

Т.Р. Гилязов¹, Р.Н. Гатиятуллин²

¹Казанский государственный университет

²Татарское геологоразведочное управление ОАО "Татнефть"

РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ АКТИВИЗАЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Процесс освоения углеводородного потенциала недр способен привести к возникновению аварийных и чрезвычайных ситуаций в районах нефтегазодобычи с негативными последствиями и ущербом для среды обитания человека (Сидоров, 1999). В последнее время внимание учёных и специалистов всё более стали привлекать аномальные и катастрофические техногенные явления, связанные с разработкой месторождений нефти и газа. При этом к одним из наиболее опасных техногенных геодинамических событий следует отнести землетрясения. Зарегистрированы многочисленные случаи возникновения землетрясений, в т.ч. сильных, в районах эксплуатируемых месторождений нефти и газа в США, Канаде, Франции и других странах.

На территории бывшего Советского Союза техногенные землетрясения, в т.ч. сильные, с катастрофическими последствиями, происходили на Украине (нефтяное месторождение Долина, 1976-1983гг.), в Туркменистане, Узбекистане (газовое месторождение Газли, 1976г. и 1984г.), на Сахалине (Нефтегорское землетрясение, 1995г., Оха, 1995, 1996гг.) и в других районах. Наиболее разрушительными явились землетрясения в районе Газли (магнитуда до 7,3 и сила 8-10 баллов) и на Сахалине, в Нефтегорске (магнитуда до 7,6).

Важно отметить то, что землетрясения, инициированные разработкой месторождений нефти и газа, происходят как в сейсмоактивных, так и в платформенных областях. При этом на платформах они вызывают повреждения на более значительных площадях, чем в сейсмоактивных областях. Объясняется это небольшой глубиной очагов и неадекватной сейсмостойкостью и надёжно-

стью объектов обустройства и скважин против такой возможной интенсивности событий (Nicholson and Wesson, 1990). Обобщения, выполненные И.В. Ананьиним (1988) показали, что на Русской платформе, в т.ч. в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, произошло значительное число тектонических землетрясений, среди которых наиболее сильные достигали 7 баллов. Эти факты во многом изменили традиционные представления о современном геодинамическом состоянии недр платформенных областей.

Анализ и обобщение материалов по случаям возникновения землетрясений, связанных с разработкой месторождений нефти и газа, позволили В.А Сидорову (1999) и другим исследователям сделать следующие основные выводы:

- ◆ землетрясения в нефтегазоносных районах по своей природе являются тектоническими, но проявление их

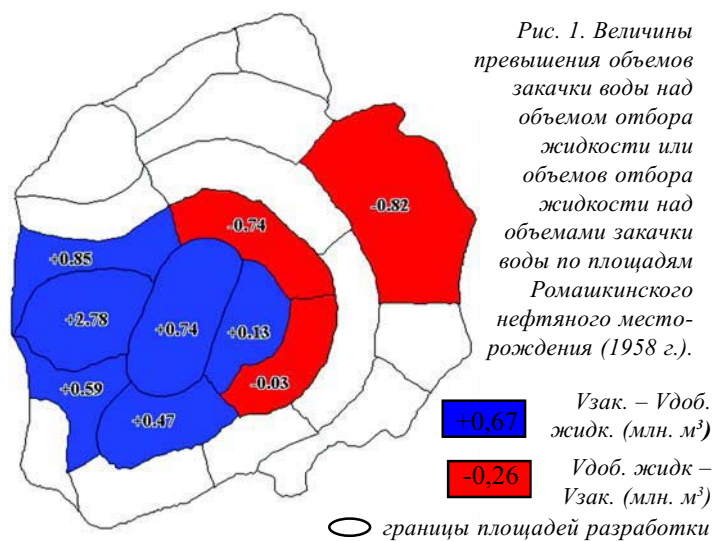
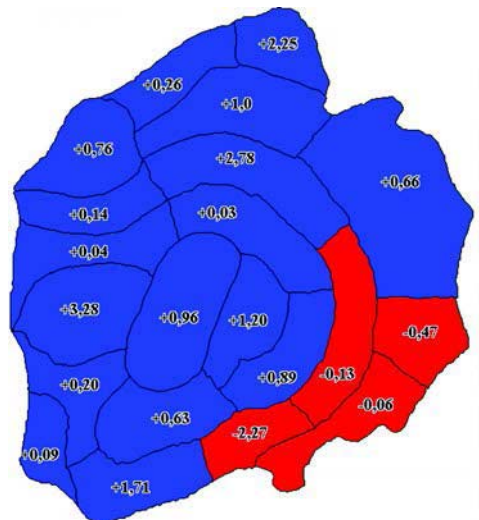


Рис. 2. Величины превышения объемов закачки воды над объемом отбора жидкости или объемов отбора жидкости над объемами закачки воды по площадям Ромашкинского месторождения (1974 г.).



инициировано разработкой месторождений нефти и газа. Возникают они как при интенсивном отборе углеводородов, так и при закачке жидкостей для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов;

♦ положение очагов техногенно-инициированных землетрясений определяется дизъюнктивными нарушениями;

♦ магнитуда сейсмических событий зависит не только от естественной напряжённости недр, интенсивности и длительности разработки месторождения, но и от места и глубины расположения очага землетрясения. При нахождении его в водонефтяном резервуаре или в непосредственной близости от него магнитуда не превышает 3, 5, а при расположении очага выше, ниже и даже в стороне от резервуара магнитуда может достигать 4-4,5 и более. Подобные землетрясения являются тектоническими, но их возникновение связано с процессами разработки месторождений;

♦ превышение объёмов закачиваемой жидкости над объёмами отбираемой жидкости, или наоборот, приводит к увеличению числа сейсмических событий.

Не останавливаясь на всех вышеизложенных выводах, в настоящем докладе рассмотрим только последний из них. На территории бывшего СССР первой серьёзной работой, посвященной проблеме связи сейсмичности территории с режимом эксплуатации нефтяных залежей, было исследование, проведённое Смирновой М.Н. в связи со Старогрозненским землетрясением в 1971г., с интенсивностью до 7 баллов. Была показана связь техногенной сейсмичности с особенностями режимов добычи нефти и закачки воды (Сидоров, 1999).

Ярким примером активизации тектонических процессов и повышения сейсмичности территории в платформенных условиях является регистрация техногенных землетрясений, связанных с разработкой Ромашкинского нефтяного месторождения в Татарстане.

Ромашкинское нефтяное месторождение, открытое в 1948 г., введено в промышленную разработку в 1952 г. (Муслимов и др., 1995). Основные продуктивные горизонты приурочены к терригенным породам верхнего девона, залегающим на глубине 1,7-2,0 км. Ромашкинское месторождение, на котором была внедрена система внутриконтурного заводнения, было разделено на 21 площадь

самостоятельной разработки нагнетательными скважинами разрезающих рядов (Галеев, 1997; Муслимов и др., 1995). В течение всего периода разработки Ромашкинского месторождения соотношение объёмов добываемой и закачиваемой жидкости как по площадям, так и во времени, в пределах одной и той же площади, изменялось в очень широких пределах. Для лучшей сопоставимости величин превышения объёмов закачиваемой жидкости над объёмами отбираемой жидкости и наоборот, нами предлагается ввести коэффициент геодинамической нагрузки Кг.д.н., рассчитываемый по формуле:

$$К \text{ г.д.н.} = (Q_3 - Q_0)/S, \quad (1)$$

$$К \text{ г.д.н.} = (Q_0 - Q_3)/S, \quad (2)$$

где К г.д.н. - коэффициент геодинамической нагрузки, тыс. м³/км²; Q₃ - объём закачиваемой в пласты жидкости за определённый год, тыс. м³; Q₀ - объём отобранной из пластов жидкости за определённый год, тыс. м³; S - площадь самостоятельной разработки месторождения, км².

В случае превышения закачки над отбором жидкости коэффициент геодинамической нагрузки принимается со знаком “плюс”, в случае превышения отбора жидкости над закачкой - со знаком “минус”. Нами были рассчитаны значения коэффициента геодинамической нагрузки по площадям разработки Ромашкинского нефтяного месторождения. Величины отбора жидкости, закачки и площадей разработки были взяты по данным ОАО “Татнефть”. Как видно из таблицы, значения Кг.д.н. изменялись в очень значительных пределах не только в зависимости от площадей разработки, но и во времени, в пределах одной и той же площади. Так, на Миннибаевской площади за период 1954-92 гг. коэффициент геодинамической нагрузки колебался в диапазоне от минус 8,4 до плюс 12,81.

Несоблюдение баланса между объёмами закачиваемой и добываемой жидкости привело к активизации тектонических процессов в районе Ромашкинского нефтяного месторождения и, как следствие, к увеличению количества землетрясений. По данным НПЦ “Сейсмо

Месторождения, годы разработки	Глубина разрабатываемой залежи	Форма проявления	Масштаб последствий	Возможные причины
Газовое - Лак (Франция). Разрабатывается с 1957 г.	3500 м, начальное пластовое давление 670 бар, в 1978 г. - 200 бар	С 1967 г. наблюдаются сейсмические события до 160 в год. Максимальная магнитуда землетрясений 4-4,2.	Прекращение работ, повреждения оборудования	Снижение давления в резервуаре и соответственно прочности трещиноватых пород с увеличением напряжения в толще над резервуаром.
Нефтяное - Рейнджли (США). Разрабатывается с 1945 г.	1830 м	Регистрация землетрясений с 1962 г. За 8 лет - 976 сейсмических событий. Глубина очагов - 1830 до 3550 м	Разрушение скважин в интервале резервуара.	Увеличение давления нагнетания воды в скважинах (до 275 бар). С уменьшением давления на забое скважин число землетрясений уменьшается или они прекращаются.
Нефтяное - Долина (Украина). Разрабатывается с 1950 г.	2500	С 1974 по 1983 ряд техногенных землетрясений до 6-7 баллов	Срезание колонн эксплуатационных скважин, повреждения зданий	Длительный отбор нефти с последующей закачкой воды в пласт в условиях повышенного напряжения состояния геол. среды.
Нефтяное- Старогрозненское (Россия). Разрабатывается с 1963 г.	4000 м	Техногенное землетрясение 1972 г. Глубина очага 2,5 км, магнитуда 4,7, сила проявления на поверхности до 7 баллов	Многочисленное смятие обсадных колонн скважин, частичное разрушение жилых зданий.	Причина - тектоническая, но индуцированная процессами разработки месторождения.

Табл. 1. Примеры техногенных землетрясений, связанных с разработкой месторождений углеводородов.

иницировано разработкой месторождений нефти и газа. Возникают они как при интенсивном отборе углеводородов, так и при закачке жидкостей для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пластов;

♦ положение очагов техногенно-иницированных землетрясений определяется дизъюнктивными нарушениями;

♦ магнитуа сейсмических событий зависит не только от естественной напряженности недр, интенсивности и длительности разработки месторождения, но и от места и глубины расположения очага землетрясения. При нахождении его в водонефтяном резервуаре или в непосредственной близости от него магнитуа не превышает 3, 5, а при расположении очага выше, ниже и даже в стороне от резервуара магнитуа может достигать 4-4,5 и более. Подобные землетрясения являются тектоническими, но их возникновение связано с процессами разработки месторождений;

♦ превышение объемов закачиваемой жидкости над объемами отбираемой жидкости, или наоборот, приводит к увеличению числа сейсмических событий.

Не останавливаясь на всех вышеизложенных выводах, в настоящем докладе рассмотрим только последний из них. На территории бывшего СССР первой серьезной работой, посвященной проблеме связи сейсмичности территории с режимом эксплуатации нефтяных залежей, было исследование, проведенное Смирновой М.Н. в связи со Старогрозненским землетрясением в 1971г., с интенсивностью до 7 баллов. Была показана связь техногенной сейсмичности с особенностями режимов добычи нефти и закачки воды (Сидоров, 1999).

Ярким примером активизации тектонических процессов и повышения сейсмичности территории в платформенных условиях является регистрация техногенных землетрясений, связанных с разработкой Ромашкинского нефтяного месторождения в Татарстане.

Ромашкинское нефтяное месторождение, открытое в 1948 г., введено в промышленную разработку в 1952 г. (Муслимов и др., 1995). Основные продуктивные горизонты приурочены к терригенным породам верхнего девона, залегающим на глубине 1,7-2,0 км. Ромашкинское месторождение, на котором была внедрена система внутриконтурного заводнения, было разделено на 21 площадь

самостоятельной разработки нагнетательными скважинами разрезающих рядов (Галеев, 1997; Муслимов и др., 1995). В течение всего периода разработки Ромашкинского месторождения соотношение объемов добываемой и закачиваемой жидкости как по площадям, так и во времени, в пределах одной и той же площади, изменялось в очень широких пределах. Для лучшей сопоставимости величин превышения объемов закачиваемой жидкости над объемами отбираемой жидкости и наоборот, нами предлагается ввести коэффициент геодинамической нагрузки Кг.д.н., рассчитываемый по формуле:

$$К \text{ г.д.н.} = (Q_3 - Q_0)/S, \quad (1)$$

$$К \text{ г.д.н.} = (Q_0 - Q_3)/S, \quad (2)$$

где К г.д.н. - коэффициент геодинамической нагрузки, тыс. м³/км²; Q₃ - объем закачиваемой в пласты жидкости за определенный год, тыс. м³; Q₀ - объем отобранной из пластов жидкости за определенный год, тыс. м³; S - площадь самостоятельной разработки месторождения, км².

В случае превышения закачки над отбором жидкости коэффициент геодинамической нагрузки принимается со знаком “плюс”, в случае превышения отбора жидкости над закачкой - со знаком “минус”. Нами были рассчитаны значения коэффициента геодинамической нагрузки по площадям разработки Ромашкинского нефтяного месторождения. Величины отбора жидкости, закачки и площадей разработки были взяты по данным ОАО “Татнефть”. Как видно из таблицы, значения Кг.д.н. изменялись в очень значительных пределах не только в зависимости от площадей разработки, но и во времени, в пределах одной и той же площади. Так, на Миннибаевской площади за период 1954-92 гг. коэффициент геодинамической нагрузки колебался в диапазоне от минус 8,4 до плюс 12,81.

Несоблюдение баланса между объемами закачиваемой и добываемой жидкости привело к активизации тектонических процессов в районе Ромашкинского нефтяного месторождения и, как следствие, к увеличению количества землетрясений. По данным НПЦ “Сейсмо-

Месторождения, годы разработки	Глубина разрабатываемой залежи	Форма проявления	Масштаб последствий	Возможные причины
Газовое - Лак (Франция). Разрабатывается с 1957 г.	3500 м, начальное пластовое давление 670 бар, в 1978 г. – 200 бар	С 1967 г. наблюдаются сейсмические события до 160 в год. Максимальная магнитуа землетрясений 4-4,2.	Прекращение работ, повреждения оборудования	Снижение давления в резервуаре и соответственно прочности трещиноватых пород с увеличением напряжения в толще над резервуаром.
Нефтяное – Рейнджли (США). Разрабатывается с 1945 г.	1830 м	Регистрация землетрясений с 1962 г. За 8 лет – 976 сейсмических событий. Глубина очагов – 1830 до 3550 м	Разрушение скважин в интервале резервуара.	Увеличение давления нагнетания воды в скважинах (до 275 бар). С уменьшением давления на забое скважин число землетрясений уменьшается или они прекращаются.
Нефтяное – Долина (Украина). Разрабатывается с 1950 г.	2500	С 1974 по 1983 ряд техногенных землетрясений до 6-7 баллов	Срезание колонн эксплуатационных скважин, повреждения зданий.	Длительный отбор нефти с последующей закачкой воды в пласт в условиях повышенного напряжения состояния геол. среды.
Нефтяное- Старогрозненское (Россия). Разрабатывается с 1963 г.	4000 м	Техногенное землетрясение 1972 г. Глубина очага 2,5 км, магнитуа 4,7, сила проявления на поверхности до 7 баллов	Многочисленное смятие обсадных колонн скважин, частичное разрушение жилых зданий.	Причина – тектоническая, но индуцированная процессами разработки месторождения.

Табл. 1. Примеры техногенных землетрясений, связанных с разработкой месторождений углеводородов.

Площадь разработки	1954	1956	1958	1960	1962	1965	1974	1984	1988	1992
Абдрахмановская	-3,3	-4,26	2,5	2,87	-2,64	1,11	3,24	3,82	8,72	6,76
Миннибаевская	-8,4	2,62	10,86	-0,04	-0,27	-3,13	12,81	5,94	6,68	3,44
Павловская	-2,9	-2,74	1,05	2,18	6,21	5,40	9,68	3,71	6,13	-2,66
Альметьевская			4,78	2,13	-1,91	3,60	0,22	4,61	3,25	3,15
Сев.-Альметьевская					-4,87	1,82	0,91	7,40	2,08	1,17
Вост.-Сулеевская		-1,89	-3,59	-0,05	-0,78	-4,08	0,15	1,21	2,09	0,05
Алькеевская				2,30	2,70	3,55	10,86	1,76	1,25	-1,09
Зеленогорская		1,28	-0,17	1,17	-2,94	-0,33	4,94	3,44	3,44	0,44
Южн.-Ромашкинская		-1,64	2,49	2,70	-0,37	1,22	3,33	1,06	3,28	2,91
Зай-Каратайская			3,58	3,52	5,94	4,18	1,21	1,09	0,30	-1,82
Куакбашская					-0,71	4,57	1,29	1,43	0,71	-1,43
Зап.-Ленинградская					2,94	-1,18	5,29	0,72	2,44	3,80
Южная							-0,59	2,35	1,76	0,39
Вост.-Ленинградская						-4,78	-16,69	-10,74	-1,84	22,43
Кармалинская							-1,98	-0,59	0,84	0,72
Азнакаевская			-1,87	2,44	0,71	0,96	1,50	1,55	1,37	0,82
Чишминская							5,92	0,02	4,20	2,19
Берёзовская					-0,90	-0,29	3,41	3,81	4,93	1,70
Сармановская							1,07	-1,40	3,29	2,43
Ташляйрская							8,49	2,42	4,00	-3,47

Табл. 2. Значения коэффициента геодинамической нагрузки по площадям разработки Ромашкинского нефтяного месторождения.

гия” под руководством К.М. Мирзоева, с 1982 по 2001 г.г. в этом районе зарегистрировано около 800 землетрясений разной силы, самые сильные из которых произошли в 1987 и 1991 гг. и достигали 6-7 баллов по 12-балльной международной шкале сейсмической балльности (MSK-64). Максимальные магнитуды по Рихтеру для этих землетрясений составили $M=4$. Глубина гипоцентров, по данным (Сидоров, 1999), 3-5 км (в верхней части кристаллического фундамента). Отмечается заметная связь между величиной превышения объёмов закачки воды над отбором жидкости и числом возникающих землетрясений (Гатиятуллин, 2000). По мнению Б.В. Булова (1993), “спусковым крючком” в процессе активизации подземных толчков является техногенный фактор, при этом большинство эпицентров сгруппировано вдоль Алтунино-Шунакской разломной зоны и вдоль Прикамской системы разломов.

Заключение

В результате анализа материалов по повышению сейсмичности территории в районе Ромашкинского нефтяного месторождения можно сделать следующие выводы:

1. Повышение сейсмической активности связано с разработкой Ромашкинского месторождения, в процессе которой отсутствует баланс между объёмами отбираемой и закачиваемой жидкости.

2. “Разрезание” месторождения рядами нагнетательных скважин и интенсивная закачка в них воды привели к разбивке нижней части осадочной толщи в рамках Ромашкинского месторождения на ряд тектонических блоков, соответствующих площадям его разработки. На Ромашкинском месторождении развитие системы заводнения шло путём уменьшения ширины площадей самостоятельной разработки с последующим разделением их на дополнительные блоки. В настоящее время на месторождении выделена 21 площадь самостоятельной разработки, на каждой из которых имеется от 3 до 65 блоков. Всего выделено 406 блоков (Галеев, 1997).

Как нам кажется, вышеупомянутые блоки являются в то же время неотектоническими макро- и микроблока-

ми, а их изучение должно проводиться и в рамках новой отрасли науки - тектонической неотектоники.

3. Для уменьшения явлений возбуждённой сейсмичности К.М. Мирзоевым с сотрудниками для Ромашкинского месторождения рекомендовано “закачивать в скважины необходимый объём воды как можно с меньшей скоростью за более длительные промежутки времени, чтобы исключить резкие “ударные” изменения напряжённого состояния земной коры и предотвратить возникновение более сильных землетрясений”.

На наш взгляд, актуальное значение приобретает также разработка новых технологий добычи нефти, при внедрении которых не будет иметь место значительное нарушение баланса между объёмами отбираемой и закачиваемой жидкости.

Литература

Ананьин И.В. К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы: исследования по сейсмической опасности. *Вопросы инженерной сейсмологии*. Вып. 29.-М.: Наука, 1988. 119-124.

Булов Б.В. Сейсмичность как результат техногенного “импульса” на тектонические процессы. *Зелёная Книга Республики Татарстан*. Изд. КГУ, 1993. 211-212.

Галеев Р.Г. *Повышение выработки трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья*. Монография. М.: КУБК-а, 1997.

Гатиятуллин Р.Н., Покровский В.А., Гилязова Т.В. Сейсмичность территории НГДУ “Альметьевнефть” в процессе добычи нефти. *Тезисы докладов Всерос. научной конф. “Природные резервуары углеводородов и их деформации в процессе разработки нефтяных месторождений”*. Изд. КГУ. 2000. 58.

Муслимов Р.Х., Шавалиев А.М., Хисамов Р.Б., Юсупов И.Г. *Геология, разработка и эксплуатация Ромашкинского нефтяного месторождения*. Изд. в 2 т. М.: ВНИИОЭНГ, 1995. т.1.

Сидоров В.А. Возникновение опасных геодинамических событий в связи с разработкой месторождений нефти и газа. *Разведка и охрана недр*, №5-6, 1999. 43-48.

Nicholson G., Wesson R. Earthquake associated with deep well injection a Report to the U.S. Environmental Protection Agency. *U.S. Geological Survey Bulletin*. 1990. №1951.

Тимур Рустамович

Гилязов

студент Казанского государственного университета, геологического факультета.

Специальность - “Геология и геохимия”. Область научных интересов – разработка нефтяных месторождений.

