласта составило 5,62 г. На рис. 1 представлено влияние добавления надосадочной жидкости культуры (биоПАВ Ж105-11) на изменение КИН.

Таблица 2

Параметры проведения процесса на насыпных моделях пласта

Параметры	Ед. измерения	<i>Bacillus subtilis</i> , Ж105-11
Газопроницаемость	Дарси	6,19
Поровый объем	см <sup>3</sup>	12,87
Пористость	%	30,40
Объем прокачанной нефти	см <sup>3</sup>	27,50
Масса прокачанной нефти	г	23,65
Масса нефти, которая вышла из керна	г	14,50
Масса нефти в модели	г	7,77
Объем нефти в модели	см <sup>3</sup>	9,04
Начальная водонасыщенность	%	0,70
Начальная нефтенасыщенность	%	0,30

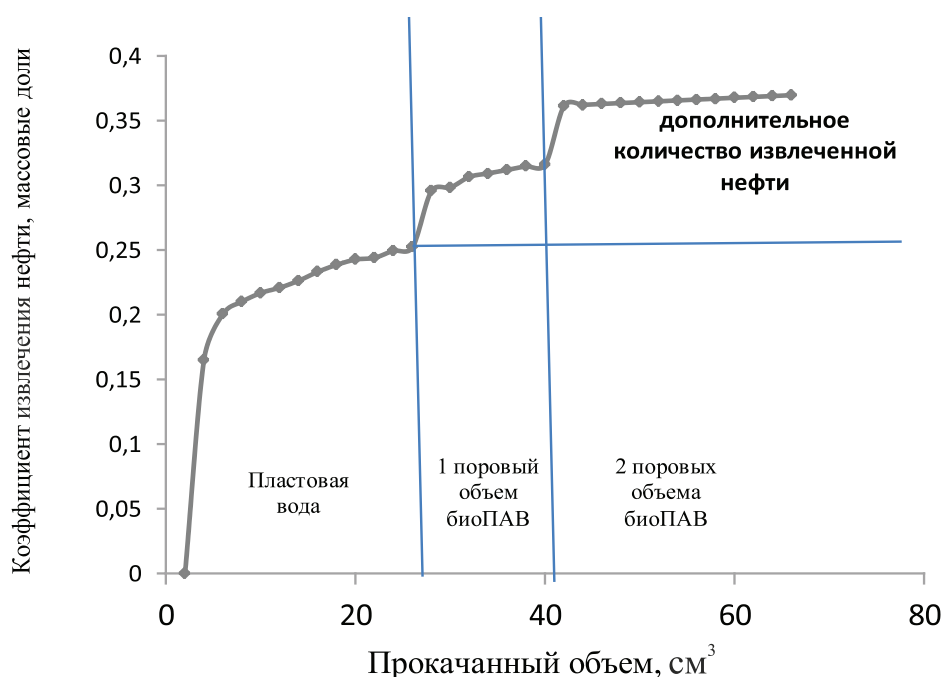


Рис. 1. Влияние биоПАВ штамма *Bacillus subtilis* Ж105-11 (В) на дополнительное вытеснение нефти

При вытеснении остаточной нефти биоПАВом штамма Ж105-11 дополнительный коэффициент извлечения нефти составил 10,3%.

Увеличение конечного коэффициента извлечения нефти только на 1% сможет обеспечить значительный прирост ежегодной добычи. Поэтому особое значение приобретает возможность прироста запасов нефти за счет внедрения и увеличения новых современных методов интенсификации нефтедобычи [8]. По полученным нами результатам дополнительный объем извлеченной нефти (AOR) составил 13,5%, что говорит о высокой нефтевытесняющей способности биоПАВ.

Исследования по изучению влияния биоПАВ на вытеснение нефти проводились разными учеными. Шаванди и др. [9] выделили штамм *Rhodococcus sp.* TA6, способный образовывать смесь внеклеточных липидов и гликолипидов. Данный биоПАВ уменьшал поверхностное натяжение среды с углеводородами от 68 до 30 мН/м и повышал нефтеотдачу на 7–14% в экспериментах на насыпных моделях. Амани и др. [10] показали, что биосурфактанты, выделяемые штаммами *Bacillus sp.*, *P. aeruginosa*, и *Bacillus cereus*, способны выдерживать жесткие условия продуктивного пласта (120°C, pH 4,0, соленость 25 г/л), и снижать поверхностное натяжение от 72 до

26 мН/м и увеличивать извлечение нефти на 25 % в экспериментах на насыпных моделях с керосином. Китайскими учеными из нефтяных пластов выделены аборигенные штаммы микроорганизмов, с высокой биосурфактанционной способностью. Углевороодоокисляющая способность каждого из трех штаммов превышала 50 %. Тяжелые компоненты вязкой нефти деградировали до легких компонентов, а также улучшалась текучесть нефти. Поверхностное натяжение и вязкость тяжелой нефти уменьшалась после обработки выделенными микроорганизмами. Лабораторные испытания показали повышение извлечения нефти на 4,89–6,96 % [11].

Одной из основных характеристик качества нефти является ее вязкость. Чем меньше вязкость, тем легче осуществляются транспортирование нефти по трубопроводам и ее переработка. На рис. 2 представлено визуальное изменение вязкости нефти после воздействия биоПАВ исследуемой культуры.

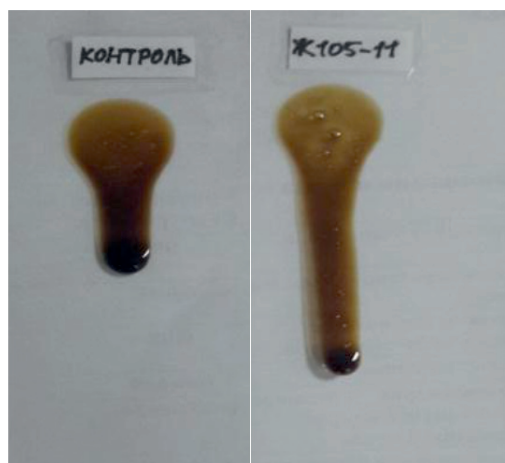


Рис. 2. Влияние биосурфактанта штамма *Bacillus subtilis* Ж105-11 на вязкость нефти

При обработке нефти штаммом *Bacillus subtilis* Ж105-11 наблюдалась большая текучесть нефти по сравнению с контролем.

Таким образом, по результатам проведенных нами исследований биоПАВ штамма *Bacillus subtilis* Ж105-11 способен уве-

личить КИН на 10,3 % и снижать вязкость нефти. Данный штамм является перспективным для использования в микробиологическом способе повышения нефтеотдачи пластов.

*Эта работа была выполнена в рамках гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан № 4409/ГФ4 «Изучение микробного разнообразия нефтяных пластов и отбор микроорганизмов с высокой метаболической активностью для повышения нефтеотдачи».*

#### Список литературы

1. Moses V., Springham D.G. Bacteria and enhancement oil recovery // Applied Science Publishers. – 1982. – 180 p.
2. Hitzman D.O. Microbial enhanced oil recovery the time is now (Keynote speech) // Dev. Petrol. Sci. – 1991. Vol. 31. – P. 11–20.
3. Григорьян А.А. Физиология и экология аэробных органотрофных бактерий нефтяных пластов: дис. ... канд. биол. наук. – Москва, 2004. – 154 с.
4. Портвуд Дж. Т. Коммерческое применение микробиологических методов увеличения нефтеотдачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neftegaz.ru/science/view/201-Kommercheskoe-primenenie-mikrobiologicheskikh-metodov-uvelicheniya-nefteotdachi> (дата обращения 21.09.2017).
5. Banat I.M., Franzetti A., Gandolfi I., Bestetti G., Martinotti M.G., Fracchia I., Smyth T.J., Marchant R. Microbial biosurfactant, application and future potential // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2010. – Vol. 87. – P. 427–444.
6. Simpson D.R., Natraj N.R., McInerney M.J., Duncan K.E. Biosurfactant-producing *Bacillus* are present in produced brines from Oklahoma oil reservoirs with a wide range of salinities // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2011. – Vol. 91. – P. 1083–1093.
7. E.J. Gudiña et al. Biosurfactant-producing and oil-degrading *Bacillus subtilis* strains enhance oil recovery in laboratory sand-pack columns // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – Vol. 261. – P. 106–113.
8. Шарапова А.Б., Нуршаханова Л.К., Тулешева Г. Применение микробиологических методов для повышения нефтеотдачи и интенсификации нефтедобычи // Молодой ученый. – 2014. – № 8. – С. 307–309.
9. Shavandi M., Mohebbi G., Haddadi A., Shakarami H., Nuhi A. Emulsification potential of a newly isolated biosurfactant-producing bacterium, *Rhodococcus* sp. strain TA6. Colloids Surf B: Biointerfaces. – 2011. – Vol. 82. – P. 477–482.
10. Amani H., Müller M.M., Sylđatk C., Hausmann R. Production of microbial rhamnolipid by *Pseudomonas aeruginosa* MM1011 for ex situ enhanced oil recovery. Appl Biochem Biotechnol. – 2013. – Vol. 170. – P. 1080–1093.
11. She Y.H., Zhang F., Xia J.J., Kong S.Q., Wang Z.L., Shu F.C., Hu J.M. Investigation of biosurfactant-producing indigenous microorganisms that enhance residue oil recovery in an oil reservoir after polymer flooding // Appl Biochem Biotechnol. – 2011. – Vol. 163(2). – P. 223–234.