

УДК 622.276.66

UDC 622.276.66

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ОСВОЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТЯЖЕЛОЙ И
БИТУМИНОЗНОЙ НЕФТИ В НИГЕРИИ****EVALUATION OF TECHNOLOGICAL
SOLUTIONS FOR THE DESIGN AND
DEVELOPMENT OF HEAVY OIL AND
BITUMEN FIELDS IN NIGERIA**

Нвизуг-Би Лейи Клуверт

Nwizug-bee Leyii Kluivert

Аспирант

Postgraduate student

e-mail: kluivert_dgreat@mail.ru

email:kluivert_dgreat@mail.ru

*институт нефти, газа и энергетики, кафедра
нефтегазового дела, имени профессора
Г.Т.Вартумяна, ФГБОУ ВПО «Кубанский
государственный технологический университет»,
г. Краснодар, Россия*

*Institute of Oil, Gas and Energy, Department of
Petroleum Engineering, named after Professor
G.T.Vartumyan, VPO «Kuban State Technological
University» Krasnodar, Russia*

В Нигерии, отложение битуминозного песчаника тянется с востока, Ижебу–Оде (Штат Огун) в район Силуко и Акотогбо, в Окитипупа (Штат Ондо) и Штат Эдо. Он покрывает расстояние приблизительно 110км и лежит в последовательности верхнемеловой свиты Абиокута в восточной части бассейна Дагомеи. Резерв битуминозного песчаника в Нигерии оценивается примерно в 30-40 млрд баррелей с возможностью добывать 3654×106 баррелей. Из примерно 30-40 миллиардов баррелей нефтеносного песчаника , Штат Огун имеет более чем 40% в резерве. Тем не менее, эти огромные запасы нефтеносного песчаника в Нигерии еще предстоит эксплуатировать. В данной статье дается оценка технологических решений для разработки и освоения месторождений битуминозного песчаника в Нигерии. Запасы нефтеносного песчаника в Нигерии являются крупнейшими в Африке

In Nigeria, belt of bituminous sand stretches to the East of Ijebu-Ode (Ogun State) in the district of Siluko and Akotogbo, Okitipupa (Ondo Sate) and Edo State. It covers a distance of approximately 110 km and lies in the upper cretaceous sequence of the Abeokuta formation in the eastern Dahomey Basin. Reserves of bituminous sand in Nigeria is estimated to be around 30-40 billion barrels with a possibility to extract 3654×106 barrels. From the approximately 30-40 billion barrels of oil sand, Ogun State has more than 40% in reserve. However, this huge stock of oil sand in Nigeria is yet to be exploited. This article provides an assessment of technological solutions for the design and development of tar sand fields in Nigeria. Reserves of oil sand in Nigeria are the biggest in the whole of Africa

Ключевые слова: ОТЛОЖЕНИЕ
БИТУМИНОЗНОГО ПЕСЧАНИКА, РАЗРАБОТКА,
РЕЗЕРВ, ДОБЫЧИ

Keywords: BELT OF BITUMINOUS SAND,
DEVELOPMENT, RESERVE, EXTRACTION

Введение

Природные битумы являются полезными ископаемыми органического происхождения с первичной углеводородной основой, залегающие в недрах в твердом, вязком и вязко-пластичном состояниях. Они, как и битуминозные породы , ценное многоцелевое сырье для многих отраслей промышленности.

Проблема освоения нетрадиционных видов углеводородного сырья, к которым относятся и природные битумы, является крайне актуальной особенно для старых нефтедобывающих регионов с высоким промышленным потенциалом, развитой инфраструктурой и высококвалифицированными кадрами. Природные битумы генетически представляют собой в различной степени дегазированные, потерявшие легкие фракции, вязкие, полутвердые естественные производные нефти (мальты, асфальты, асфальтиты). Кроме повышенного содержания асфальтено-смолистых компонентов, высокой плотности, аномальной вязкости, обуславливающих специфику добычи, транспорта и переработки, природные битумы отличаются от маловязких нефтей значительным содержанием серы и металлов, особенно пятиоксида ванадия (V_2O_5) и никеля (Ni) в концентрациях, соизмеримых с содержанием металлов в промышленных рудных месторождениях в Нигерии и за рубежом.

Битуминозные песчаные отложения в Нигерии тянутся с востока, Ижебу–Оде (Штат Огун) в район Силуко и Акотогбо, в Окитипупа (Штат Ондо) и Штат Эдо. Они покрывают расстояние приблизительно 110 км и лежат в последовательности верхнемеловой свиты Абиокута в восточной части бассейна Дагомеи. Резерв битуминозного песка Нигерии оценивается примерно в 30-40 млрд баррелей с возможностью добывать 3654×10^6 баррелей. Из примерно 30-40 миллиардов баррелей нефтяного песка, Штат Огун имеет более чем 40% в резерве. Около 31 млрд баррелей тяжелой сырой нефти проводится в битуминозных песчаных отложениях на юго-западе Нигерии. Нигерия импортирует в среднем 50000 баррелей тяжелой сырой нефти в день из Венесуэлы для производства "базовое масло", которое используется для смешивания с маслами и смазками в Кадуна нефтеперерабатывающий завод. Существует, следовательно, необходимость

извлечения тяжелой нефти из месторождения Ондо на нефтеперерабатывающем заводе и битума .

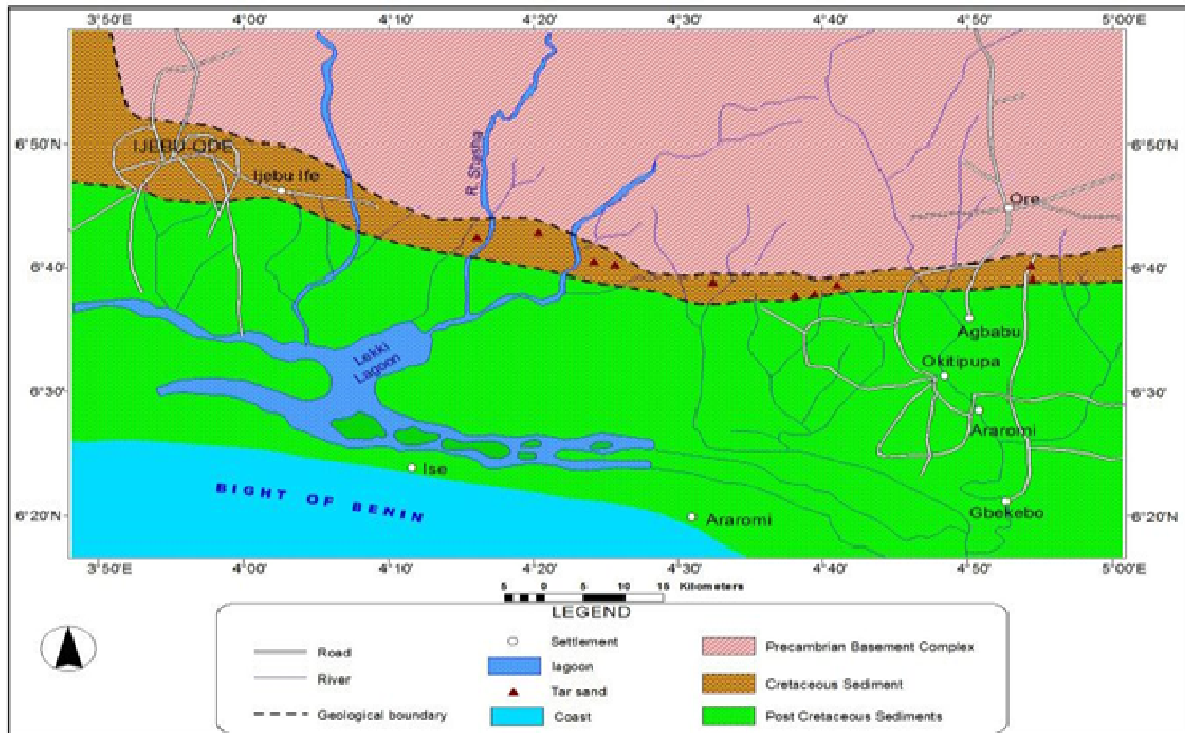


Рисунок 1. Геология отложений нефтеносного песчаника в Нигерии ,
показывая обнажения (Ако, 2003г.)

Министерство шахт и металлургического развития в Нигерии, определило три потенциальных методов добычи битума в Нигерии :

1. мелкомасштабная добыча с поверхности
2. крупномасштабная добыча с поверхности и
3. скважинная технология

Глубина битума ниже поверхности определяет, какой вид технологии для добычи возможно. Битум можно добыть из нефтеносных песков и используется в дорожном строительстве или преобразован в синтетической нефти. Нефтеносные песчаники и сверхтяжелые нефти являются нетрадиционными запасами, которые обычно более дорогостоящими для добычи, транспорта и переработки чем традиционные запасы. Для удовлетворения растущего спроса на нефтепродукты, международные компании все чаще обращают их внимание к нетрадиционным запасам.



Рисунок 2. Обнажение нефтеносных песков в Имери, Ижебу-Оде ,
Штат Огун, Нигерия.

Оценка предлагаемых технологических решений

Одним из самых перспективных методов работ в структуре песчаных коллекторов является применение микробиологических включений. Микроорганизмы, обитающие в нефтяных пластах, способны образовывать нефть-вытесняющие метаболиты, такие как полимеры, поверхностно-

активные вещества, газы, кислоты и растворители. Активность микрофлоры может быть основана на биодegradации введенных питательных веществ или на биодegradации части остаточной нефти в пласте. Микробные технологии повышения нефтеотдачи применялись в основном на нефтяных месторождениях с песчаными коллекторами и лёгкой нефтью [1-3].

Выбор биотехнологии повышения нефтеизвлечения основывается на оценке масштабов современных биогеохимических процессов и условий конкретного нефтяного пласта. Микроорганизмы карбонатных нефтяных пластов относительно мало изучены [5-8]. Наряду с этим выполнен ряд экспериментов по повышению нефтеизвлечения из карбонатных коллекторов, основанных на нагнетании мелассы и сбраживающих её бактерий родов *Clostridium* или *Vacillus* в пласт [1, 3]. В период 1991-1995 г. 2 сотрудниками ИНМИ РАН, немецкими исследователями и специалистами ОАО «Татнефть» были проведены испытания биотехнологии повышения нефтеизвлечения на залежи 302 с карбонатными коллекторами Ромашкинского нефтяного месторождения.

В ходе испытаний были детально охарактеризованы физико-химические условия, численность микроорганизмов основных метаболических групп и скорости биогенных процессов в залежи 302 [8-10, 12]. Из залежи 302 выделены высокоактивные штаммы *Clostridium tyrobutyricum*, сбраживающие мелассу с образованием большого количества летучих кислот, низших спиртов, CO_2 и H_2 [12]. В результате введения в нефтяной пласт суспензии *Clostridium tyrobutyricum* и мелассы было получено 4806 тонн дополнительной нефти, или 4,58 тонн дополнительно добытой нефти на 1 тонну закачанной мелассы [1, 2, 3]. Внесение мелассы в карбонатный коллектор способствовало росту бродильных бактерий, образующих

нефтевытесняющие метаболиты, которые в свою очередь нередко использовались сульфатредуцирующими бактериями. Образующий сульфидогенами сероводород вызывает коррозию металлического нефтепромыслового оборудования и приводит к ухудшению качества нефти.

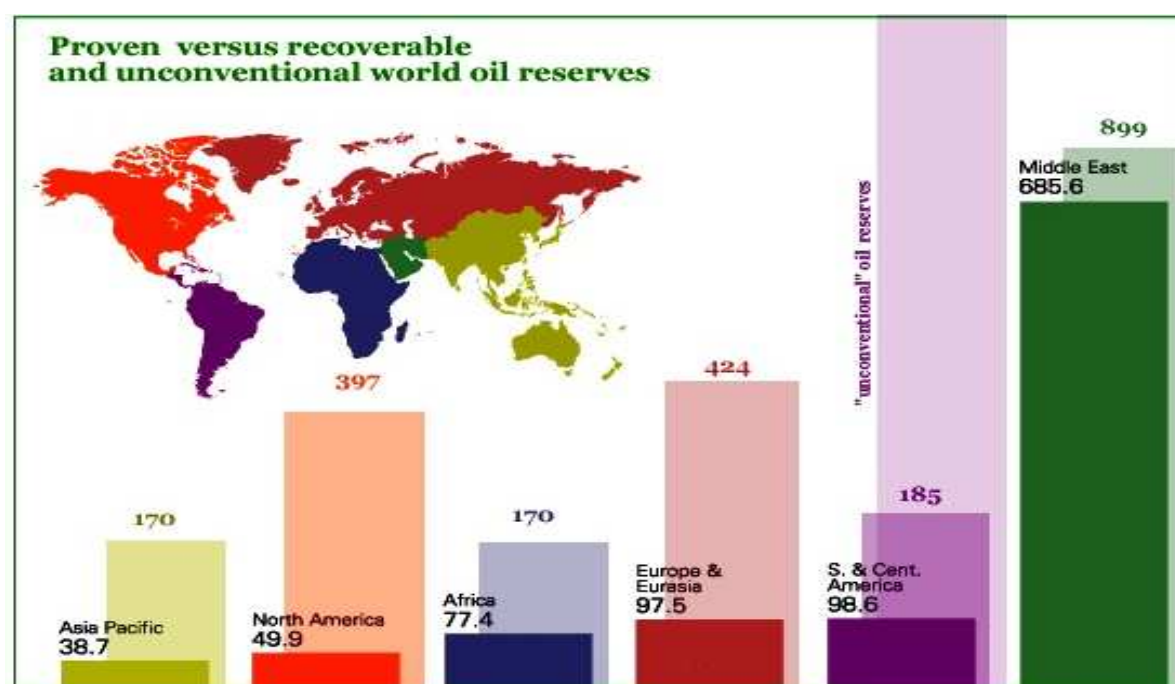


Рисунок 3 : Доказанные и извлекаемые запасы нефти распределены по регионам в миллиарды баррелей (Коварик , 2011).

Залежи Нигерии характеризуются сложными геологическими, петрофизическими и гидродинамическими условиями [12]. Нефть залежи – вязкая, смолистая, парафинистая и высокосернистая; состоит в основном из парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов. Плотность нефти около 0,95 г/см³, а вязкость 83-85 Па.с . Попутный газ содержит метан (9,5 %), этан (31,8 %), пропан (14,5 %), бутаны (7,5 %), пентаны (3 %), гексан и высшие гомологи (0,9 %), азот (29,8 %), углекислоту (2,7 %), сероводород (0,3

%). В качестве основного метода разработки нефтяных месторождений Нигерии предлагается заводнение, с его использованием добывается около 95 % нефти. Вновь вводимые месторождения характеризуются низкой проницаемостью, повышенной вязкостью нефти и сложным геологическим строением, то есть их запасы относятся к категории трудноизвлекаемых. Доля трудно извлекаемых запасов нефти в Нигерии постоянно растет и составляет более 60 %. Увеличение конечного коэффициента извлечения нефти только на 1 % сможет обеспечить прирост ежегодной добычи на 20-30 млн. тонн. Поэтому особое значение приобретает возможность прироста запасов нефти за счёт увеличения нефтеотдачи пластов. Для эффективного освоения трудноизвлекаемых запасов нефти и дальнейшего увеличения её добычи необходимо создание и широкомасштабное применение новых комплексных технологий увеличения нефтеотдачи.

Методы увеличения нефтеотдачи делят на четыре основных группы:

1. Химические (заводнение с помощью поверхностно-активных веществ, жидких растворителей, полимеров);
2. Газовые (закачка углеводородных газов, углекислого газа, азота);
- 3.) Тепловые (вытеснение нефти теплоносителями, воздействие с помощью внутрипластовых экзотермических окислительных реакций);
- 4.) Микробиологические (введение в пласт продуктов жизнедеятельности бактерий или их производство бактериями в самом пласте).

Только отечественными учёными разработано более ста третичных методов, учитывающих различные геофизические, химические и биологические условия залежей. Историю развития микробиологических методов

увеличения нефтеотдачи можно считать первый эксперимент по повышению нефтеотдачи микро-биологическим методом в 1955 году на одном из приволжских месторождений, который закончился неудачей. Вместо дополнительно добытой нефти из скважины под давлением выделялся сероводород и меркаптаны [5].

Ещё в середине прошлого века начали изучать микрофлору нефтяных месторождений. Многолетние исследования позволили выяснить, какие типы бактерий находятся в пластах и каким способом регулировать их численность. Тогда интерес к пластовой микрофлоре был связан с проблемой сероводородной коррозии металлических труб и ухудшением качества нефти. Изучение процесса образования сероводорода при взаимодействии сульфатредуцирующих микроорганизмов и сульфатов, собственно, и привело к идее использовать «нефтяные» бактерии для производства веществ, способствующих вытеснению нефти из пластов. Новая технология основывается на механизме, аналогичном процессу образования сероводорода из сульфатов под воздействием микроорганизмов. Только на выходе требуется получить не сероводород, а соединения, способствующие вытеснению нефти из пласта.

Таблица 1. Географическое распределение тяжелых нефтей и битумов
запасов (US Geological Survey, 2003)

Регион	Тяжелые нефти		Нефтяные битумы	
	КИН	Резерв	КИН	Резерв
Северная Америка	0,19	35,3	0,32	530,9
Южная Америка	0,13	265,7	0,09	0,1
Африка	0,18	7,2	0,10	43,0
Европа	0,15	4,9	0,14	0,2
Ближний Восток	0,12	78,2	0,10	0,0
Азия	0,14	29,6	0,16	42,8
Россия	0,13	13,4	0,13	33,7
Всего	-	434,3	-	650,7

На первом этапе в скважину вместе с водой нагнетают кислород в виде водно-воздушной смеси и минеральные соли азота и фосфора. Они активируют пластовую микрофлору:

1. Увеличивается численность;
2. Видовое разнообразие бактерий;
3. Активность бактерий.

Попадающие с водой и воздухом в пласт аэробные (живущие при наличии кислорода) бактерии окисляют углеводороды до промежуточных продуктов – низкомолекулярных органических кислот (уксусной, пропионовой, масляной и др.) и спиртов (метанола, этанола и др.). Затем снова закачивают воду, но уже без кислорода, чтобы доставить образовавшиеся продукты к другим бактериям – анаэробным (живущим без кислорода). Анаэробные бактерии преобразовывают продукты окисления нефти в метан и углекислоту. Метан при этом снижает вязкость нефти, одновременно повышая локальное давление в пласте. Углекислота также снижала вязкость нефти, но, кроме того, ещё и растворяла карбонатные породы, увеличивая таким.

Нефть, добытая с применением биотехнологии, сравнима по себестоимости с нефтью, добытой первичным и вторичным способами из активных запасов. Микробиологическая технология вписывается в схему вторичной добычи и требует минимальное дополнительное оборудование – компрессор для нагнетания воздуха и эжектор для введения минеральных солей. Экологически безопасные микробиологические методы увеличения нефтеотдачи применяются в основном на месторождениях, разрабатываемых с помощью заводнения. Присутствие водной фазы создаёт условия для развития богатой и разнообразной пластовой микрофлоры. Влияние пластового биоценоза на закрепленную малоподвижную нефть носит характер десорбции, которая осуществляется за счёт накопленных продуктов метаболизма при биоокислении углеводородов нефти. Уже в течение десятков лет известно, что специальная группа углеводородоокисляющих

микроорганизмов способна метаболизировать углеводороды, производя органические растворители, такие как спирты и альдегиды, жирные кислоты, обладающие поверхностной активностью, газообразные продукты и другие метаболиты, увеличивающие подвижность нефти.

Газообразные метаболиты, растворяясь в нефти, снижают её вязкость, а также способствуют увеличению нефтеотдачи. Следовательно, если такие живые, подвижные микроорганизмы будут внесены в нефтяной пласт, они смогут передвигаться в места залегания оставшейся нефти и приводить в движение нефть, считавшуюся ранее неподвижной и неизвлекаемой. Наиболее часто применяемые технологии микробиологического воздействия, это циклическая микробиологическая обработка отдельных добывающих скважин и микробиологическое заводнение. Циклическая микробиологическая обработка добывающих скважин – это нагнетание в пласт питательных субстратов, биокатализаторов и микроорганизмов, с последующим закрытием скважин на нескольких дней или недель для роста микроорганизмов и накопления метаболитов. За периодом закрытия скважины следует период эксплуатации, и цикл повторяется, когда добыча нефти в скважине значительно снижается. Микробиологическое заводнение, это введение в пласт микробной взвеси и питательных веществ одновременно. Преимущество этих методов в том, что факторы, способствующие нефтевытеснению, создаются непосредственно в пласте, что увеличивает их эффективность. Одним из элементов механизма повышения нефтеотдачи при микробиологическом воздействии на пласт является первичное селективное закупоривание. Группа исследователей во главе с Кларр Р. изучала селективное закупоривание пор нефтеносной породы и распространение потока флюидов в проточной модели, составленной из двух

песчаников различной проницаемости, которые имеют капиллярный контакт. Рост количества бактерий изменял поток флюидов в модели таким образом, что более 60 % его шло через слой низкой проницаемости. Причем скорость фильтрации жидкости, проходящей через слой низкой проницаемости, увеличилась в 3 раза.

Микробиологические методы повышения нефтеотдачи разрабатываются по двум направлениям:

1. Получение в наземных условиях продуктов микробиологического синтеза, увеличивающих подвижность нефти, и нагнетание их в нефтяной пласт;
2. Развитие микробиологических процессов непосредственно в условиях нефтяного пласта с целью получения метаболитов, способствующих вытеснению нефти из коллектора.

Суть этих методов заключается в улучшении нефтевытесняющих свойств закачиваемой воды с помощью микробных метаболитов: биоПАВ, полисахаридов, растворителей и других соединений. Эти методы применяются в России, Польше, Венгрии, Румынии, Китае, Германии и США. Применение микробиологических методов увеличения нефтеотдачи, механизм воздействия которых основывается на изменении реологических свойств нефтей, коллекторских свойств пород, очистке их от асфальто-смоло-парафиновых отложений, обеспечивает комплексное действие на пласт: ограничивается движение воды по пласту блокированием промытых зон микроорганизмами и до отмыв нефти продуктами их жизнедеятельности, что, в конечном итоге, обеспечивает повышение нефтеотдачи пластов. Использование микробиологических методов в практике добычи нефти

требует тщательного исследования численности, видового разнообразия и ферментативной активности естественной микрофлоры месторождения [3].

Методы активизации микроорганизмов в пластовых условиях с целью получения продуктов, способствующих вытеснению нефти, могут быть разработаны на основе стимуляции естественной микрофлоры пласта, сформировавшейся в процессе эксплуатации месторождения или на основе введения микрофлоры, адаптированной к конкретным пластовым условиям. Техническим решением может быть создание экологически чистого, не оказывающего отрицательного воздействия на окружающую среду способа разработки нефтяного месторождения путём увеличения охвата пласта заводнением и вытеснения остаточной нефти за счёт создания непосредственно в пласте нефтевытесняющих агентов. Способ включает последовательную закачку в пласт водного раствора целлюлозосодержащего материала с питательными субстратами и биореагентом. В качестве питательных субстратов для стимуляции пластовой или вносимой углеводородокисляющей микрофлоры служат соли фосфора и азота, в качестве биореагента – надосадочная жидкость, приготовленная путём смешения в воде целлюлозосодержащего материала и питательных веществ. Дополнительно в качестве питательных веществ используют щелок чёрный моносουλфитный, мелассу свекловичную или белково-витаминный концентрат «Белвитамил».

Для стимуляции микрофлоры в пластовых условиях применяются минеральные (азотистые и фосфорные) или органические субстраты (меласса – отход сахарного производства, молочная сыворотка). На месторождениях Башкортостана, Пермской области и Татарстана проводятся опытно-промышленные испытания с использованием активного ила или смеси

активного ила со стабилизатором, в качестве которого применяют крахмал и гидролизный сахар.

Технологии с использованием мелассы применяются на месторождениях США, Китая, Румынии, Венгрии, Польши, Германии и других странах, где развито сахарное производство. Примером успешных испытаний метода являются результаты воздействия на карбонатные коллекторы с применением мелассной технологии на месторождении Фуйу (Китай), где в 2001 году было закачано 236 тонн мелассы и за первые 6 месяцев дополнительно получено около 2700 тонн нефти. В основе технологии лежит способность сахаролитических микроорганизмов родов *Clostridium*, *Bacillus* усваивать мелассу, содержащую не менее 40 % сахара, быстро накапливать биомассу и повышать ферментативную углеводородокисляющую активность. При сбраживании мелассы в условиях нефтяного пласта образуется большое количество метаболитов (CO_2 , низ-ших жирных кислот, спиртов и др.), изменяющих свойства пластовой воды, нефти, газа, породы и стимулирующих процесс вытеснения остаточной нефти.

В России опытно-промышленные работы по мелассному заводнению проводились при добыче вязкой нефти в 1992-1994 гг. в НГДУ «Лениногорскнефть». Биотехнология основана на циклической интродукции в пласт мелассы и бактерий *Clostridium tyrobutyricum*. Нефть залежи – вязкая, высокопарафинистая и высокосернистая. Биотехнологическое воздействие на залежь понизило плотность нефти с 0,950 до 0,907 г/см³, вязкость – с 46,2 Па.с до 24,0 Па.с. Межфазное натяжение, характеризующее образование биоПАВ на границе раздела фаз «исследуемая вода – гептан», снизилось в 1,5-3,0 раза, что позволило получить на опытном участке дополнительно около 30 % нефти.

Осуществляя опытно-промышленные испытания микробиологических методов увеличения нефтеотдачи, необходимо учитывать численность бактерий различных физиологических групп. Учёт динамики численности микроорганизмов в процессе их активации в условиях пласта и исследования их ферментативной активности позволит получить доказательства микробиологического воздействия на вытеснение нефти.

Развитие пластового биоценоза во многом зависит от активности углеводородокисляющей группы микроорганизмов, которые первыми окисляют углеводороды нефти при участии ферментов. Численность углеводородокисляющей группы бактерий в составе сформировавшегося пластового биоценоза достигает до клетки /мл воды, сопутствующей нефтям. Микроорганизмы влияют на вытеснение нефти посредством ряда механизмов:

1. Образование кислот, растворяющих вмещающие породы и увеличивающих пористость и проницаемость;
2. Образование газа, ведущее к снижению вязкости нефти и увеличению пластового давления;
3. Образование растворителей, непосредственно участвующих в экстракции нефти или в качестве сурфактантов, снижающих межфазное натяжение и увеличивающих подвижность нефти;
4. Образование биоПАВ, биополимеров и других соединений, эмульгирующих нефть, снижающих её вязкость и межфазное натяжение на границе «нефть – вода»;
5. Образование микробной биомассы, вызывающей эмульгирование нефти, изменяющей смачиваемость пород.

Преимущества микробиологического метода повышения нефтеотдачи:

1. Повышение производительности нефтяных месторождений;
2. Увеличение суммарной добычи нефти и срока эффективной эксплуатации скважин и месторождений;
3. Уменьшение содержания воды в пластовой жидкости;
4. Повышение вязкости пластовой воды за счёт биомассы и растворимых биополимеров, продуктов жизнедеятельности микроорганизмов;
5. Уменьшение содержания сероводорода в нефтяных и газовых скважинах и месторождениях, снижается его отрицательное воздействие на оборудование;
6. Уменьшение времени простоя оборудования [3].

При реализации микробиологического метода повышения нефтеотдачи закачанные в пласт микроорганизмы метаболизируют углеводороды нефти и выделяют полезные продукты жизнедеятельности:

1. Спирты, растворители и слабые кислоты, которые приводят к уменьшению вязкости, понижению температуры текучести нефти, а также удаляют парафины и включения тяжёлой нефти из пористых пород, увеличивая проницаемость последних;
2. Биологические поверхностно-активные вещества, которые способствуют десорбции нефти с пористой поверхности пласта;
3. Газы, которые увеличивают давление внутри пласта, что способствует вытеснению нефти.

Кроме того, происходит повышение качества добываемой нефти:

1. Увеличение лёгких алканов $< C_{20}$;
2. Уменьшение средних алканов $C_{20} - C_{40}$;
3. Разрушение высокомолекулярных тяжёлых углеводородов;

4. Расщепление структурных ароматических колец;
5. Расщепление структурных фенольных колец;
6. Преобразование серосодержащих органических соединений;
7. Уменьшение концентрации металлических микроэлементов;
8. Эмульгирование сырой нефти.

Метод добычи тяжёлых нефтей микробиологическими методами путём циклического питательного заводнения с применением бактерий рода *Bacillus* разработан американскими исследователями. Эти бактерии сбраживают сахара с выходом CO_2 , образуемого при участии *Clostridium*. Развиваясь за счёт сахаров в анаэробных условиях, бациллы образуют биоПАВ. Известно, что биоПАВ, синтезируемые *Bacillus subtilis*, являются наиболее активными детергентами.

Таким образом, мониторинг физико-химических, микробиологических и геохимических характеристик нефтяной залежи, подверженной техногенному воздействию показал, что нефтяной пласт представляет собой целостную экосистему, в которой микробные популяции взаимодействуют между собой и с окружающей средой. Энергетические потоки основаны на биотрансформации нефти или экзогенных органических субстратов и чётко определённой трофической цепи, и они могут подвергаться целенаправленному воздействию.

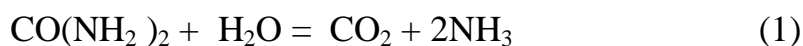
В течение ряда лет в лаборатории коллоидной химии нефти ИХН СО РАН разрабатываются комплексные микробиологические и физико-химические методы увеличения нефтеотдачи пластов, основанные на активности аборигенной пластовой микрофлоры и применении нефтewытесняющих композиций, компонентами которых являются азотистые субстраты. Способность к окислению углеводов обнаружена у

представителей родов *Brevibacterium*, *Arthro-bacter*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Actinomices* и др., выделенных из пластовых вод месторождений Западной Сибири. Объединённые в ассоциации, перечисленные микроорганизмы окисляют n-алканы с длиной цепи $C_{12} - C_{30}$ до 80 % при условии их активного размножения в культуральной среде. Как показал хроматографический анализ, биоокисление тяжёлых алканов нефти и нефтяных фракций сопровождается увеличением до 30 % концентрации алканов с меньшим удельным весом. Высоким стимулирующим эффектом, повышающим на 3-5 порядков численность бактериальных клеток, обладают растворы нефтewытесняющих композиций ИХН-КА и НИНКА, добавленные в пластовую воду. Питательная ценность композиций определяется содержанием в ней солей азота и карбамида. Бактериальные культуры при стимуляции скорости роста питательными добавками увеличивают степень деградации углеводородов нефти в 10-30 раз. Окисляющая активность этих же бактериальных культур не проявляется, если их рост и размножение отсутствуют. Полученные данные позволили разработать научную основу микробиологического метода повышения нефтеотдачи и метода депарафинизации топлив и масел.

Разработаны варианты нефтewытесняющих композиций на основе ПАВ и карбамида (ИХН-КА, НИНКА). Карбамид в растворе практически устойчив при температуре до 70 °С. При температуре выше 70 °С происходит его термический гидролиз до углекислого газа и аммиака. Аммиак совместно с аммиачной селитрой служит стимулирующим азотистым субстратом для пластовой микрофлоры, CO_2 растворяется в нефти и снижает ее вязкость. В низкотемпературных пластах гидролиз карбамида может быть осуществлен путём ферментативного катализа с использованием кристаллической

промышленной уреазы или уреазы из природных источников. При моделировании вытеснения высоковязкой нефти композицией и ферментативными добавками получен прирост коэффициента нефтевытеснения 15-23 %. Исследовано действие соевой муки и кристаллической уреазы, которые обладают как плюсами, так и минусами: соевая мука не растворяется в воде и может снижать проницаемость коллектора и скорость фильтрации жидкости, а применение кристаллической уреазы может быть экономически невыгодно. Поэтому существует проблема поиска агента, гидролизующего карбамид в составе нефтевытесняющих композиций при низких пластовых температурах. В связи с этим представляет интерес поиска и применения источников уреазы растительного и бактериального происхождения для создания экологически безопасного эффективного метода увеличения нефтеотдачи нефтей [1].

Фермент уреазы, гидролизующий карбамид при низких пластовых температурах (20-40 °С) , входит в состав природных источников: отходы жизнедеятельности животных, соя, свекла. Уробактерии широко распространены в природе, встречаются в почве, сточных водах, навозе, подстилках для скота – то есть в средах, богатых карбамидом (мочевинной). Уробактерии гидролизуют мочевины до аммиака и двуокиси углерода:



Эта реакция не имеет энергетического значения и осуществляется ферментом бактерий – уреазой. Для получения энергии уробактерии окисляют органические кислоты и аминокислоты. Большинство уробактерий,

разлагающие карбамид, относятся к аэробной группе, способных расти в сильнощелочных средах, относятся к родам *Bacillus*, *Micrococcus*, *Sarcina*, *Achromobacter* и *Clostridium*, *Staphylococcus*.

Разрабатываемые композиции на основе ПАВ, карбамида и солей аммония для повышения нефтеотдачи залежей высоковязких нефтей с температурой 5-40°C, микробиологическое и ферментативное генерирование которых происходит непосредственно в нефтяном пласте, имеют следующие преимущества:

1. В результате гидролиза карбамида под действием ферментов или микрофлоры с образованием аммиака и CO₂, непосредственно в пласте генерируется эффективная нефтевытесняющая система, способствующая увеличению коэффициента нефтевытеснения, так как аммиак с солью аммония образует щелочную систему с максимальной буферной емкостью в интервале, что увеличивает моющие свойства ПАВ;
2. Углекислый газ CO₂ снижает вязкость нефти, что также способствует её дополнительному вытеснению;
3. При разбавлении композиций их азотсодержащие компоненты будут служить питанием пластовой микрофлоры, увеличивая её численность и оксигеназную активность, что приведёт к дополнительному вытеснению нефти.

В настоящее время методы увеличения нефтеотдачи с участием микроорганизмов имеют широкие перспективы применения, так как ежегодно ухудшается структура нефтяных запасов в России и во всём мире, растёт доля обводнённых месторождений и месторождений вязкой нефти.

Многие микробиологические методы увеличения нефтеотдачи уже прошли промышленные испытания и показали свою эффективность.

Литература

1. Котенев Ю.А. Микробиологический метод увеличения нефтеотдачи пластов на основе активного ила биологических очистных сооружений / Ю.А. Котенев, Л.Н. Загидуллина, В.Е. Андреев, П.М. Зобов, О.Ф. Кондрашев, В.М. Хусаинов, Н.Ф. Гумаров, И.М. Назмиев // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 48-50.
2. Ибатуллин Р.Р. Применение современных микробиологических технологий увеличения нефтеотдачи на объектах НГДУ «Лениногорскнефть» / Р.Р. Ибатуллин, Р.С. Хисамов, Г.Ф. Кандаурова, С.С. Беляев, И.А. Борзенков, Т.Н. Назина // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 7. – С. 42-45.
3. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А. Физико-химические методы увеличения нефтеотдачи пластов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 4. 2013. Вып. 2. С. 46-76.
4. Костина Г. Бактерии качают нефть. // «Энергетика и промышленность России». – 2005. – № 6.
5. Влияние на нефтеотдачу форсированных отборов жидкости и перспективы их применения. Сонич В.П., Черемисин Н.А., Климов А.А., Афанасьев В.А. // Нефтяное хозяйство. 2002. – № 8.
6. Закиров С.Н. Анализ проблемы «Плотность сетки скважин – нефте-отдача». – М.: Издательский Дом «Грааль», 2002. – 314 с.
7. Интенсификация добычи нефти и рациональное использование её запасов на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа. Зайцев Г.С., Толстолыткин И.П., Мухарлямова Н.В., Сутормин С.Е. // Нефтяное хозяйство. – 2003. – № 8.
8. Муслимов Р.Х. Современные методы повышения нефтеизвлечения: проектирование, оптимизация и оценка эффективности // Казань, 2005 г.
9. Немков А.С., Колганов В.И., Ковалева Г.А. Анализ применения форсированного отбора жидкости на месторождениях высоковязкой нефти Самарской области// Технологии ТЭК. – 2006. – № 1.
10. Пересчёт запасов нефти, растворённого газа, сопутствующих ком-понентов, создание ТЭО КИН Сызранского месторождения ОАО «Самаранефтегаз» на основе геологического и гидродинамического моделирования: Отчёт ОАО «Гипровостокнефть». 2007.
11. Форсированный отбор жидкости в карбонатных коллекторах с двойной пористостью. Дияшев Р.Н., Хисамов Р.С., Кандаурова Г.Ф., Файзуллин И.Н. // Нефтяное хозяйство. 2007. – № 6.
12. Демин С.В., Колганов В.И., Фомина А.А., Морозова А.Ю. Опыт разработки нефтяной залежи малотолщинного пласта Б27 Зольненского месторождения // Труды института «Гипровостокнефть». Самара. – 2008. – Вып. 66.

References

1. Kotenev Ju.A. Mikrobiologicheskij metod uvelichenija nefteotdachi plastov na osnove aktivnogo ila biologicheskikh ochistnyh sooruzhenij / Ju.A. Kotenev, L.N. Zagidullina, V.E. Andreev, P.M. Zobov, O.F. Kondrashev, V.M. Husainov, N.F. Gumarov, I.M. Nazmiev // Neftjanoe hozjajstvo. – 2004. – № 4. – S. 48-50.
2. Ibatullin R.R. Primenenie sovremennyh mikrobiologicheskikh tehnologij uvelichenija nefteotdachi na ob#ektah NGDU «Leninogorskneft'» / R.R. Ibatullin, R.S. Hisamov, G.F. Kandaurova, S.S. Beljaev, I.A. Borzenkov, T.N. Nazina // Neftjanoe hozjajstvo. – 2005. – № 7. – S. 42-45.
3. Altunina L.K., Kuvshinov V.A. Fiziko-himicheskie metody uvelichenija nefteotdachi plastov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 4. 2013. Vyp. 2. C. 46-76.
4. Kostina G. Bakterii kachajut neft'. // «Jenergetika i promyshlennost' Rossii». – 2005. – № 6.
5. Vlijanie na nefteotdachu forsirovannyh otborov zhidkosti i per-spektivy ih primenenija. Sonich V.P., Cheremisin N.A., Klimov A.A., Afanas'ev V.A. // Neftjanoe hozjajstvo. 2002. – № 8.
6. Zakirov S.N. Analiz problemy «Plotnost' setki skvazhin – nefte-otdacha». – M.: Izdatel'skij Dom «Graal», 2002. – 314 s.
7. Intensifikacija dobychi nefti i racional'noe ispol'zovanie ejo zapasov na mestorozhdenijah Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga. Zajcev G.S., Tolstolytkin I.P., Muharlamova N.V., Sutormin S.E. // Neftjanoe hozjajstvo. – 2003. – № 8.
8. Muslimov R.H. Sovremennye metody povyshenija nefteizvlechenija: proektirovanie, optimizacija i ocenka jeffektivnosti // Kazan', 2005 g.
9. Nemkov A.S., Kolganov V.I., Kovaleva G.A. Analiz primenenija forsirovannogo otbora zhidkosti na mestorozhdenijah vysokovjazkoj nefti Samarskoj oblasti// Tehnologii TJeK. – 2006. – № 1.
10. Pereschjot zapasov nefti, rastvorjonno go gaza, soputstvujushhh kom-ponentov, sozdanie TJeO KIN Syzranskogo mestorozhdenija OAO «Samaraneftegaz» na osnove geologicheskogo i gidrodinamicheskogo modelirovanija: Otchjot OAO «Giprovostokneft'». 2007.
11. Forsirovannyj otbor zhidkosti v karbonatnyh kollektorah s dvojnoj poristost'ju. Dijashev R.N., Hisamov R.S., Kandaurova G.F., Fajzullin I.N. // Neftjanoe hozjajstvo. 2007. – № 6.
12. Demin S.V., Kolganov V.I., Fomina A.A., Morozova A.Ju. Opyt razrabotki neftjanoj zalezhi malotolshhinnogo plasta B27 Zol'nenskogo mestorozhdenija // Trudy instituta «Giprovostokneft'». Samara. – 2008. – Vyp. 66.