



И. С. Файзуллин
Б. П. Дьяконов
Р. С. Хисамов
Р. Х. Муслимов
Н. В. Куценко

ВНИИГЕОСИСТЕМ, МОСКВА
ВНИИГЕОСИСТЕМ, МОСКВА
ОАО "ТАТНЕФТЬ", АЛЬМЕТЬЕВСК
АДМИНИСТРАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН, КАЗАНЬ
ООО НВП "ГЕОАКУСТИК", МОСКВА

О ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБВОДНЕННЫЕ НЕФТЯНЫЕ ПЛАСТЫ

Разработка нефтяных месторождений на поздней стадии требует привлечения специальных методов увеличения нефтеотдачи. Основные трудности разработки таких месторождений связаны с ухудшением условий вытеснения нефти закачиваемой водой в связи с сильным обводнением пластов. Одним из известных методов увеличения нефтеотдачи в таких условиях является сейсмоакустическое воздействие, однако механизм воздействия остается невыясненным. Предложенные в [1 - 3] возможные модели воздействия не подтверждены исследованиями на нефтяных месторождениях. В данной работе приводятся результаты специальных наблюдений на месторождениях Татарстана, находящихся на поздней стадии разработки. Основная задача исследований заключалась в изучении механизма сейсмоакустического воздействия на обводненные нефтяные пласты.

Возбуждение упругих колебаний осуществлялось скважинным излучателем, обеспечивающим излучение коротких импульсов давления с частотным спектром 20 - 300 Гц, амплитудой акустического давления $5 \cdot 10^4$ Па (на расстоянии 1 м в воде) и периодом повторения 6 с. Излучатель работал непрерывно в течение 216 ч. Изменение свойств продуктивного пласта оценивалось по изменению открытой трещиноватости. Для этих целей использовался в режиме мониторинга метод сейсмической локализации бокового обзора (СЛБО), позволяющий определять изменение трещиноватости во всем объеме геологической среды на глубинах 500 - 5000 м [4, 5]. Результаты воздействия оценивались по промысловым данным на скважинах, удаленных от "излучающей" до 2 км.

На Ромашкинском месторождении (Миннибаевская площадь, блок 4) сейсмоакустическое воздействие осуществлялось непрерывно в течение 9 дней (с 23.06 по 1.07.1998 г.) в скв. 20462 против пашийского горизонта, представленного переслаиванием песчаных, песчано-алевролитовых и аргиллитовых пород. Наблюдения по методике СЛБО выполнялись на площади 4×4 км. Одно наблюдение было проведено до начала воздействия (21.06.1998 г.) для определения фоновых значений тре-

щинчатости по продуктивному горизонту, остальные пять наблюдений - во время воздействия (23, 26, 27, 28, 29.06.1998 г.). На рис. 1 представлено распределение трещиноватости при фоновом наблюдении и положение забоев добывающих скважин. На рис. 2 представлено распределение трещиноватости, осредненное по пяти наблюдениям, за вычетом фоновое наблюдения. Сравнивая рис. 1 и 2, можно установить, как изменилось распределение трещиноватости по продуктивному горизонту после воздействия. Из сопоставления этих рисунков следует, что области повышенной трещиноватости сменились областями пониженных значений и наоборот. Особенно отчетливо это видно в районе скв. 294 и 20691.

Оценка дополнительно добытой нефти осуществлялась за период 18 месяцев по комплексу характеристик вытеснения, построенных для каждой добывающей скважины. Полученные данные приведены в таблице

Из таблицы, рис. 1 и 2 видно, что наибольшее увеличение добычи нефти фиксируется в тех скважинах, в окрестности которых наблюдается резкое уменьшение трещиноватости. Напротив, увеличение трещиноватости или ее неизменность приводят к незначительному увеличению дополнительной нефти.

На Абдрахмановской площади (блок 7) Ромашкинского месторождения сейсмическое воздействие осуществлялось в скв. 844 против нефтяного пласта того же пашийского горизонта с 3.06 по 12.06.1997 г. Наблюдения по методике СЛБО проводились в режиме мониторинга - одно для получения фоновое значения распределения трещиноватости по продуктивному пласту и восемь последующих (с интервалом 3 дня) для выяснения характера изменения трещиноватости во время воздействия (четыре наблюдения) и после его окончания (четыре наблюдения). Таким образом было получено девять распределений поля трещиноватости.

Обработка этих данных велась следующим образом. В точках, соответствующих положениям всех скважин, оценивалось значение трещиноватости в условных единицах на всех девяти распределениях. Осреднение полу-

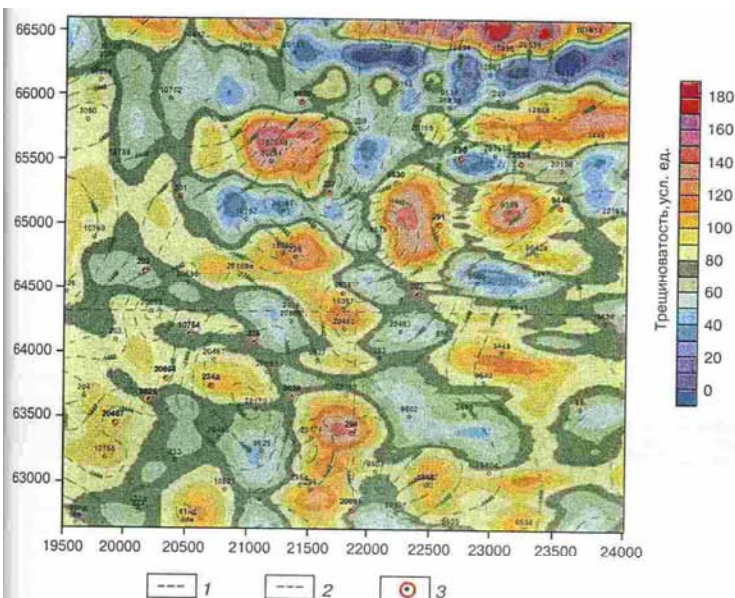


Рис. 1. Поле распределения трещиноватости, полученное при фоновом наблюдении до воздействия. Ромашкинское месторождение, Миннибаевская площадь, блок 4, пашийский горизонт. Масштаб 1 : 25 000: 1 - изогипсы кровли продуктивного горизонта D1; 2 - проекции линий вертикальных разрезов; 3 - добывающие скважины

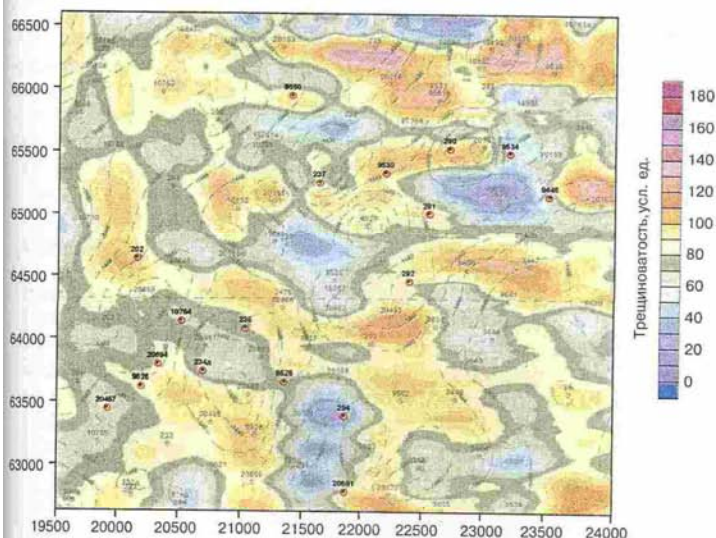


Рис. 2. Поле распределения трещиноватости, осредненное по пяти наблюдениям после воздействия, за вычетом фонового поля. Ромашкинское месторождение, Миннибаевская площадь, блок 4, пашийский горизонт. Масштаб 1 : 25 000: усл. обозн. - см. на рис. 1

ченных значений по каждой точке (скважине) проводилось методом наименьших квадратов по первым четырем значениям, соответствующим наблюдениям во время воздействия, и по последним четырем распределениям, соответствующим наблюдениям после окончания воздействия, а также по всем распределениям за весь период наблюдений. Направление изменения трещиноватости (увеличение - уменьшение) оценивалось по наклону осредняющей кривой, а величина наклона характеризовалась тангенсом угла наклона. Полученные значения в виде стрелок приведены на рис. 3. Как видно из рис. 3, для большинства точек направления изменения трещиноватости во время воздействия, после него и за весь период наблюдений совпадают. Кроме того, так же, как и в предыдущем эксперименте, области повышенных значений трещиноватости после воздействия сменились областями пониженных значений и наоборот.

Анализ промысловых данных по добывающим скважинам за 4 месяца до воздействия и 4 месяца после него показал, что, как и в предыдущем эксперименте, наибольшее увеличение добычи нефти после воздействия наблюдается в тех скважинах, в окрестности которых произошло резкое уменьшение трещиноватости. Из этих же данных следует, что приращение добычи нефти после воздействия происходит в основном за счет уменьшения коэффициента водонасыщенности уменьшился на 30,8%, в скв. 9079 - на 80,9%. Аналогичные эксперименты были проведены на Чишминской площади Ромашкинского месторождения и на Бавлинском месторождении. И в этих экспериментах подтвердилась установленная особенность изменения степени трещиноватости после воздействия: в областях повышенной трещиноватости происходит резкое уменьшение ее значений, а в областях пониженной трещиноватости - увеличение.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наличие зон повышенной и пониженной трещиноватости перед началом воздействия (см. рис. 1) свидетельствует о сложном напряженно-деформированном состоянии среды. В этих условиях трещины, которые оказывают наибольшее влияние на рассеяние волн (соизмеримые с длиной волны), находятся в неустойчивом состоянии. При падении продольной волны на такую трещину происходит ее подрастание, а при наличии контактов между берегами трещин - проскальзывание на контактах за счет сдви-

Таблица

**Дополнительная добыча нефти по скважинам,
расположенным на участке наблюдений
методом СЛБО
(Миннибаевская площадь, блок 4)**

№ скважины	Дополнительная добыча нефти, т	№ скважины	Дополнительная добыча нефти, т
202	66	9530	286
235	600	9534	2566
237	120	9626	80
290	168	9650	6
291	4358	10754	218
292	166	20457	30
294	1322	20691	2672
9446	960	20694	36
9526	24		

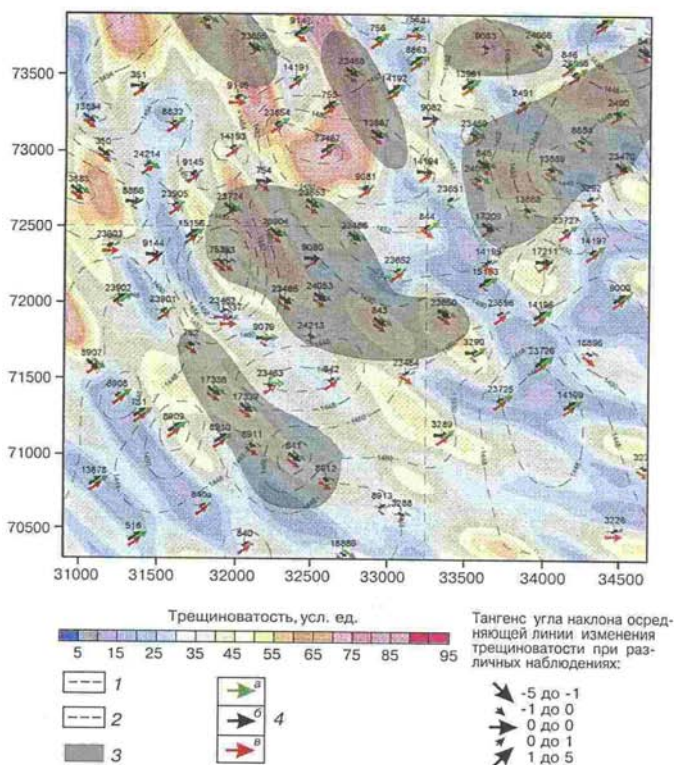


Рис. 3. Направление и степень изменения трещиноватости при сейсмоакустическом воздействии на Абдрахмановской площади. Масштаб 1 : 25000:
 1 - изогипсы подошвы репера "верхний известняк"; 2 - проекции линий вертикальных разрезов; 3 - область уменьшения трещиноватости после воздействия; 4 - направление изменения трещиноватости: а - после воздействия; б - во время воздействия; в - за все время наблюдений

говых напряжений. В процессе повторного падения волны происходит дополнительное подрастание трещин с дополнительным проскальзыванием на контактах. Таким образом происходит накопление деформаций и рост трещин. Если энергия падающей волны мала, но число повторных прохождений велико, то и рост трещин может быть значительным. Наблюдаемые изменения трещиноватости можно объяснить следующим образом. В области пониженной трещиноватости доля трещин с размерами, близкими к критическим, невелика, поэтому рост большинства трещин не приводит к их смыканию и рассеивающие свойства области увеличиваются. В областях повышенной трещиноватости доля указанных трещин больше и рост их приводит к увеличению размеров до критических и последующему смыканию. В этом случае рассеивающие свойства области уменьшаются.

На базе рассмотренного механизма изменения трещиноватости после сейсмоакустического воздействия можно объяснить основные эффекты, отмечаемые по промысловым данным. Так, уменьшение коэффициента водонасыщенности, наблюдаемое в основном при уменьшении трещиноватости, объясняется снижением раскрытости и склопыванием трещин, являющихся каналами притока воды в добывающие скважины. Но поскольку перед склопыванием происходит развитие трещин по ненарушенной части пласта, то при этом извлекается малообводненная нефть, что также приводит к уменьшению коэффициента водонасыщенности. Кроме того, смыкание трещин и уменьшение их раскрытости проявляется при увеличении пластового давления (на 5 - 10 атмосфер), что также способствует увеличению эффективности работы скважин.

Увеличение коэффициента водонасыщенности, которое наблюдается в основном при повышении трещиноватости, объясняется ростом трещин до размеров, не превышающих критический. Но поскольку развитие трещин, как и в предыдущем случае, происходит по ненарушенной части пласта, то при этом также извлекается малообводненная нефть. Это сдерживает рост рассматриваемого коэффициента, и в целом увеличение его оказывается незначительным.

Если в первом случае дебит скважинной жидкости может увеличиться за счет повышения пластового давления, то во втором - за счет увеличения трещинной проницаемости, что и отмечается в некоторых скважинах. Интересно отметить также, что в обоих рассмотренных случаях нефтеотдача пласта увеличивается за счет проникновения трещин в нарушенные участки пласта.

Выводы

- В процессе сейсмоакустического воздействия происходит изменение напряженно-деформированного состояния в окрестности продуктивного пласта, проявляющееся в изменении поля открытой трещиноватости.

- Изменение открытой трещиноватости происходит таким образом, что области повышенных значений сменяются областями пониженных значений и наоборот.
- Наибольший эффект от воздействия в виде получения дополнительной нефти наблюдается в скважинах, расположенных рядом с зонами повышенной трещиноватости.
- Основной объем дополнительно добытой нефти связан главным образом с уменьшением коэффициента водонасыщенности добываемой жидкости.
- Наряду со скважинами, положительно реагирующими на воздействие, имеются скважины, не реагирующие на него или реагирующие слабоотрицательно, при этом общий итог воздействия всегда положителен.
- Сейсмоакустическое воздействие всегда способствует увеличению нефтедачи пласта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. С., Цецохо В. А., Белоносова А. В., Белоносов А. С., Сказка В. В., 2001, Вынужденные колебания трещиновато-блочных флюидонасыщенных слоев при вибросейсмических воздействиях: Геомеханика, 6, 3 - 12.
2. Назаров Л. А., Назарова Л. А., Ряшенцев А. Н., Ряшенцев Н. П., Фомин В. М., 2002, Об одном механизме повышения нефтеотдачи пластов: ДАН, т. 382, 1, 41 - 44.
3. Назаров Л. А., Назарова Л. А., Ряшенцев А. Н., Ряшенцев Н. П., Фомин В. М., 2003, Экспериментальное исследование изменения режима фильтрации в пласте, вызванного перераспространением напряжений во смешивающем массиве: ДАН, т. 388, 5, 620 - 623.
4. Файзуллин И. С., Чиркин И. А., 1998, Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород: Геоинформатика, 3, 24 - 27.
5. Файзуллин И. С., Куценко Н. В., 2004, О возможности применения рассеянных волн для изучения трещиноватости геосреды по данным численного моделирования: Геофизика, 5, 5 - 9.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ирик Султанович ФАЙЗУЛЛИН - доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией разработок сейсмоакустических технологий ВНИИгеосистем, научный руководитель ООО НВП "Геоакустик".

Борис Петрович ДЬЯКОНОВ - доктор технических наук, главный научный сотрудник ВНИИгеосистем.

Раис Салихович ХИСАМОВ - доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный геолог ОАО "Татнефть".

Ренат Халилович МУСЛИМОВ - доктор геолого-минералогических наук, профессор, советник при Президенте Республики Татарстан.

Николай Валентинович КУЦЕНКО - научный сотрудник ООО НВП "Геоакустик", аспирант кафедры математической физики факультета ВМ и К МГУ.