

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ И ГАЗА В ОРЕНБУРЖЬЕ

М. Ю. Нестеренко*, Ю.М. Нестеренко*, В.И. Днистрянский,**

*Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН
460014, Оренбург, ул. Набережная, 29
e-mail: geoecol-onc@mail.ru

**ООО «Газпром добыча Оренбург»
460021, Оренбург, ул.60 лет Октября, 11
e-mail: geolog@ogp.ru

Рассмотрены техногенные изменения геологической среды районов добычи углеводородов в Южном Предуралье. При разработке нефтяных и газовых месторождений неизбежно снижение пластового давления и изменение уровня пластовых вод. Выявлена взаимосвязь техногенных изменений земной коры с сейсмической активностью и гидрогеодинамикой. Представлены результаты сейсмологического мониторинга сетью сейсмостанций «Оренбург». Проведен анализ и сопоставление очагов сейсмических событий с геологическим и тектоническим строением и предложена методика сейсмического районирования территории Южного Предуралья.

Ключевые слова: гидрогеодинамика, сейсмология, Южное Предуралье, техногенные изменения, добыча углеводородов

ВВЕДЕНИЕ

Основная добыча нефти и газа в Оренбуржье ведется в Южном Предуралье. Оно включает западную и центральную части Оренбургской области до Уральских гор, а также нефтегазоносные юго-западную часть Башкортостана и северо-запад Казахстана. В Южном Предуралье около 40 лет интенсивно эксплуатируются крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) и множество месторождений нефти. Высокая плотность месторождений и интенсивная их разработка вызывают изменения в геологической среде и подземных водах.

Техногенные изменения в недрах Земли обычно протекают замедленно и, как правило, имеют отдаленные последствия и трудно устранимы. При добыче нефти и газа постепенно уменьшается давление в продуктивных пластах и окружающих их водоносных горизонтах. Изменения в гидро- и газодинамике обуславливают соответствующие изменения в геодинамике твердой части земной коры. Последствия техногенных изменений в земной коре могут привести к крупнейшим техногенным катастрофам и чрезвычайным ситуациям: землетрясениям, провалам земной поверхности, изменениям в балансе и качестве подземных вод зоны активного водообмена, являющихся основным источником водных ресурсов для меженного речного стока и водоснабжения.

Техногенно измененная динамика подземных вод перераспределяет напряжения в геологической среде. В геологических структурах при значительных изменениях давлений формируются напряжения и повышается сейсмическая активность.

В целях исследования влияния техногенеза на динамику земной коры в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов в Южном Предуралье нами создана

сеть сейсмостанций «Газ-сейсмика», которая зарегистрирована и вошла в общероссийскую сеть. К настоящему времени сеть состоит из четырех сейсмостанций, оборудованных сейсмоприемниками СМЗ-КВ и СМЗ-ОС и регистраторами SDAS v 3.1 и UGRA.

На разрабатываемых месторождениях нефти и газа сейсмостанциями фиксируется в среднем 2-3 сейсмических событий в месяц с магнитудой M_l 1 - 2 и более, что на порядок больше, чем за пределами месторождений. Большинство зафиксированных в 2007 – 2009 гг. сейсмических событий имеют очаги на глубинах до 10 км.

Для выявления сейсмоактивных структур, причин и механизма увеличения их сейсмической активности нами уточнено геологическое строение Южного Предуралья и проведен ряд исследований системы его подземных вод в естественных и техногенно измененных условиях.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Территория Южного Предуралья включает юго-восточную часть Русской (Восточно-Европейской) платформы, северный борт Прикаспийской впадины и юго-запад Предуральского краевого прогиба. На западной границе территории расположены Серноводско-Абдулинская впадина, Жигулевско-Оренбургский свод, и Бузулукская впадина, с востока территория Южного Предуралья ограничена Уральской Складчатой системой, с севера территория граничит с Татарским и Пермско-Башкирским сводами.

При исследовании процессов формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) и подготовки землетрясения необходимо учитывать геологическое строение верхней части земной коры на глубину 10-15 км.

В соответствии с принципом унаследованности в тектонике, тектонические структуры и нарушения, возникшие в прошлые геологические эпохи, продолжают развиваться в наше время. Поэтому, основные тектонические элементы, выделяемые в современном структурном плане Южного Предуралья, следует рассматривать как динамически развивающиеся структуры, под воздействием ведущих и направляющих факторов развития земной коры. Техногенные воздействия на нее накладываются на естественные геодинамические процессы и могут их усиливать или компенсировать напряженное состояние геологической среды. Для выяснения их причин необходимо исследование строения осадочного чехла и подстилающего его фундамента.

В кристаллическом фундаменте в Южном Предуралье в пределах юго-восточной части Волго-Уральской антеклизы по данным [1,2] с нашими уточнениями выделяются несколько крупных положительных и отрицательных структурных форм. Поверхность кристаллического фундамента архейско-протерозойского времени постепенно понижается с

севера от абсолютной отметки -1700 м до отметки -4800 на юге. Соответственно увеличивается мощность осадочного чехла с 1700 м до 5000 м.

Предуральский краевой прогиб, расположенный на востоке Южного Предуралья, вытянут в меридиальном направлении от Тиманского кряжа на севере до широты г. Соль-Илецка на юге на расстоянии свыше 1000 км при ширине от 20 до 110 км. Краевой прогиб заполнен мощной толщей пермских отложений и характеризуется асимметричным строением бортов и зонально-полосовым распределением фаций.

Обрамляющая с востока Южное Предуралье Уральская складчатая система включает Западно-Уральскую зону внешней складчатости, в которой породы смяты в систему узких складок меридионального простирания, Центрально-Уральское поднятие и Магнитогорский прогиб.

Прикаспийская синеклиза входит в территорию Южного Предуралья своим северным бортом. По границе между Волго-Уральской антеклизой и Прикаспийской синеклизой проходит ряд глубинных разломов, обуславливающих согласно карте ОСР-97 высокую природную сейсмичность до 6-7 баллов по шкале MSK-64. В районе Южного Предуралья на западе и севере Прикаспийской синеклизы кристаллический фундамент залегает на глубине 3-6 км, с продвижением на юг он неравномерно, уступами погружается до глубины 15-20 км.

Кристаллический фундамент Южного Предуралья имеет густую сеть разломов. Они обуславливают основные границы блоков геологической среды региона. Блоковое строение фундамента часто прослеживается до земной поверхности в виде речных долин, водоразделов, оврагов и др. По контуру газоносности ОНГКМ по северному крылу Оренбургского вала проходит разломная зона широтного простирания, совпадающая в первом приближении с простиранием русла реки Урал. Повышенная плотность разломов прослеживается по границе Волго-Уральских бассейнов, под р. Самара и т.д.

Осадочный чехол в западной части Южного Предуралья представлен отложениями палеозойских и мезо-кайнозойских образований общей мощностью 3 – 5 км. В восточной, южной и северной частях кристаллический фундамент перекрыт протерозойско-палеозойскими отложениями мощностью от 2,5 до 6 км [2, 3].

ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

В результате интенсивной эксплуатации месторождений углеводородов, понизившей пластовое давление в нижнем этаже их подземных вод региона на десятки и даже сотни атмосфер, нарушилось естественное гидродинамическое равновесие между верхним и нижним этажами подземных вод. В районе месторождений создались условия для нисходящего движения вод над его пластовыми водами и восходящего под ними, а также

латерального притока с прилегающих территорий. Для выявления механизма и интенсивности нисходящего их движения необходимы специальные исследования [4,5].

На рис. 1 показано распределение давлений в пластовых водах ОНГКМ через 35 лет его эксплуатации. Месторождение занимает площадь около $S = 2500 \text{ км}^2$, а уменьшение давлений в пластовых водах в результате добычи газа произошли на площади более 4000 км^2 . В центральной части месторождения давление пластовых вод уменьшилось более чем на 10 МПа, а в среднем – на 6 МПа. Это привело к изменению гидродинамического и энергетического балансов и накоплению потенциальной энергии. Обводнение залежи и сейсмические события, наблюдаемые в районе месторождения, свидетельствуют о происходящей разгрузке напряжений в геологической среде.

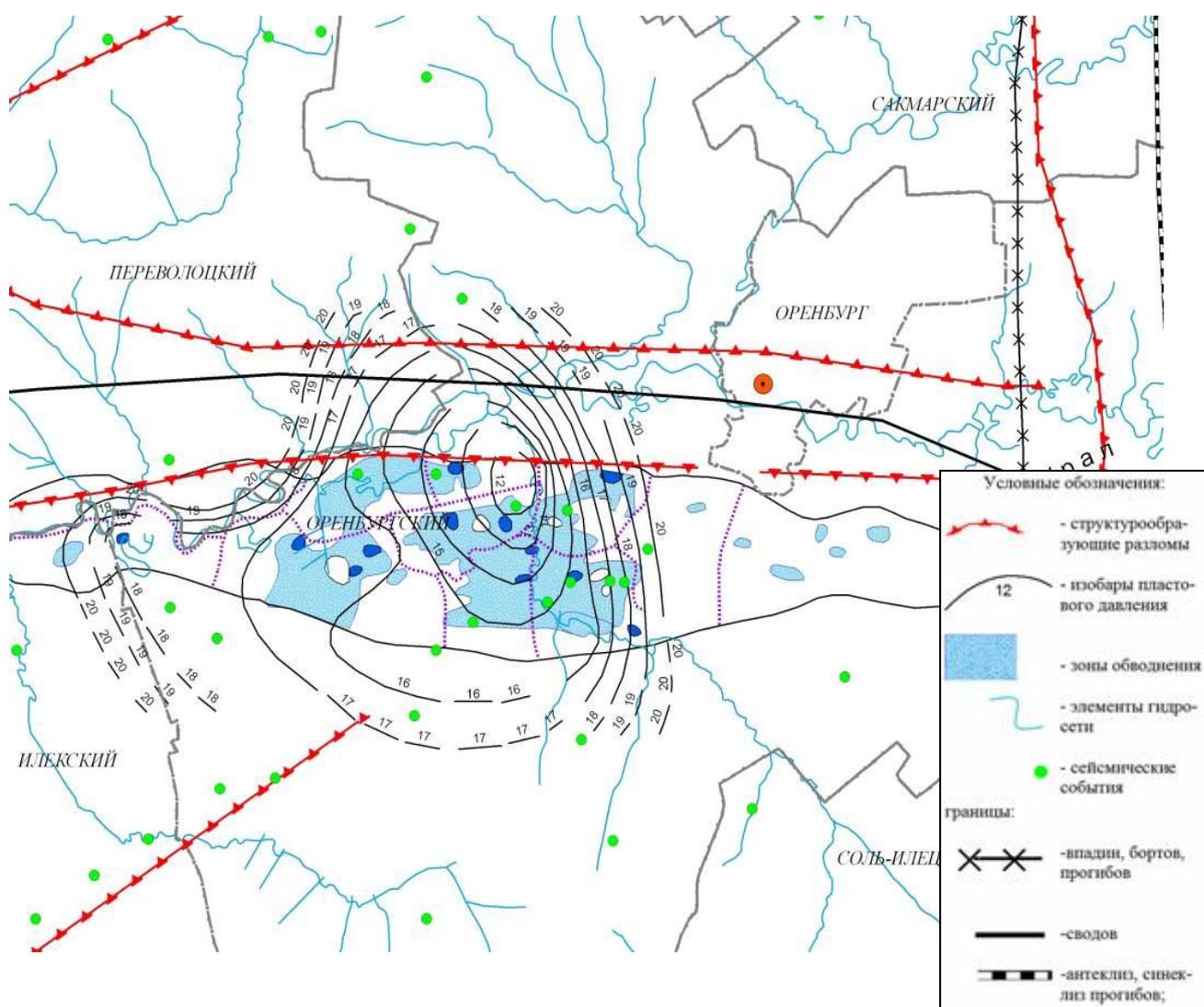


Рис. 1. Распределение давлений в пластовых водах ОНГКМ (по материалам ООО «ВОЛГОУРАЛНИПИГАЗ») и зоны обводнения газодобывающих скважин

На интенсивно разрабатываемых месторождениях нефти в Южном Предуралье также формируются гидродинамические воронки. На рис. 2 по нашим данным приведены

установившиеся уровни вод средне-турнейского комплекса в Бузулукской впадине после разработки месторождений нефти [6]. Пунктирными изолиниями показаны техногенно измененные приведенные уровни вод на эксплуатируемых 30 лет месторождениях нефти. В центральной части ряда месторождений пластовое давление уменьшилось на 20 МПа и более, образовав гидродинамические воронки диаметром 10-30 и более километров.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Согласно карте общего сейсмического районирования территории Российской Федерации северная, северо-западная и центральная части Южного Предуралья (в том числе Бузулукская впадина, северный склон Соль-Илецкого выступа) и Складчатый Урал расположены в 7 бальной зоне, а южная – в 6 бальной зоне сейсмической активности по шкале МСК-64.

Мониторинг сейсмической активности Южного Предуралья ведется нами сетью, состоящей из 4 сейсмостанций (рис. 3). Сеть сейсмостанций «Газ-сейсмика» позволяет регистрировать сейсмические события, имеющие естественную и техногенную природу.

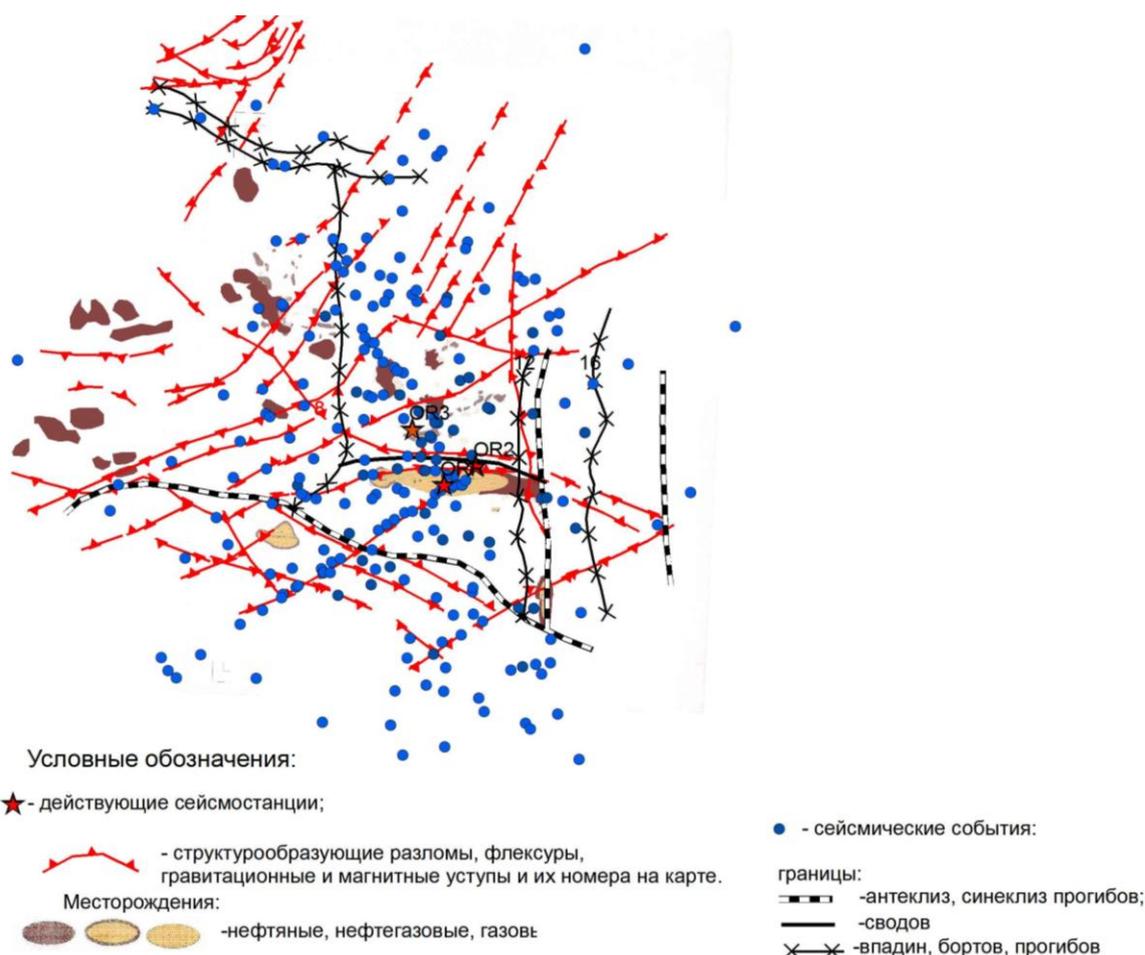


Рис. 3. Схема сейсмических событий на юго-востоке Восточно-Европейской платформы с сентября 2007 г. по апрель 2008 г.

Результаты мониторинга показали, что сейсмические события в контуре газоносности ОНГКМ расположены вблизи зон планетарно-тектонической трещиноватости, областей пересечения зон планетарно-тектонической трещиноватости, кольцевых зон. Таким образом, с достаточной долей уверенности можно утверждать, что эпицентры сейсмических событий тяготеют к напряженно-деформированным узлам блоково-разломной системы Южного Предуралья, испытывающих воздействие продолжительных природных и техногенных факторов. Сложившаяся структура земной коры и распределение эпицентров сейсмических событий за 2007-2009 гг. позволяет выполнить предварительное районирование территории по природной и техногенной сейсмической активности.

События, удаленные от зон техногенных нарушений (центральная и восточная части Предуральского краевого прогиба, юго-восток Прикаспийской синеклизы и др.) вероятно вызванные естественными тектоническими процессами, наблюдаются значительно реже в сравнении с техногенно нарушенными территориями (рис.3). События, произошедшие в зонах техногенных нарушений геологической среды (добыча нефти и газа и др.) происходят более часто и имеют более сложную природу, могут являться техногенными или природно-техногенными.

В условиях разрабатываемых месторождений изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды определяется природными и техногенными воздействиями. Южное Предуралье, находящееся на стыке трех геологических структур - Волго-Уральской антеклизы, Прикаспийской синеклизы и Предуральского краевого прогиба, имеет густую сеть тектонических разломов. Формирование и развитие геодинамических процессов Южного Предуралья идет под воздействием планетарных горизонтальных, вертикальных и вращательных движений блоков литосферы, создающих напряжения сжатия и растяжения различной силы в разных направлениях.

Сейсмические события природных геодинамических процессов проявляются на всей территории Южного Предуралья, Уральских гор и Зауралья. Сеть сейсмостанций «Газ-сейсмика» в среднем в год фиксирует 1-2 естественных фоновых сейсмических событий на 1000 км² со средней энергией порядка $2 \cdot 10^7$ Дж.

Масштабы техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций во многом зависят от объемов недр и площадей, на которые оказываются техногенные воздействия при добыче полезных ископаемых, и их энергии.

При добыче твердых полезных ископаемых в шахтах и карьерах формируются изменения в давлениях подземных вод и напряженностей в горных породах в объемах и на площадях до нескольких десятков кубических и квадратных километров. Соответственно и реакция недр на техногенное вмешательство обычно происходит в пределах этих объемов и

площадей: горные удары, прорывы в шахты подземных вод и газов из прилегающих горных массивов. Лишь сейсмические волны, сопровождающие упругое расширение массива пород при горном ударе большой силы, распространяются на десятки и сотни километров.

При добыче нефти и газа техногенезом охватываются объемы недр до нескольких тысяч кубических километров и на площадях в тысячи квадратных километров. В центральной части ОНГКМ при уменьшении давления газа более чем на 10 МПа некомпенсированное напряжение в выше и ниже расположенных горных породах составляет соответственно порядка 1000 т на квадратный километр. Примерно на эту же величину увеличиваются градиенты давления между пластовыми водами месторождения и прилегающими к ним водоносными комплексами. Крупномасштабные техногенные изменения в недрах ОНГКМ привели к повышению суммарной выделившейся сейсмической энергии за год до $8.14 \cdot 10^{10}$ Дж в центральной его части с $1,78 \cdot 10^7$ Дж на прилегающих к нему территориях в расчете на 1000 км^2 (рис. 4) Интенсификация сейсмической активности в районе ОНГКМ свидетельствует о происходящей разгрузке напряжений в геологической среде

Техногенные воздействия реализуют цепочку трансформации энергии: «воздействие → изменение напряженного состояния → деформация пород при изменении их внутреннего напряжения и свойств → перераспределение открытой трещиноватости (сжатие, растяжение и сдвиг) → выделение сейсмической энергии при изменении трещиноватости».

Усиливающаяся техногенная нагрузка на геологическую среду все более обостряет проблемы экологической безопасности. Согласно существующим представлениям (Н.Н. Мельников, В.Е. Хаин и др.) техногенная сейсмичность аналогична природной, но отличается от нее режимом выделения сейсмической энергии под влиянием техногенных факторов. Для нее характерно большее число предшествующих толчков, более медленное убывание афтершоков и неглубокие очаги.

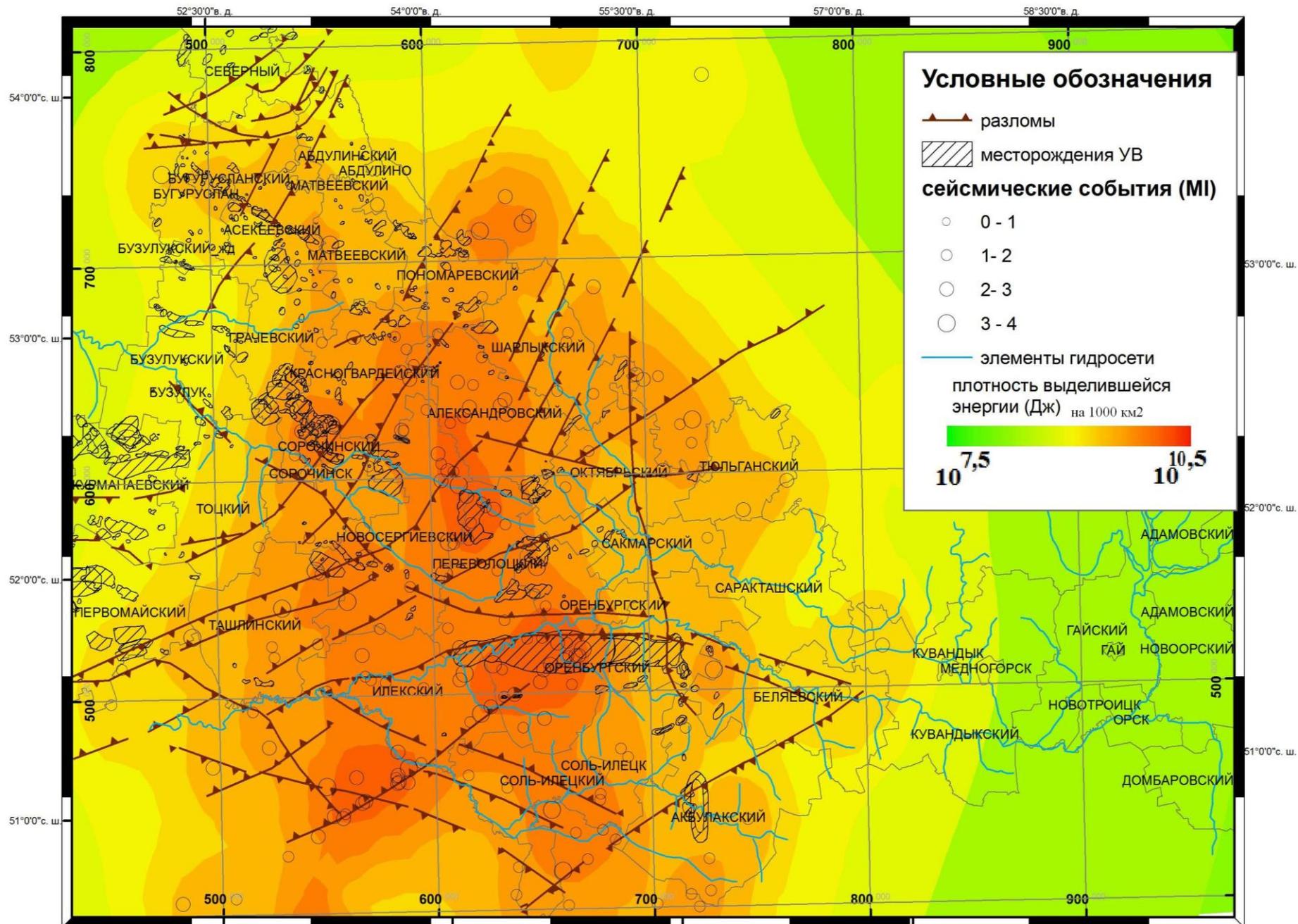


Рис.4 Эпицентры сейсмических событий (1.12.2007г. – 20.10.2009 г.) и плотность выделившейся энергии в Южном Предуралье

МЕТОДИКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Для исследования пространственно-временной связи сейсмичности с морфоструктурой земной коры нами предложен алгоритм геодинамического районирования территорий [7], реализованный в виде компьютерной программы классификации морфоструктурных узлов на территории Южного Предуралья по уровню сейсмической активности [8,9]. Эта классификация решает задачу сейсмического микрорайонирования и может быть применена в других регионах с похожими особенностями при наличии соответствующих данных.

Рассматривались лишь наиболее крупные разломы, а также новейшие морфоструктуры (складки основания) для территории исследования.

В рассматриваемой задаче мы имеем сравнительно небольшой набор классифицируемых объектов и число классов. Поэтому целесообразно использовать методы кластерного анализа без обучения с взвешенным расстоянием Хемминга [7].

В рассматриваемом случае проверку качества классификации и ее адекватность была проведена при помощи использования модели анализа ретроспективных данных. В результате в 80% узлов, отнесенных к уровню слабой сейсмической активности, в следующие полгода событий не наблюдалось. В 75% узлов, отнесенных к уровню сильной сейсмической активности, произошло одно или более сейсмических событий. Более полные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 Результаты проверки качества классификации по уровням

Уровень сейсмической активности	Количество классифицированных узлов	Количество узлов, в районе которых произошли события	Процент от общего числа узлов	Количество узлов, в районе которых не произошли события	Процент от общего числа узлов
Низкий	5	1	20%	4	80%
Средний	1	1	100%	0	0%
Высокий	4	3	75%	1	25%

Отделом геоэкологии ОНЦ УрО РАН выявлено сгущение сейсмических событий на территориях интенсивной добычи углеводородов при уменьшении пластовых давлений газа, нефти и подземных вод. Они имеют высокую корреляцию с техногенно-нарушенными блоками массивов горных пород. Выявлена высокая сейсмическая активность на участках, где пластовое давление снизилось в результате добычи нефти и газа в сравнении с прилегающими территориями.

ВЫВОДЫ

1. Проводимый мониторинг территории Южного Предуралья сейсмологической сетью «Газ-сеймика» показал, что большинство зафиксированных сейсмических событий имеют очаги на глубине до 10 км, где происходят основные техногенные воздействия при разработке месторождений нефти и газа в Южном Предуралье.

2. Изучение геологического и тектонического строения территории исследований позволило уточнить сеть разломов и тектонических нарушений. Анализ фиксируемых в Южном Предуралье сейсмических событий показывает, что эпицентры сейсмических событий располагаются в основном в зонах техногенных нарушений в геологической среде и тяготеют к зонам разломов и линеаментов.

3. Добыча углеводородов приводит к падению давлений пластовых вод и нарушению естественного гидродинамического равновесия в подземных водах. В районе месторождений углеводородов создались условия для нисходящего движения вод над его пластовыми водами и восходящего под ними, а также увеличения латерального притока с прилегающих территорий.

4. Разработанная нами методика и программа для ЭВМ «Классификация морфоструктурных узлов на территории Южного Предуралья по уровню сейсмической активности» позволяют решать задачу сейсмического микрорайонирования и может быть применена в других регионах с аналогичными условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коноваленко С.С. Палеогеоморфология юго-востока Русской плиты (Оренбургская область) от рифея до турне в связи с поисками нефти и газа. В 2 частях. – М.: Наука, 1999.
2. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. /Под ред. д. г.-м. наук Пантелеева А.С. Оренбург, 1997.
3. Нестеренко Ю.М., Глянцев А.В. Водоносные комплексы Бузулукской впадины и их взаимодействие. Реферируемый журнал Нефтепромышленное дело, №12, 2007. С. 30-33.
4. Нестеренко Ю.М., Глянцев А.В. Влияние объектов нефтяной и газовой промышленности на гидрогеологические системы в нефтегазоносных бассейнах. Оренбургский Научный центр УрО РАН. / Сборник «Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование»: Часть 1. Оренбургский ун – т; Перм. ун – т и др. – Оренбург – Пермь, 2008. – с.229-231.

5. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М. Научный мир, 2000. 472 с.
6. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю. Влияние добычи полезных ископаемых на геогидродинамику и сейсмичность в Южном Предуралье. Материалы XV Всероссийской конференции «Геологические опасности». – Архангельск, 2009 г., с. 333-335.
7. Нестеренко М.Ю., Бондаренко И.И., Влацкий В.В. Классификация морфоструктурных узлов территории Оренбургской области по уровню сейсмической активности средствами кластер-процедуры. /Материалы 3 Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». ГС РАН, г. Обнинск, 2008 г., 5 с.
8. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Влацкий В.В. Система анализа и прогнозирования сейсмической активности во времени в условиях техногенных изменений геологической среды. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2009610751 от 02.02.2009 г. Роспатент, г. Москва.
9. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Влацкий В.В. Статистическое прогнозирование сейсмичности морфоструктурных узлов. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2009610752 от 02.02.2009 г. Роспатент, г. Москва.