

УДК 502.7:504.058

ПРОБЛЕМЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

© 2012 г. М. Ю. Нестеренко

Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН

460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29.

E-mail: geoescol-ONC@mail.ru

Поступила в редакцию 30.11.2011 г.

В Южном Предуралье эксплуатируется крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНКГМ) и множество месторождений нефти. В районах их расположения сейсмичность многократно увеличилась. Решение задач мониторинга и прогнозирования геодинамических процессов в районах нефтегазодобычи возможно на основе разработанного Отделом геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН комплексного подхода мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности. Основная часть сейсмических событий при добыче нефти и газа фиксируется вдоль зон разломов и техногенных нарушений геологической среды.

Ключевые слова: *Южное Предуралье, антропогенное воздействие, ОНКГМ, мониторинг, сейсмичность, гидродинамическая воронка, геодинамика.*

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация добычи нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах, обуславливает значительную перестройку гидро-газодинамических и геодинамических процессов в земной коре до глубины десяти и более километров на площадях до нескольких десятков тысяч квадратных километров, создавая условия возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения. В крупных нефтегазоносных районах возникает угроза повышения сейсмической активности с непредсказуемыми последствиями. Решение этой проблемы возможно на основе комплексного исследования процессов, идущих в недрах под влиянием добычи углеводородов (УВ). Познание этих процессов позволит ответить на многие вопросы по повышению безопасности добычи нефти и газа, их транспортировке трубопроводным транспортом, обеспечению безопасности населения и его деятельности в регионе. Решение проблемы осложняется охватом процессами техногенеза больших объемов верхней части земной коры, сложной по строению и естественной динамике. Вопросам познания мало изученных геодинамических процессов, идущих в недрах при добыче нефти и газа, посвящена настоящая работа.

В основу решения обусловленных добычей УВ геоэкологических проблем положены результаты исследования техногенной сейсмичности в районах разрабатываемых нефтегазовых месторождений Южного Предуралья, с учетом данных по другим нефтегазодобывающим регионам, где наблюдаются аналогичные геодинамические процессы.

В результате интенсивной эксплуатации месторождений нефти и газа, в связи с уменьшением пластового давления, значительно нарушилось природное динамическое равновесие в содержащей их геологической среде и прилегающих системах подземных вод. Это привело к многократному увеличению количества и интенсивности сейсмических событий. Спровоцированные добычей углеводородов землетрясения уже произошли и происходят при разработке газа и нефти в районе Газли в 1976 и 1984 гг. (магнитудой до 7), в Татарстане (в настоящее время происходит 1–2 землетрясения в год магнитудой до 4), в Западной Сибири, на ряде месторождений США (месторождения нефти Rangely, Mukawa и др.), Канады (месторождения Strachan, Eagle & Eagle Wes и др.) и в других регионах. По данным наших исследований, на разрабатываемых месторождениях нефти и газа в Южном Предуралье фиксируется в среднем 2–3 сейсмических события в месяц с магнитудой 1–3 и более, что на порядок больше, чем за пределами месторождений.

Техногенные изменения в недрах Земли при добыче УВ протекают относительно быстро в сравнении с естественной геодинамикой и, как правило, имеют отдаленные последствия. Изменения в гидро- и газодинамике обуславливают соответствующие мало исследованные техногенные изменения в геодинамике твердой части земной коры. Их последствия могут привести к крупнейшим техногенным катастрофам и чрезвычайным ситуациям: землетрясениям, провалам земной поверхности, изменениям в балансе и качестве подземных вод зоны активного водообмена.

ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ В РАЙОНАХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Во второй половине XX века значительно увеличились техногенные воздействия на верхнюю часть земной коры в процессе поиска и эксплуатации многочисленных месторождений нефти и газа. При проникновении на большие глубины поисковых и эксплуатационных скважин, часто охватывающих весь осадочный чехол земной коры на большей части Южного Предуралья, при извлечении огромных объемов УВ и попутных пластовых вод радикально меняется динамика подземных вод, а через нее – и геодинамика земной коры [2].

В Южном Предуралье эксплуатируются крупнейшее в Европе нефтегазоконденсатное месторождение и множество месторождений нефти. Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) занимает площадь около 2,5 тыс. км², а уменьшение давлений в пластовых водах в результате 35-летней добычи газа произошло на площади более 5 тыс. км². В центральной части месторождения при уменьшении давления газа более чем на 10 МПа некомпенсированное напряжение в выше и ниже расположенных геологических структурах составляет соответственно порядка 1000 т/м² [1]. Примерно на эту же величину увеличиваются градиенты давления между пластовыми водами месторождения и прилегающими к ним водоносными комплексами.

Техногенез в недрах в наибольшей мере проявляется в основном в ослабленных разломных зонах, разделяющих геологическую среду на блоки. Распространенные наземные технологии мониторинга геологической среды (по рельефу, геодезическим измерениям, растительности и т.д.) не обеспечивают необходимой информацией для прогноза влияния техногенных изменений в ней на процессы, идущие на земной поверхности. Необходимы другие методические подходы к исследованиям процессов, идущих в недрах. Особая необходимость в них наблюдается при разработке месторождений нефти и газа, расположенных на глубинах в несколько километров. В этом случае мониторинг по состоянию земной поверхности способен лишь фиксировать результаты крупных техногенных изменений в земной коре, загрязнения ее поверхности и вод зоны активного водообмена.

МОНИТОРИНГ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Решение задач мониторинга и прогнозирования геодинамических процессов в районах нефтегазодобычи возможно на основе разработанного Отделом геоэкологии Оренбургского научного центра

УрО РАН комплексного подхода мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности с использованием данных о геологическом и тектоническом строении районов месторождений УВ.

Под техногенно-природной сейсмичностью логично понимать сочетание техногенной и природной сейсмичности, при котором техногенно обусловленное сейсмическое событие является спусковым механизмом освобождения энергии, накопившейся в геологических структурах в результате естественных геодинамических процессов. Техногенно-природные землетрясения могут охватывать большие объемы земной коры и иметь большую магнитуду.

В настоящее время воздействие человека на сейсмичность земной коры многофакторно. К воздействиям относятся добыча твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, забор подземных вод и закачка их в геологические структуры, взрывные работы на земной поверхности и ее недрах, строительство водохранилищ и многое другое. Нами исследовались геодинамические процессы и сейсмичность земной коры при добыче нефти и газа на примере нефтегазоносного Южного Предуралья.

На рис. 1 и в табл. 1 даны сведения о количестве зарегистрированных событий, эпицентры которых попадают в зоны разломов на разном расстоянии от них. Выявлено, что в пределах 5 км от разломов плотность событий составляет 0.0026 ед./км² в среднем за год. В полосовой зоне, ограниченной расстояниями от 5 до 10 км от разлома она уменьшается на 23% до 0.0020 ед./км². За пределами 10 км от разлома количество событий продолжает уменьшаться (в 2–3 раза меньше в сравнении с их количеством в 5-км зоне) и составляет 0.0008 ед./км²·год) и близко к средней плотности сейсмических событий во всей контролируемой сетью сейсмических станций территории нефтегазоносного Оренбургского Предуралья. Причем выделяющаяся сейсмическая энергия событий, зарегистрированных на удалении более чем 15 км, заметного влияния на суммарную выделяющуюся энергию в исследуемых зонах не оказывает (их энергия менее 10⁸ Дж). В зоне разломов, составляющей 1% контролируемой сейсмическим мониторингом территории Южного Предуралья, происходит около 30% всех событий.

В расчете на тысячу квадратных километров за год в зоне планетарно-тектонической трещиноватости происходит около 9 событий с выделением сейсмической энергии на некоторых участках до 10⁹ Дж/(км²·год), а в среднем в зоне разломов выделяется 7.03·10⁶ Дж/(км²·год). На всей контролируемой сейсмической сетью территории в расчете на тысячу квадратных километров за год происходит 2–3 события с выделением сейсмической энергии до 1.14·10⁶ Дж/(км²·год). Это в 7 раз меньше сред-

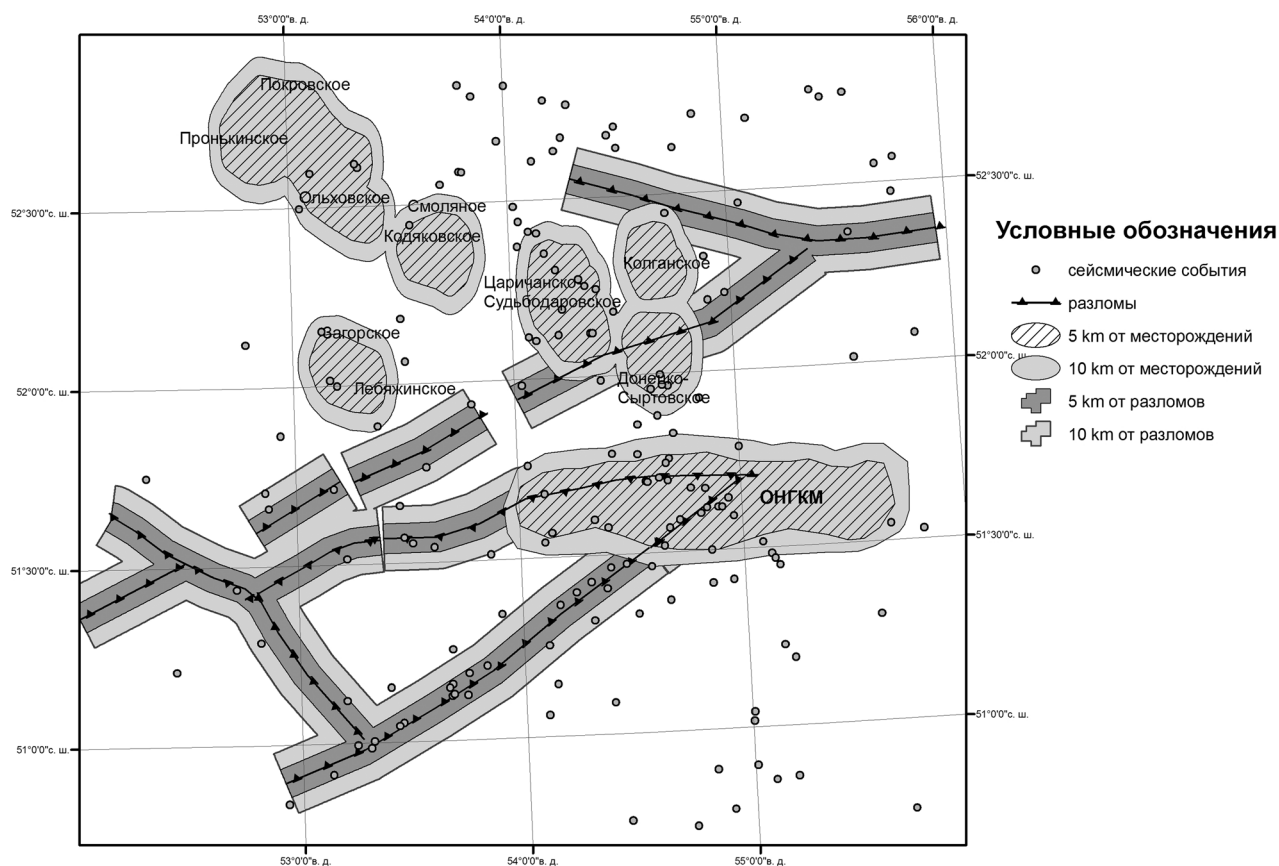


Рис. 1. Зоны разломов, месторождения углеводородов и сейсмические события в 2008–2010 гг. в Южном Предуралье.

Таблица 1. Анализ сейсмической активности в районе месторождений углеводородов в зависимости от расстояния до разломов за 2008–2010 гг.

Расстояние до разлома, км	Площадь зоны, км ²	Количество событий в среднем за год	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./(км ² ·год)	Суммарная выделяющаяся энергия, Дж/год	Плотн. выделившейся энергии, Дж/(км ² ·год)
0–5	3532	9.3	16	0.0026	$0.83 \cdot 10^9$	$7.03 \cdot 10^6$
5–10	3444	7.0	12	0.0020	$0.99 \cdot 10^{10}$	$8.63 \cdot 10^7$
10–15	3494	2.7	5	0.0008	$0.89 \cdot 10^9$	$8.07 \cdot 10^6$
15–20	4010	3.3	6	0.0008	$<10^8$	$<10^4$
Южное Предуралье	661706	57.7	100	0.0008	$7.56 \cdot 10^{10}$	$0.11 \cdot 10^6$

него ее выделения в зоне разломов и более чем в 1000 раз меньше, чем среднее выделение энергии при сейсмических событиях внутри блоков на расстоянии более 15 км от разломов.

На Южном Урале, в районах месторождений УВ техногенные изменения давления в подземных водах достигают в земной коре глубин в 10–15 км. До этих же глубин фиксируются гипоцентры сейсмических событий. Следовательно, глубина расположения гипоцентра сейсмического события может служить основанием отнесения

его к техногенным или природным. Большинство фиксируемых нами на Южном Урале сейсмических событий имеют гипоцентры на глубинах менее 15 км, и поэтому с большой вероятностью их можно отнести к техногенным или к техногенно-природным.

Анализ распределения сейсмической активности недр в районах интенсивно разрабатываемых месторождений УВ и вокруг них показывает, что основная часть сейсмических событий регистрируется в районе месторождений (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2. Плотность зарегистрированных событий и выделившейся сейсмической энергии в районе месторождений УВ

Расстояние до месторождения, км	Площадь, км ²	Число событий в год	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./((км ² ·год)	Суммарная выделившаяся энергия, Дж/год	Плотность выделившейся энергии, Дж/((км ² ·год)
В контуре месторождений	3582	9.7	17	0.0027	$1.01 \cdot 10^{10}$	$2.81 \cdot 10^6$
0–5	3129	4.7	8	0.0015	$0.93 \cdot 10^{10}$	$2.96 \cdot 10^6$
5–10	4360	6.7	12	0.0015	$0.56 \cdot 10^{10}$	$1.29 \cdot 10^6$
Оренбургское Предуралье	661706	57.7	100	0.0008	$7.56 \cdot 10^{10}$	$0.11 \cdot 10^6$

Территории, удаленные от зон техногенных нарушений в Южном Предуралье имеют значительно меньшую частоту сейсмических событий и вероятно они вызваны естественными тектоническими процессами [4].

В табл. 2 даны сведения о количестве зарегистрированных событий, эпицентры которых попадают в контур и в полосовые зоны вокруг месторождений на разном расстоянии от них. Выявлено, что в контурах месторождений нефти и газа плотность событий составляет в среднем 0.0027 ед./((км²·год). В полосовой зоне, ограниченной расстояниями до 10 км от месторождения, она уменьшается на 44% до 0.0015. За пределами 10 км от месторождений количество событий уменьшается в 3–4 раза в сравнении с их количеством в контуре месторождений и составляет 0.0008 ед./((км²·год). Следовательно, на 1.6% территории в контуре месторождений и в 10 км вокруг них происходит более 35% всех событий на контролируемой сейсмическим мониторингом общей территории Южного Предуралья.

По результатам сейсмического мониторинга сетью “Газ-сейсмика” за 2008–2010 гг. в контуре месторождений в среднем происходит около 17% событий со средним выделением сейсмической энергии $2.81 \cdot 10^6$ Дж/((км²·год), а на ряде участков – до 10^{10} Дж/((км²·год). В пределах 5-км зоны вокруг месторождений сейсмическая активность мало отличается от сейсмической активности в

контуре разрабатываемых месторождений нефти и газа. В этой зоне выявлено распространение гидродинамических воронок, сформировавшихся в результате эксплуатации месторождений [3]. В зоне 5–10 км вокруг месторождений, где влияние гидродинамических воронок на геодинамику незначительно, сейсмическая активность уменьшается в 2–3 раза. На всей контролируемой сейсмической сетью территории в расчете на тысячу квадратных километров за год происходит менее одного события с выделением сейсмической энергии до $1.14 \cdot 10^6$ Дж/((км²·год).

Анализ табл. 3 и 4 показывает, что в районе ОНГКМ большая часть выделившейся энергии и сейсмических событий приходится на площадь гидродинамической воронки. В пределах гидродинамической воронки плотность зарегистрированных событий в 5–6 раз больше, а выделившейся энергии в 10 раз больше, чем в среднем по Южному Предуралью.

При достижении критического уровня напряжений в геологических структурах, в области подготовки сейсмического события, незначительные техногенные воздействия могут инициировать землетрясения. Подрывы боеприпасов с истекшим сроком хранения на Донгузском военном полигоне, частично расположенном на ОНГКМ, проводимые с октября 2010 г., вызвали землетрясения магнитудой до 2 и увеличили сейсмичность на месторождении в 2–3 раза.

Таблица 3. Плотность зарегистрированных событий и выделившейся сейсмической энергии в зоне ОНГКМ и прилегающих территорий

Зоны ОНГКМ	Площадь, км ²	Количество событий	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./((км ² ·год)	Суммарная выделившаяся энергия, Дж/год	Плотность выделившейся энергии, Дж/((км ² ·год)
В контуре месторождения	1695	5.0	8.67	0.0029	$0.92 \cdot 10^{10}$	$0.54 \cdot 10^7$
5 км вокруг	2687	7.3	12.72	0.0027	$1.87 \cdot 10^{10}$	$0.69 \cdot 10^7$
Оренбургское Предуралье	661706	57.7	100	0.0008	$7.56 \cdot 10^{10}$	$0.11 \cdot 10^6$

Таблица 4. Плотность зарегистрированных событий и выделившейся сейсмической энергии в зоне гидродинамической воронки на ОНГКМ

Зоны	Площадь, км ²	Количество событий	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./((км ² ·год)	Суммарная выделившаяся энергия, Дж/год	Плотность выделившейся энергии, Дж/(км ² ·год)
Гидродинамическая воронка	1645.9	8.3	14.45	0.005	$1.98 \cdot 10^{10}$	$1.20 \cdot 10^7$
5-км вокруг воронки	2451.2	9.3	16.18	0.0038	$2.05 \cdot 10^{10}$	$0.83 \cdot 10^7$
Оренбургское Предуралье	661706.25	57.7	100	0.0008	$7.56 \cdot 10^{10}$	$0.11 \cdot 10^6$

ВЫВОДЫ

Важной проблемой экологии Южного Предуралья при добыче полезных ископаемых являются изменения в геодинамике верхней части земной коры и ее водной системе. Особенно масштабны изменения в геологической среде в регионах добычи нефти и газа. При их добыче техногенезом охватываются объемы недр до десятков тысяч кубических километров и на площадях в тысячи квадратных километров. Дестабилизация геологической среды в таких объемах нарушает многие сложившиеся в ней связи и процессы далеко за пределами месторождений, обуславливая соответствующие по величине негативные последствия для живой и неживой материи, природы и человека. Важнейшим негативным последствием добычи углеводородов является усиление сейсмической активности земной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М. Гидрогеологические процессы и их моделирование в районах добычи углеводородов на примере Южного Предуралья // Вестник ОГУ. 2010. № 9. С. 122–127.
2. Нестеренко М.Ю., Никонова О.А. Выявление природных и техногенных факторов сейсмической активности и математическое моделирование их влияния // Проблемы региональной экологии. 2011. № 5. С. 106–110.
3. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянец А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Литосфера. 2010. № 4. С. 28–41.
4. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Карпук М.С. Сейсмичность в районах добычи углеводородов Южного Предуралья // Проблемы анализа риска. 2010. Т. 7, № 2. С. 48–54.

Рецензент П.В. Панкратьев

Geodynamic safety problems of gas and oil fields

M.Y. Nesterenko

Department of Environmental Geoscience, Orenburg Scientific Center, Urals Branch of RAS

The largest in the Europe Orenburg oil and gas condensate deposit (OOGCD) and many other oil fields are operating in Southern Urals. The monitoring and forecasting of geodynamic processes in the areas of oil and gas production are possible on the basis of the integrated approach for monitoring of geodynamic processes and earthquake activity developed by the Division of Environmental Geoscience Orenburg Research Center UB of RAS. A lot of the epicenters of seismic events are recorded along the fault zones and technogenic destabilization of the upper crust.

Key words: South Preurals, anthropogenic impacts, OOGCD, monitoring, seismicity, hydrodynamic vortex, geodynamics.