

4
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>



2017
ГОД ЭКОЛОГИИ
В РОССИИ

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



2017

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© А.В. Цвяк, М.Ю. Нестеренко, 2017

УДК 502.7:504.058

А.В. Цвяк, М.Ю. Нестеренко

ТЕХНОГЕННЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ РИСК НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Оренбургский научный центр УрО РАН (отдел геоэкологии), Оренбург, Россия

Рассмотрены техногенные воздействия на земную кору районов добычи нефти и газа в Южном Предуралье, приводящие к снижению пластового давления и изменениям уровня пластовых вод. Выявлена взаимосвязь между снижением давления в водной системе с геодинамической и сейсмической активностью недр. Установлено, что вода, заполняющая тектонические нарушения в геологической среде, ускоряет передачу энергии, сформированной градиентом давлений в продуктивных пластах за пределы разрабатываемого месторождения. Проведен анализ и сопоставление очагов сейсмических событий с геологическим и тектоническим строением, природной и техногенно нарушенной гидрогеодинамикой. Предложена методология построения геодинамических полигонов на основе сейсмических наблюдений.

Ключевые слова: геодинамический полигон, гидрогеодинамика, сейсмология, Южное Предуралье, техногенные изменения, добыча углеводородов, геологическая среда, тектоника.

A.V. Tsviak, M.Yu. Nesterenko

TECHNOGENEOUS GEODYNAMIC RISK IN EXPLOITED DEPOSITS OF HYDROCARBONS

Orenburg Scientific Center, UrB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

The anthropogenic impacts to the Earth's crust areas of oil and gas in the Southern Urals, leading to a decrease in reservoir pressure and reservoir water level changes are considered. The correlation between the pressure decrease in the water system with geodynamic and seismic activity. Found that the water filling the tectonic faults in the geological environment, accelerate the transfer of energy, generated pressure gradient in reservoirs outside the developed field. The analysis and comparison seismic events with geologic and tectonic structure, natural and technologically impaired hydrodynamic. The methodology of constructing geodynamic polygons based on seismic monitoring.

Keywords: geodynamic polygon, hydrodynamic, seismology, South Ural, production of hydrocarbons, tectonic.

В Южном Предуралье (Республика Татарстан, Республика Башкортостан, западная часть Оренбургской области) более полувека интенсивно эксплуатируются десятки месторождений углеводородов (УВ). Высокая плотность месторождений УВ и интенсивная их разработка обусловили техногенные изменения в геологической среде на площадях до 5000 км² и более [1, 2].

Известной особенностью добычи УВ является минимальное извлечение

горных пород из недр, что в условиях разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых служит потенциальным источником техногенных или природно-техногенных негативных проявлений, обусловленных нарушением целостности и пространственного положения геологических структур и блоков относительно друг друга. Поэтому изменения в строении и динамике геологических структур в районе разрабатываемых месторождений УВ относят к вторичным явлениям, происходящим в результате техногенных трансформаций естественных процессов в жидкой и газообразной компонентах месторождения и окружающей их водной системе.

Уменьшение давления в водной системе при добыче УВ, его увеличение при закачке воды и других смесей нарушают природное геодинамическое состояние вмещающих горных пород, дестабилизируют динамическое равновесие между жидкостью и твердой частью земной коры. При превышении возникших некомпенсированных напряжений прочности пород происходит их разгрузка и смещения массивов горных пород относительно друг друга, что может сопровождаться опасными геодинамическими проявлениями и сейсмическими событиями.

Роль водного фактора в природных и техногенных сейсмических событиях различна.

В природных землетрясениях, вызванных в основном геодинамическими процессами, протекающими в Земле значительно глубже возможного проникновения гидросферы, подземные воды верхней части земной коры часто выступают лишь как их предвестники. В процессе подготовки таких землетрясений происходят первичные незначительные смещения структур земной коры, под влиянием которых повышается или понижается уровень воды в колодцах и скважинах, как правило, на незначительную величину. После землетрясений уровень воды также может понизиться или повыситься [3]. Таким образом, в случае природных землетрясений изменения в динамике подземных вод являются следствием геодинамических процессов в земной коре (а не их причиной).

На разрабатываемых месторождениях УВ уменьшение давления в системе «УВ – пластовые воды» нарушает сложившееся природное геодинамическое равновесие в содержащих их геологических структурах, которое становится причиной их подвижек и сейсмических событий [4]. Кроме того, в результате эксплуатации месторождений УВ, в связи с уменьшением пласто-

вого давления, значительно изменяется давление в подземных водах, направления и скорости их движения, а также фильтрационно-емкостные и другие свойства окружающей их геологической среды.

По известным данным [2], на разрабатываемых месторождениях УВ в Южном Предуралье фиксируется в среднем 20-30 сейсмических события в год с магнитудой $M_L = 1-2$ и более, что в десятки раз чаще, чем за их пределами. В то же время техногенные геодинамические процессы в верхней части земной коры в районах разработки месторождений УВ протекают относительно быстро (в сравнении с естественными геодинамическими процессами) и, как правило, имеют отдаленные последствия.

Вместе с тем наблюдение и выявление причин и механизмов повышения техногенной геодинамики, сейсмичности недр является актуальной задачей. В основу выявления таких причин могут быть положены результаты мониторинга гидрогазодинамических, геодинамических и геофизических процессов и динамики в системе подземных вод в районах разрабатываемых месторождений УВ.

Эффективность решения задач в области гео- и гидродинамики месторождений УВ, увеличения нефтегазоотдачи определяется систематизацией геодинамических процессов и волновых явлений в земной коре [5]. Неоднородность строения земной коры приводит к неоднородному распределению напряжений и к их концентрации в местах контактов блоков. Медленные деформации земной коры, вызываемые природными и техногенными причинами, приводят к подвижкам по поверхности контактов. В результате происходит сброс напряжений и выделение сейсмической энергии, по отдельным участкам могут иметь место незначительные локальные оседания земной поверхности.

Для контроля негативных проявлений на земной поверхности действия геодинамических процессов могут применяться геодезические наблюдения по реперам профильных линий нивелирования [6, 7]. Однако учитывая значительные площади территории разрабатываемых месторождений УВ, применение такого метода контроля развития геомеханических, геодинамических и, в определённых условиях, геокриологических процессов не всегда целесообразно (высокая стоимость работ, значительная их продолжительность во времени и т.п.)

Более современные методы контроля динамики смещения земной по-

верхности, обусловленной развитием геодеформационных процессов, основываются на спутниковых наблюдениях – определение положения пунктов глобальной навигационной спутниковой сети, технология дифференциальной интерферометрии и др. [8]. Использование методов контроля смещений земной поверхности позволяет фиксировать результаты проявления совокупного действия эндогенных и экзогенных геологических процессов и, как правило, выполняются сезонно.

Сейсмологический мониторинг позволяет регистрировать геодинамические процессы в породном массиве с оценкой их глубины непрерывно.

Такой мониторинг выполняется на территории Южного Предуралья. Так, в зонах разломных структур, имеющих повышенную обводненность, установлена более высокая природная и техногенная сейсмическая активность (рис. 1, табл. 1).

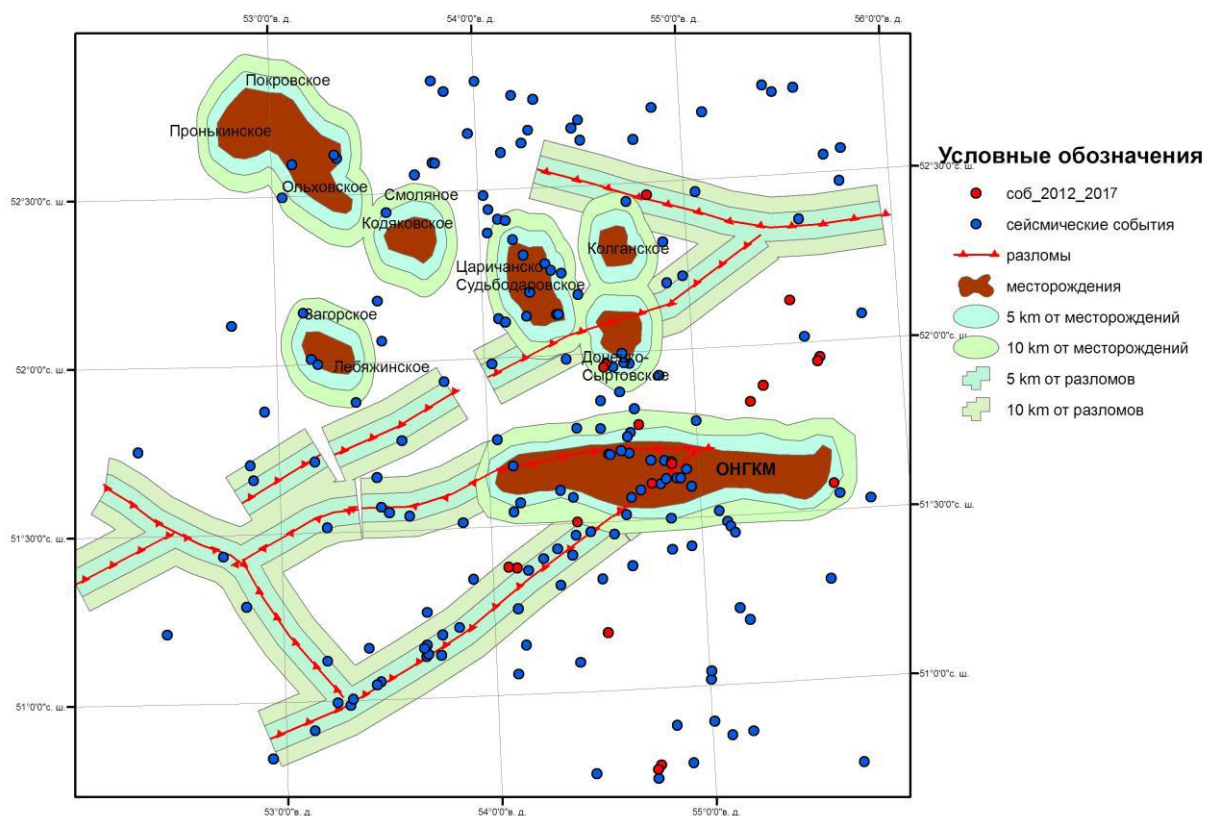


Рис. 1. Сейсмические события в 2008-2017 гг. и зоны нарушений в Южном Предуралье.

С учетом выявленной взаимосвязи большинства эпицентров сейсмических событий с зонами планетарно-тектонической трещиноватости и областями пересечения разломов, линеаментов и кольцевых зон с достаточной долей уверенности можно утверждать, что эпицентры сейсмических событий

тяготеют к напряженно-деформационным узлам массивов горных пород. В зоне разломов, составляющей 1% контролируемой сейсмическим мониторингом территории Южного Предуралья, происходит около 30% всех событий.

Таблица 1. Анализ сейсмической активности в районе месторождений УВ в зависимости от расстояния до разломов за 2008-2017 гг.

Расстояние до разлома, км	Площадь зоны, км ²	Количество событий в среднем за год	% от общего числа событий	Плотность событий 10 ⁻³ ед./км ² в год	Суммарная выделявшаяся энергия, Дж/год	Плотность выделившейся энергии, Дж/ км ² ·год
0 – 5	3532	16	27	4,4	3,69·10 ¹⁰	1,04·10 ⁷
5 – 10	3444	10,7	17	2,9	2,40·10 ¹⁰	0,69·10 ⁷
10 - 15	3494	5	7	1,2	0,66·10 ¹⁰	0,20·10 ⁷
15 – 20	4010	3,8	7	0,9	<10 ⁹	<10 ⁶
Южное Предуралье	661706	57,7	100	0,8	7,56·10 ¹⁰	0,11·10 ⁶

Кроме того, анализ распределения сейсмической активности недр по всей территории Южного Предуралья показывает, что основная часть сейсмических событий регистрируется в районах интенсивно разрабатываемых месторождений углеводородов (табл. 2).

Таблица 2. Плотность зарегистрированных событий и выделившейся сейсмической энергии в районе Оренбургского НГКМ

Зоны наблюдений	Площадь, км ²	Количество событий в год	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./км ² год	Суммарная выделявшаяся энергия, Дж/год	Плотность выделившейся энергии, Дж/ км ² ·год
Гидродинамическая воронка	1645.9	8,3	14.45	0.005	1.98·10 ¹⁰	1.20·10 ⁷
В контуре месторождения	3582	9,7	17	0,0027	1,01·10 ¹⁰	2,81·10 ⁶
Зона шириной 5 км вокруг месторождения	3129	4,7	8	0,0015	0,93·10 ¹⁰	2,96·10 ⁶
Зона на расстоянии 5-10 км от месторождения	4360	6,7	12	0,0015	0,56·10 ¹⁰	1,29·10 ⁶
Южное Предуралье	661706	57,7	100	0,0008	7,56·10 ¹⁰	0,11·10 ⁶

Кроме того, в районе Оренбургского НГКМ большая часть выделившейся энергии и сейсмических событий приходится на площадь гидродина-

мической воронки. В пределах гидродинамической воронки плотность зарегистрированных событий в 5-6 раз больше, а выделившейся сейсмической энергии в 10 раз больше, чем в среднем по Южному Предуралью.

Территории, удаленные от зон разработки месторождений УВ (центральная и восточная части Предуральского краевого прогиба, юго-восток Прикаспийской синеклизы и др.) с ненарушенной динамикой подземных вод, имеют многократно меньшую частоту сейсмических событий и, по видимому, вызваны естественными тектоническими процессами. При этом в контуре месторождений и 10 км вокруг них, занимающих 1,6% общей контролируемой сейсмическим мониторингом территории Южного Предуралья, происходит более 35% всех зарегистрированных на ней событий.

В целях исследования влияния добычи углеводородного сырья на динамику и сейсмическую активность недр в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов Южного Предуралья создана и зарегистрирована сеть сейсмических станций «Газ-сейсмика», которая вошла в общероссийскую сейсмологическую сеть Геофизической службы РАН. К настоящему времени сеть состоит из шести сеймостанций, оборудованных сейсмоприемниками СМЗ-КВ и СМЗ-ОС и регистраторами SDAS v 3.1, UGRA и Guralp.

Обработанные данные сейсмического мониторинга позволяют уточнить геологическое строение, в частности положение разломных структур и узлов напряженно-деформированного состояния геологической среды, а также выявлять участки с нарушенными гидродинамическими процессами.

При организации геодинамического мониторинга состояния недр предполагается выполнение следующих видов работ:

- создание региональной сети сейсмических станций, позволяющих уверенно регистрировать сейсмические события в районе месторождения УВ с магнитудой $ML \geq 1$ (из расчета не менее трех станций на 10 000 км²);
- выполнение геодинамического районирования территории исследований с использованием базы геоданных сейсмической активности, геологического и тектонического строения, техногенных воздействий и нарушений геологической среды района месторождения УВ;
- выполнение уплотнения сейсмологической сети на геодинамически активных участках за счет добавления не менее двух станций;
- установление интегрального показателя геодинамического риска при эксплуатации месторождений УВ.

По результатам анализа выполненных на ряде месторождений УВ Южного Предуралья наблюдений в соответствии с предложенной методикой организации геодинамического мониторинга было установлено многократное увеличение сейсмической активности недр в районах разрабатываемых месторождений УВ. При этом максимальная активность геологической среды была пространственно приурочена к гидродинамическим воронкам, концентрируясь в зонах наибольшего падения пластового давления и тектонических нарушений.

(Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-45-560466 p_a)

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 135 с.
2. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянцев А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья. Литосфера. 2010. 4: 28-41.
3. Киссин И.Г. Землетрясения и подземные воды. М., Наука, 1982. 176 с.
4. Hubbert, M. K., Rubey W. W. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. Geological Society of America Bulletin. 1959. 70: 115-166.
5. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: АЭН. 1999. 220 с.
6. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Серия 07, Выпуск 15. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. 120 с.
7. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах: Метод. руковод. М.: ЦНИИГАиК, 1985. 105с.
8. Нестеренко М.Ю., Никифоров С.Э. Опыт ведения сейсмологических наблюдений на геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений Южного Предуралья. Нефть, газ и бизнес. 2014. 10(173): 24-29.

Поступила 29.11.2017

(Контактная информация:

Цвяк Алексей Владимирович – к.т.н, с.н.с. лаборатории антропогенеза в водных системах и геодинамике отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; адрес: Россия, 460014, г. Оренбург, а/я 59; E-mail: tsviak@rambler.ru;

Нестеренко Максим Юрьевич – в.н.с., д.г.-м.н., заведующий лабораторией антропогенеза в водных системах и геодинамике отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; адрес: Россия, 460014, г. Оренбург, а/я 59; E-mail: n_mu@mail.ru)

LITERATURA

1. Nesterenko M.Ju. Geojekologija neдр neftegazonosnyh rajonov Juzhnogo Predural'ja. Ekaterinburg: UrO RAN, 2012. 135 s.
2. Nesterenko Ju.M., Nesterenko M.Ju., Dnistrjanskij V.I., Gljancev A.V. Vlijanie razrabotki mestorozhdenij uglevodorodov na geodinamiku i vodnye sistemy Juzhnogo Predural'ja. Litosfera. 2010. 4: 28–41.
3. Kissin I.G. Zemletrjasenija i podzemnye vody. M., Nauka, 1982. 176 s.

4. Hubbert, M. K., Rubey W. W. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. Geological Society of America Bulletin. 1959. 70: 115-166.
5. Kuz'min Ju.O. Sovremennaja geodinamika i ocenka geodinamicheskogo riska pri nedropol'zovanii. M.: AJeN. 1999. 220 s.
6. Instrukcija po proizvodstvu markshejderskih rabot (RD 07-603-03). Ohrana nedr i geologomarkshejderskij kontrol'. Serija 07, Vypusk 15. M.: Gosudarstvennoe unitarnoe predpriятие «Nauchno-tehnicheskij centr po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortehnadzora Rossii», 2003. 120 s.
7. Geodezicheskie metody izuchenija deformacij zemnoj kory na geodinamicheskikh poligonah: Metod. rukovod. M.: CNIIGAiK, 1985. 105s.
8. Nesterenko M.Ju., Nikiforov S.Je. Opyt vedenija sejsmologicheskikh nabljudenij na geodinamicheskikh poligonah neftegazovyh mestorozhdenij Juzhnogo Predural'ja. Neft', gaz i biznes. 2014. 10(173): 24-29.

Образец ссылки на статью:

Цвяк А.В., Нестеренко М.Ю. Техногенный геодинамический риск на эксплуатируемых месторождениях углеводородов. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. 4. 7 с. [Электр. ресурс] (URL:<http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-4/Articles/AVZ-2017-4.pdf>).