

С.С. Беляев¹, И.А. Борзенков¹, И.Ф. Глумов²,
Р.Р. Ибатуллин², Р.Х. Муслимов³, М.В. Иванов¹

¹Институт микробиологии РАН, Москва;

²ТатНИПИнефть, Бузульма;

³Казанский государственный университет, Казань

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ БИОГЕОТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕИЗВЛЕЧЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТАТАРСТАНА

Существующие способы разработки нефтяных месторождений дают возможность извлекать из недр не более половины геологических запасов нефти, поэтому разработка новых методов повышения нефтеотдачи остается весьма актуальной задачей.

Микробиологические методы повышения нефтеизвлечения привлекают внимание, прежде всего, малой капиталоемкостью, высокой эффективностью и безопасностью для окружающей среды. К сожалению, подавляющее большинство предлагавшихся методов не испытывалось в условиях нефтяных месторождений; другие не дали положительных результатов. Исключение составляют отдельные разработки, когда путем введения в пласт сахаролитических микроорганизмов вместе с мелассой (Bryant et al., 1991; Назина и др., 1999) или введения природных популяций микроорганизмов (Юлбарисов, 1981) удавалось на некоторое время увеличить дебит нефти.

Разработанная базовая биогеотехнология повышения нефтеотдачи для месторождений с терригенными коллекторами, имеющими температуру менее 50 °С и заводняемыми пресными водами, основана на активации пластовой микрофлоры, а точнее, на активации геохимической деятельности микроорганизмов (Иванов, Беляев, 1989). Применение базовой биогеотехнологии повышения нефтеотдачи (БТПН) осуществляется на месторождениях или их участках длительное время (не менее года) эксплуатирующихся с использованием заводнения пресной водой. В результате этого в призабойной зоне нагнетательных скважин успевает сформироваться микробиологическое сообщество (биоценоз), состоящее, прежде всего, из комплекса аэробных углеводородоокисляющих микроор-

ганизмов и анаэробных метанообразующих бактерий (Беляев и др., 1998).

Технология метода циклическая и состоит из двух последовательных этапов: первый – собственно активация аэробной микрофлоры в призабойной зоне нагнетательной скважины путем введения азириванного раствора минеральных солей азота и фосфора (неорганическое питание). Результатом такой активации является образование продуктов биодegradации части остаточной нефти: жирных кислот, спиртов, поверхностно-активных соединений, биополимеров, двуокиси углерода и других, обладающих активными нефтевытесняющими свойствами. Второй этап – обычное заводнение в соответствии со схемой разработки данного участка месторождения, продвигающее выработанный на первом этапе комплекс нефтевытесняющих агентов к добывающим скважинам. Кроме того, на втором этапе, по мере биологического и химического потребления кислорода и создания анаэробной обстановки в пласте, часть низкомолекулярных органических продуктов метаболизма нефтяных углеводородов утилизируется метаногенами с образованием метана, также известного нефтевытесняющего агента.

Опытно-промышленные испытания базовой БТПН были проведены в период с 1983 по 1992 годы на ряде участков Бондюжского и Ромашкинского нефтяных месторождений Татарстана. Испытания продемонстрировали высокую эффективность разработанной БТПН, позволившую получить на опытных участках 87800 тонн дополнительной нефти (табл.). При этом технологические (дополнительные) затраты не превышали 5 долларов США на тонну дополнительной нефти. Технология пол-

ностью вписывалась в схему разработки месторождения с применением заводнения и не требовала дополнительных капиталовложений.

С целью расширения области применения БТПН на месторождениях заводняемых пресными или слабоминерализованными водами (до 30 г/л) были разработаны два модифицированных варианта технологии. Первый из них – для участков, где осуществляется циклическое заводнение – состоит в сочетании процесса активации пластовой микрофлоры с циклическим гидродинамическим воздействием. Названный вариант испытывался и теперь широко применяется на Ромашкинском месторождении, где в период с 1992 по 1999 г. с помощью этого метода добыто более 300 тыс т дополнительной нефти (табл.).

Вариант биогеотехнологии	Месторождение	Период проведения работ, гг.	Число скважин	Дополнительно добытая нефть	
				тонны	баррели
1. Базовый: активация микрофлоры призабойной зоны	Бондюжское	1983-1988	2÷6	47000	295620
	Ромашкинское	1987-1992	6÷15	40800	256625
	Всего:	1983-1992	8÷21	87800	552245
2. Активация микрофлоры+гидродинамика	Ромашкинское	1992-1999	52÷102	302378	1901956
3. Активация микрофлоры+углеводородное питание (сырая нефть)	Ромашкинское	1991-1999	11÷28	18334	115321
	Ново-Елховское	1996-1999	5÷9	4170	26229
	Первомайское	1995-1999	4÷13	12240	78122
Всего:		1991-1999	20÷50	34744	219672
4. Активация микрофлоры + биопрепарат	Ромашкинское	1994-1999	8÷24	15380	96740
	Всего	1983-1999	88÷197	439192	2762508

Табл. Дополнительная добыча нефти за счет применения *различных вариантов биогеотехнологии* повышения нефтеотдачи на месторождениях Татарстана (1983 – 1999 гг.).

Заслуживает внимания и второй вариант технологии для участков, где нагнетательные скважины работают длительный период (более 3-5 лет) и в призабойной зоне таких скважин остаточная нефть высоко окислена. Эта модификация заключается в сочетании базовой активации пластовой микрофлоры с одновременным введением в пласт дополнительного углеводородного питания (сырой нефти) для микроорганизмов. Этот вариант БТПН также прошел широкие испытания и применяется в настоящее время на Ромашкинском, Ново-Елховском и Первомайском месторождениях Республики Татарстан. Как показано в табл., использование его позволило получить около 35,0 тыс. тонн дополнительной нефти.

И, наконец, следует остановиться еще на одном новом варианте БТПН. Анализ современного состояния разработки нефтяных месторождений Татарстана и других регионов России показывает, что на многих месторождениях в процессе эксплуатации с применением заводнения используются соленые или так называемые сточные воды. Эти воды, как правило, остаются после обезвоживания нефтяной продукции и необходимость их утилизации приводит к необходимости включения их в технологический цикл, то есть к закачке в пласт для повышения пластового давления. Современная ситуация в Татарстане сейчас такова, что уже на подавляющем большинстве нефтяных месторождений заводнение осуществляется сточными водами и разработка биогеотехнологии повышения нефтеотдачи для таких месторождений является крайне актуальной задачей.

Анализ результатов предварительных работ по изучению распространения геохимической деятельности и особенностей физиологии микроорганизмов нефтяных месторождений, позволяет заключить, что на участках с высокосолёными пластовыми водами, а также в призабойных зонах нагнетательных скважин заводняемых солеными (сточными) водами численность микроорганизмов довольно низкая, и биогеохимические процессы развиваются слабо. В то же время в нефтяных пластах исследованных месторождений присутствуют специализированные галотолерантные и галофильные микроорганизмы, которые могут активно развиваться в условиях высокой солености при наличии там необходимых питательных веществ. Таким образом, активация микробиологических процессов в пласте с целью образования нефтевытесняющих соединений лимитируется, прежде всего, низкой численностью углеводородокисляющих микроорганизмов, в первую очередь ответственных за образование таких соединений и, следовательно, схема разрабатываемой биогеотехнологии повышения нефтеизвлечения должна включать стадию дополнительной интродукции в пласт галофильных углеводородокисляющих микроорганизмов. В этом состоит главное отличие разрабатываемой нами новой биогеотехнологии повышения нефтеизвлечения от уже разработанной базовой биогеотехнологии.

В процессе микробиологических исследований нефтяных месторождений Татарстана нами было выделено и изучено более 100 штаммов различных микроорганизмов, обладающих углеводородокисляющей активностью. На основе этой коллекции микроорганизмов был создан микробный препарат, названный «Девороил». В состав препарата были включены четыре бактериальных и один

дрожжевой организм: *Rhodococcus erythropolis*, str.367-6, *Rh.maris*, str.367, *Rh.maris*, str.367-4, *Alkaligenes faecalis*, str.367 и *Jarrowia lipolytica*, str.367-3. Организмы представляли собой микробное сообщество, объединенное трофическими связями. Микроорганизмы сообщества способны эффективно окислять алифатические углеводороды нефти с длиной цепи $C_9 - C_{30}$ и ароматические углеводороды с образованием CO_2 , жирных кислот и спиртов, поверхностно-активных соединений и других органических веществ, обладающих нефтевытесняющими свойствами. Микроорганизмы препарата способны активно функционировать при температуре от 10 до 50 °С, в широком диапазоне кислотности среды (рН 4,5 – 9,5). Среди бактериальных штаммов имеются организмы, обладающие как гидрофильной, так и липофильной клеточной стенкой, что обуславливает возможность развития процесса окисления нефти как на границе вода-нефть, так и в толще углеводорода. Микроорганизмы препарата активно окисляют нефтяные компоненты в водных средах, содержащих минеральные соли азота и фосфора и до 150 г/л NaCl. Исследования, проведенные в институтах Российского министерства здравоохранения и санитарно-эпидемиологической службы, показали, что микроорганизмы, входящие в состав препарата, являются непатогенными и нетоксичными. Микробный препарат «Девороил» рекомендован для широкого использования в промышленных технологиях, связанных с окислением нефтепродуктов. На базе биотехнологической установки Института микробиологии РАН налажена опытная наработка микробного препарата с последующей сушкой (в форме порошка) или замораживанием биомассы в пастообразном состоянии. В дальнейшем препарат в форме сухого порошка или в виде замороженной пасты доставлялся на опытные участки Ромашкинского нефтяного месторождения для проведения промышленных экспериментов.

Опытно-промышленные испытания новой биогеотехнологии повышения нефтеотдачи проводились на нескольких участках Ромашкинского месторождения, заводняемых сточными водами. Как видно из таблицы, в процессе опытных работ на участках Ромашкинского месторождения по новой биогеотехнологии получено 15 380 т дополнительной нефти. Величина скромная по сравнению с другими вариантами биогеотехнологии, однако, обнадеживающая, так как область применения такого подхода более широка.

Литература

- Беляев С.С., Борзенков И.А., Глумов И.Ф., Ибатуллин Р.Р., Милехина Е.И., Иванов М.В. Активация современной геохимической деятельности пластовой микрофлоры как основа биогеотехнологии повышения нефтеизвлечения. *Микробиология*, т. 67, № 6, 1998. 851–858.
- Иванов М.В., Беляев С.С. Биогеотехнология и повышение нефтеизвлечения. *Нефтяное хозяйство*, № 10. 1989. 28 – 32.
- Назина Т.Н., Иванова А.Е., Ивойлов В.С., Миллер Ю.М., Кандаурова Г.Ф., Ибатуллин Р.Р., Беляев С.С., Иванов М.В. Результаты испытания микробиологического метода повышения нефтеотдачи в условиях карбонатного коллектора Ромашкинского нефтяного месторождения. Биогеохимические и продукционные характеристики. *Микробиология*, т. 68, № 2. 1999. 261 – 266.
- Олбарисов Э.М. О повышении нефтеотдачи заводненных пластов. *Нефтяное хозяйство*, № 3. 1981. 36 – 40.
- Bryant R.S., Burchfield T.E., Dennis D.M., Hitzman D.O., Porter R.E. Microbial enhanced waterflooding: a pilot study. *Dev.Petrol.Sci.*, 31. 1991. 399-419.